creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학박사 학위논문

지역문제 해결을 위한 데이터사이언스 기반의 시스템 분석 연구

Data-Driven System Analysis for Regional Issues

2021년 8월

서울대학교 대학원
협동과정 농림기상학전공
김 솔 희

지역문제 해결을 위한
데이터사이언스 기반의 시스템 분석 연구

Data-Driven System Analysis
for Regional Issues

지도교수 서 교

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함
2021년 5월

서울대학교 대학원
협동과정 농림기상학전공

김 솔 희

김솔희의 공학박사 학위논문을 인준함
2021년 7월

위 원 장 _____

부 위 원 장 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

국문초록

지역문제 해결을 위한 데이터사이언스 기반의 시스템 분석 연구

4차 산업혁명 시대 기술발전의 중심에는 데이터가 있다. 데이터는 매년 양(Volume), 다양성(Variety), 속도(Velocity) 등의 측면에서 폭발적으로 성장하며 증가하면서 혁신적 기술의 기반이 되고 있다. 특히, 이러한 데이터는 지식정보기술의 발달을 통해 다양한 분야에서 문제해결을 위한 의사결정이나 정책 수립에 있어서 최적의 대안을 찾기 위한 효과적인 방법에도 그 활용성이 부각되고 있다.

데이터 사이언스는 이러한 데이터의 혁신적인 증가와 성장을 기반으로 다양한 형태의 시스템이 당면한 문제를 정확히 인식하고 이를 해결할 수 있는 핵심 데이터를 파악하여, 적합한 분석기법을 통해 문제에 대한 해법을 도출하는 분야로 주목받고 있다.

농업농촌 분야에서는 농촌이 당면한 인구 감소, 고령화, 공동화 등 열악한 환경에서 한정된 자원을 유효하게 활용하면서 지역의 특성을 고려하여 문제를 해결할 수 있는 정량적인 방안을 도출하고 그 효과를 검증하는 방안을 모색하고 있다. 이를 위해 농촌의 다양한 현안들에 대한 수요를 맞춤형으로 대응하는 동시에 정량적이고 실천적인 해결방안을 마련하기 위해서 시스템 관점에서 해당 현상의 구체성을 파악할 필요가 있다.

이에 본 연구는 농촌지역에 대한 생태-사회 시스템의 현안들을 시스템 관점에서 해결할 수 있는 문제로 정의하고, 데이터사이언스 기법을 이용하여 시스템 접근방법으로 해법을 찾을 수 있는 방안을 모색하고자 하

였다. 이를 위해 먼저 (1) 지역개발사업과 관련된 문헌 검토를 수행하였으며, 농촌지역의 문제를 정주환경개선과 소득향상의 핵심분야인 교육, 의료, 유통개선, 부가가치 창출과 관련한 주제의 현안으로 정형화하였다. (2) 각각의 현안들에 대하여 시스템 관점에서 문제를 정의하고, 데이터사이언스 기반의 분석기법을 바탕으로 문제를 해결하는 일련의 과정을 수행하였다. (3) 이러한 분석과정을 통해 농촌지역 시스템을 구성하는 다양한 요소들의 데이터에 대한 활용가능성과 적절한 분석기법에 대한 적용성을 평가하였다.

'지역문제 도출 및 유형화 방안 연구'에서는 정부별 국정운영 5개년 계획에 제시된 국가 비전이 지역개발사업과 관련한 국정목표 및 국정전략, 국정과제에 어떠한 영향을 미치는지 고찰하였다. 지역개발사업과 관련한 문헌 검토를 통해 지역문제는 크게 정주와 소득으로 도출할 수 있으며, 구체적으로 생활환경정비를 통한 정주환경 개선과 경제활동 다각화를 통한 소득향상 방안을 모색하는 두 가지로 유형화하였다.

'농촌 정주환경 개선을 위한 시스템 분석 연구'에서는 크게 지역이 당면한 현안 중 교육분야와 응급의료분야의 문제를 정의하고 이를 해결하는 연구를 수행하였다. 교육분야의 경우 학령인구 감소에 따른 농촌지역의 교육시설 통폐합을 위해 휴리스틱 공간최적화 기법을 이용하여 학교의 운영 혹은 폐교에 대한 의사결정을 내릴 수 있는 방안을 모색하였다. 응급의료분야의 경우 도시와 농촌지역의 시간대별 실시간 도로속도 변화에 따른 응급의료 접근성 변화를 분석하고 이에 따른 응급의료 취약지와 응급환자 생존율을 평가하며, 다양한 응급상황 시나리오를 구축하여 상황별 생존확률 변화 분석을 통해 개선방안을 도출하였다.

'농촌 소득향상을 위한 시스템 분석 연구'에서는 유통개선 및 부가가

치 창출 분야의 문제를 정의하고 이를 해결하는 연구를 수행하였다. 유통 개선의 경우 농산물 운송의 한계비용을 최소화하기 위하여 광역교통망의 유휴공간과 친환경 운송수단을 이용한 새로운 형태의 스마트로지스틱스 시스템을 개발하고, 기존의 택배망과 비교를 통해 적용가능성을 평가하였다. 부가가치 창출 분야에서는 저탄소농산물인증제도를 대상으로 통계적 추론기반의 인증기준 설정 방안을 모색하였다. 기존 인증기준인 국가평균값과 농업 생산환경의 불확실성을 고려한 통계적 추론값과 비교를 통해 저탄소농산물인증제도의 통계적으로 유의한 수준에서의 인증기준에 대한 통계적 대안을 제시하였다.

지역개발 및 공간계획 분야에 기여할 수 있는 본 연구의 학술적 중요성은 다음과 같다. 먼저 지리정보와 통계정보뿐만 아니라 실시간 교통정보 등 다양한 형태의 빅데이터를 기반으로 농촌지역이 가진 특성들을 고려하여 문제를 해결할 수 있는 데이터사이언스 기반의 정량적인 방안을 제시하였다. 또한 시스템 관점에서 지역의 문제를 정형화하여 해결할 수 있는 정량적인 분석기법에 대한 사례를 통해 실천적인 방안을 모색할 수 있도록 방향을 제시하였다.

이를 통해 본 연구는 기존의 행정구역 단위의 통계자료를 기반으로 한 정책 수립과 같은 프로세스를 탈피하고, 보다 정량적인 방법론을 통해 데이터를 기반으로 한 정책을 수립할 수 있는 기초를 마련할 수 있다고 판단된다. 이는 향후 농촌지역의 보건·복지, 교육, 산업 등 다양한 분야에 수요맞춤형 증거기반 정책에 대한 의사결정을 지원할 수 있으며, 관련된 법·제도 개편에 합리적이고 정량적인 근거를 마련하고 기초자료로써 제공할 수 있다고 사료된다.

주 요 어 : 지역문제, 데이터사이언스, 시스템 관점, 정주개선, 소득향상
학　　번 : 2018-32084

목 차

국문초록 ····· i

목 차 ····· v

List of Tables ····· xii

List of Figures ····· xiii

제 1 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구 배경 및 목적 ····· 3

1. 연구의 배경 ····· 3

2. 연구의 목적 ····· 8

제 2 절 연구 구성 ····· 9

제 2 장 기본 이론 ····· 13

제 1 절 데이터사이언스 ····· 15

제 2 절 데이터사이언스 기반의 지역문제 해결을 위한 방법론 ····· 19

1. 접근성 평가를 위한 네트워크 분석 ····· 19

2. 시설입지설정을 위한 공간최적화 기법 ····· 22

3. 환경영향 평가를 위한 전과정평가 기법 ····· 26

4. 정량적 기준 마련을 위한 통계적 추론 방법 ····· 32

제 3 장 지역문제 도출 및 유형화 방안 연구 ····· 35

제 1 절 정부별 지역개발사업 정책 변화 분석 ····· 37

1. 서론 ····· 37

1.1. 배경 및 필요성 ····· 37
1.2. 연구목적 ····· 39
2. 연구 자료 및 방법 ····· 40
2.1. 지역개발사업 관련자료 ····· 40
3. 분석 결과 ····· 41
3.1. 지역개발사업 정책에 대한 정부별 추진과정 ····· 41
3.1.1. 정부별 국정운영 계획 ····· 41
3.1.2. 정부별 국가균형발전 기본계획 ····· 44
3.1.3. 정부별 농어업인 삶의 질 향상 및 농산어촌 지역개발 기본계획 ··· 49
3.2. 정부별 지역개발사업의 특징 및 성과 ····· 54
3.1.4. 정부별 지역개발사업 구성 및 특징 ····· 54
3.1.5. 정부별 지역개발사업 성과 및 종합평가 ····· 58
4. 고찰 ····· 64
5. 소결 ····· 65

제 4 장 지역 정주환경 개선을 위한 시스템 분석 연구 ····· 67

제 1 절 학령인구 감소에 따른 통학접근성 변화를 고려한 교육시설의 입지최적화 모델 개발 ····· 69

1. 서론 ····· 69
1.1. 배경 및 필요성 ····· 69
1.2. 연구목적 ····· 73
2. 분석 방법 및 자료 ····· 74
2.1. 초등교육시설 및 학구도 데이터 ····· 74
2.1.1. 지역별 초등교육시설 데이터 ····· 74
2.1.2. 학교별 학구도 데이터 ····· 77

2.2. 지역별 마을단위 생활권 중심지 설정 ····· 78
2.3. 실제도로거리 기반의 통학접근성 분석 ····· 81
2.3.1. 도로망도를 이용한 실제 도로거리 산정 ····· 81
2.3.2. 교육시설 접근성 지표를 이용한 통학접근성 평가 ····· 83
2.4. 교육형평성 기반의 최적 학군 재설정 입지최적화 모델 개발 ····· 85
2.4.1. 하이브리드 휴리스틱 p-median 문제 알고리즘 ····· 85
2.4.2. p-median 알고리즘의 휴리스틱 순서도 ····· 88
3. 분석 결과 ····· 91
3.1. 초등교육시설의 도농간 통학접근성 변화 ····· 91
3.1.1. 신설 및 통폐합에 따른 시계열적 통학접근성 변화 ····· 91
3.1.2. 학구지정에 따른 마을단위 통학접근성 변화 ····· 97
3.2. 학령인구 감소를 고려한 휴리스틱 공간최적화 기반의 교육시설 입지 모델 개발 ····· 100
3.2.1. 사례 연구지역 ····· 100
3.2.2. 기존의 학군과 모의된 최적 학군 비교 ····· 102
3.2.3. 실제 폐교 순위와 시나리오에 따른 폐교 순위 비교 ····· 104
4. 고찰 ····· 111
5. 소결 ····· 113
제 2 절 실시간 교통정보 기반의 응급의료 취약지 및 생존률 분석 ····· 115
1. 서론 ····· 115
1.1. 배경 및 필요성 ····· 115
1.2. 연구목적 ····· 118
2. 분석 방법 및 자료 ····· 119
2.1. 응급의료시설 및 실시간 교통 속도 정보 수집 ····· 119
2.2. 시설 위치정보 변환 및 정제 ····· 122

2.3. 속성정보 융합한 교통흐름 도로망 구축 ····· 124
2.4. 실시간 응급의료서비스 접근 네트워크 모델 ····· 127
2.2. 응급의료 취약지 및 응급상황별 생존률 ····· 129
2.2.1. 응급의료 취약지 선정 기준 ····· 129
2.2.2. 응급상황 정의 ····· 131
2.2.3. 응급상황별 생존률 ····· 133
3. 분석 결과 ····· 134
3.1. 도농간 의료환경 및 도로이용상황 비교 ····· 134
3.1.1. 도농간 의료환경 비교 ····· 134
3.1.2. 도농간 시간대별 도로이용상황 비교 ····· 137
3.2. 도로속도에 따른 응급의료시설의 서비스 권역 및 취약인구 범위 ····· 139
3.2.1. 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따른 서비스 권역 범위 ·· 139
3.2.2. 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따른 서비스 취약 인구 ·· 145
3.3. 마을단위 실시간 교통정보에 따른 의료취약지 재평가 ····· 146
3.4. 지역별 응급의료환자의 시간대별 생존률 분석 ····· 148
3.3.1. 도농간 시간대별 생존률 변화 ····· 148
3.3.2. 응급상황별 생존률 변화 ····· 152
4. 고찰 ····· 155
5. 소결 ····· 156

제 5 장 지역 소득향상을 위한 시스템 분석 연구 ····· 159

제 1 절 유휴 운송자원을 활용한 농산물 스마트 로지스틱스 시스템 성능 분석 ····· 161

1. 서론 ····· 161
1.1. 배경 및 필요성 ····· 161

1.2. 연구목적 ····· 164
2. 분석 방법 및 자료 ····· 165
2.1. AgroSLS 시스템 구조 설계 ····· 165
2.2. AgroSLS의 영향 평가 프레임워크 ····· 167
2.3. AgroSLS의 경로분석 ····· 170
2.3.1. 도로 네트워크를 통한 경로분석 ····· 170
2.3.2. 지형정보를 이용한 드론 경로 분석 ····· 172
2.4. 운송수단별 에너지 사용량 추정 ····· 174
2.4.1. 트럭 운송의 에너지 사용량 ····· 174
2.4.2. 버스 운송의 에너지 사용량 ····· 175
2.4.2. 드론 운송의 에너지 사용량 ····· 176
3. 분석 결과 ····· 179
3.1. 대상지역 설정 ····· 179
3.2. 수요-공급 가정조건 ····· 181
3.3. 기존의 직거래 운송망과 AgroSLS의 운송범위 추정 ····· 183
3.3.1. 우체국 택배망을 이용한 지역배송 범위 ····· 183
3.3.2. AgroSLS를 이용한 지역배송 범위 ····· 185
3.4. 기존의 직거래 운송망과 AgroSLS의 소요시간 추정 ····· 186
3.4.1. 우체국 택배망을 이용한 소요시간 ····· 186
3.4.2. AgroSLS를 이용한 소요시간 ····· 191
3.4.3. 우체국 택배망과 AgroSLS의 총 소요시간 비교 ····· 194
3.5. 기존의 직거래 운송망과 AgroSLS의 에너지 사용량 추정 ····· 196
3.5.1. 우체국 택배망을 이용한 에너지 사용량 ····· 196
3.5.2. AgroSLS를 이용한 에너지 사용량 ····· 201
3.5.3. 우체국 택배망과 AgroSLS의 총 에너지 사용량 비교 ····· 204

4. 고찰 ····· 205
5. 소결 ····· 207
제 2 절 농업 생산시스템의 불확실성을 고려한 통계적 추론 기반의 저탄소농산물 인증기준 평가 ····· 209
1. 서론 ····· 209
1.1. 배경 및 필요성 ····· 209
1.2. 연구목적 ····· 213
2. 분석 방법 및 자료 ····· 214
2.1. 농가 영농활동 데이터 ····· 214
2.2. 농산물 생산단계 온실가스 산정방법 ····· 214
2.3. 통계적 인증기준 평가 방법 ····· 220
2.3.1. 절삭평균법 ····· 220
2.3.2. 통계적 추정방법 ····· 221
3. 분석 결과 ····· 224
3.1. 농산물 영농활동 데이터 기술통계 분석 ····· 224
3.2. 농산물 재배단계별 온실가스 추정 ····· 227
3.3. 통계적 비교를 통한 인증기준 설정 ····· 230
4. 고찰 ····· 235
5. 소결 ····· 238

제 6 장 종합 결론 ····· 241

참고문헌 ····· 249

Abstract ····· 295

List of Tables

[Table 4-1] Service item and its attribute information of school district data provided by the Ministry of Education ····· 75

[Table 4-2] Open and Closed primary schools by province in 2021 ····· 76

[Table 4-3] Service item and its attribute information of school district data provided by the Ministry of Education ····· 77

[Table 4-4] Public school districts of primary schools by province in 2021 ····· 79

[Table 4-5] The criteria of physical accessibility regarding to legally defined commuting distance to educational facilities ····· 84

[Table 4-6] Comparison of coverage area and commuting distance in urban and rural areas under the reference situation and optimally simulated situation ····· 103

[Table 4-7] Consistent and inconsistent coverage areas of schools based on current districts compared to optimal districts in urban and rural areas ····· 104

[Table 4-8] List of available data (facility, population, and traffic speed data) to analyze the vulnerable areas for emergency medical services (EMS) ····· 121

[Table 4-9] Description of national minimum and evaluation method and means of emergency services in rural areas ····· 130

[Table 4-10] Description of emergency cases considering first-aid and transfer systems ····· 132

[Table 4-11] Average area of coverage services of emergency medical facility located in each province following accessible time of speed limit

on road and real traffic speed in rush hour ····· 140
[Table 4-12] Average underserved area of emergency medical services in each province following accessible time of speed limit on road and real traffic speed in rush hour ····· 142
[Table 5-1] Energy economy of truck by weight and loading capacity ····· 175
[Table 5-2] Energy economy by bus type (express and intercity bus) ····· 176
[Table 5-3] Energy economy of bus model by manufacturer ····· 177
[Table 5-4] Descriptive statistics of delivery time by drone to intercity bus terminal in pyeongchang ····· 192
[Table 5-5] Descriptive statistics of delivery time by drone to intercity bus terminal in Seoul ····· 194
[Table 5-6] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Pyeongchang ····· 202
[Table 5-7] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Seoul ····· 203
[Table 5-8] GHG emission coefficient by agro-material ····· 217
[Table 5-9] Direct emissions to soil from nitrogenous fertilizer ····· 219
[Table 5-10] Descriptive statistics by agro-material of 51 carrot farms ····· 224
[Table 5-11] National average GHG emissions of carrot farming by agro-material type (2011-2015) ····· 228
[Table 5-12] Comparison of certificate criteria for low-carbon carrot farming in 2015 ····· 231
[Table 5-13] Annual distribution of agricultural meteorology by agricultural belt ····· 236

List of Figures

[Figure 1-1] The major ingredients of this study that "Data-Driven System Analysis for Regional Issues" ····· 10

[Figure 2-1] Milestones of Data Science in researchers and journals and their definitions ····· 17

[Figure 2-2] Life cycle assessment (LCA) framework and process defined by International organization for standardization (ISO 14040) ····· 27

[Figure 3-1] Changes of Vision and Key Agenda of National Affairs by Successive Government and Vision and Strategies of Regional Development Project Plans ····· 53

[Figure 3-2] Characteristics, Laws, and the Transformation Process of Rural Development Projects by Successive Government ····· 59

[Figure 4-1] Road network map integrated by ITS map and digital map in Gangwon province ····· 82

[Figure 4-2] Flow chart for the heuristic p-median algorithm for consolidation and closure prioritization in primary schools ····· 89

[Figure 4-3] Accessibility Grades and the average commuting distance of elementary schools to community centers (2000-2020) ····· 92

[Figure 4-4] Commuting accessibility by real-road distance in 2020 ····· 93

[Figure 4-5] Changes of Commuting Accessibility between 2000 and 2020 ···· 94

[Figure 4-6] Accessibility Grades based in 2020 Commuting Environment ····· 95

[Figure 4-7] Changes of Accessibility Grades between 2000's and 2020's Commuting Environment ····· 96

[Figure 4-8] Changes of commuting accessibility within school district and the

nearest distance in 2020 ····· 97
[Figure 4-9] Changes of commuting accessibility grade within school district in 2020 ····· 99
[Figure 4-10] Location of the study area: Chuncheon, Gangwon province in South Korea ····· 101
[Figure 4-11] Attributes of Chuncheon: roadmap, primary schools, and population ····· 101
[Figure 4-12] Consistent and inconsistent coverage area between current and optimal district ····· 105
[Figure 4-13] Comparison of real consolidation and closure sequence and optimal prioritization of primary schools ····· 108
[Figure 4-14] Distance changes of the real and optimal sequence for primary school closings in urban and rural areas ····· 110
[Figure 4-15] The issue of school allocation in a joint school district according to the consolidation and closure of primary schools ····· 112
[Figure 4-16] Location of provincial-level divisions in South Korea except for Jeju island ····· 120
[Figure 4-17] Flows of geocoding process to converse address to coordinate system using location information database ····· 123
[Figure 4-18] Examples of geocoding process using Geocodr-XR tool ····· 124
[Figure 4-19] Construction of road network map and dataset with up and down node and link attributes ····· 125
[Figure 4-20] Road network with real speed on the road to converse real speed data by link and road network map ····· 126
[Figure 4-21] Model builder for calculating network analysis from origin to

destination of emergency medical services by 5 minute time slot ····· 128
[Figure 4-22] Distribution of medical facilities in Korea ····· 136
[Figure 4-23] Vehicle speeds in the road network measured at a 5-min unit by road type in urban and rural areas ····· 138
[Figure 4-24] Distribution of emergency service area by speed limit and real speed on the road in Korea ····· 144
[Figure 4-25] The underserved population of emergency medical services within 30 minutes by age considering speed limit on the road and real traffic speed during rush hours ····· 145
[Figure 4-26] Vulnerable areas depending on the road traffic flow speed ····· 147
[Figure 4-27] Number of vulnerable areas of EMS in urban and rural areas based on the real road traffic speed in five-minute units ····· 148
[Figure 4-28] Survival rates in urban and rural areas by emergency response case ····· 151
[Figure 4-29] Survival rates in emergency response cases compared to Case 1 · ····· 154
[Figure 5-1] Schematic representations of direct transaction and AgroSLS process ····· 166
[Figure 5-2] Conceptual framework for evaluating environmental, economic, and social impact of AgroSLS performance ····· 168
[Figure 5-3] Least cost path Algorithm for drone delivery using Modelbuilder of ArcGIS ····· 173
[Figure 5-4] Drone route by cross section and height ····· 179
[Figure 5-5] Consumption and production places and their population distribution

((a) Seoul and (b) Pyeongchang) ····· 180
[Figure 5-6] Regional intercity bus route in urban and rural terminals between Seoul and Pyeongchang ····· 181
[Figure 5-7] Iteration process to randomly deliver the agricultural product parcel from producer to consumer with Monte Carlo Simulation ····· 183
[Figure 5-8] Post office and main hub distribution ····· 184
[Figure 5-9] Coverage area and its range using drone for AgroSLS in Seoul and Pyeongchang ····· 187
[Figure 5-10] Optimal point and its delivery route by post office in Gawnak city, Seoul ····· 189
[Figure 5-11] Average time by administrative district (City) and its delivery route by using conventional postal service within Seoul ····· 190
[Figure 5-12] Moving time to deliver agricultural products by drone from farms to the nearest intercity bus terminal in Pyeongchang ····· 192
[Figure 5-13] Moving time to deliver agricultural products by drone from terminal to consumer in Seoul ····· 193
[Figure 5-14] Total average time by administrative district (City) and its delivery route using conventional postal service and AgroSLS ····· 195
[Figure 5-15] Energy consumption by postal delivery service ····· 197
[Figure 5-16] Energy consumption by delivery route of postal service in Seoul ····· 198
[Figure 5-17] Post offices that the highest and lowest energy consumption for parcel delivery ····· 199
[Figure 5-18] Total average energy consumption by administrative district using conventional postal service from Pyeongchang to Seoul ····· 200

[Figure 5-19] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Pyeongchang ····· 201
[Figure 5-20] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Seoul ····· 203
[Figure 5-21] Total energy consumption for AgroSLS and potal delivery from Pyeongchang to Seoul considering 1-100 orders ····· 205
[Figure 5-22] Life cycle system boundary of agricultural products ····· 216
[Figure 5-23] Distribution of the amount of agromaterials input dataset of carrot farming (10a) in 2015 with box-whisker plots of standardized variables ····· 226
[Figure 5-24] Average GHG emissions of carrot farm households by agricultural activity in 2015 ····· 229
[Figure 5-25] Frequency of GHG emissions of carrot farming in 2015 ····· 232
[Figure 5-26] Frequency of GHG emissions of carrot farming with 2,000 times bootstrapping samples in 2015 ····· 234
[Figure 5-27] Sensitivity results of standard error of estimate (SEM) by number of bootstrapping replications ····· 237

제 1 장

서 론

제 1 절 연구 배경 및 목적

1. 연구의 배경

4차 산업혁명 시대에 지식정보기술의 발달은 가용할 수 있는 데이터의 종류와 속도, 크기를 증가시키고 있다(Fredriksson *et al.*, 2017; Velásquez *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2019). 이와 더불어 가치 있는 데이터로부터 의미 있는 정보를 추출하고 결과를 해석하는 방법의 중요성 역시 증대되고 있다(Khan *et al.*, 2017; Sharma & Pandey, 2020). 2016년 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)[1)]에서 4차 산업혁명을 주요 의제로 다루며 지능정보사회에서의 진입과 가속화되는 정보기술 인프라의 혁신에 대한 논의가 본격적으로 이루어졌다(Prisecaru, 2017). 또한, 세계적으로 영향력 있는 컨설턴트 기관으로 평가받는 맥킨지

1) 세계경제포럼은 매년 스위스 그라우뷘덴주에 위치한 휴양도시 다보스에서 열리기 때문에 다보스 포럼이라고도 불린다. 2016년 다보스포럼에서 '4차 산업혁명의 이해(Mastering the Fourth Industrial Revolution)'를 주제로 논의하였다. 이에 4차 산업혁명은 디지털 혁명(3차 산업혁명)에 기반하여 물리적 공간, 디지털적 공간, 생물학적 공간의 경계가 희미해지는 기술융합의 시대라고 정의하였다.

글로벌 연구소(McKinsey Global Institute)는 2015년 《미래의 속도》[2]에서 미래의 변화는 영국의 산업혁명 때보다 10배 더 빠르고, 300배 더 크며, 3000배 더 강할 것이라고 전망하였다(Dobbs *et al.*, 2015).

이러한 빅데이터와 지식정보기술의 발달은 다양한 의사결정이나 계획수립에 활용할 수 있는 데이터의 범위가 넓어짐에 따라 데이터를 보다 효과적으로 활용할 수 있는 방안에 대한 필요성이 증가하고 있다(Kim *et al.*, 2014). 특히, 사물인터넷을 비롯한 다양한 정보기술 기반의 데이터가 실시간으로 발생하고 이를 수집과 탐색을 통해 최적의 의사결정을 수행하는 데에 활용되고 있다(Tien, 2003; Höchtl *et al.*, 2016; Young *et al.*, 2019; Westbrook *et al.*, 2019).

데이터의 양, 다양성, 중요성이 폭발적으로 증가하는 데이터 범람(deluge)의 환경에서 문제를 정확히 인식하고 이를 해결할 수 있는 핵심 데이터를 파악하고 적절한 기법을 통해 분석함으로써 의미 있는 결과를 도출하는 데이터사이언스와 같은 분야가 대두되고 있다(Bell *et al.*, 2009). 따라서 논리적인 사고를 기반으로 오류를 줄이고 객관성과 합리성을 극대화할 수 있는 새로운 형태의 데이터 수집과 분석을 위한 전략과 분석 방법이 필요하며, 이를 활용할 수 있는 혁신적인 방안이 요구되고 있다.

다양한 분야에서 데이터에 대한 중요성에 대해 인식하며 문제해결의 의사결정이나 정책을 수립하는 데에 있어서 근거나 기초자료가 될 수 있는 데이터 기반의 접근과 수집, 분석, 축적, 공유에 대한 중요성이 더욱 대두되고 있다(Hahn, 2008; Zerhouni, 2009; Shin & Gwag, 2017). 과거의 전통적인 정책은 하향식·일반적 결정, 관습이나 경험·직관에 의존성이

2) 본 저서는 Richard Dobbs, James Manyika, Jonathan Woetzel가 펴냈으며 원제는 “No Ordinary Disruption: The Four Global Forces Breaking All the Trends”이다.

큼에 따라 정책추진이 한계에 달했음을 인식하였다(Gray & Chambers, 1997; Jette *et al.*, 2003). 이를 보완하고자 객관적이고 신뢰성 높은 정책을 통해 실패를 최소화하면서 서비스의 질을 향상시키기 위하여 정보나 데이터, 지표에 근거해 정책을 마련하는 증거기반 정책 수립(Evidence-based policy making)이 요구되고 있다(Sanderson, 2002; Pawson, 2006; Fobia *et al.*, 2019). 이에 증거기반 정책 수립이란 정책을 개발하고 수립하기 위해 연구를 통해 얻어진 최고의 활용 가능한 증거를 기반으로 다양한 정책과 프로그램, 프로젝트에 대한 최적의 의사결정을 수행하고 정책을 수립하는 것으로 정의된다(Davies, 1999; Banks, 2010).

연구자에 따라 증거(Evidence)에 대한 해석이 다양하고 그 범위가 각기 다르다(Head, 2010; Foundation, 2014; Office, 1999; 한국법제연구원, 2015). 미국의 증거기반 정책결정위원회(Commission on Evidence-Based Policymaking, CEP)은 증거라는 용어를 "정부의 프로그램이나 정책을 평가하는 데 있어서 잠재적으로 유용한 정보로 '통계적 목적(Statistical purpose)'을 갖고 '통계적 활동(Statistical activity)'을 통해 얻어진 것"으로 정의하고 있다(CEP, 2017). 이를 통해 증거기반 정책은 통계자료와 높은 수준의 통계 분석을 통해 얻어지는 정보에 기반을 둔 합리적인 정책 결정임을 의미하면서, 빅데이터, 공공데이터 혹은 개방데이터가 증거기반 정책의 핵심이 된다는 것을 명확히 주장하고 있다. 또한 OECD 디지털경제정책위원회(Committee on Digital Economy Policy, CDEP)는 증거기반의 정책을 위해 관련 주제에 대한 고품질의 정보(데이터), 데이터를 분석하고 평가할 전문가 집단, 조직적 유인책, 그리고 정책 전문 연구자 간의 이해가 요구된다고 주장하였다(van der Hoeven, 2007).

농업농촌 분야에서도 농촌이 당면한 인구 감소, 고령화, 공동화 등 열악한 환경에서 한정된 자원을 유효하게 활용하면서 지역의 특성을 고려하여 문제를 해결할 수 있는 정량적인 방안을 도출하고 그 효과를 검증하는 방안을 모색하고 있다. 법과 제도적인 측면에서 정부는 도시와 농촌의 생활여건의 격차를 줄이고 농어업인의 삶의 질 향상을 위하여 2004년 「농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌지역 개발촉진에 관한 특별법」[3](약칭: 농어업인삶의질법)을 제정하였다.

농어촌 생활여건 개선을 위해 제정된 「농어업인삶의질법」은 농어촌 전반의 삶의 질 향상을 통해 도농간 격차를 해소하는 기존의 목표에서 2020년부터 지역·정책 대상별 수요에 맞춰 대응하는 것으로 정책 목표를 전환하였다. 이를 위해 농어업인 등 복지실태조사 및 농어촌서비스기준 점검 결과에 따라 의료·복지 서비스 향상, 교육·문화 지원, 정주여건 개선, 경제활력 증진 등 4대 분야에 대해 지원을 하고 있다. 이를 바탕으로 「농어업인삶의질법」 제5조 및 제6조에 근거하여 5년마다 "농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌 지역개발 기본계획(이하, '삶의 질 기본계획')" 수립을 통해 국책연구기관, 시도연구원, 현장자문단 등을 통해 농어촌지역의 현실과 주민의 정책 수요를 파악하고 있다. 또한 「농어업인삶의질법」을 통해 농어촌서비스기준[4]을 도입하였으며, 항목 보완과 제도 개편이 지속적으로 추진되고 있다. 2011년 8개 부문 31개 항목으로 시작한 농어촌서

3) 2004년 3월에 제정된 「농림어업인삶의질향상및농산어촌지역개발촉진에관한특별법」은 법령 제명이 수차례 바뀌어 2021년 6월 기준으로 2020년 12월에 개정된 「농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌지역 개발촉진에 관한 특별법」(약칭: 농어업인삶의질법)을 사용하고 있다.

4) 2010년 「삶의 질 향상 특별법」 개정을 통해 농어촌서비스기준 운용을 위한 법적 근거를 마련하였으며, 농어촌서비스기준을 '농어업인 등이 일상생활을 하는 데 요구되는 공공서비스 중 대통령령으로 정하는 서비스 항목과 그 항목별 목표치'로 정의하였다. 농어촌서비스기준 핵심 항목은 거주 지역에 상관없이 국민으로서 누려야 할 기본적인 최소한의 삶의 질 수준인 동시에 모든 농어촌 시·군에 적용되는 '국가 최소 기준(National minimum)'으로서 중앙정부가 제시하고 관리한다.

비스기준은 2013년 '안전' 부문과 '경찰순찰' 항목을 신설하여 9개 부문 32개 항목으로 확대 변경되었다. 이에 매년 농어촌서비스기준의 핵심 항목에 대한 이행실태 점검 및 평가를 통해 지자체 단위로 크게 의료복지, 교육·문화, 정주여건, 경제활동에 대해 국가 최소기준(National minimum)에 대한 달성도와 목표치를 점검하고 있다.

이러한 법과 제도의 목표를 전환하여 농촌의 다양한 현안들에 대한 수요를 맞춤형으로 대응하면서 정량적이고 실천적인 해결방안을 모색하기 위해서 시스템 관점에서 해당 현상의 구체성을 파악할 필요가 있다(Boon & Edler, 2018). 시스템 사고(Systems thinking) 혹은 시스템 관점(Systems perspectives)은 사물이나 현상을 전체적인 맥락에서 바라보고 시스템을 구성하는 다양한 요소들의 상호작용을 파악함으로써 이러한 상호작용이 전체 시스템에 어떠한 영향을 주는지 알아내어 전체적으로 최적화하는 것을 말한다(Senger, 1997). 사회 현상에 대한 문제를 해결하고자 하는 목적을 가진 현대 정책은 다수의 참여자가 여러 목적함수를 가지고 다양한 대안에 대한 선호를 갖고 있으며, 다른 정책이나 여러 환경변수에 영향을 받는 복잡성을 가지고 있다(DeLaurentis & Callaway). 이에 시스템 관점으로 사회의 현안이 되는 현상에 대하여 주체를 파악하고 추동되는 원인을 파악하는 접근을 통해 문제에 대한 이해를 높이고 데이터 기반의 정량적인 분석 방법을 통해 실효성 있고 유용한 시사점을 제공할 수 있다(Jackson *et al.*, 2010).

2. 연구의 목적

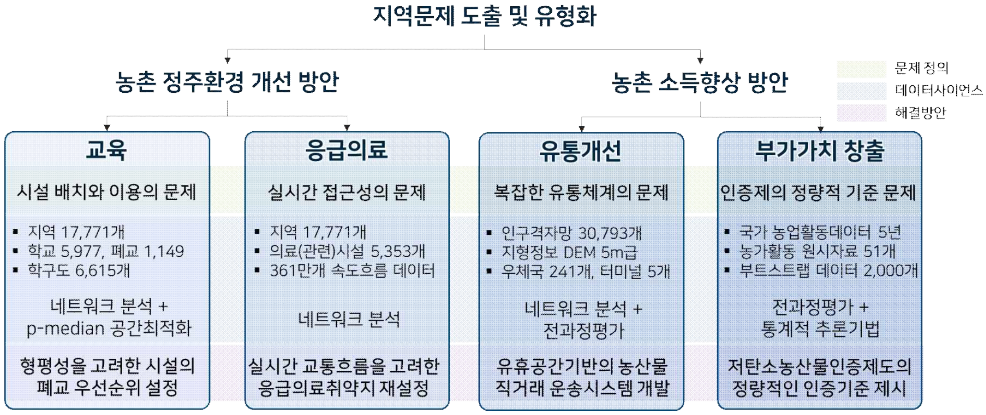
본 연구는 농촌지역의 주요 현안을 정부의 사업들을 대상으로 도출하고, 도출된 지역문제를 데이터사이언스를 기반으로 시스템 접근방법으로 해법을 찾을 수 있는 방안을 모색하였다. 이를 위해 (1) 지역개발사업과 관련된 문헌 검토를 수행하였으며, 농촌지역의 문제를 정주환경개선과 소득향상의 핵심분야인 교육, 의료, 유통개선, 부가가치 창출과 관련한 주제의 현안으로 정형화하였다. (2) 농촌지역에 대한 각각의 현안들에 대하여 시스템 관점에서 문제를 정의하고, 이를 데이터사이언스 기반의 분석기법을 바탕으로 문제를 해결하는 일련의 과정을 수행하였다. (3) 이러한 분석과정을 통해 농촌지역 시스템을 구성하는 다양한 요소들의 데이터에 대한 활용가능성과 적절한 분석기법에 대한 적용성을 평가하였다.

제 2 절 연구 구성

농촌의 문제를 데이터 기반으로 해결하는 방안을 모색하는 본 연구는 농촌지역을 시스템(System)으로 바라보는 것부터 시작한다. 시스템이란 달성하고자 하는 목적을 위하여 각 구성요소가 상호작용하는 집합체라고 정의할 수 있다. 먼저 농촌이라는 지역시스템에서 달성하고자 하는 목적은 지역이 주민들의 삶의 질을 영위하기 위해 수행하는 기능으로 정의하였다. 여기서 지역이 수행하는 기능은 분야별로 크게 의료복지, 교육·문화, 정주여건, 경제활동 등으로 구분할 수 있다. 이러한 시스템의 목적을 달성하기 위하여 구성요소들이 상호작용을 이루는 시스템의 특징에 따라, 농촌지역의 문제를 시스템 관점으로 해결하기 위해서는 각 주체들이 연결성을 기반으로 한 상호관계 분석이 핵심이다. 이를 위해 본 연구에서는 지역시스템의 주체들의 상호작용을 분석하기 위해 가용할 수 있는 대용량의 데이터를 기반으로 한 네트워크 분석을 근간으로 하였으며 필요에 따라 지리정보시스템, 환경성 평가, 통계적 기법 등을 융합하였다.

본 연구의 핵심 구성은 연구의 서론 이후 크게 기본 이론, 지역문제 도출 및 유형화 연구, 정주환경 개선 및 소득향상 분야의 지역문제 해결을

위한 시스템 접근방안 연구 등 4개의 영역으로 구성된다(Figure 1-1). 그리고 지역문제 해결을 위한 시스템 접근방안 연구에서는 각 분야별로 시스템 관점에서 해결할 수 있는 문제를 정의하고 데이터사이언스 기법을 이용하여 해결방안을 제시하는 일련의 순서를 따라 연구를 수행하였다.



[Figure 1-1] The major ingredients of this study, “Data-Driven System Analysis for Regional Issues”

제2장 기본 이론에서는 데이터사이언스에 기초하여 지역의 다양한 문제를 해결하기 위한 구체적인 방법론을 고찰한다. 구체적으로 데이터사이언스의 정의와 더불어 접근성 평가를 위한 네트워크 분석, 시설입지 설정을 위한 공간최적화 기법, 환경성평가를 위한 전과정평가, 정량적 기준 마련을 위한 통계적 추론 기법 등에 대하여 논의한다.

제3장 지역문제 도출 및 유형화 방안 연구에서는 정부별 국정운영 5개년 계획에 제시된 국가 비전이 지역개발사업과 관련한 국정목표 및 국정전략, 국정과제에 어떠한 영향을 미치는지 고찰한다. 지역개발사업과 관련한 문헌 검토를 통해 지역문제를 도출하고 유형화한다.

제4장 농촌 정주환경 개선을 위한 시스템 분석 연구에서는 크게 지역이 당면한 현안 중 교육분야와 응급의료분야의 문제를 정의하고 이를 해결하는 연구를 수행한다. 먼저, 교육분야의 경우 학령인구 감소에 따른 농촌지역의 교육시설 통폐합을 위해 휴리스틱 공간 최적화 기법을 이용하여 학교의 운영 혹은 폐교에 대한 의사결정을 내릴 수 있는 모델을 개발한다. 응급의료분야의 경우 도시와 농촌지역의 시간대별 실시간 도로속도 변화에 따른 응급의료 접근성 변화를 분석하고 이에 따른 응급의료 취약지와 응급환자 생존율을 평가하며, 다양한 응급상황 시나리오를 구축하여 상황별 생존확률 변화 분석을 통해 개선방안을 도출한다.

제5장 농촌 소득향상을 위한 시스템 분석 연구에서는 유통개선 및 부가가치 창출 분야의 문제를 정의하고 이를 해결하는 연구를 수행한다. 유통개선의 경우 농산물 운송의 한계비용을 최소화하기 위하여 광역교통망의 유휴공간과 친환경 운송수단을 이용한 새로운 형태의 스마트로지스틱스 시스템을 개발한다. 이 시스템의 환경성, 경제성, 사회성을 평가할 수 있는 프레임워크를 구축하고 기존의 택배망과 비교를 통해 적용가능성을 평가한다. 부가가치 창출 분야에서는 저탄소농산물인증제도를 대상으로 통계적 추론 기반의 인증기준 설정 모델을 개발한다. 기존 인증기준인 국가평균값과 농업 생산환경의 불확실성을 고려한 통계적 추론값과 비교를 통해 저탄소농산물인증제도의 적절한 인증기준의 통계적 대안을 제시한다.

제6장 종합 결론에서는 전체 연구내용과 주요 결과를 종합적으로 정리한다. 지역의 현안은 크게 정주와 소득의 문제로 정형화 할 수 있으며, 현안 해결을 위해 농촌의 지역시스템을 구성하는 다양한 요소들의 데이터의 활용가능성과 요소간의 연결을 고려한 시스템 접근방법을 통한 해법도출 방안을 제시한다.

제 2 장

기본 이론

제 1 절 데이터사이언스

세계적인 영향력을 가진 영국의 경제지 The economist는 2017년 5월에 '세상에서 가장 가치있는 자원은 데이터'[5]라는 기사를 실으며 데이터의 중요성을 언급하였다. 4차산업혁명 시대에 정보통신기술의 발전과 함께 가용할 수 있는 데이터의 종류(Variety)와 속도(Velocity), 크기(Volume)가 증가하는 데이터 환경의 변화 속에서 데이터 분석을 통해 가치(Value)를 창출하는 데이터사이언스(Data science)가 대두되고 있다.

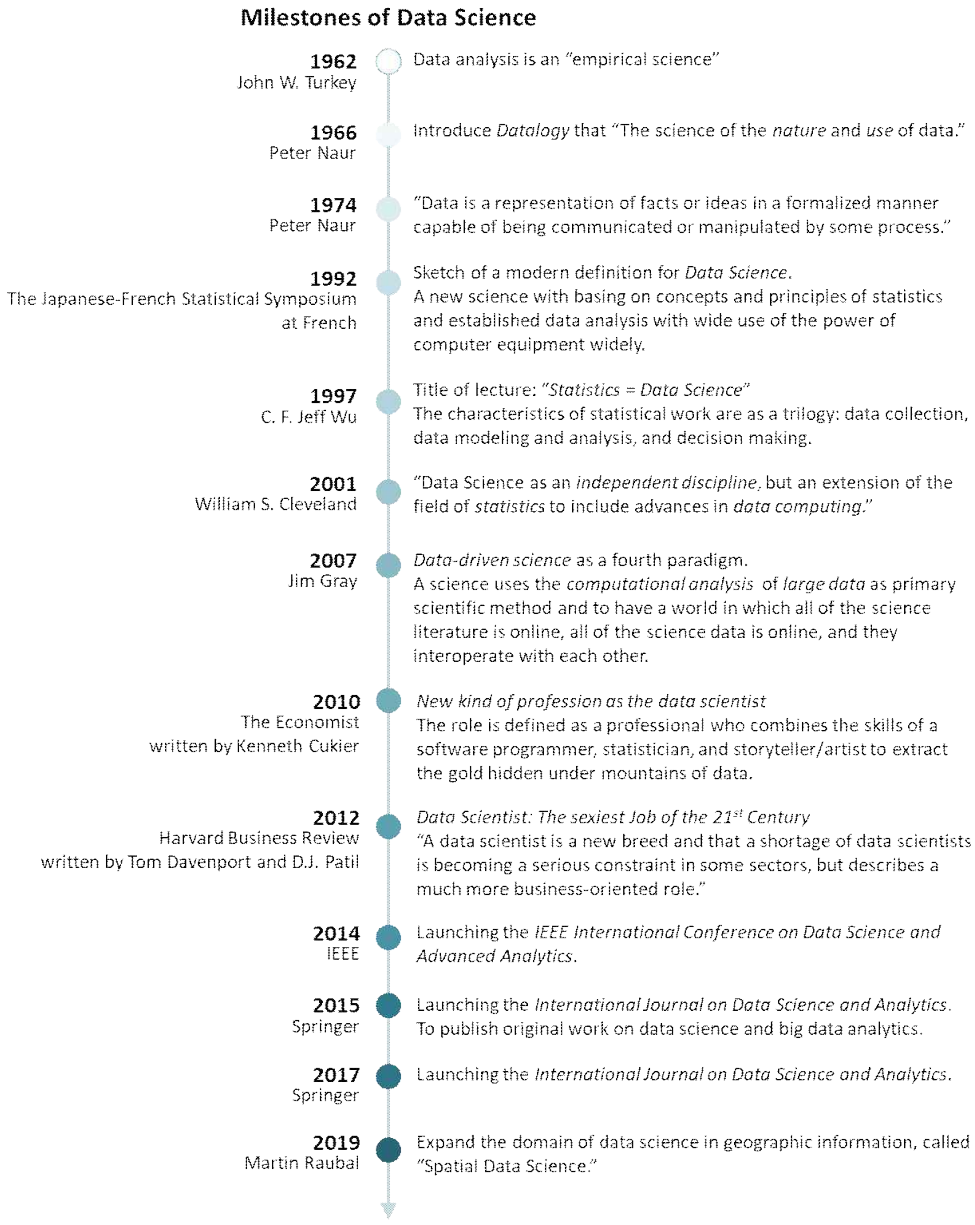
데이터사이언스라는 용어는 여러 학자로부터 통계학 및 컴퓨터공학 분야에서 대두되기 시작하였으며 학술대회와 학회지 같은 학문 영역의 하나로 자리매김하고 있다(Figure 2-1). 먼저 John Tukey(1962)는 통계학(Statistics) 분야에서 통계적 추론을 하나의 구성요소로 보는 데이터 분석(Data analysis)이라는 새로운 학문을 제안하면서 등장하였다. 이후 Mosteller & Tukey(1968)의 공동저서인 "Data Analysis, Including

5) 세상에서 가장 가치있는 자원은 더 이상 원유가 아닌 데이터이다. "The world's most valuable resource is no longer oil, but data.", The Economist, May 6th 2017. Available at: https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data

Statistics"에서 데이터 분석은 본질적으로 경험적 과학("Data analysis is intrinsically an empirical science", 1962. p.63)이라고 기술하였다. 이후 1990년대 후반에 통계학자들이 컴퓨터 과학자들과 함께 대규모 데이터셋의 계산에서 수학적 정확성(Mathematical rigor)에 대한 필요성을 논의하면서 두드러지게 되었다(Kelleher & Tierney, 2018).

통계학자인 Jeff Wu(1997), Chikio Hayashi(1998) 및 William Cleveland(2001)은 통계학 분야에서 데이터사이언스라는 용어를 사용하였다(Macnaughton, 2017). 또한, 컴퓨터 과학의 노벨상이라고 불리는 튜링상(Turing Award)을 수상한 Jim Gray는 데이터사이언스를 과학의 네 번째 패러다임(경험, 이론, 계산, 그리고 데이터)으로 정의하고 과학에 관한 모든 것이 바뀌고 있으며, 그 이유는 정보기술의 발달과 데이터 범람(data deluge) 때문이라고 주장했다(Hey *et al.*, 2009; Bell *et al.*, 2009). 또한 국내의 데이터 전문가 중 한명인 김옥기(2018)는 《데이터과학, 무엇을 하는가?》 저서에서 데이터과학이란 고차원적인 분석 알고리즘을 사용한 분석만을 의미하는 것이 아니라, 데이터를 "정제, 가공하여 적절한 곳에 인간의 영감을 더해 다양한 사회적, 경제적, 경영적 문제를 해결하는 지속적인 과정"이라고 정의하였다.

데이터사이언스에 대한 정의는 연구자에 따라 다양하지만, 이를 종합하면 광의의 데이터사이언스는 다양한 형태의 대규모 데이터로부터 지식과 유용한 패턴을 추출하기 위한 일련의 원칙, 문제 정의, 알고리즘 및 프로세스를 망라하는 융합분야로 정의할 수 있다(Dhar, 2013; Leek, 2013; Hayashi, 1998). 통계학자 John Tukey의 제자인 Donoho는 2015년 Tukey Centennial Workshop에서 Tukey(1962)의 질문에 대한 50년 뒤의 답변이라는 형태로 Tukey의 데이터 분석 분야에서의 선구자적인 업



[Figure 2-1] Milestones of Data Science in researchers and journals and their definitions

적과 더불어 데이터 사이언스의 기원을 추적하는 주제로 발표하였다. 그러면서 그는 그동안의 통계학자들은 데이터를 이용한 모형화에만 초점을 맞추었을 뿐 데이터의 탐색, 준비, 표현, 변환, 시각화, 발표와 같은 과정의 중요성을 인지하지 못하였다고 비판하였다.

Donoho(2015)는 데이터사이언스란 좁은 의미에서의 통계 방법론 혹은 정량적인 방법론이 아니라 다음 6가지의 활동을 포괄하는 학문 분야라고 정의하였다:1) 데이터 탐색과 준비(Data exploration and preparation), 2) 데이터 표현과 변환(Data representation and transformation), 3) 데이터를 이용한 연산(Computing with data), 4) 자료를 이용한 모형화(Data modeling), 5) 데이터 시각화와 프레젠테이션(Data visualization and presentation), 6) 데이터사이언스에 대한 과학(Science about data science).

이와 비슷하게 Brady(2019)는 데이터사이언스는 1) 분야별로 전문성에 기반하여 연구목적에 맞는 적합한 데이터를 수집하고, 2) 적절한 프로그래밍 기술을 통해 원데이터를 분석 가능한 데이터로 표현하고 구조화하며, 3) 통계적·수학적으로 모형화하여 통찰을 얻고, 4) 데이터를 시각화하여 묘사하며, 5) 기록보관 및 데이터 관리정책을 다루는 일련의 과정으로 이루어져 있다고 정의하였다.

데이터사이언스 분야에서 활용 가능한 데이터가 빅데이터의 형태로 증가하고 있으며, 이와 더불어 다양한 분석 방법의 진보로 지역 특성이 고려된 데이터는 다방면의 다양한 형태로 빠르게 진화되고 있다. 이러한 흐름에 발맞춰 지역문제를 해결하는 방안을 모색하는데에 적합한 데이터를 취득하고 정제하여 적절한 방법론을 통해 분석한 결과를 효율적으로 표현할 수 있는 시각화 단계를 수행할 수 있다.

제 2 절 데이터사이언스 기반의 지역문제 해결을 위한 방법론

1. 접근성 평가를 위한 네트워크 분석 기법

네트워크(Network)는 노드(Node), 링크(Link), 경로(Path), 용량(Capacity) 등 구성요소들이 상호 연결되어 특정한 기능을 수행하는 하나의 시스템(System)으로 결합된 형태를 의미한다. 예를 들어 도로 및 철도와 같은 구성요소들이 서로 연결하여 특정한 기능을 수행하는 교통망(Transportation network) 혹은 통신망(Telecommunication network) 등이 있다. 이러한 네트워크 분석은 시스템을 구성하는 구성요소들의 여러 가지 복잡한 상호작용을 네트워크 형태로 표현하여 시스템의 당면문제를 해결하는 계획기법 중 하나이다.

- 노드(Node) : 네트워크 분석의 대상이 되는 모든 활동(Activity)
- 링크(Link) : 네트워크 분석대상이 되는 모든 활동을 연결하는 연결선

- 경로(Path) : 상호작용에 따라 활동들을 연결하여 방향성이 갖는 흐름
- 용량(Capacity) : 분석대상 link가 허용할 수 있는 최대 활동의 규모

접근성(Accessibility)은 여러 가지 의미에서 장소의 지리적 접근성, 개인적 접근성, 기술·산업적 접근성, 사회·제도적 접근성, 사이버 접근성 등으로 구분할 수 있다(Niles & Hanson, 2001). 이러한 다양한 의미의 접근성은 '개인에게 주어지는 기회와 다양한 환경을 고려하여 어떠한 목적지에 도달하기 위한 정도'라고 정의하고 있다(Hansen, 1959). 그 중에서도 네트워크 기반의 두 지점 사이의 거리 추정을 통한 접근성을 정량적으로 분석하기 위하여 기하학이론, 그래프이론, 행렬연산법, 중력모형 등 다양한 기법으로 발전되었다.

과거 공간상의 두 지점에 대한 거리 추정을 통해 접근성을 산정하기 위하여 가장 쉽고 빠른 유클리디안 직선거리(Euclidean Distance)를 이용한 연구가 주를 이루었다(Wesolowsky, 1973). 유클리디안 직선거리를 이용할 경우 도시지역에서는 일정 수준의 비교적 높은 정확성을 갖지만, 도로망의 구성과는 무관하게 산정되며 지리적 영향을 반영하지 못하여 농촌과 같은 비도시화 지역에서는 큰 오차가 발생할 수 있는 한계를 가지고 있다(Kim *et al.*, 2013). Kim *et al.*(2015)의 연구에 의하면 직선거리와 실제로 이용 가능한 도로망에 따른 거리를 산출하여 비교한 결과, 직선거리는 지형 및 도로의 구배와 같은 지리적인 특성이 반영되지 않아 그 결과가 과도하게 왜곡될 수 있음을 지적하였다.

직선거리의 한계 때문에 실제 거리와 가까운 거리를 산정하기 위한 거리추정의 한 기법인 우회계수(Circuity Factor)의 개념이 등장하고 실제 접근성 분석에 활용되었다(Fricker, 1986; Ballou *et al.*, 2002;

Giacomin & Levinson, 2015; Jeon *et al.*, 2017). 우회계수는 두 지점간의 공간적 직선거리와 실제 도로망을 통한 최적경로 길이의 비율을 말한다. Kim *et al.* (2013)은 국내 도로망을 바탕으로 전국 단위, 도 단위, 대도시 단위로 나누어 우회계수를 산정하였으며, Jeon *et al.*(2017)은 농촌지역의 공공시설을 고려한 우회계수를 산정하였다.

실제 도로거리를 모사하면서 계산의 간편성을 갖춘 추정도로거리는 여전히 실제 상황을 반영하지 못한다는 한계가 존재하였다. 이 한계를 극복하기 위하여 거리 추정의 정확도를 높이기 위해 정밀한 공간정보 구축과 GIS 분석기법의 발달로 실제도로거리 산정하는 기법을 이용하였다. 이를 통해 정밀한 도로망을 구축하거나 Google, NAVER, Daum과 같은 검색엔진에서 제공하는 지도서비스를 기반으로 실제도로거리를 추정하여 접근성을 산정하였다.

접근성 분석에 시간 개념을 더하여 실제도로거리에 도로의 제한속도 속성값을 반영하여 속도(시간)거리를 추정하였다. 여기에 최근에는 실시간으로 제공되는 교통흐름 데이터를 이용하여 시간대별로 실시간 교통흐름 속도 기반의 접근성 분석을 수행함으로써 현실 상황을 보다 정확하게 모사할 수 있다.

이러한 거리기반의 접근성 분석 지표는 네트워크를 기반으로 한 지역문제를 해결하는데에 활용될 수 있다. 수요와 공급에 따른 시설의 배치와 이용에 대한 문제는 시설까지의 접근거리를 산정하는데 활용할 수 있다. 또한 응급의료와 같이 시간 개념이 중요한 문제에서는 실시간 교통흐름 데이터를 이용하여 시간대별로 응급의료서비스에 대한 접근성을 산정할 수 있다.

2. 시설입지 설정을 위한 공간최적화 기법

시설은 목적에 따라 시설이용의 비용이 최소가 되며 효용의 최대가 되는 지점에 입지한다. 수요자의 밀집이 높은 곳에 입지하는 상업시설과 달리 공공재 성격을 띠는 공공시설의 경우 시설의 효율성뿐만 아니라 이용자를 위한 공간적 형평성 역시 함께 고려되어야 한다(Yoon & Lee, 2010).

시설입지에 대한 고전 이론은 Von Thünen(1826)의 농업입지이론을 시작으로 Alonso(1964)와 Muth(1969)의 주거입지이론, Huff(1963)의 상업입지와 상권분석에 대한 상업입지이론, Weber(1929)의 공업입지이론 등이 있다. 기존의 입지이론을 바탕으로 Teitz(1968)은 공공부문(Public sector)과 민간부문(Private sector)의 시설이 가진 특성이 다르므로 공공시설 입지이론을 정립하였다.

공공시설의 입지모형은 크게 목적함수, 데이터, 접근방법에 따라 분류할 수 있다. 목적함수에 따른 공공시설의 입지모형은 서비스 수요를 최대화하거나 서비스 비용을 최소화, 혹은 행정서비스의 형평성을 최대화하는 모형으로 구분할 수 있다. 또한 공공시설이 입지할 공간생태의 구분 방법에 따라 연속된 유클리드 평면으로 가정한 연속모형과 공간을 노드와 링크로 구성된 네트워크로 가정한 이산모형으로 나눌 수 있다. 마지막으로 접근방법에 따라 수리적 방법, 기하학적 방법, GIS 분석 등으로 구분할 수 있다.

대표적인 공공시설 입지모형은 단일시설의 입지문제를 해결하는 Weber 모형 및 Rawls 모형과 다수시설의 입지문제를 해결하는 입지배분모형(Location-Allocation Model, 이하 LAM)이 있다.

- Weber 모형 : 공간적 효율성에 초점을 맞춰 공공시설과 이용자 사이의 총통행거리를 최소화하여 단일 공공시설의 입지 지점을 찾는 연속모형

- Rawls 모형 : 공간적 형평성에 초점을 맞춰 누구라도 공공서비스를 이용하는데 불편이 없도록 공공시설과 이용자 사이의 최대통행거리를 최소화시켜 단일의 공공시설의 입지 지점을 찾는 연속모형

- 입지배분모형(LAM) : 공간적 효율성과 형평성에 초점을 맞춰 공공시설과 이용자 사이의 총 통행거리를 최소화하는 다수의 공공시설의 입지 지점을 찾는 이산모형

LAM 기반의 시설이 입지할 공간을 노드와 링크로 구성된 네트워크 구조로 가정한 이산모형에서는 P-median 모형, 단일시설입지모형, 범위설정모형 등이 대표적으로 활용된다.

- P-median 모형 : 공공시설과 시설이용자 사이의 총 통행거리의 합을 최소화하면서 P개의 공공시설을 수요점에 입지시키는 모형

- 단일시설입지 모형 : 시설이용자의 총통행거리(실제 통행거리)를 최소화하는 하나의 입지점을 찾는 모형

- 범위설정 모형 : 서비스 이용자와 공공시설 사이의 최대허용거리를 미리 설정해 놓고 그 조건을 만족시키는 범위 내에서 최적의 입지를 찾는 모형

Bash *et al.*(1980)은 주요 시설물의 입지를 선정할 때 접근성과 효율성, 형평성을 고려해야 하며, 이는 지역의 서비스 수혜 범위를 구분하는 과정에서부터 시작한다고 주장하였다. 접근성과 더불어 시설의 효율성과

형평성을 고려한 공공시설에 대한 입지선정 연구는 시설의 성격에 따라 선호시설 혹은 비선호시설의 입지분석에 대한 연구가 있다. 최근 공공시설에 대한 입지는 소방서, 공항, 보건소, 마을회관 등을 다양한 공공서비스를 제공하는 시설을 대상으로 하였다(Tali *et al.*, 2017; Ramezani *et al.*, 2021; Abdelkarim, 2019; Mishra *et al.*, 2021). 또한 공유자전거와 공유차량과 같은 공유자원의 이용에 대한 거점 시설의 입지에 대한 연구가 이루어지고 있다(Askari *et al.*, 2017; Sayarshad & Chow, 2017; Oliveira Lage, 2019).

특히 입지에 대한 모델링과 분석에서 GIS는 중요한 역할을 담당하며(Church, 2002; Murray, 2010; Tong & Church, 2012), GIS의 데이터 수집, 시각화 및 공간 분석 기능을 통해 입지 모델의 수요와 공급 분석을 용이하게 하였다(Panichelli & Gnansounou, 2008; Yeh & Chow, 1996).

Cooper(1963)는 입지-배분(Location-Allocation) 문제에서 계산량을 줄이기 위하여 극한방정식(Extremal equation)과 휴리스틱(Heuristic) 방법을 제시하였다. 그 중에서 Teitz & Bart(1968)은 P-Median 문제에서 다양한 휴리스틱 기법 중 널리 사용되는 Vertex substitution 접근방법을 제시하였다. 이후 Densham & Rushton (1992)는 Teitz & Bart(1968)의 Vertex Substitution의 휴리스틱 기법이 대규모의 p-median에 적합하지 않음을 밝히며 계산량을 줄이며 광역의 최적 해결 방안을 모색할 수 있는 새로운 형태의 휴리스틱 모델을 제안하였다.

Chukwusa & Comber(2018)은 영국 Leicester와 Leicestershire 지역에 응급의료서비스(Emergency Medical Service, EMS) 시설에 대해 주거 및 비주거 수요를 고려하여 시설의 입지-할당 문제를 모의하였다.

그 결과 거주 수요를 고려한 시설의 입지에 따른 커버리지 면적이 실제 수요 커버리지 면적보다 과대추정된다는 것을 밝혔다. 이는 EMS 시설과 같이 시설을 이용할 예상 수요의 시간적 변화를 고려하여 시설 입지를 결정할 필요가 있다고 시사하였다.

Park *et al.*(2013)은 Heuristic P-Median 알고리즘을 이용하여 자전거 주차장의 위치를 결정할 수 있는 모형을 구축하였다. 이를 위해 예산 제약이 있는 경우와 예산 제약이 없는 경우로 구분하여 보행통행 일반화 비용과 설치비용을 최소화하는 목적함수를 만족시키는 해를 구하는 알고리즘을 개발하였다.

Choi & Park(2018)은 1:5,000 도로네트워크 기반으로 공간 입지-배분모형을 개발하여 화재 취약지역을 도출하였다. 이를 위해 입지-배분모형의 Minimum Impedance (P-median)과 Maximum Coverage 방법에 따라 화재 출동거점 입지 후보지를 선정하였다.

Bolouri *et al.*(2018)은 소방서를 대상으로 여러 입지 후보지 가운데 수요와 후보지 사이의 거리 최소화, 후보지로부터 도착 시각 최소화, 후보지의 커버리지 면적 최대화와 같은 다중 목적함수를 만족시키는 입지-배분 모형을 구축하였다. 이 모형을 통해 여러 후보지 가운데 목적함수의 가중치에 따라 최적의 후보지를 제안하는 후보지 우선순위를 설정하였다.

이러한 시설입지를 위한 공간최적화 기법은 지역 주민의 거주분포, 이동동선, 시설이용빈도 등을 고려하여 시설의 배치와 이용의 문제를 해결하는데에 활용할 수 있다. 특히 새로운 시설을 신설하거나 운영상 이유로 폐쇄하거나 이용성을 높이기 위해 이동해야 하는 등의 다양한 시설입지 방안에 대한 문제에 적용할 수 있다.

3. 환경영향 평가를 위한 전과정평가 기법

전과정평가(Life Cycle Assessment, 이하 LCA)는 제품이나 서비스의 전과정(원료 채취, 운반, 생산 및 조립, 가공, 유통, 판매, 폐기, 재활용 또는 재사용을 포함하는 과정)에서 사용되거나 배출되는 원자재 및 에너지 사용량과 환경으로 방출되는 오염물 혹은 배출물 등의 환경부하를 고려하여 이들의 잠재적인 환경영향을 정성적 혹은 정량적으로 분석하는 방법[6]이다(Ilgin & Gupta, 2010; EPA, 2012; Mattews *et al.*, 2014; Klopffer & Grahl, 2014). LCA는 국제표준화기구(International Organization for Standardization, 이하 ISO)에서 환경관리규격(ISO 14000 Series; Environmental management) 작성 작업의 일환으로서 전과정평가의 절차와 방법의 규격화가 진행되고 있다.

- ISO 14040: LCA - Principles and framework
- ISO 14041: LCA - Goal and scope definition and inventory analysis
- ISO 14042: LCA - Life cycle impact assessment
- ISO 14043: LCA - Life cycle interpretation

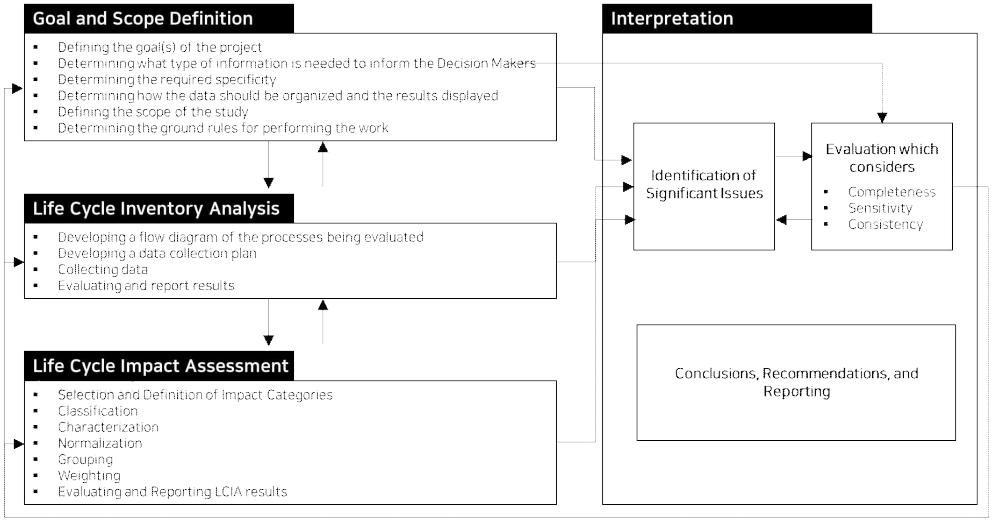
---

6) 국제표준화기구(International Organization for Standardization)의 ISO14040: LCA-Principles and Framwork에서 LCA는 “A technique for assessing the environmental aspects and potential impacts associated with a product, by 1) compiling an inventory of relevant inputs and outputs of a product system, 2) evaluating the potential environmental impacts associated with those inputs and outputs, and 3) interpreting the results of the inventory analysis and impact assessment phases in relation to the objectives of the study.”로 정의하였다.

- ISO 14047: LCA – Examples of application of ISO 14042
- ISO 14048: LCA – Data documentation format
- ISO 14049: LCA – Examples of application of ISO 14041

LCA를 응용한 사례는 다양하나 제품, 프로세스의 개선 및 소비자에게 환경정보 제시 및 환경라벨과 관련된 제품LCA(PLCA), 폐기물 처리·재활용 시스템의 종합적 평가를 위한 폐기물LCA(WLCA)와 유해물질의 통합적인 리스크(Risk) 관리를 위한 물질LCA 등으로 크게 구분할 수 있다.

LCA는 크게 목적 및 범위설정(Goal and scope definition), 전과정 목록분석(Life cycle inventory analysis), 전과정 영향평가(Life cycle impact assessment), 그리고 해석(Interpretation)의 4단계로 구분된다 (Figure 2-2).



[Figure 2-2] Life cycle assessment (LCA) framework and process defined by International organization for standardization (ISO 14040) sourced by Kim *et al.* (2018)

목적 및 범위 설정(Goal and scope definition) : LCA의 목적과 평가결과의 활용 분야를 구체화하는 단계로서, 적용대상과 분석의 범위, 주제, 기능 단위(Functional unit) 등을 명확히 설정한다.

전과정 목록분석(Life cycle inventory analysis) : 정의된 시스템에 입·출력되는 모든 에너지, 원료, 제품, 부산물 및 환경오염 배출물들의 종류와 양을 규명하고 정량화하는 단계로서, 일반적으로 흐름도 작성, 수집, 환경부하 계산 및 목록분석 결과에 대한 해석 등의 단계로 진행된다.

전과정 영향평가(Life cycle impact assessment) : 전과정 목록분석 단계에서 규명된 에너지 및 자원의 소요와 배출물이 환경에 미치는 잠재적 영향을 기술적, 정량적, 혹은 경우에 따라서 정성적으로 파악하고 평가하는 과정이다. 일반적으로 영향평가는 전과정평가의 목적과 범위에 맞추어 환경영향의 범주별로 목록분석 결과를 분류하는 분류화(Classification), 분류된 항목들이 해당 범주에 미치는 영향의 정도를 정량화하는 특성화(Characterization), 그리고 환경영향의 범주별 중요도를 결정하는 가치평가(Weighting) 등 세 단계로 구성된다.

해석(Interpretation) : 전과정평가에 대한 해석은 목적 및 범위와 일치해야 하며, 일관성 및 완전성이 보장되어야 하고, 이해하기 쉬워야 한다. 전과정평가의 목적에 대한 해석은 평가결과와 비교하여 신뢰성과 유효성을 검토하게 되며, 목록분석 결과로는 다른 제품 또는 시스템과의 정성적인 비교가 가능하다. 영향분석에 대한 해석에는 환경영향의 정량적 평가, 각 환경문제의 상대적 중요성에 대한 단일지표에 의한 상대평가, 제품 시스템의 개선에 대한 검토 등이 포함될 수 있다.

다양한 분야에서 제품이나 서비스에 대한 환경영향을 평가하고자 LCA

가 적용되었으며, 농업분야 역시 식품에 대한 품질 및 안전성에 대한 정보 요구의 증가로 농식품에 대한 환경성 평가의 필요성이 증대되었다(Kim, 2000; Notarnicola *et al.*, 2012). 이에 1990년대부터 유럽국가를 중심으로 농산물과 농산품을 대상으로 한 LCI와 LCA 방법론이 구축되고 환경영향 평가가 수행되어 왔다(Lim *et al.*, 2010). 공산품의 LCA와 달리 농산물 생산시스템에 대한 LCA의 시스템경계는 생산단계(생산전단계와 생산단계)에 초점을 맞추고 있으며 유통 및 소비단계를 제외하고 있다.

LCA를 이용한 농산물 생산의 환경영향은 국내외에서 모두 수행되고 있다. 국외에서는 비료(Hanserud *et al.*, 2018)와 더불어 밀(Charles *et al.*, 1998; Brentrup *et al.*, 2004), 쌀(Blengini *et al.*,2003; Roy *et al.*, 2009; Harun *et al.*, 2021), 에너지 및 원예작물(Nienhuis & de Vreede, 1996; Hanegraaf *et al.*, 1998) 등을 다양한 농산물을 대상으로 LCA가 수행되었다. 국내에서는 Shim *et al.*(2010)의 LCA 도입을 통한 농업환경영향 평가를 시작으로 다양한 작물 및 유기농자재(Yoon & Yang, 2012), 작물보호제(Son *et al.*, 2019)를 중심으로 LCA 기반의 환경영향 혹은 물발자국을 평가하였다. LCA 대상이 된 작물은 주곡인 쌀(So *et al.*, 2010a), 콩(So *et al.*, 2010b), 고추(So *et al.*, 2010c), 감자(So *et al.*, 2010d), 시설방울토마토(Kim & Yoon, 2011), 마늘(Yoon *et al.*, 2012), 배추(Son *et al.*, 2013) 등이 있다.

LCA는 단일 작물 혹은 농자재에 대한 환경성평가 뿐만 아니라 환경라벨링(Environmental labeling)의 인증기준을 마련하기 위한 정량적인 방법론으로서 사용되고 있다(Davis *et al.*, 1993). 에코라벨을 수여하는데 가장 중요한 환경영향을 평가하고, 인증기준의 최소 숫자 혹은 범위를 정

의하기 위하여 LCA 기법이 사용된다(Bratt *et al.*, 2011). 특히 환경라벨링의 한 분야인 탄소라벨링(Carbon labeling)은 LCA 방법론에 기초하여 인증대상 제품의 전과정에 걸쳐 사용되는 자원과 배출되는 물질 중 온실가스와 관련한 환경영향을 이산화탄소환산량으로 정량화하여 제품에 표기하는 제도이다. 국내에서 농산물을 대상으로 시행하고 있는 대표적인 탄소라벨링은 저탄소 농축산물 인증제로써 농업 분야에서 농산물 생산에 따른 온실가스를 저감시키기 위한 제도이다(Lee *et al.*, 2019; Lim, 2016; Liu *et al.*, 2016).

LCA를 이용하여 관행농과 유기농과 같은 농산물 생산 방식에 따른 환경성을 비교한 연구는 다양한 작물을 대상으로 하였다. Lim *et al.*(2010)은 쌀을 대상으로 관행농과 유기농 쌀의 환경성과 외부비용을 분석하였다. Yoo *et al.*(2012a) 역시 쌀을 대상으로 관행농과 무농약, 유기농에 대한 영농방법별 탄소배출량을 비교하였으며, Yoo *et al.*(2012b)는 관행농 쌀을 대상으로 탄소배출량을 평가할 때 Top-down 방식의 국가 평균값과 Bottom-up 방식의 농가 사례분석값을 비교하였다. 이를 통해 농산물을 대상으로 한 저탄소인증제도의 품목별 인증기준을 합리적으로 설정하기 위해서는 일관성 있는 실제 농가의 활동데이터 수집이 중요하며 대표성을 갖출 수 있도록 모집단의 선발과 수집 기간에 대한 논의가 필요하다고 제언하였다. Kim *et al.*(2018)은 쌀을 대상으로 관행농 대비 국내의 친환경농산물인증제도(저농약, 무농약, 유기농)의 환경부하량 감소를 분석하였으며, 이를 해외의 쌀 생산시스템과 비교분석하였다.

농업 분야에서는 저탄소농산물인증제도와 같은 탄소저감을 위한 제도가 마련되어 시행 중이며 농가의 활동데이터를 기반으로 LCA를 수행하여 탄소저감량을 평가한다. 작물생산에 투입되는 농자재의 수량을 기입하는 농

가의 활동데이터는 매년 품목별로 수집되고 있다. 또한 각종 농자재에 대한 전과정인벤토리 역시 지속적으로 업데이트되고 있다. 이러한 품목별 수십 개의 활동데이터와 전과정인벤토리를 기반으로 LCA를 수행하여 지역의 농업활동에 의해 발생하는 환경성 문제를 다양한 환경영향 범주에서 평가하고 해결방안을 제시할 수 있다.

4. 정량적 기준 마련을 위한 통계적 추론 기법

통계학(Statistics)은 연구대상이 되는 집단인 모집단의 특성을 파악하기 위해 모집단으로부터 표본을 수집, 정리, 요약, 분석하여 표본의 특성을 파악하고 이를 이용하여 모집단의 특성을 추론하는 원리와 방법을 제공하는 학문이다(Hays, 1973; Moses, 1986; Moore, 1992; Romijn, 2014; Dodge, 2006).

통계학은 크게 기술통계학(Descriptive statistics)과 추론통계학(Inference statistics)로 구분할 수 있다(Mann, 1995; Upton, 2008). 기술통계학은 수집된 자료의 특성을 쉽게 파악할 수 있도록 자료를 표나 그래프와 같이 시각적으로 표현(Visualization)하고 통계량(Statistic)과 같은 수치를 요약하는 분야이다. 기술통계학에서는 모집단의 특성을 나타내는 모수(Parameter)를 추정하기 위해 수집된 데이터의 평균이나 분산, 상관 함수 등 특징을 파악한다. 추론통계학은 모집단으로부터 추출된 표본의 정보를 사용하여 추정(Estimation)하거나 가설검정(Hypothesis testing)을 통해 모집단의 특성을 파악하는 분야로써 빈도론적 통계학과 베이즈 통계학으로 다시 구분할 수 있다. 추론통계학은 불편추정, 신뢰구간추정, 가설검정, 다변량 분석 등을 통해 모집단의 특징을 표본으로부터 파악한다.

산업분야 뿐만 아니라 농업분야에서도 제도에 대한 인증 기준 혹은 지표를 설정할 때 주로 평균값을 기준으로 설정하는 연구가 대다수이다. 평가항목에 대한 점수의 평균값으로 인증기준을 제시하는 방법은 친환경건축물인증제도(Kim *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2014) , 에너지효율 인증제도(Ko, 2010), 상급의료기관 인증제(Kim,

2015)와 같은 산업부문에서 많이 적용되는 방법이다. Yoon *et al.*(2019)에 따르면 인삼의 GAP 인증을 위해 전체 72개의 평가항목에 대하여 점수화하여 최종적으로 평균값을 산출한다. 농업분야의 저탄소농산물인증제도 역시 매년 농가에서 품목별로 수집된 활동데이터를 기반으로 산출된 온실가스 배출량의 평균값을 이용하여 최근 5개년도의 온실가스 배출량을 기준으로 저탄소 인증기준을 설정하고 있다. 즉 평균의 평균으로 인증기준을 설정하고 있다.

지금까지는 충분한 표본을 이용하여 모집단이 정규분포임을 가정하고 표본의 통계량 값을 모집단의 모수로 추정하였다. 그러나 농업의 경우 매년 기상조건, 병충해, 토양상태 등 재배환경에 따라 농가별로 농산물 생산에 투입되는 물질의 양에 대하여 편차가 크다(Yang *et al.*, 2018). 따라서 제조업과 같은 산업과 달리 실제 농산물 재배에 영향을 미치는 불확실성이 큰 생산환경 요인들 때문에 정량적인 방법을 이용하여 합리적인 인증기준을 마련하기가 매우 어렵다. 이러한 경우 농업의 환경과 불확실성을 고려하여 제도의 정량적인 인증기준을 마련하기 위해서는 단순히 평균값을 기준으로 삼기 보다는 통계적인 방법을 이용하여 통계적으로 유의미한 수준에서의 인증기준을 마련하는 것이 필요하다. 이를 위해 모집단의 특징을 표본으로부터 추정할 수 있는 통계적 추론 기법으로 정량적인 인증기준을 마련할 수 있다.

제 3 장

지역문제 도출 및

유형화 방안 연구

제 1 절 정부별 지역개발사업 정책 변화 분석

1. 서론

1.1. 배경 및 필요성

우리나라의 농촌 공간은 식량 생산의 공간에서 농촌다움 및 농촌의 다원적 기능 공간으로 전환되었다(Suh *et al.*, 2003). 또한, 농어촌지역개발사업의 패러다임은 농업생산기반과 농촌 생활환경정비 중심에서 농촌 삶의 질 향상으로 전환되었다(Kim & Lee, 2004; Lee *et al.*, 2013; Kang *et al.*, 2016; Sim *et al.*, 2017). 농촌지역을 대상으로 한 지역개발사업은 1950년대 후반 '지역사회개발사업'으로 시작으로 1960년대 '시범농촌건설사업' 및 '초가지붕·부엌개량사업' 등의 주민참여를 기반으로 한 농촌생활개선사업이 시행되었고, 이후 「농촌근대화촉진법」이 제정되면서 1970년대 '새마을운동' 및 '취락구조개선사업'이 시행되었다. 1980년대에는 주민들의 낙후된 주거환경 개선을 위한 정주생활권 개발목표에 따라 농어촌주거환경개선사업, 농가주거환경개선사업, 도서종합개발사업 등

의 시군 단위의 종합적인 농어촌종합개발사업을 추진하였다. 이후 1990년대에 「농어촌발전특별조치법」에 의거하여 면단위의 '정주생활권개발사업'이 시행되었다. 2000년대에 들어서는 농촌지역의 '삶의 질' 향상을 위해 도농교류, 농촌관광, 지역특화산업 육성 등 다양한 사업이 수행되어왔다. 특히, 2003년 참여정부가 헌법에 제시한 발전격차의 해소와 균형발전을 지향하는 국가균형발전 발표를 기점으로 농촌지역개발사업은 그 유형이 다양화되었다(Song, 2017).

지역주민 주도의 지역 특색에 기반한 상향식·내생적 농촌개발 목표는 관련 법령의 제·개정 등과 같은 노력을 통해 지역개발사업을 제도적으로 뒷받침하게 되었다(Lee *et al.*, 2006). 농어촌종합개발계획수립 시행 의무화를 명시하고자 1987년 10월 29일 헌법(제123조)을 전부 개정하였다. 특히, 헌법 제123조 제1항에 '국가는 농업 및 어업을 보호·육성하기 위하여 농·어촌종합개발과 그 지원 등 필요한 계획을 수립·시행하여야 한다'라는 조항이 신설되면서 농어촌의 개발에 대한 항목을 법적으로 명시하였다.

더 나아가 지역개발사업과 관련한 여러 가지 법령을 제정하면서 1990년대에 이르러 농어촌지역개발사업이 제도적으로 정착되었다. 지역 간의 균형 있는 발전을 목적으로 하는 1990년 「농어촌발전특별조치법」을 마련하여 농림어업인의 소득을 보장하는 구조가 개선되었고, 이후 지방자치단체에 특정 세목을 양여하는 1991년 「지방양여금법」이 제정되었다. 이후, 1994년 「농어촌정비법」이 제정되어 농어촌정비, 농업생산정비, 안전관리, 농어촌 주택 등 다양한 항목의 개발이 가능한 법적인 제도가 마련되었다.

정부의 국정운영 계획에 따른 다양한 지역개발사업의 지속적 계획과 추진에 따라, 역대 정부별로 농촌지역을 대상으로 한 지역발전정책을 비교

한 연구가 수행되었으나, 농촌지역을 대상으로 정부별 국정운영 목표에 따른 농촌지역개발사업 관련 계획 및 사업구성 적절성과 사업성 평가를 비교·분석한 연구는 여전히 수행되지 않은 것으로 파악된다. Lee(2009)와 Oh & Rho(2014)는 참여정부와 이명박정부의 지역개발정책을 비교하고 그 성과와 한계를 제시하였으며, Cha(2017)는 박정희정부에서 박근혜정부에 이르기까지 역대 정부의 균형발전정책에 대한 성과를 평가하였다. Lee(2019)는 참여정부부터 문재인정부까지 역대 정부의 지역발전 정책에 대한 지역문제를 정의하고, 지역발전정책의 틀 및 성과와 한계에 대하여 비교하여, 융·복합적인 지역발전정책 개발과 지역별 특화 정책의 필요성을 주장하였다. 특히 Lee(2005)는 농촌을 둘러싼 여건의 변화와 농촌 지역개발사업의 추진방향 및 당시 시행되던 면단위 정주기반확충사업, 농촌마을종합개발사업 등 사업별 기본방향과 세부추진사항을 검토하고 추진여건 등을 고려하여 향후 농촌 지역개발사업의 추진방향을 제시하였으나, 정부의 국정운영 계획과 지역개발사업의 연계성에 대한 고찰 및 사업별 추진 성과 등에 대한 내용은 부재하다.

1.2. 연구목적

본 연구는 참여정부부터 문재인정부까지 국정운영 5개년 계획에 제시된 국가 비전이 지역개발사업과 관련한 국정목표 및 국정전략, 국정과제에 어떠한 영향을 미치는지 고찰하였다. 또한 정부별 지역개발사업 추진방향과 특징에 대한 고찰을 통해 지역문제를 정형화하고 유형화하였다. 이를 위해 농촌지역개발사업의 추진방향과 직접적으로 연관되는 국정운영 기본계획을 바탕으로 정부별 국정방향과 농어촌지역개발사업의 관련 법령 제·개정, 지역개발사업의 추진방향 및 특징, 사업의 성과를 각 정부별로 비교·분석하였다. 이를 바탕으로 결론에서는 분석결과에 대한 정부별 정책

적 특징을 요약하였다. 이를 통해 본 연구가 가지는 학문적 함의와 정책적 실효성을 제시하여 추후 연구를 위한 토대를 마련하였다.

2. 연구 자료 및 방법

2.1. 지역개발사업 관련자료

정부별 국정운영 및 국정과제에서의 농촌지역개발사업에 대한 추진방향은 각 정부(제16대부터 제19대)의 국무총리 정부업무평가위원회에서 100대 국정과제 내용을 바탕으로 분석하였다(Government Performance Evaluation Committee). 해당 국정과제 보고서에는 정부별 국정운영 비전과 방향, 국정목표, 국정전략, 국정과제에 대한 내용을 담고 있으며, 이 중 농촌지역개발사업과 관련한 내용을 참고하였다.

정부별 국가균형발전에 따른 농촌지역개발사업에 대한 추진방향은 국가균형발전위원회와 (현)산업통상자원부에서 발간한 “국가균형발전 기본계획”을 바탕으로 하였으며, 관련 전문자료는 문화체육관광부에서 운영하는 대한민국 정책브리핑 홈페이지의 정책 DB 중 전문자료 검색을 통해 취득하였다(Ministry of Culture, Sports and Tourism). 노무현정부의 제1차 기본계획은 2004년 8월에 국가균형발전위원회와 산업자원부를 중심으로 2004년부터 2008년까지 시행될 “제1차 국가균형발전 5개년계획”으로 마련되었으며, 이명박정부의 제2차 기본계획은 2009년 12월에 지역발전위원회와 지식경제부를 중심으로 2009년부터 2013년까지 시행될 “지역발전 5개년계획(안)”을 발표하였다. 박근혜정부의 제3차 기본계획은 2014년 12월에 지역발전위원회와 산업통상자원부를 중심으로 2014년부터 2018년까지의 “지역발전 5개년계획”을 제시하였으며, 문재인정부의 제4

차 기본계획은 국가균형발전위원회와 산업통상자원부를 중심으로 2018년부터 2022년까지 시행될 “제4차 국가균형발전 5개년계획”을 발표하였다.

정부별 농어업인 삶의질 향상 및 지역개발과 관련한 추진 방향은 농림어업인삶의질향상위원회와 농림부 및 관계부처가 합동으로 발간한 “농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌 지역개발 기본계획”을 중심으로 분석하였다. 관련 전문자료는 농림축산식품부 홈페이지의 정책홍보의 정책분야별 자료에서 취득하였다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 노무현정부의 제1차 시행계획은 2005년 6월에 5개년(‘05-‘09) 기본계획이 수립되었다. 이명박정부의 2차 시행계획은 2009년 12월, 박근혜정부의 3차 시행계획은 2014년 12월, 문재인정부의 4차 시행계획은 2020년 2월에 수립되었다.

3. 분석 결과

3.1. 지역개발사업 정책에 대한 정부별 추진과정

3.1.1. 정부별 국정운영 계획

1) 참여정부

참여정부는 국정비전으로 ‘다핵·창조 선진국가 건설’을 제시하였으며, 지역혁신과 균형발전을 강조하였다. 경제성장 동력의 약화를 지역불균형의 심화라는 사회의 구조적 문제로 바라보고, 정부·경제·기술·지역혁신을 통해 국가를 선진국 대열에 진입시키고자 하였으며, 이에 내생·내포·내발적 발전모델을 추구한 개방·세계화 전략인 국가균형발전정책을 핵심 정책과제로 선정하였다. 이에 3가지의 국정목표 중 하나를 ‘더불어 사는 균형

발전 사회'를 제시하여 국가균형발전위원회 중심의 자립형 지방화를 위한 지역산업육성, 국가균형발전을 위한 제도적 기반 확립을 추진하였다. 또한, 고령화 및 미래사회위원회 중심으로 보건복지대책을 마련하였고, 농어업농어촌특별대책위원회를 중심으로 각종 농촌정책을 수립하였다.

농촌지역의 경우는 문화·관광자원을 활용한 자립형 지역개발을 위해 '자립형 지방화를 위한 지역산업육성'사업이 추진되었으며, 행정자치부·농림수산식품부·건설교통부 등 다부처가 협력하여 낙후지역 개발방안이 수립되었다. 또한, '국가균형발전을 위한 제도적 기반 확립'을 위해 산업자원부 및 전 부처에서 국가균형발전 5개년 계획을 수립하였으며, 예산처에서 국가균형발전계획을 추진하기 위한 균형발전특별회계를 운영하였다. 재정경제부에서 지역특화발전특구를 지정하였으며, '보건복지대책'의 일환으로 보건복지부와 농림수산식품부를 중심으로 한 농촌사회 안전망 및 기초복지 인프라 확충 사업을 수행하였다.

2) 이명박정부

이명박정부는 국가 비전을 '선진 일류국가: 잘사는 국민, 따뜻한 사회, 강한 나라'로 설정하였다. "국정운영 5개년 계획"수립('08.10월)을 통해 5대 국정 지표와 20대 국정 전략, 100대 국정 과제를 제시하며, 선진 일류국가 구현을 위해 5대 국정지표로서 '섬기는 정부', '활기찬 시장경제', '능동적 복지', '인재대국', '성숙한 세계국가'로 설정하였다.

100대 국정과제 중 농촌지역개발과 관련된 사항은 '능동적 복지' 부문의 '서민생활과 주거를 안정시키겠습니다.'(전략 11번)에 제시되어 있다. 특히, 국정과제 55번은 '농어가 소득을 늘리고, 농어촌의 거주여건을 개선하겠습니다.'라는 슬로건으로 농어촌지역의 상하수도 보급 확대, 농업인

건강생활 실천 프로그램 보급, 기초생활보장지원 및 의료서비스 확대 등 생활여건 수준을 도시 수준으로 향상시키고자 하는 목표를 설정하였다.

3) 박근혜정부

박근혜정부는 도농간 경제적·삶의 질 측면에서 격차가 지속되는 가운데 지역주민들의 낮은 행복도와 삶의 질 문제를 대응하고자 하였다. 이명박 정부와 마찬가지로 농어촌지역개발을 복지적 측면에서 바라보며 “국정운영 5개년 계획”수립(‘13.2월)을 통해 5대 국정목표 중 ‘맞춤형 고용·복지’를 제시하였다. 이를 위해 ‘생애주기별 맞춤형 복지 제공’, ‘나를 찾는 문화, 모두가 누리는 문화 구현’, ‘쾌적하고 지속가능한 환경 조성’을 국정전략으로 삼았다.

국정 전략을 기반으로 수립된 국정과제 51번은 ‘누구나 살고 싶어 하는 복지 농어촌 건설’로 농림축산식품부를 주도로 농어촌지역의 맞춤형 사회안전망을 구축하고, 생활여건 개선 등을 통해 누구나 살고 싶어 하는 농어촌을 만들고자 하였다. 농어촌의 여건과 특성을 반영한 맞춤형 사회안전망을 확충하기 위하여 농어업인 안전재해보장제도를 도입하는 등의 경제적 지원방안을 마련하고, 동시에 공동생활홈을 조성하여 마을리모델링 사업을 추진하였다. 또한, 주거·의료·교육 등 생활여건과 관련된 기초인프라서비스를 도시 수준으로 개선하고자 하였으며, 주민주도로 유무형의 마을 자원을 활용하여 소득창출·정주여건 개선·도농교류 목적의 마을 단위 지역개발을 수행하였다.

4) 문재인정부

문재인정부는 농산어촌의 심화되는 고령화와 과소화 현상에 따른 지역쇠퇴에 대한 문제를 인식하였다. 이에 “국정운영 5개년 계획”을 수립

('17.7월)하고, 5대 국정목표 중 하나로 '고르게 발전하는 지역'을 지역개발정책의 국정 목표로 삼았다. 이에 국정 전략으로 '풀뿌리 민주주의를 실현하는 자치분권', '골고루 잘사는 균형발전', 그리고 '사람이 돌아오는 농산어촌' 등의 3가지를 제시하였다. 국정전략을 기반으로 농림어업의 체질 강화, 소득안정, 복지서비스 향상을 통해 누구나 살고 싶은 농산어촌을 조성하여 지역 내 젊은 인구 유입을 통한 지역사회 활력 제고와 발전 선도를 꾀하고자 하였다.

정부의 농촌지역개발사업은 참여정부의 기조를 이어받아 포용성장을 기반으로 한 지역균형발전을 통해 주민들의 삶의 질 향상을 모색하고자 하였다. 이를 위해 농어촌지역의 기초생활서비스를 보장하고 농촌의 지속가능성과 농촌가치 복원에 중점을 두고 있다. 특히 농림축산식품부 주관의 '사람이 돌아오는 농산어촌' 전략을 실현하기 위하여 국정과제 81번 '누구나 살고 싶은 복지 농산어촌 조성'을 제시하였다. 이 국정과제의 목표는 교통·의료 등 농산어촌의 생활 인프라를 확충하고 농산어촌의 부존자원을 활용하여 맞춤형 일자리를 창출하며, 휴식공간을 조성하는 것이다.

3.1.2. 정부별 국가균형발전 기본계획

1) 참여정부

참여정부는 지역발전정책을 다양한 방면으로 추진함에도 불구하고 인구·경제력이 수도권으로 집중되는 현상이 지속됨에 따라 지역간 불균형이 심화됨을 인식하였다. 이에 지역간 불균형발전의 폐해를 극복하기 위하여 기술, 인재 및 문화가 성장의 동력이 되는 혁신주도형 지역발전으로의 정책을 추진하였다. 지역혁신체계 구축을 통해 '혁신주도형 경제발전모델'을 국가균형발전정책으로 구현하고 구체적으로 실현하기 위하여 "제1차 국가

균형발전 5개년계획”을 수립(‘03.8월)하고, 「국가균형발전특별법」(약칭: 국가균형발전법)을 제정(‘03.12월)하여 법적 근거를 마련하였다. 또한, 국가균형발전 정책은 이전 정부의 정책들과는 달리 국가균형발전의 개념이 지역발전의 중심 개념으로 자리 잡으면서 국가균형발전 5개년 계획 및 지역혁신발전 5개년 계획을 수립하고 추진하였다.

참여정부는 “제1차 국가균형발전 5개년계획”을 통해 지역혁신체계를 구축하고, 혁신클러스터를 육성하며, 공공기관 지방이전 및 미래형 혁신도시 건설 등 혁신기반을 구축하여 지역특성화발전의 기반을 조성하고자 하였다. 이에 ‘균형발전을 통한 “제2의 국가도약”’을 국가균형발전의 비전으로 삼고 ‘지역혁신정책에 기반한 역동적 지역발전’을 목표로 제시하였다. 이를 위해 ‘혁신주도형 발전기반 구축’, ‘낙후지역 자립기반 조성’, ‘수도권의 질적발전 추구’, ‘네트워크형 국토구조 형성’ 등 다섯 가지의 추진전략을 수립하여 추진하였다.

2) 이명박정부

이명박정부는 선진국들의 발전전략이 기존의 균형발전에서 지역의 경쟁력 강화로 패러다임이 전환되고 있음을 인식하였다. 이에 따라 지역발전 정책을 ‘광역경제권’에 강조하며 기존의 행정구역 단위의 소규모 지역개발사업의 수행과 유사·중복 지원 등으로 초래된 비효율성과 일률적인 지역개발 사업의 한계를 극복하는 데 초점을 맞추었다. 이에 지역을 광역화하여 규모의 경제를 실현할 수 있는 국제 및 지역 경쟁력을 확보하고 특성화된 지역발전, 분권과 자율, 협력과 상생을 통한 동반발전 등을 강조하는 방향으로 “지역발전 5개년 계획”을 수립(‘09.9-11월)하였다. 정부의 지역발전 5개년 계획은 ‘지역경제의 글로벌 경쟁력 확보’와 ‘삶의 질이 보장되는 지역공동체 창조’를 비전으로 제시하였다.

지역발전정책을 기초생활권, 광역경제권, 초광역권의 3차원으로 구분하고 체계적으로 지원하였다. 3차원 지역발전정책 중에서 농어촌지역과 직접적으로 연관되는 기초생활권 정책은 특화와 창조, 분권과 자율, 협력과 상생을 기본 방향으로 지역의 통합적 발전전략을 표방하였다. 기초생활권은 시군 단위를 기본으로 3가지와 1가지의 서비스 유형으로 설정하였으며, 인구, 소득, 재정, 기초생활 접근성 등을 기준으로 "3+1"유형으로 구분할 수 있다. 3가지 기초생활권은 도시활력증진지역, 일반농산어촌지역, 특수상황지역으로 구분되며, '+1' 유형은 성장촉진지역으로 3가지 유형 어디에 속하는가와 관계없이 생활·환경·개발 등의 여건이 지극히 불리한 지역으로 정의된다.

새로운 지역발전정책을 효율적으로 지원하기 위하여 국가균형특별회계(균특회계)를 개정하여 광역·지역발전특별회계(광특회계)를 수립('09.9월)하고, 예산 지원방식에 대한 자율성을 높이고자 포괄보조금(Block Grants)제도를 도입하였다. 이에 따라 지방자치단체의 농어촌지역은 광특회계 지역개발계정 사업을 구성하는 기능별 사업군(시도 자율편성)과 지역별 사업군(시군구 자율편성)의 포괄보조금을 활용하여 지역 특성에 맞는 사업을 기획하고 추진할 수 있는 제도적 보장을 받게 되었다. 포괄보조금제도를 통해 기존의 참여정부에서 한계로 지적되었던 지자체 수준에서의 농촌지역개발이 광역규모의 통합적 농촌지역개발을 위한 제도적 기반이 마련되었다. 포괄보조금제도를 통해 기존의 유사·중복 및 광특회계 취지에 부합하지 않는 200여 개의 세부사업을 24개의 포괄보조사업으로 통·폐합하여 지자체 실정에 맞는 자율적 사업으로 기획하고 설계하였다. 농림축산식품부에서 시행하고 있던 소도읍육성사업과 농촌마을종합개발사업은 일반농산어촌개발사업으로 통합되어 각기 읍면소재지종합정비사업과 권역단위 종합정비사업으로 변경되었다.

3) 박근혜정부

박근혜정부의 지역균형발전위원회에서는 과거 지역발전정책이 실제 지역과 주민이 당면한 문제를 해결하지 못했다는 한계에 대응하고자 하였다. 이에 “지역균형발전 비전과 전략” 수립을 통해 ‘국민에게 행복을, 지역에 희망을!’ 비전과 3대 전략 및 5대 핵심과제를 제시하였다. 이를 바탕으로 지역주도의 맞춤형·패키지 정책추진으로 주민이 정책의 효과를 체감할 수 있도록 ‘국민행복, 지역희망:HOPE 프로젝트’를 발표(‘13.7월)하였으며, “제2차 지역발전 5개년계획”을 수립(‘13.10-’14.12월)하였다. ‘지역행복생활권’은‘지역경제활성화대책’(‘14.3월)을 통해 56개의 생활권을 확정하였으며, 도시, 읍면, 마을이 유기적으로 연계되어 전국 어디서나 불편함 없는 기초인프라, 일자리, 교육·문화·복지서비스를 누릴 수 있는 공간으로 설정하였다.

지역행복생활권을 기반으로 주민들의 불편해소 및 삶의 질 개선과 직결된 과제를 지원하고자 제10차 지역발전위원회(’14.9월)에 주요 5개 생활권사업을 확정하였다. 주요 생활권사업은 생활권 기반확충 및 노후·안전시설 정비, 일자리 창출을 통한 지역경제 활력제고, 교육여건 개선, 문화·환경여건 개선, 사각 없는 지역 복지·의료체계 구축으로 구성되어 있다. 이러한 지역행복생활권은 2개 이상의 시군의 자율적인 협의를 통해 자연적인 생활권을 반영하여 권역을 설정함에 따라 과거 정부주도로 생활권을 인위적으로 행정구역 단위로 설정한 이명박정부의 광역경제권 및 기초생활권과 차이가 있다.

4) 문재인정부

문재인정부의 국가균형발전위원회에서는 다양한 지역정책을 추진함에도

불구하고 지역 간 불균형이 지속되고, 중앙정부 주도 방식으로는 저성장, 양극화, 저출산, 지방소멸 등 당면한 국가적 과제를 해결하는 데에 한계가 있음을 인식하였다. 이에 “국가균형발전 비전과 전략” 수립을 통해 ‘지역이 강한 나라, 균형잡힌 대한민국’ 비전과 3대 전략/9대 핵심과제를 제시하였다. 이를 바탕으로 지속가능한 국가발전을 위해 국가균형발전을 지향하는 ‘지역 주도 혁신적 포용국가’를 구현하고자 3대 가치(분권, 포용, 혁신) 기반의 “제4차 국가균형발전 5개년 계획”을 수립(‘18.4~12월)하였다. 제4차 국가균형발전 5개년계획은 지역이 정책의 주도가 되어 지역 간 균형발전, 자립적 성장기반 마련, 지역특화발전을 목표로 한다. 국가균형발전의 3대 전략 중 ‘방방곡곡 생기도는 공간’을 공간정책으로 제안하며, 그중 농어촌을 대상으로 한 ‘매력있게 되살아나는 농산어촌’과 ‘인구감소지역을 거주강소지역으로’를 핵심과제로 제시하였다.

핵심과제 ‘매력있게 되살아나는 농산어촌’은 지역 스스로 자립할 수 있는 성장기반을 마련하고 활력 제고로 사람이 돌아오는 농산어촌을 만드는 것을 목적으로 한다. 이에 농촌 신활력 플러스, 불편없는 농촌 ‘3·6·5 생활권’ 구축, 도시민과 함께하는 농촌다움 회복, 활력과 매력이 넘치는 어촌 조성, 맞춤형 귀농어·귀촌 정착 지원 등의 사업을 추진하고 있다. 또한, 핵심과제 ‘인구감소지역을 거주강소지역으로’의 경우 인구감소지역을 대상으로 활성화 지원을 통해 인구감소에 따른 지방위기에 선제적으로 대응할 수 있는 방안을 마련하고자 하였다. 이에 인구감소지역 활성화 지원, 마을공동체 기반 지역 역량강화 및 활력 촉진, 접경지역 성장기반 조성, 성장촉진지역·농어촌지역 개발 활성화 사업 등을 추진하고 있다.

3.1.3. 정부별 농어업인 삶의 질 향상 및 농산어촌 지역개발 기본계획

1) 참여정부

참여정부는 농산어촌의 인구감소 및 고령화, 개방 확대에 따른 농림어가 경제의 악화 등으로 인하여 농산어촌의 정주여건이 크게 악화되고 있음을 인식하였다. 이에 도농균형발전을 통해 지속가능한 국가발전을 도모하기 위해서는 도시에 비해 낙후되어 있는 농산어촌의 지속적인 발전이 중요하다고 제안하였으며, 농림어업인 삶의 질 향상과 지역개발 등을 포괄하는 「농림어업인 삶의 질 향상 및 농산어촌지역 개발촉진에 관한 특별법」(약칭: 농어업인삶의질법)을 제정('04.3월)하여 시행('04.06월)하였다. 또한, "농업·농촌종합대책"을 발표('04.12월)하면서 삶의 질 법과 직접적으로 연결하여 '농촌복지증진 및 지역개발'의 비전과 전략을 수립하고, 농촌지역개발 전략 시행의 사업으로 소도읍육성사업, 농촌마을종합개발사업을 추진하였다. 2004년 119조 원의 투·융자계획을 담은 종합대책은 농업·농촌정책의 3대 영역을 농업정책, 소득정책, 농촌정책으로 설정하고, 소득정책 영역의 복합산업활성화 부문과 농촌정책 영역(복지기반확충, 교육여건개선, 농촌지역개발)을 통합하여 '삶의질 향상(농림어업인 삶의 질 향상 및 농산어촌지역개발) 계획'을 수립하고 시행하였다. 정부는 농림어업인 삶의 질 법에 따라 농산어촌 주민의 복지 증진과 교육여건 개선 등을 위해 "제1차 농림어업인 삶의 질 향상 및 농산어촌 지역개발 기본계획"을 수립('05.4월)하여, 부처별로 분산 지원되고 있는 다양한 농산어촌 지원사업들을 농산어촌의 특수성을 고려하여 하나의 계획으로 종합하여 체계화할 수 있는 기틀을 마련하였다.

참여정부의 농어촌개발정책은 농어촌의 역할이 단순한 농업생산의 기능

을 넘어서 정주·휴양공간으로 확대되는 농어촌 정주휴양기능을 강조하였다. 과거에 '농업'으로 한정되었던 농업·농촌정책 대상이 참여정부에서는 '농업·식품·농촌'으로 확대되었으며, '농업생산 중심'의 공간으로 인식되던 농촌을 '생산·정주·휴양'의 공간으로 재인식되기 시작하면서 정책수단 역시 과거에 정부주도·가격지지에서 시장지향·소득보조 방향으로 바뀌었다. 또한, 농촌공간의 역할이 '생산·정주·휴양'으로 확대되어 인식됨에 따라 농촌공간의 가치를 보전하고 무분별한 개발을 방지하고자 2007년「경관법」을 제정하였으며, 도시와 농어촌간의 교류를 촉진하고자 2007년「도시와 농어촌 간의 교류촉진에 관한 법률」(약칭: 도농교류법)을 제정하여 농어촌의 사회·경제적 활력을 증진시키고, 농어업·농어촌의 가치에 대한 국민적 인식을 높여, 도시민의 농어촌생활에 대한 체험과 휴양 수요를 충족시킴으로써 도시와 농어촌의 균형발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지하고자 하였다.

2) 이명박정부

이명박정부에서는 "제2차 농림어업인 삶의 질 향상 및 농산어촌 지역개발 기본계획(2009-2014)"을 수립하였으며, 농어촌지역의 기초생활인프라와 복지기반을 갖추고 다양한 산업을 발전시켜 누구나 찾고 싶고, 살고 싶어하는 '삶터, 일터, 쉼터가 조화된 행복한 농어촌 구현'을 비전으로 삼았다. 이에 보건·복지 증진, 교육여건 개선, 기초생활 인프라 확충, 경제활동 다각화, 문화·여가 여건 향상, 환경·경관 개선, 지역발전 역량강화 등 7대 부문을 선정하고 부문별 목표를 제시하였다.

기본계획의 목표를 달성하고자 삶의 질 향상을 위한 2대 선진제도 도입, 지역이 주도하는 지속가능발전 체계 구축, 삶의 질 향상 정책 추진체계 정비를 추진전략으로 제시하였다. 삶의 질 향상 제도의 선진화를 위해

2개의 기본제도인 농어촌서비스기준과 농어촌영향관리 가이드라인을 도입하였다. 농어촌서비스기준은 농어촌 주민들이 일상생활을 영위하는데 요구되는 공공서비스와 관련하여 8개 분야(주거, 교통, 교육, 보건의료, 사회복지, 응급, 문화여가, 정보통신)의 31개 항목을 선정하여, 특성별로 보급률, 빈도, 접근성, 대응시간 등 기준을 제시하였다. 또한, 정부 정책이 농어촌에 불리한 영향을 미치지 않도록 사전 점검할 수 있는 농어촌영향관리 가이드라인을 운용하였다.

3) 박근혜정부

박근혜정부에서는 "제3차 농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌 지역개발 기본계획(2015-2019)"을 수립하였으며 농어촌 맞춤형 정책을 통해 공공서비스 사각을 해소하고, 정주체계별 기능을 강화하는 동시에 농어촌 자원을 활용하여 경제 활성화를 촉진하여 농어촌 주민과 국민이 체감하는 삶의 질 향상 정책을 추진하였다. 삶의 질과 관련한 정책은 과거 도농간 생활여건 격차를 완화하여 도시 수준으로 정주환경을 개선한다는 기조에서 농어촌다움·농어촌 가치 중시·주민체감 증진의 방향으로 인식이 전환됨을 고려하였다. 이에 기본계획은 '활력있는 공동체를 기반으로 누구나 살고 싶은 행복한 농어촌 구현'을 비전으로 삼고 7개 부문별 목표를 제시하였다. 부문별 목표는 보건·복지, 교육, 정주생활기반, 경제활동·일자리, 문화·여가, 환경·경관, 안전으로 설정하였다.

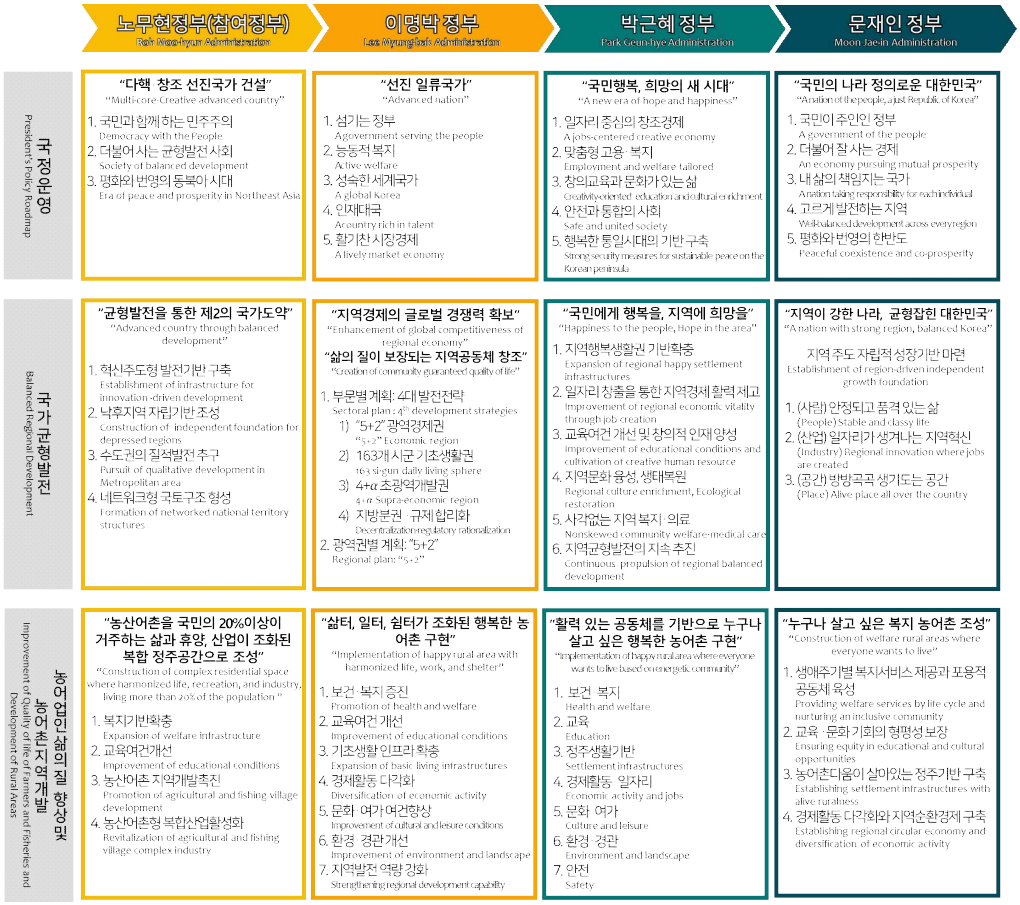
기본계획에 따라 농림축산식품부는 일반농산어촌개발, 활기찬 농촌프로젝트, 지역행복생활권 선도사업, 새뜰마을 사업 등을 추진하였으며, 문화관광부는 문화마을 조성사업 등을 수행하였다. 또한, 정책 목표의 달성과 주요 정책의 효율적인 추진을 위하여 「국가균형발전특별법」(약칭: 국가균형발전법)을 개정('14년)하고, 2015지역발전특별회계를 설치하여 운영하

였다. 농어촌의 주거환경 및 노후·불량 주택을 계획적·효율적으로 개선하고자 「농어촌마을 주거환경 개선 및 리모델링 촉진을 위한 특별법」(약칭: 농어촌리모델링법)을 새롭게 제정('13년)하였다. 또한, 1999년 제정된 「농업농촌기본법」의 법령 이름이 2015년에 「농업·농촌 및 식품산업 기본법」(약칭: 농업식품기본법)으로 개정되었으며, 농업과 농촌의 지속가능한 발전을 도모하고 농업인의 소득과 삶의 질을 높이는 데 목적이 있다.

4) 문재인정부

문재인정부는 농어촌의 지속발전 및 인구감소 대응을 위하여 "제4차 농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌 지역개발 기본계획(2020-2024)"을 수립하였다. 도시보다 상대적으로 낮은 농어촌의 전반적인 생활여건 만족도를 개선하고, 고령화·공동화 현상이 심화함에 따라 지방소멸 위기가 제기되고 있다. 도농간 격차 및 농어촌지역 간의 격차를 완화하고 누구나 살고 싶은 복지 농어촌을 조성하기 위하여 4대 전략에 따른 기본계획 및 183개의 과제를 수립하였다. 4대 전략은 '생애주기별 복지서비스 제공과 포용적 공동체 육성', '교육·문화 기회의 형평성 보장', '농어촌다움이 살아있는 정주기반 구축', 그리고 '경제활동 다각화와 지역순환경제 구축'이다.

또한, 문재인정부는 "자치분권 종합계획"을 수립('18.8월)하여 주민주권 구현, 중앙권한의 획기적 지방이양, 재정분권의 강력한 추진, 중앙-지방 및 자치단체 간의 협력강화, 자치단체의 자율성과 책임성 확대, 지방행정체제 개편과 지방선거제도 개선 등 6대 전략과 33개의 과제를 제시하였다. 이에 지방이양 대상 사업에 대하여 '20년 균특회계 예산편성으로 10개 부처, 3개 청의 39개 세부사업(110개 내역사업)을 지방에 이양하기로 결정('19.4월)하였으며, 이양된 재원의 규모는 약 3.5조 원이다. 그 중 농



[Figure 3-1] Changes of Vision and Key Agenda of National Affairs by Successive Government and Vision and Strategies of Regional Development Project Plans

식품부는 5개 세부 과제(13개 내역사업)이 이양되었으며 약 7,736억 원 규모이다. 이를 바탕으로 기존의 농식품부 주도의 거점 조성 관련 사업은 유지되는 반면에, 지역밀착형 사업으로 판단되는 마을만들기사업은 지자체로 그 기능을 이양하기로 결정되었다. 이에 농식품부 주도의 농촌중심지 활성화, 기초생활거점, 농촌 신활력 플러스, 시군 역량강화 등에 약 4,869억 원 규모의 사업이 지방으로 이양되었다. 또한, 마을만들기, 기초생활인프라 정비, 농촌다움 복원, 농촌현장포럼, 농촌형공공임대주택 시범사업, 농촌재능나눔 등 약 4,387억 원이 지자체로 이양되어 사업이 추진 중이다.

3.2. 정부별 지역개발사업의 특징 및 성과

3.2.1. 정부별 지역개발사업 구성 및 특징

1) 참여정부

참여정부부터 지역의 역량을 강화시키고 자원을 활용한 내생적 발전을 위해 다양한 지역개발사업이 시행되었다. 과거 1990년부터 시행된 생활환경정비사업의 일환인 농촌정주권개발사업은 지역의 도로, 상하수도, 주택정비와 같은 기초생활환경을 정비하는데 기여하였으나, 지역의 주변 경관을 고려하지 않고 무분별하게 시설을 입지시키거나 시설의 색채·규모·형태가 주변과 어울리지 않는 부조화 등으로 인해 농촌다움을 훼손시키는 문제가 발생하였다(Lee *et al.*, 2016). 이에 농림부는 농촌다움을 유지하면서 지역의 잠재자원을 활용한 농촌마을종합개발사업과 같은 권역별 종합개발사업을 신규 도입하여 공간의 요소가 포함된 농어촌 개발정책으로 다변화하였다. 또한, 소도읍육성사업은 행정자치부를 주관으로 하여 「지방소도읍 육성 지원법」(약칭: 소도읍법)에 의거하여 시행되어왔으며, 새마을

운동을 모태로 한 도읍가꾸기사업, 소도읍가꾸기사업, 소도읍개발사업 등 농촌지역 중심거점을 육성하고자 하였다(Ministry of the Interior, 2007).

1990년부터 시행된 농촌정주권개발사업은 「농어촌발전특별조치법」에 의거하여 면단위를 중심으로 한 일반정주생활권개발, 문화마을조성, 마을하수도사업 등 세부사업이 지속적으로 시행됐다. 주거환경개선을 위해서는 농촌주택개량사업과 농촌빈집정비사업이 「농어촌정비법」에 의거하여 지속적으로 시행함에 따라 농촌의 주거환경 및 경관을 정비하였다.

더 나아가 도시민의 농어촌유입을 촉진시키고 농어촌지역의 활성화를 도모하고자 녹색농촌체험마을, 농촌전통테마마을, 문화역사마을, 어촌체험마을, 어촌관광활성화 등의 농촌관광마을사업과 같은 체험 및 관광서비스 제공을 위한 3차산업 중심의 사업이 부처별로 본격적으로 추진되었다. 또한, 소득증대사업의 일환으로 농촌활력증진을 위해 신활력사업, 향토산업육성사업, 지역특화품목 육성사업 등이 새롭게 추진되었다. 이렇게 새롭게 추진된 사업의 특징은 지역의 역량을 강화하고 자원을 활용한 내생적 발전을 위해 주민의 참여확대와 역량 강화, 혁신 등을 강조하여 기존의 하향식 농촌개발방식 대신 주민주도의 상향식 개발 전략을 추구하는 것이다.

2) 이명박정부

이명박정부는 참여정부의 소도읍육성사업을 지방소도읍육성사업으로 사업명을 변경하고, 이후 2012년에 사업이 종료되었다. 이후 참여정부부터 시행된 농촌마을종합개발사업의 일환으로 진행된 면소재지의 중심마을(1개 법정리 이상)의 기능을 강화한 거점면소재지 마을종합개발사업을 시행

하였다. 강화된 기능은 배후지역에 서비스를 제공하여 네트워크 기능을 강화하였다. 또한, 농산어촌지역의 소득 및 기초생활수준을 향상시키고 어메니티 증진 및 계획적인 개발을 위하여 2010년부터 농림축산식품부 주관의 일반농산어촌개발사업이 시행되었다. 농어촌지역을 대상으로 한 지역개발사업 중 국비 예산 규모가 가장 큰 사업으로써 2010년부터 2013년까지 이명박정부 기간에 연간 평균 9,384억 원 수준의 예산이 투입되었다.

농어촌주거환경개선사업 중 농촌주택개량사업과 농촌빈집정비사업은 임기 내에 지속적으로 시행되었다. 또한, 암을 유발하는 1급 발암물질인 석면이 사회문제로 대두되면서 농어촌지역에 광범위하게 존재하는 석면슬레이트주택에 대한 우려로 인해 기존의 주택개량과 빈집정비사업과 연계하여 정부주도의 석면재료를 제거하는 슬레이트지붕처리사업이 새롭게 추진되었다.

농촌관광마을사업의 경우 2007년에 전통테마마을육성사업이 농업농촌테마마을조성사업으로 그 명칭이 변경되었으며, 농어촌 특유의 독특한 자연문화사회자원을 기반으로 다양한 형태의 테마공원을 조성하여 농촌주민과 도시민에게 자연친화적인 휴식 레저 체험공간을 제공하고자 하였다. 또한, 녹색농촌체험마을과 어촌체험마을사업은 2013년에 종료되었다.

3) 박근혜정부

박근혜정부의 경우 이전 정부의 거점면소재지 마을개발사업을 읍면소재지 종합정비사업으로 재정비하여 2015년까지 수행하였다. 이후 농촌 중심지 특성과 경쟁력을 갖춘 농촌 발전거점으로 육성하고, 농촌중심지를 배후마을과 도시를 연결하는 연결 거점으로서 지역행복생활권 구현의 중

심지 역할로 수행하고자 농촌중심지활성화사업으로 그 명칭을 변경하고 현재 진행되고 있는 일반농산어촌개발사업의 기본구상인 농촌중심지활성화사업, 창조적마을만들기, 시군역량사업으로 자리잡았다. 사업을 다양화하면서 국비 예산 규모도 증가하였는데 2014년 5,739억 원 규모를 투입하였으며, 2015년 이후부터는 8,723억 원 수준의 규모로 증가시켰다.

박근혜정부의 국정운영 목표인 주민체감형 행복생활권을 구축하고자 「국가균형발전특별법」에 의거하여 농림부 주관의 지역행복생활권선도사업을 2013년부터 시행하였다. 또한, 주거환경이 열악한 지역을 체계적으로 정비하고 노후·불량 농촌주택을 개량하는 농촌마을 리모델링 사업을 시행하였다. 이 사업은 2013년부터 「농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌지역 개발촉진에 관한 특별법」, 「농어촌정비법」, 「농어촌마을 주거환경 개선 및 리모델링 촉진을 위한 특별법」에 근거하여 농림부와 한국농어촌공사를 주관으로 시행되어왔는데, 농어촌주거환경개선사업인 주택개량, 빈집정비, 슬레이트 처리뿐만 아니라 공동생활형 홈 조성, 영유아보육시설, 에너지 효율화사업 등을 추가적으로 시행하였다. 이 외에도 새뜰마을사업이라고 불리는 취약지역생활여건개조사업과 귀농귀촌활성화지원사업 등을 추진하였다.

4) 문재인정부

문재인정부는 농어촌지역을 대상으로 다양한 지역개발사업을 재·개편하면서도 노무현정부 시절 시행된 지역개발사업을 모태로 하였다. “제4차 농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌 지역개발 기본계획(2020-2024)”의 4대전략은 이전 정부의 7개 부문을 통합적으로 추진하기 위하여 복지서비스, 교육·문화, 정주기반, 경제활동 등 4대 부문으로 통합하여 구성하였다. 또한, 농어업인의 체감도가 높은 농어촌지역 노인 돌봄 서비스인 농

어촌형 커뮤니티케어 모델 및 귀농어·귀촌인 및 고령자를 위한 공공임대주택 보급 등 신규과제를 도입하였다.

개별 사업별로 살펴보면, 노무현정부 시절 2005년에서 2007년간 시행된 신활력사업을 이어받아 농촌신활력플러스사업을 2018년부터 추진하였다. 농촌신활력플러스사업은 기존의 향토산업과 6차산업 등 구축된 지역자산과 민간조직을 활용하여 특화산업을 고도화시키고 일자리를 창출하는 등의 자립도 향상과 역량강화을 모색하고 이를 통해 농촌의 활력이 제고되는 것을 목적으로 한다. 이에 2018년 49억 원 수준의 재정이 투입되어 10개 지역이 사업을 시작하였으며, 2019년 245억 원의 재정으로 약 20개 지역이 농촌신활력플러스사업을 수행하고 있다.

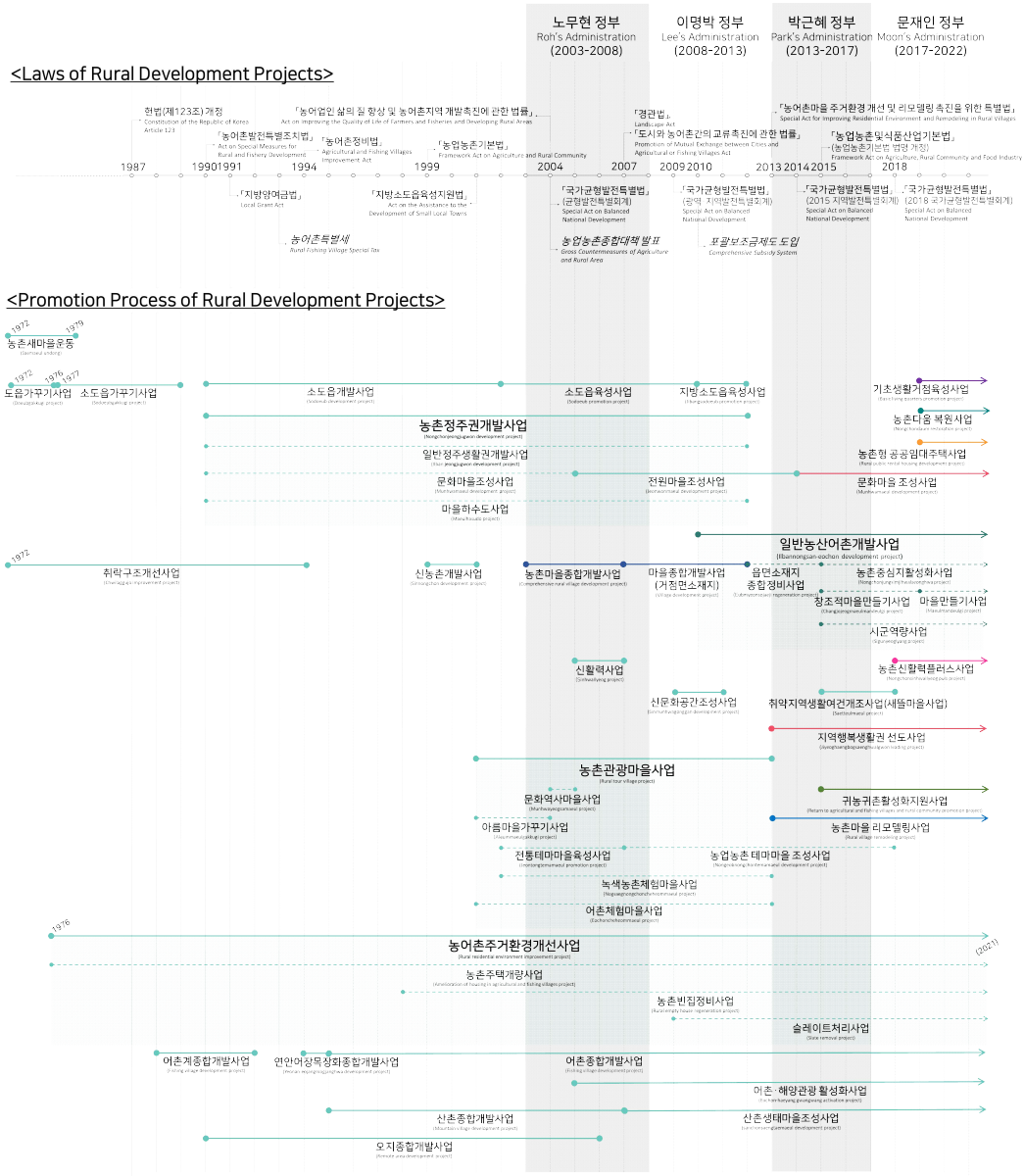
일반농산어촌개발사업의 경우 농촌중심지활성화사업과 시군역량사업은 지속적으로 수행되고 있으며, 박근혜정부의 창조적마을만들기사업의 명칭을 마을만들기사업으로 개편하였다. 또한, 기초생활거점육성사업, 농촌다움 복원사업, 농촌형 공공임대주택사업 등이 새롭게 편재되어 시행되고 있다.

3.2.2. 정부별 지역개발사업 성과 및 종합평가

1) 참여정부

참여정부의 지역개발사업은 헌법에서 규정한 지역균형발전을 국정과제로 삼아 안정적인 추진체계를 구축한 성과는 인정받으나, 지역균형발전 정책에도 불구하고 수도권으로의 인구·경제력이 집중되는 현상이 지속되고, 중장기 전략과 계획이 부재하다는 한계가 있다(Song, 2012).

“제1차 농림어업인 삶의 질 향상 5개년 기본계획”은 농산어촌 복지실태



[Figure 3-2] Characteristics, Laws, and the Transformation Process of Rural Development Projects by Successive Government

조사(‘04.8월-11월)와 11개의 부처, 지자체, 농민단체 등의 의견을 수렴하여 기본계획을 마련하였다. ‘삶과 휴양, 산업이 조화된 복합 정주공간으로서의 농산어촌’을 구현하고자 교육·복지·지역개발·산업 등 4대 부문 133개 과제를 추진하였으며, ‘05-‘09년(5년)간 22.3조 원을 투·융자하였다. 이를 통해 생활인프라 부문에서 상하수도 보급률을 36.2%(‘04)에서 56.8%(‘08)으로 향상시켰으며, 2만9천 호를 대상으로 1조6백억 원의 농어촌주택개량 융자금을 투입하는 등 주택, 도로 등 기초생활환경을 개선하였다. 또한, 신활력사업 및 농공단지 육성 등으로 농어촌 소득원이 다양화되었으며, 체험·휴양마을 등 도농교류 활동이 확산되어 ‘04년에 비해 ‘08년의 체험마을 방문객 수는 약 1.5배(2,359천 명), 매출액은 약 3.2배(309억 원) 향상되어 지역경제 활력화에 기여하였다. 더 나아가 지역 주도의 개발 및 지역 주민의 발전 역량을 배양하기 위하여 마을종합개발 및 체험마을과 같은 사업지에 마을 사무장과 같은 리더층을 육성(0명(‘04)에서 465명(‘09))하였으며, 지역개발 컨설팅산업 분야를 발전시키는 성과가 있었다.

그러나 여전히 마을단위·하드웨어 중심의 기초생활인프라 개선을 통해 정주계층별 특성을 반영하지 못하고, 하드웨어와 소프트웨어 혹은 마을·사업 간의 유기적인 연계가 이루어지지 못함이 한계로 지적되었다. 또한, 다양한 농어촌 체험·휴양사업은 양적성장에 비하여 서비스 품질 확보가 추가적으로 필요하였다(Soh, 2013).

참여정부의 농촌지역개발정책은 도농간의 균형발전을 정책기조로 삼아 농가 경영의 안정과 농촌복지의 강화를 목적으로 하며 농촌 공간에 대한 인식을 확대하였다. 농어촌 문제에 대응하기 위하여 범정부 차원에서의 종합계획을 수립하고 추진함으로써 농어촌의 새로운 희망과 비전을 제시

하는 계기가 되었다. 그러나 당시의 농촌개발정책들이 실질적인 국가균형 발전과의 연계성이 다소 떨어진다고 평가되고 있다(Kang, 2007).

2) 이명박정부

이명박 정부의 지역개발정책은 지역 경쟁력을 강화하기 위하여 광역권 도입을 통해 행정구역을 넘어선 연계 협력사업을 추진하였으며, 수도권과 지방의 상생발전을 위한 상생발전기금 도입, 지방재정의 확충, 포괄보조금제도 도입을 통한 지방재정의 자율성 제고를 실천한 성과로 인정받으나, 광역권 정책이 실제 행정구역의 개편으로 연계되지 못한 점이 한계로 지적되었다(Soh, 2013).

"제2차 농림어업인 삶의 질 향상 5개년 기본계획"은 '삶터, 일터, 쉼터가 조화된 행복한 농어촌 구현'을 목표로 보건·복지, ·교육여건, 기초인프라, 경제활동 및 지역역량, 문화·여가, 환경·경관 등 7대 부문 133개 과제에 1차계획 대비 55% 증액한 34.5조 원을 투·융자하였다. 농림어업인 삶의 질 향상 계획을 통해 농어촌 주민의 농촌 생활 만족도는 ('07)17.8%에서 ('13)31.3%로 향상되었으며, 귀농·귀촌 가구수 역시 ('11)10.5천 가구에서 ('13)32.4천 가구로 증가하였다.

기초인프라 부문의 경우 포괄보조금 제도를 도입하여 농어촌공간·인프라 개선을 위하여 노력하였지만, 여전히 도·농간 격차가 크게 나타났다. 석면슬레이트 및 노후주택이 대부분 농어촌에 집중되어 있으며, 상하수도, 도시가스 등 체감도 높은 기초인프라가 여전히 도시에 비해 낙후되어 있었다. 2012년을 기준으로 면단위 상수도 보급률은 전국 95.1%에 비해 32.9%p 낮은 62.2%, 도시가스 보급률은 전국 59.5%에 비해 무려 49.3%p 낮은 10.2% 수준에 불과하였다.

정주생활기반 부문에서는 6차산업화를 본격적으로 추진함에 따라 농어촌지역에서의 경제활동이 다각화되었다. 농촌체험마을은 544('09)개소에서 803('13)개소로 약 48% 정도 증가하였으며, 농촌민박은 16,681('09)개소에서 24,122('13)개소로 약 45% 정도 증가하였다. 그러나 여전히 노인·여성에 적합한 일자리가 부족하고 농어촌 인력수급의 불균형 현상은 심화되었다는 한계가 있다.

농림부의 농어업인 삶의 질 향상 시행계획의 점검·평가 및 농어촌서비스 기준 이행실태 점검·평가에 따르면, 이명박정부의 농어촌 지역개발정책을 통해 농어촌 삶의 질 향상을 위한 종합적인 정책 기틀이 마련되고 추진됨에 따라 성과가 두드러지게 나타났다. 상·하수도 보급률 제고, 취약지 거점 생활인프라 구축 등 사회·경제자본 부족 등의 농어촌 여건을 고려한 특화 정책을 추진함에 따라 농어촌 주민이 인식하는 삶의 질 여건이 개선되며, 귀농·귀촌 가구가 증가하는 등의 성과를 달성하였다. 그럼에도 불구하고 여전히 도농간 생활여건 격차가 크고, 정책 분야 간의 연계를 통한 시너지 창출이 미흡한 점 등이 한계로 지적되었다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2016).

3) 박근혜정부

박근혜 정부의 전반적인 지역개발정책 초점은 기존의 '장소의 번영(Place Prosperity)'에서 '주민의 번영(People Prosperity)'으로 정책 방향을 전환하고 자연적 생활권의 구성과 교육, 의료·복지, 환경 등 분야별 지역협력사업을 추진한 점을 주요 성과로 평가되고 있다(Song, 2017). 그러나 생활권 정책추진 시 정책 공감대와 주민참여가 활성화되지 못하고 주민 행복과 같은 주관적인 요소가 포함된 정책 목표를 제시함으로써 정책의 정량적인 성과를 평가하기엔 한계가 있음을 지적하였다(Song,

2017).

“제3차 농림어업인 삶의 질 향상 5개년 기본계획”은 ‘활력있는 공동체를 기반으로 누구나 살고 싶은 행복한 농어촌 구현’을 목표로 보건·복지, 교육, 정주생활기반, 경제활동·일자리, 문화·여가, 환경·경관, 안전 등 7대 부문 176개 과제에 2차계획 대비 35% 증액한 46.5조 원을 투·융자하였다. 농림어업인 삶의 질 향상 계획을 통해 귀농·귀촌 인구는 (‘13)423천 명에서 (‘17)517천 명으로 약 22% 정도 증가하였다.

도로포장, 상하수도 보급과 같은 농산어촌 생활인프라 여건은 정부의 지속적인 투자에 따라 호전되었다. 정주생활기반 부문에서 5년 이내 신규 주택 비율이 (‘15)12.5%에서 (‘17)15.0%로 증가하였으며, 상수도와 하수도 보급률은 각각 (‘15)73.1% 및 66.6%에서 (‘17)80.1% 및 68.2%로 향상되었다. 상수도 보급률을 제외한 생활인프라 여건은 80% 미만으로 도시에 비해서는 여전히 열악한 수준이다. 또한, 광대역 통신망 보급 확산 정책으로 (‘17)96.4%의 농어촌에서 광대역 통신망을 이용할 수 있게 되었으며, 농어촌 교통모델 사업을 추진 후 버스 대기 시간이 34.4분에서 11.7분으로 개선되었다. 정주생활기반 부문의 만족도 조사 결과 주택, 기초생활인프라, 생활서비스, 대중교통, 인터넷 등 대부분의 부문에서 만족도가 상승하고 있는 것으로 나타났다.

박근혜 정부의 농어촌 지역개발정책은 과거 도농 간 격차 완화에서 농어촌 주민과 국민이 체감할 수 있는 삶의 질 향상을 목표로 설정하고 삶의 질 정책의 범위를 확대하였다. 이를 통해 물리적인 기초생활인프라 개선을 통해 정주생활 기반, 환경·경관, 안전에 대한 농어촌 주민들의 삶의 질 향상 및 정주만족도에 대한 성과를 확인할 수 있으나 여전히 보건·의료, 교육, 대중교통 등 기초적인 공공인프라에 대한 만족도는 하향세로

나타남에 따라 농어촌서비스 기준 중 부진한 항목에 대한 실효성 제고 방안이 필요하다(Jeong, 2018). 또한, 농어촌지역 내에서도 농어촌 시군, 읍면 간의 삶이 질 여건에 대한 차이가 두드러지게 나타남에 따라 농어촌지역 간의 정주여건 개선방안의 부족함이 한계로 지적되었다(Jeong, 2018).

4. 고찰

참여정부는 도농 지역간 불균형 현상이 심화되는 문제를 대응하고자 「국가균형발전특별법」을 제정하고 '다핵형·창조형 선진국가 건설'을 비전으로 제시하며 균형발전과 지역혁신을 강조하였다. 또한, 효율성 있는 재정 운영을 위하여 균형발전특별회계(균특회계)를 도입하였다. 농촌지역을 대상으로 「농어업인 삶의 질 향상 및 농어촌지역 개발촉진에 관한 특별법」을 제정하고 "농업·농촌종합대책"을 발표하여 지역의 역량강화와 고유자원을 활용한 내생적 발전을 추구하였다. 이를 통해 농어촌의 정주휴양기능 및 농촌어메니티, 농가소득, 복지, 농업의 다원적 기능 등의 개념을 강조하였다. 이에 농촌지역개발사업은 권역별 종합개발사업을 신규로 도입하고 행정구역 중심(시군 및 마을단위) 사업 등으로 다각화하였다.

이명박정부는 지역의 국제 경쟁력 취약 문제에 대응하기 위하여 「국가균형발전특별법」을 개정하고 광역·지역발전특별회계(광특회계)를 도입하였다. '특화와 창조', '분권과 자율' '협력과 상생' 기반의 지역의 통합적 발전전략을 표방하였다. 또한, 포괄보조금제도를 도입하여 지자체의 자율적인 농촌지역종합개발을 수립하고 시행하기 위한 제도적 기반을 마련하였다. 또한, 경쟁력 향상을 위해 기존 행정구역보다 규모가 큰 광역권 기반의 기초생활권을 설정하여 지역개발사업의 추진에 따른 규모의 경제 및

네트워크의 경제를 실현하고자 하였다.

박근혜정부는 지역주민들의 낮은 행복도와 삶의 질 문제에 대응하고자 「국가균형발전특별법」을 개정하고 지역발전특별회계(지특회계)를 도입하였다. ‘국민행복, 지역희망:HOPE 프로젝트’를 통해 지역행복생활권을 제시하였다. 행복생활권을 기초로 한 정책 및 사업을 추진하였으며, 지역행복생활권 활성화, 일자리 창출을 통한 지역경제 활력 제고, 교육여건 개선 및 창의적 인재 양성, 지역문화 융성 및 생태복원, 사각없는 지역복지·의료 등을 추진하였다.

문재인정부는 삶의 질과 지역간 격차 심화 문제에 대응하고자 「국가균형발전특별법」을 개정하여 포용성장 기반의 지역균형발전을 통해 주민들의 삶의 질 향상을 모색하고자 하였으며, 국가균형발전특별회계를 도입하였다. ‘고르게 발전하는 지역’ 국정목표에 따라 ‘골고루 잘사는 균형발전’, ‘사람이 돌아오는 농산어촌’ 등 주요 전략을 제시하면서, 농촌지역개발사업은 농어촌지역의 기초생활서비스를 보장하고 농촌의 지속가능성과 농촌가치 복원에 중점을 두고 있다.

5. 소결

본 연구에서는 참여정부 이후부터 정부별 국정운영 5개년 계획에 제시된 국가 비전과 지역개발사업과 관련한 국정목표 및 국정전략, 국정과제를 살펴보았다. 또한, 지역개발사업과 직접적으로 연관되는 “국가균형발전 5개년 기본계획” 및 농촌 지역개발사업과 관련된 “농어업인 삶의 질 향상 및 농산어촌 지역개발 5개년 기본계획”을 바탕으로 농어촌지역개발사업의 관련 법령 제·개정, 지역개발사업의 추진방향 및 특징, 사업의 성과를 정

부별로 검토하였다.

농촌지역개발사업은 정부별 국정운영, 국가균형발전, 그리고 농어업인 삶의 질 향상 기본계획에 따라 추진됐다.

정부별로 기존 정책의 성과와 한계점 분석을 통해 특별법과 기본계획을 개정하여 정책의 효율성과 실효성을 높이고자 하였다. 하지만 정부가 바뀌면서 농촌지역개발사업의 지역문제 해결을 위한 사업의 성격이 변하고 지원체계가 변해왔다. 정부별로 지역문제를 바라보는 관점이 다름에도 불구하고 본 연구에서 지역개발사업과 관련한 문헌을 정성적으로 검토한 결과 지역문제는 크게 생활환경정비를 통한 정주환경 개선과 경제활동 다각화를 통한 소득향상 방안을 모색하는 두 가지가 주요 골자임을 확인하였다. 이러한 정부별 농촌지역개발사업에 대한 추진방향 분석을 통해 현재까지 수행되어 온 각 사업에 대한 진행 과정을 고찰하였으며, 향후 새로운 농촌지역개발사업의 제안 혹은 통합의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

제 4 장

지역 정주환경 개선을 위한 시스템 분석 연구

제 1 절 학령인구 감소에 따른 통학접근성 변화를 고려한 교육시설의 입지최적화 모델 개발

1. 서론

1.1. 배경 및 필요성

도시는 인구가 증가함에 따라 학교가 신설되는 반면에 농촌은 과소화 및 고령화 현상이 심화되면서 인구구조가 변화하고 있다. 농가의 65세 이상 고령인구 비율은 2015년보다 1.9%p 증가한 40.3%를 차지하면서 초고령사회로 접어든 이후에도 고령화 현상이 가속화되고 있다(Korean Statistics, 2019). 또한, 청소년 인구(0-19세)는 도시지역의 경우 2010년 9,423천 명에서 2015년 8,437천 명으로 약 10.46% 감소하였고, 농촌지역은 2010년 1,803천 명에서 2015년 1,610천 명으로 10.68% 감소하였다. 특히 면 단위 지역의 경우에는 2010년 753천 명에서 2015년 644천 명으로 14.54%가 줄어들면서 학령인구의 감소 속도가 빠른 것으

로 나타났다(Statistics Korea, 2017).

농산어촌 지역의 학생 수의 감소로 인해 소규모학교가 증가하고 있음에 따라 정부는 효율적인 국가 교육재정과 정상적인 교육과정 운영 측면에 문제가 있음을 인식하였다(Ma, 2010; Min & Hong, 2011). 이에 교육부는 1982년부터 소규모학교에 대한 통폐합 정책을 추진하여 적정 수준의 학생 수, 학급 수, 학급당 학생 수 등을 확보하여 교육적 효과를 극대화하고자 하였다. 교육부는 학교의 적정규모 기준에 따라 학생수가 초등학교 360명 이상 1,080명 이하, 중고교 450명 이상 1,260명 이하(학급수 18개 이상 36개 이하)인 기준에 미치지 못하는 학교를 적정규모 학교로 육성(통폐합)할 것을 권고하고 있다. 이러한 교육부의 새로운 적정규모 학교 기준에 따라 전체 학교 중 약 23%(2,747개교)가 통폐합 대상으로 그 중 특별시와 광역시를 제외한 9개의 도 지역에서 전체 통폐합 대상의 83%가 소재하며, 도서·벽지·면 지역이 전체의 약 66%를 차지한다(Kwon, 2016).

학교들이 통폐합되는 현상은 농촌지역에서 더욱 두드러지면서 교육환경이 급격히 악화되고 있다(Lee & Lee, 2008; Lin *et al.*, 2014; Cho & Lee, 2015). 교육시설의 통폐합은 교육환경의 악화로만 그치는 것이 아니라 교육 기회의 박탈을 넘어서 농촌지역의 지역공동체 붕괴를 가속하는 원인이 되고 있다(Kearns *et al.*, 2010; Haiming *et al.*, 2013; Qingyang, 2014; Seo, 2017; Sipple *et al.*, 2019). 농어촌지역의 학교 통폐합으로 인한 교육환경의 악화가 지역주민의 유출로 인한 인구감소의 원인이 되고, 지역의 인구감소가 다시 교육시설에 대한 수요기반을 더욱 약화시키고 교육시설의 입지 효율성을 저하시키면서 또다시 학교를 축소하거나 폐쇄하는 방향으로 귀결되는 악순환의 구조를 낳기 때문이다

(Alsbury & Shaw, 2005; Jeong, 2002; Jeong, 2014; Kvalsund, 2019). 이러한 농촌지역의 교육시설 통폐합은 교육형평성 문제와 함께 학생들의 통학거리 및 통학시간의 증가, 그에 따른 학생들의 건강 문제, 수업 결손 및 교육 활동의 제한, 그리고 학교 시설 활용도의 감소에 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다(Howley *et al.*, 2001; Voulgaris *et al.*, 2019; Gristy, 2019; Choi, 2007). 특히, 학생 이동 거리 한계와 지역 갈등으로 농촌지역의 학교 통폐합 정책은 한계에 도달했다는 진단도 있다(Bard *et al.*, 2006 ; Bajerski, 2015; Kovács, 2012).

교육시설은 공공서비스를 제공하는 공공재로서의 성격이 강하기 때문에 시설의 적절한 이용과 분배를 고려하는 사회적 형평성이 중요한 요소로 인식되어야 한다(Alsbury & Shaw, 2006; Mihai, 2020; Lee, 2012). 헌법은 누구나 교육받을 권리가 있다는 사실을 명시하며 법적으로 6년의 무상 초등교육을 의무로 하고 있다. 따라서 정부는 학교까지의 통학접근성에 대한 보다 현실적이고 균형 잡힌 고민이 필요하다(Ko & Oh, 2018). Ryu *et al.* (2018)는 인구가 지속해서 감소하는 경향으로 볼 때, 작은 학교를 보는 관점에 대한 재검토가 필요하다고 주장하였다. 이에 인구 감소로 학교 규모가 줄어드는 추세가 지속된다면, 그 학교들을 모두 통폐합 대상으로 보는 것은 무리라고 지적하였다. 이러한 이유로 각 지자체 교육청에서는 작은학교 지원조례 제정을 추진하는 등 작은 학교를 살리는 방안을 고민하고 있으며, 학령인구 감소 실태에 기초해 교육체제 전반을 재구조화할 필요가 있다고 주장하였다(Lee *et al.*, 2011a). 그동안 특색교육과정, 공모교장제 등 농산어촌 작은 학교를 통폐합하지 않고 지속시키려는 다방면의 노력에도 불구하고 학생 수가 늘어나는 효과를 쉽게 기대하기는 어려웠다(Jang, 2004). 따라서 작은 학교를 통한 교육여건 개선이나 지방자치단체가 작은 학교 운영을 적극적으로 지원하고 협력하는

방안이 필요하다는 의견이 제기되고 있다(Villa & Knutas, 2020). 또한, 농산어촌의 소규모학교의 통폐합이 불가피하다면 통폐합 정책은 효율성과 형평성을 모두 추구할 수 있는 방향으로 진행될 필요가 있음을 강조하고 있다(Choi, 2008; Oh & Kim, 2017).

수직적 형평성에 관한 연구가 주를 이루고 있으나(Alexander & Alexander, 2001; Berry, 2006; Jeong *et al.*, 2011), 도시와 농촌지역을 대상으로 통학접근성을 형평성 측면에서 살펴본 연구는 상대적으로 찾아보기 어렵다(Kim *et al.*, 2020). Talen(2001)은 미국 Virginia 도시 근교 지역의 초등학교 접근성 분석을 위하여 주거지역으로부터 초등학교까지 도로망 기반의 거리 혹은 통학 비용을 산정하여 접근성 분석을 시행하였으며, 초등학교까지의 접근성은 도시화율, 지가, 자가비율 등의 다양한 사회경제적 요인에 의해 차별화되며, 학업 성취도와 관계가 있다고 제안하여, 교육 기회의 공간적 불평등이 결과의 불평등으로 이어질 수 있음을 시사하였다. 또한 Choi(2007)은 지역별 교육환경의 격차를 평가하고자 공립초등학교를 대상으로 학교의 분포와 접근성 분석을 통해 사회적 형평성을 측정하고자 하였다. 도시지역에 소재하고 있는 초등학교의 통학여건을 살펴보고자 아파트 단지로부터 학교까지의 직선거리를 추정하였으며, 농촌지역에 폐교로 인한 초등학교의 통학여건은 통학버스의 노선 및 운행 거리를 직선거리로 추정하여 도시와 비교하면 농촌지역이 폐교로 인하여 통학여건의 악화가 심각한 것으로 분석하였다.

학교-집 거리는 통학수단을 결정하는데 중요한 요소로 작용되며, 적정한 통학환경을 마련해주는 것이 필요하다(D'Haese & De Meester, 2011; Macdonald *et al.*, 2019; Nelson *et al.*, 2008). 이에 Liu *et al.*(2020)은 학교와 집 사이의 유클리디안 직선거리와 도로거리의 비교를

통해 학교의 입지나 학군을 결정할 때에는 주거지로부터 가장 가까운 학교로 할당하는 것이 학생들의 건강을 챙김과 동시에 사회적으로도 환경·경제적이라고 주장하였다. 또한, Hanley(2007)은 학군의 규모와 버스 교통비 사이의 관계를 분석함으로써 학교의 통폐합이 진행될 때의 비용의 변화를 추정하였으며, 통폐합으로 학군이 넓어짐에 따라 통학버스를 추가적으로 운영하면서 발생할 수 있는 교통수단의 운영비용과 자본 비용은 각각 최대 10% 및 7.7%까지 증가할 수 있음을 시사하였다.

1.2. 연구목적

본 연구는 학령인구 감소로 인한 초등교육시설의 통폐합에 따른 통학접근성 변화를 산정하고, 이를 바탕으로 교육시설 입지 최적화 모델을 개발하고자 한다. 통학접근성 산정을 위해 도시와 농촌의 생활권 중심을 대표할 수 있는 시설을 설정하고, 생활권 중심으로부터 초등교육시설까지 실제 도로망 기반으로 가장 가까운 초등학교까지의 최소 통학거리를 산정한다. 또한, 실제 통학환경을 반영하고자 초등학교별로 지정된 학구 내에서의 통학거리를 산정하여, 최단 통학거리와의 비교를 통해 학구 지정에 따른 통학접근성 영향을 평가하고자 한다. 이를 기반으로 2000년부터 2020년까지 초등학교 통폐합에 따른 통학접근성 변화를 살펴보고 도농간 교육형평성 차이를 비교한다. 통학접근성 변화를 바탕으로 공간최적화 기법을 이용하여 형평성을 기반으로 한 시설의 통폐합 우선순위를 설정하는 모델을 제시한다. 이를 위해 수요-공급을 바탕으로 시설의 입지를 결정하는 p-median 알고리즘을 활용하며, 폐교 우선순위를 결정하기 위하여 이 알고리즘에 휴리스틱 기법을 더하였다. 이를 통해 연구대상지의 기존 학군과 p-median 기법으로 모의된 최적의 학군을 비교하여 학군설정의 불균형을 살펴보았다. 또한, 실제 폐교 순위와 휴리스틱 p-median 알고

리즘을 통해 결정된 폐교 순위를 비교함으로써 통학환경의 변화를 분석하였다.

2. 분석 방법 및 자료

2.1. 초등교육시설 및 학구도 데이터

2.1.1. 지역별 초등교육시설 데이터

초등학교 위치 데이터는 「초·중등교육법」에 따라 설립을 승인 받아 운영하는 초등학교, 중학교, 고등학교의 소재지 정보를 제공하는 표준데이터에서 초등학교 정보를 추출하였다. 학교 위치 데이터는 학구도안내서비스(schoolzone.emac.kr)에서 CSV 형태로 제공하고 있다(Table 4-1). 학교에 대한 제공정보는 총 18개의 항목으로 구성되어 있으며 크게 학교 운영 관련 정보, 관할 교육청 정보, 데이터 제작여부, 그리고 좌표로 표시한 위치정보다. 학교 운영 관련 정보는 학교의 일련번호로 표시한 학교 ID, 학교명, 학교급구분(초/중/고등학교), 설립일자, 설립형태(국립/공립/사립), 본교분교구분(본교/분교), 운영상태(운영/휴교/폐교) 등 7개이다. 학교의 관할 교육청 관련 항목은 시도교육청코드, 시도교육청명, 교육지원청코드, 교육지원청명 등 4개이다. 학교 데이터 제작과 관련한 항목은 학교정보 등록일자, 변경일자, 데이터 작성 기준 일자 등 3개 항목이다. 좌표로 표시하는 학교 위치 정보는 위도와 경도인 2개의 항목으로 제공되며, WGS84(World Geodetic System 1984) 위도좌표계를 사용하여 학교의 중앙지점을 위경도 좌표값의 소수점 이하 6자리 이상 10자리 이하로 표시되어 있다.

[Table 4-1] Service item and its attribute information of school district data provided by the Ministry of Education

No	Service item (Mandatory choice)		Attribute information
1	ID of school	Yes	Text
2	Name of school	Yes	Text
3	Division of school	Yes	Text
4	Establishment date	Yes	YYYY-MM-DD
5	Establishment type	Yes	Text
6	Principal/branch school	Yes	Text
7	Operational state	Yes	Text
8	Land-Lot based address of school	No	Text
9	Load-name based address of school	Yes	Text
10	Code of municipal ministry of education	Yes	NNNNNNN
11	Name of municipal ministry of education	Yes	Text
12	Code of education office	Yes	NNNNNNN
13	Name of education office	Yes	Text
14	Creation date	Yes	YYYY-MM-DD
15	Modification date	No	YYYY-MM-DD
16	Latitude	Yes	NN.NNNNNN
17	Longitude	Yes	NN.NNNNNN
18	Reference date of data	Yes	YYYY-MM-DD

2021년을 기준으로 전국의 초등학교는 총 5,977개소(제주 제외)가 운영 중이며, 이 가운데 60%에 달하는 3,593개의 초등학교가 도시지역에 위치하고 있으며, 농촌지역에는 40%에 해당하는 2,384개가 위치하고 있는 것으로 나타났다(Table 4-2). 대부분의 폐교는 강원도, 경상북도, 경상남도, 충청북도, 전라남도 등을 중심으로 진행된 것으로 파악된다.

[Table 4-2] Open and Closed primary schools by province in 2021

Convince	Operating school		Closed school	
	Urban	Rural	Urban	Rural
Seoul	608	-	1	-
Busan	284	21	17	3
Incheon	220	-	1	-
Gwangju	156	-	5	-
Deagu	198	32	4	6
Daejeon	150	-	4	-
Ulsan	91	32	5	13
Sejong	30	19	0	1
Gyeonggi	910	352	7	63
Gangwon	113	234	6	219
Chungbuk	93	177	6	125
Chungnam	98	316	2	64
Jeonbuk	167	250	4	40
Jeonnam	111	296	2	141
Kyeongbuk	153	352	12	208
Kyeongnam	211	303	11	179
Total	3,593	2,384	87	1,062

2.1.2. 학교별 학구도 데이터

학구도는「초·중등교육법」시행령에 따른 제16조의 초등학교 통학구역과 제68조의 중학교 학교군·중학구, 제84조의 고등학교 학교군을 포괄하는 개념으로 지역별로 학교 상호간의 적정한 수용능력과 학생의 통학여건을 고려하여 교육감 또는 교육장이 설정 고시하는 도면을 총칭한다. 이에 초등학교의 경우, 학구(통학구역) 지정의 예외학교는 대학 부설초등학교와 사립초등학교로 한정되어 있다.

[Table 4-3] Service item and its attribute information of school district data provided by the Ministry of Education

No	Service item (Mandatory choice)		Attribute information
1	ID of school district	Yes	Text
2	Name of school district	Yes	Text
3	Type of school district	Yes	Text
4	Code of province (Si-Do)	Yes	NN
5	Code of city (Si-Gun-Gu)	Yes	NNN
6	Code of municipal ministry of education	Yes	NNNNNNN
7	Name of municipal ministry of education	Yes	Text
8	Code of education office	Yes	NNNNNNN
9	Name of education office	Yes	Text
10	Creation date	Yes	YYYY-MM-DD
11	Modification date	No	YYYY-MM-DD
12	Spatial object ID	Yes	NNNNN
13	Reference date of data	Yes	YYYY-MM-DD

초등학교 통학구역 데이터는 「초·중등교육법」에 따라 한국교원대학교에서 매년 2회(3월, 9월)에 걸쳐 초등학교 통학구역 및 공동통학구역의 도면을 표준데이터 형태로 제공한다. 통학구역의 공간정보 파일은 학구도안내서비스(schoolzone.emac.kr)에서 GIS 소프트웨어에 호환이 가능한 SHP 파일 형태로 내려받을 수 있다. 초등학교 통학구역 데이터에는 13개의 항목으로 구성되어 있으며, 항목별로 속성정보의 표현형식과 단위가 제시되어 있다(Table 4-3). 학구도와 관련 있는 항목은 3개이며, 학구도 일련번호로 표시한 학구ID, 학구명, 통학구역 혹은 공동통학구역 여부를 나타내는 학구분류이다. 학구도의 소재지를 나타내는 항목은 시도코드, 시군구코드, 시도교육청코드, 시도교육청명, 교육지원청코드, 교육지원청명 등 6개이다. 학구도 제작과 관련한 항목은 학구도 제작일자, 변경일자, 공간객체ID, 데이터 작성 기준일자 등 4개이다.

2021년 2월 기준으로 지역별 국공립 초등학교의 통학구역 및 공동통학구역은 각각 5,971개소와 769개소로 총 6,740개로 구성되어 있다(Table 4-4). 가장 많은 통학구역이 존재하는 지역은 경기도(약 1,621구역)이다.

2.2. 지역별 마을단위 생활권 중심지 설정

생활권의 중심은 마을 주민의 일상생활을 지원하는 생활편익시설이 집적된 공간으로써 지역주민의 삶의 질 향상을 위한 공간이라 할 수 있다(Lee & Jang, 2013). 덧붙여 생활중심시설은 거주지에 근접하여 교육, 문화, 복지 등 개인과 이웃 간의 생활에 중심이 되는 공동체 활동을 위한 시설을 일컬으며, 지역 주민 간 교류 활성화를 도모하고자 하는 시설로 정의할 수 있다(Lee & Jang, 2013; Jang & Maeng, 2010). 실제 농촌 주민의 여가활동 시 공공시설의 이용형태를 보면, 농촌지역의 60대 이상

[Table 4-4] Public school districts of primary schools by province in 2021

Province	Elementary school		Total
	School district	Joint school district	
Seoul	560	50	610
Busan	296	10	306
Daegu	220	5	225
Incheon	259	3	262
Gwangju	151	11	162
Deajeon	146	16	162
Ulsan	117	2	119
Sejong	49	10	59
Gyeonggi	1,315	306	1,621
Gangwon	356	44	400
Chungbuk	242	69	311
Chungnam	388	23	411
Jeonbuk	405	28	433
Jeonnam	426	56	482
Kyeongbuk	427	50	477
Kyeongnam	497	78	575
Jeju	117	8	125
Total	5,971	769	6,740

의 경우 여가시설은 주로 마을회관, 40대 이하는 읍·면사무소를 이용하는 것으로 나타나고 있다(Hwang & Shin, 2014). 오늘날 농촌사회의 마을회관은 농촌 산업화 이전 마을공동체 문화가 농촌마을 사회에 맞게 재편, 재창조되어 주민들의 회의, 식음, 이야기, 놀이, 노동, 잔치 등 공동체문화 터전으로 자리 잡고 있다(Bae, 2012).

마을회관은 농촌지역 대부분의 마을마다 존재하며, 주민활동의 실질적인 공간임과 동시에 노인인구 비중이 높은 농촌지역 인구구조에 따라 경로당의 기능을 병행한다(Jin *et al.*, 2014). 이에 따라 농촌지역을 대상으로 시설의 접근성을 분석한 연구(Kim *et al.*, 2015; Jeon *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2020)에서는 중심지점은 마을의 행정경계를 이용한 기하학적 중심이 아닌 실제 농촌지역의 주민들이 거주하고 있는 생활권의 중심인 마을회관으로 정의하였다. 또한 마을회관이 부재한 지역에 대해서는 대표지점을 경로당, 노인정으로 대치하였으며, 마을회관, 경로당, 노인정의 소재지 주소를 수집하여 사용하였다.

2021년 기준 전국의 행정리는 41,018개가 분포하고 있으며, 군사보호지역 및 도서지역을 제외한 지역은 39,792개가 분포하고 있다. 그러나 행정리는 농촌지역의 행정의 편의로 만들어지는 가상의 행정경계로 설정되어 있다. 이로 인하여 주거지는 행정리로 표현이 가능하나, 이를 제외한 농경지와 같은 공간은 인위적으로 설정되어 있다. 이러한 상황에서 마을의 중심지를 마을회관, 경로당, 노인정으로 설정하고 있으나, 최근 도시개발 및 택지개발 등으로 인하여 아파트의 1개 동이 행정리로 변경되거나, 노후된 마을회관 및 노인정의 위치 변화로 전국 행정리 마을의 중심점이 변화하고 있다.

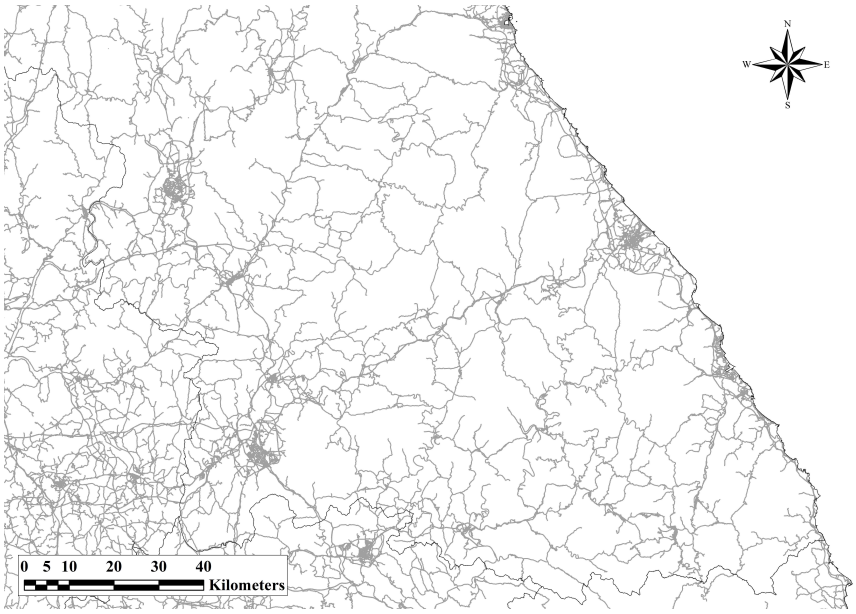
이를 보완하고자 Jeon *et al.*(2016)은 전국 마을의 안전지수를 산정할 때 인구와 생활권을 고려한 행정리가 아닌 여러 개의 행정리를 묶어 법률로 정한 법정리를 사용함으로써 데이터 계산의 수를 감축하였으나 마을단위의 주민 생활권 중심을 대표하기에는 무리가 있다. 이에 최근에는 지리정보시스템 기술의 발전과 인구·건물·토지이용과 같은 속성정보를 담은 공간통계 데이터가 보급됨에 따라 국토를 격자망으로 나누어 각 격자 안에 속성정보를 담은 데이터를 이용한다. Jun(2016)은 격자 셀의 크기가 210m 이하 지도가 인구를 보다 정확하게 추정할 수 있는 해상도라고 주장하였다. 이에 시설과 시설 사이의 접근성을 분석할 때에는 마을회관과 시설까지의 물리적인 접근성을 분석하였으며, 마을 주민들의 밀도를 고려해야 할 경우 국토지리정보원에서 제공하는 국토통계지도(인구 격자)를 사용하였다.

2.3. 실제도로거리 기반의 통학접근성 분석

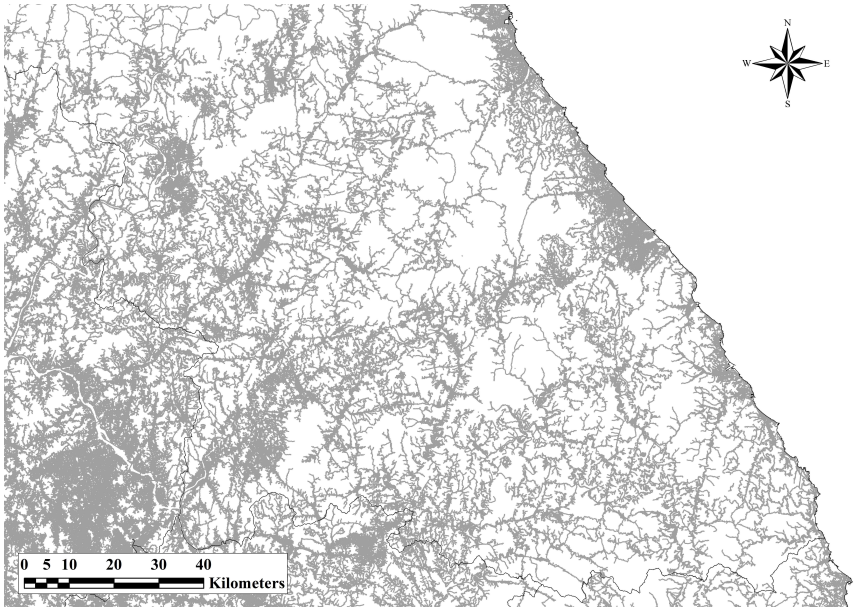
2.3.1. 도로망도를 이용한 실제 도로거리 산정

전국 단위의 도로망은 표준노드링크의 도로망과 수치지형도의 도로망을 병합하여 구축하였다. 표준노드링크 도로망은 국토교통부의 지능형교통체계관리시스템(Intelligent Transport Systems, ITS)에서 제공하고 있으며(Figure 4-1(a)), 수치지형도의 도로망은 국토지리정보원에서 제공하고 있는 1:25,000 축척의 수치지형도(Figure 4-1(b))를 병합하여 도로망도를 구축하였다.

구축한 도로망을 이용하여 마을 단위의 초등학교 통학접근성을 산정하고자 각 주민센터와 마을회관으로부터 초등학교까지의 실제 도로거리를 추정하였다. 이를 위하여 전국에 있는 주민센터, 마을회관과 초등교육시



(a) Traffic road network map provided by ITS national transport information in Gangwon



(b) Road layer of 1:25,000 digital map in Gangwon

[Figure 4-1] Road network map integrated by ITS map and digital map in Gangwon province

설 및 폐교의 소재지 주소를 수집한 후 GRS 80(Geodetic Reference System 1980) 타원체 기반의 TM(Transverse Mercator) 좌표계로 지오코딩(Geocoding)하여 분석에 사용하였다.

주변 시설물, 도로현황, 지형구배 등의 지역의 공간적 특성을 반영하여 최단거리를 산정하기 위해 ArcGIS^{TM}의 Network Analysis를 이용하였다. 마을회관(i)으로부터 각 초등학교 혹은 폐교(j)까지의 실제 도로망 최단거리(d_{ij})를 산정한 후, 가장 가까운 교육시설까지의 실제 도로거리(D_i)를 사용하였다(식 4-1). 더 나아가 초등학생이 진학하는 학교에 대한 실제 상황을 고려하기 위하여 학구도를 바탕으로 통학접근성을 산정하였다. 이를 위해 교육부에서 제공하는 공공데이터 중 초등학교별 통학구역도인 학구도 SHP 파일을 이용하여 통학구역 및 공동통학구역를 기반으로 경계를 설정하고, 해당 통학구역 안에서의 마을별 해당 학교까지의 최소 도로거리를 산정하였다.

$$D_{ij} = \min d_{ij} \tag{4-1}$$

Where, d_{ij} is real road distance from community center of village (i) to elementary school (j) and D_i is minimum value of real road distance (d_{ij}) from village hall to elementary school.

2.3.2. 교육시설 접근성 지표를 이용한 통학접근성 평가

학생들의 통학을 위한 적정 통학 거리 혹은 보행 거리에 대한 기준은 국가, 지역, 그리고 연구자에 따라 상이하므로 학교가 소재하는 위치가 도시 혹은 농촌인지에 따라 그 적정 기준이 다르다(Lee *et al.*, 2011b), 이에 따라 일관된 지표를 이용하여 마을별 교육시설의 접근성을 평가하고자 국내의 법정 통학 거리를 평가 기준으로 사용하였다. Korean

Educational Development Institute(2014)에 따르면 학교의 위치는 학생의 거주 분포를 고려하여 단위 통학권의 중심에 배치하며, 학생의 통학 범위는 초등학교의 경우 근린주거구역으로부터 도보로 30분 정도, 중·고등학교의 경우 근린주거구역으로부터 대중교통을 이용하여 30분 정도일 것으로 정의하고 있다. 이를 초등학교 최대도보거리로 환산하여 거리 범위를 5단계로 구분하여 '매우우수'부터 '매우 미흡'까지 제시하고 있다(Table 4-5). 통학시 최대도보거리가 400m 이하일 경우 '매우 우수'부터 1,500m 이상인 경우 '매우 취약'으로 구분한다. 최대도보거리 조사방법으로는 해당 학교 용지의 중심으로부터 주거단지 중심까지의 최대 도보 통학 거리를 현장조사와 토지이용계획도면을 이용하여 측정한 후, 통학소요시간을 측정한다.

이에 마을회관으로부터 교육시설까지의 물리적인 접근성(Physical

[Table 4-5] The criteria of physical accessibility regarding to legally defined commuting distance to educational facilities (catchment distance).

Criteria	Distance Range* (m)		
	Elementary school	Middle school	High school
Excellent	less 400	less 800	
Fair	400-800	800-1,600	
Normal	800-1,000	1,600-2,400	
Vulnerable	1,000-1,500	2,400-3,000	
Very Vulnerable	over 1,500	over 3,000	

* The distance range is maximum walking distance covered by commuting time. In the accessibility evaluation standard, we set as 'normal' when it takes about 30 minutes on foot for commuting time to elementary school and on public transportation for commuting time to secondary school.

accessibility)을 평가하고자 한국교육개발원(2014)에서 제시한 학생의 통학 범위를 기반으로 하여 마을회관으로부터 가장 가까운 학교까지의 실제 도로거리를 산정한 후, '매우 우수(Excellent)'부터 '매우 취약(Very Vulnerable)'까지 5등급으로 평가 기준을 설정하여 교육시설까지의 통학 접근성을 평가하였다.

2.4. 교육형평성 기반의 최적 학군 재설정 입지최적화 모델 개발

2.4.1. 하이브리드 휴리스틱 p-median 문제 알고리즘

교육형평성 측면에서의 학구도 재설정 문제를 모의하고자 P-median problem을 적용하였다. Hakimi(1964)가 소개한 P-median 문제는 한정된 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방안을 모색하는 공간최적화 문제 중 하나의 방법이다(Kim & Lee, 2020; Afsharin, 2019). P-median 문제는 어느 시설을 설치할 수 있는 여러 후보입지 가운데 수요지로부터 최소의 수송비용으로 모든 소비자의 수요를 충족시킬 수 있는 p개 이하의 시설 입지를 결정한다(Irawan, 2016; Mladenović *et al.*, 2007; Reese, 2006). 이 방법은 주로 경찰서, 소방서, 의료시설, 환경처리시설 등과 같은 공공시설뿐만 아니라 편의점, 대형할인매장, 자전거주차장 등과 같은 민간시설의 입지 문제 등에 자주 적용된다(Park *et al.*, 2013).

P-median 알고리즘은 초등학교의 학군설정 모델에서 역시 학교를 이용하는 학생을 위해 학교의 위치에서 평균 통학거리가 최소화되도록 위치 혹은 구역을 설정하는 알고리즘이 적합하다고 판단된다. 또한, 통학형평

성을 고려하여 여러 학교 가운데에 평균 통학거리가 최소가 되는 학교를 중심으로 학군을 재설정하거나 평균 통학거리가 가장 큰 학교를 먼저 통폐합하는 모델을 구성하기 위해서 Whitaker(1983)과 Tillard(2003) 등의 연구에서 제안한 휴리스틱한 방법을 이용하였다. 이 휴리스틱 p-median 알고리즘은 평균 통학거리가 가장 큰 학교 1개를 먼저 통폐합하는 1-median 알고리즘을 수행한 후 휴리스틱하게 최소의 거리로 통학할 수 있는 학군을 설정하는 흐름을 가지고 있다. 따라서 통학형평성을 기반으로 한 학군 재설정 및 통폐합 대상 우선순위 결정 문제는 휴리스틱 알고리즘을 적용한 p-median 문제를 통해 해결할 수 있으며, 기본 모델을 구성하는 결정변수는 다음 식 4-2 및 식 4-3과 같이 결정한다.

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{If a school is located in location } j \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{4-2}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{If a village } i \text{ is allocated in the nearest neighbor school } j \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{4-3}$$

where, All demand nodes (i) and schools (j) consist of a set ($^{\forall} i \in N$) and a set P ($^{\forall} j \in P$), respectively. The decision variable X_j is a binary integer that determines where the school is located, defining 1 if a school is located in location j and 0 otherwise. The decision variable Y_{ij} is also a binary integer, defining 1 if a village i is allocated in the nearest neighbor school j and 0 otherwise.

결정변수 X_j와 Y_{ij}를 이용하여 통학접근성이 최대가 되는 최적의 목적함수는 다음 식 4-4와 같이 표현하며 그에 따른 제약함수는 식 4-4(a)~4-4(e)로 나타낸다. 목적함수 Z는 모든 수요지점(격자망)과 학교 간의 거리(d_{ij})를 최소화함으로써 학생들의 학교에 대한 접근성을 최대화

한다. 거리(D_{ij})는 모든 격자망에서 최근린 학교까지의 총 최단 실제 도로 거리를 의미한다. 이는 총 통학거리가 작을수록 학생의 총 이동거리 혹은 평균거리가 짧아져 공간적으로 형평한 교육서비스를 제공할 수 있음을 의미한다.

Objectives :

$$Z = \min \sum_{i \in P} \sum_{j \in P} D_{ij} Y_{ij} \tag{4-4}$$

Constraints :

$$\sum_{j \in P} Y_{ij} = 1 \qquad {}^{\forall} i \in N \tag{4-4(a)}$$

$$\sum_{j \in P} X_j = p \tag{4-4(b)}$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \qquad {}^{\forall} i \in N, {}^{\forall} j \in P \tag{4-4(c)}$$

$$X_j = \{0, 1\} \qquad {}^{\forall} j \in P \tag{4-4(d)}$$

$$Y_{ij} = \{0, 1\} \qquad {}^{\forall} i \in N, {}^{\forall} j \in P \tag{4-4(e)}$$

Where the objective function (Z) in equation (4-4) seeks maximize student access to schools by minimizing the commuting distance (D_{ij}) between demand node (i) and supply node (j). The commuting distance refers to the summed shortest real road distance from a village to the nearest school. This means that the shorter the total commuting distance, the shorter the student's total travel distance or average distance, which can provide spatially balanced educational services. This constraint (4-4(a)) ensures that a demand node (i) is allocated for some schools. The constraint (4-4(b)) ensures that only p schools are located near the closest school. The constraint (4-4(c)) implies that demand node (i) can be

allocated by school (j), which also ensures that total demand is assigned to a school.

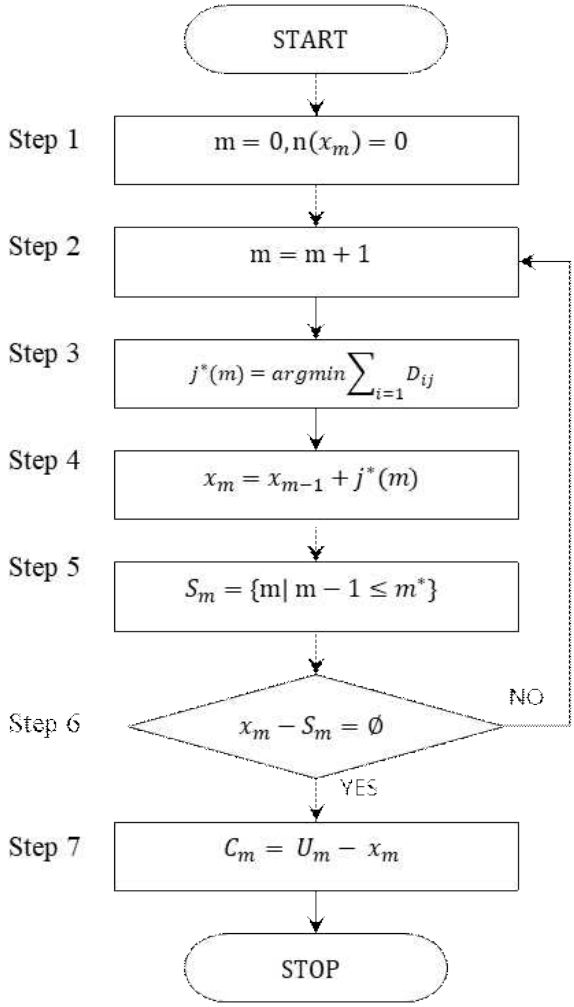
2.4.2. p-median 알고리즘의 휴리스틱 순서도

기본 p-median 알고리즘은 수요-공급 사이의 최단 경로 데이터를 이용하여 최적 입지를 선정할 수 있으나, 결정할 최종후보지가 다수이거나 기존 공급지 중 폐쇄할 시설을 선정하기 위해서는 휴리스틱한 방법을 이용하였다. 휴리스틱 p-median 알고리즘은 하나의 시설물을 먼저 선정하는 1-median algorithm을 기반으로 우선순위의 시설물을 선정한 후 휴리스틱하게 목적함수에 맞게 추가 혹은 배제하는 형식이다(Murray *et al.*, 2019). 이에 통학거리를 최소화하는 초등학교의 학군 설정과 통폐합 우선순위 결정 문제의 해를 구하기 위한 휴리스틱 p-median 알고리즘은 Figure 4-2와 같은 절차로 수행된다.

Step 1〉 $m=0$로 초기화한다. $n(x_m)=0$으로 x_m공집합으로 정의한다. m은 현재까지 지역 내에서 통폐합 혹은 운영되고 있는 모든 학교의 입지점들의 수를 계산한 것이다. 이에 x_m은 알고리즘의 각 단계에서 형평성을 고려하여 운영되어야 하는 m개의 학교이다.

Step 2〉 m을 1씩 증가시킨다. 후보군 중 학교로 선정된 노드들의 수를 계산한다.

Step 3〉 x_{m-1}의 집합에 포함되어 있지 않은 각 후보노드 j에 대하여 $\sum_{i=1} D_{ij}$을 계산한다. x_{m-1}의 집합은 노드 j에서 $m-1$개의 학교로 이미 설정된 것이며, m은 p-median 1차 목적함수의 값인



[Figure 4-2] Flow chart for the heuristic p-median algorithm for consolidation and closure prioritization in primary schools

$\sum_{i=1} D_{ij}$로 계산한다.

Step 4〉 1차 목적함수 $\sum_{i=1} D_{ij}$를 최소화하는 노드 $j^*(m)$을 찾는다. 즉, $j^*(m) = \text{argmin} \sum_{i=1} D_{ij}$이다. 이는 먼저 $m-1$개의 운영할 학교

가 선정되어지고, m번째 학교에 대한 최적의 입지로 $j^*(m)$가 선정됨을 의미한다. 여기서, 집합 x_m을 얻기 위해 x_{m-1}집합에 노드 $j^*(m)$을 추가하는 형태이며, $x_m = x_{m-1} \cup j^*(m)$으로 설정한다.

Step 5〉 학교 시설 m의 부분집합 S_m을 구축한다. 부분집합 S_m은 후보 학교수인 $m-1$이 임계 학교수 m^*와 같거나 적어야 한다. 여기서 임계 학교수 m^*는 연구자 혹은 정책입안자가 지역 내 전체 학교 수에서 폐교해야 할 학교를 제외하고 운영해야 할 학교의 수로 결정된다.

Step 6〉 학교 후보군 집합 x_m에서 지역 내 운영할 학교의 여유 후보군이 있다면($x_m - S_m \neq \varnothing$), 다시 Step 2로 돌아간다. 지역 내 운영할 학교의 여유 후보군이 없다면 ($x_m - S_m = \varnothing$), Stop 한다.

Step 7〉 C_m의 학교는 전체집합 U_m에서 집합 x_m에 속하지 않는 원소의 집합으로써 집합 x_m의 전체집합 U_m에 대한 여집합이다. 이는 형평성 측면에서 목적함수 Z_j^m을 최소화하는 문제를 만족시키며 운영하는 학교 수를 제외한 폐교 우선순위 대상이 된다.

3. 분석 결과

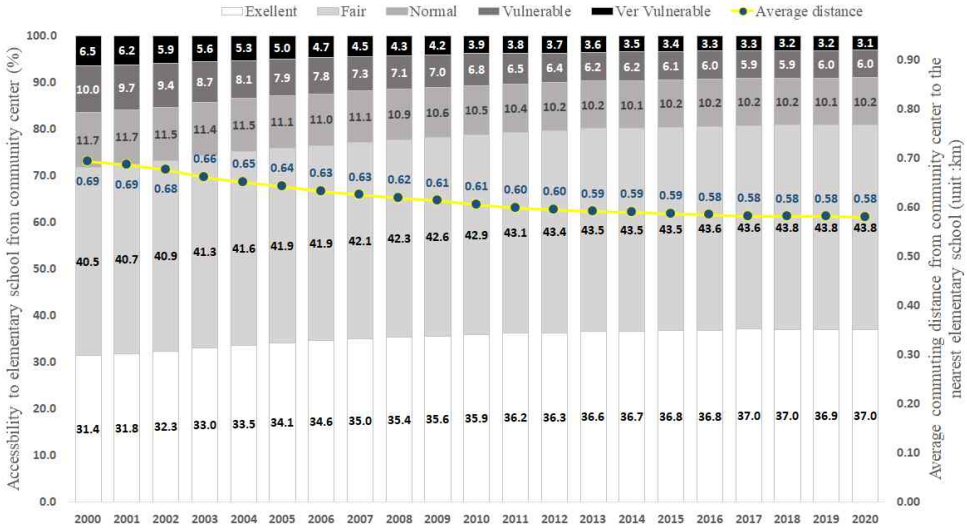
3.1. 초등교육시설의 도농간 통학접근성 변화

3.1.1. 신설 및 통폐합에 따른 시계열적 통학접근성 변화

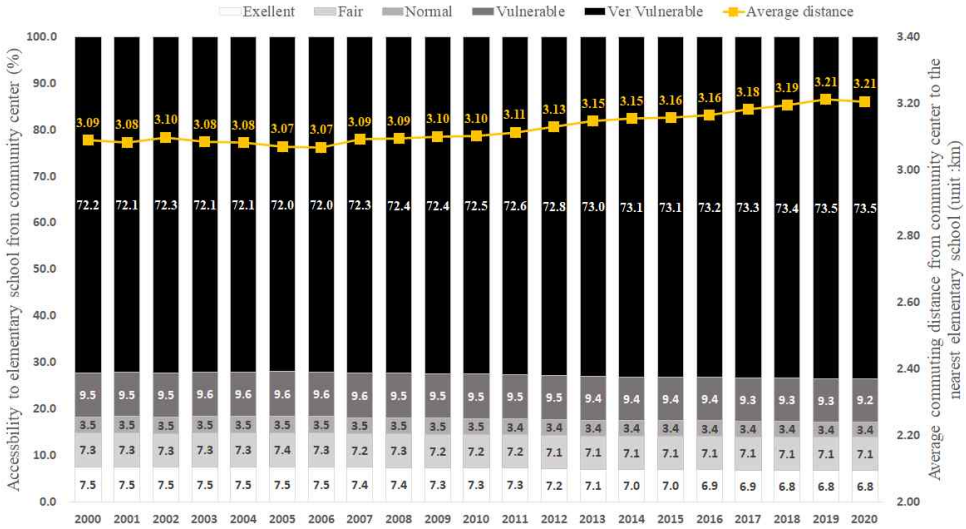
1) 도농간 통학거리 변화

전국 도시와 농촌마을의 중심지로부터 가장 가까운 초등학교까지의 평균 통학거리를 산정하였다(Figure 4-3). 그 결과 도시지역은 2000년 평균 통학거리는 0.69km에서 2020년 0.58km로 약 19.4%의 통학거리가 감소하였으며, 농촌지역은 2000년 3.09km에서 2020년 3.21km으로 약 3.8%가 증가하였다.

20년간의 추세로 보면, 도시지역의 평균 통학거리는 16.3% 정도 감소한 반면, 농촌지역의 통학거리는 3.8% 증가하였다. 이는 도시지역의 경우 초등학교 신설로 통학거리가 짧아지고 있으나 농촌지역이 통폐합으로 인해 통학거리가 증가하는 영향이 크다는 것으로 볼 수 있다. 이를 2020년을 기준으로 평균 통학거리를 도시와 농촌으로 구분 지어 살펴보면, 농촌의 평균 통학거리는 도시에 비해 약 5.5배 높은 수준으로 도농간의 통학접근성에 대한 형평성에 차이를 보이는 것으로 분석되었다.



(a) Commuting environment in urban areas

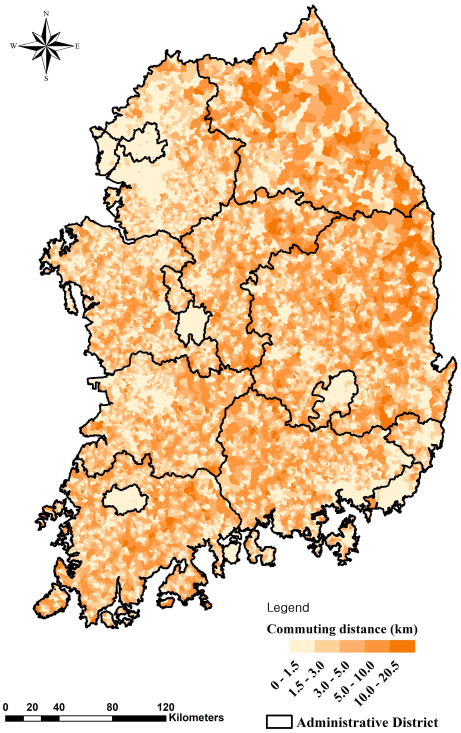


(b) Commuting environment in rural areas

[Figure 4-3] Accessibility Grades and the average commuting distance of elementary schools to community centers (2000-2020)

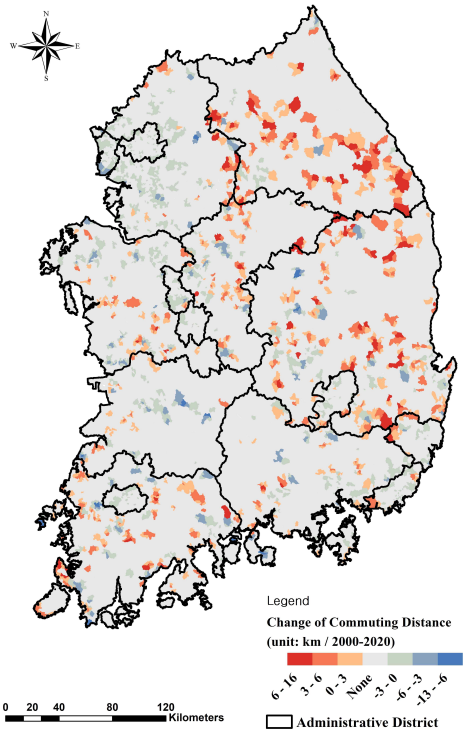
2020년을 기준으로 산정된 통학거리를 지역별로 살펴보면(Figure 4-4), 서울시와 수도권 인근, 광역시 등 도시지역을 중심으로 낮은 통학거리가 분포하는 것으로 나타났으며, 그 외의 지역은 5km 이상의 높은 통학거리가 분포하는 것으로 나타났다.

지역별 초등학교의 신설 및 통폐합에 따른 통학거리의 변화를 살펴보고자 2000년 통학거리와 2020년 통학거리의 차이를 나타냈다(Figure 4-5). 서울시와 수도권 인근, 광역시 등의 지역에서 0~6km의 수준으로 통학거리가 감소하는 지역이 분포하고 있으며, 충청남도의 북부지역과 전라북도 지역에서 통학거리가 감소하는 지역이 분포하는 것으로 나타났다.



[Figure 4-4] Commuting accessibility by real-road distance in 2020

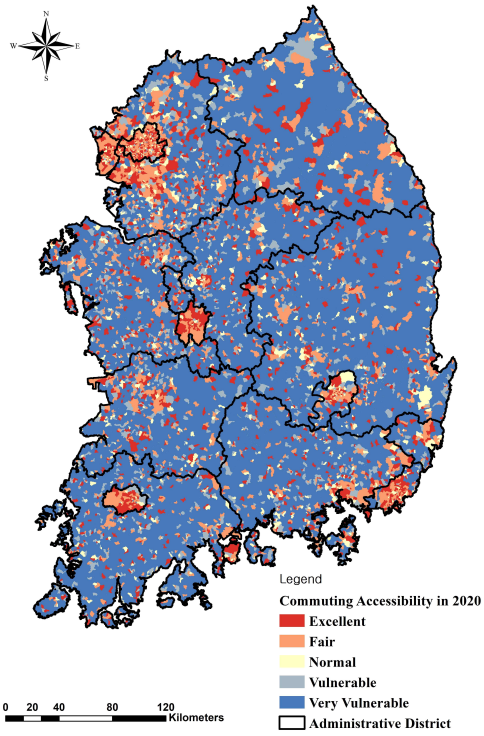
충청남도의 북부지역은 경기도 지리적으로 근접하여 있으며, 세종특별시(행정수도)와의 지리적 근접성으로 인구이동이 집중되는 경향으로 인하여 초등학교 신설에 따라 접근거리가 감소하는 것으로 파악된다. 또한 전라북도 지역은 전북혁신도시의 안착으로 주변 지역에 주거지가 신규로 형성되어 접근거리가 감소하는 것으로 파악된다. 이와 반대로 강원도와 경상북도 지역을 중심으로 접근거리가 증가하는 지역이 넓게 분포하는 것으로 나타났다. 이 지역은 우리나라의 대표적인 산악지역으로 인구 고령화와 인구유출이 높아 다른 지역보다 많은 수의 초등학교 통폐합이 이루어져 접근성이 증가하는 것으로 판단된다.



[Figure 4-5] Changes of Commuting Accessibility between 2000 and 2020

2) 도농간 통학접근성 변화

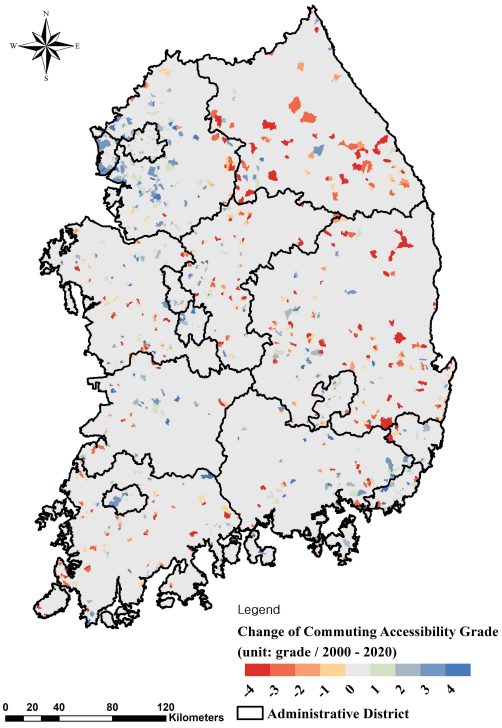
산정된 접근거리를 기준으로 물리적인 접근성 평가 기준에 따라 다섯 등급으로 평가를 수행하였다(Figure 4-6). 2020년 기준으로 도시지역에서는 학교까지의 통학거리가 400m 이내인 우수(Excellent) 등급인 지역은 758개(37.0%), 400~800m인 적정(Fair) 등급 지역은 898개(43.8%), 800~1,000m인 보통(Normal) 등급 지역은 209개(10.2%)이며, 1,000~1,500m인 취약(Vulnerable) 등급은 122개(6.0%), 1,500m 이상인 매우 취약(Very Vulnerable) 등급은 63개(3.1%)로 분석되었다. 그에 비하여 농촌지역은 우수(Excellent) 등급인 지역은 968개(6.8%), 적정



[Figure 4-6] Accessibility Grades based in 2020 Commuting Environment

(Fair) 등급 지역은 1,010개(7.1%), 보통(Normal) 등급 지역은 482개(3.4%), 취약(Vulnerable) 등급 지역은 1,318개(9.2%), 매우 취약(Very Vulnerable) 등급 지역은 10,486개(73.5%)로 분석되었다.

이를 2000년과 2020년 사이의 등급 변화를 살펴보면(Figure 4-7), 도시지역에서는 20년 사이에 우수/적정 등급은 184개 지역이 증가하였으며, 취약등급은 153개 지역이 감소한 것으로 나타나 통학을 위한 조건이 좋아진 것으로 분석되었다. 반면, 농촌지역은 우수/적정/ 보통 등급은 151개 지역이 감소하였으며, 매우취약등급은 182개 지역이 증가하였다. 이 가운데 취약등급은 31개 지역이 감소하였으나, 이는 농촌지역 가운데

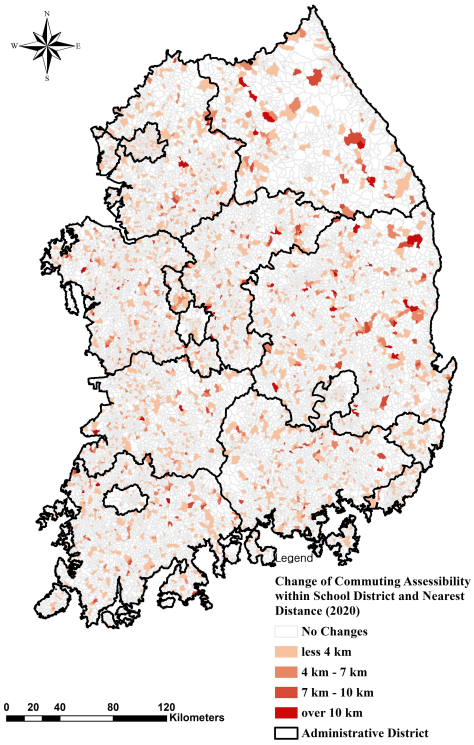


[Figure 4-7] Changes of Accessibility Grades between 2000's and 2020's Commuting Environment

읍면중심지의 인근에 있거나, 지역개발계획에 따라 신규 아파트 단지가 입주하여 초등학교가 신규로 발생된 지역 인근에 위치한 경우, 지방 혁신도시 이전으로 인하여 신규 주거지 및 아파트 단지가 입주한 경우로 한정적인 지역만 취약 등급이 감소하는 것으로 분석되었다. 이처럼 특수한 상황이 발생되지 않은 지역은 초등학교의 통폐합으로 인하여 통학접근성이 증가하여 도농간의 격차를 더욱 벌려놓고 있는 실정이다.

3.1.2. 학구지정에 따른 마을단위 통학접근성 변화

2020년을 기준으로 통학구역을 고려하지 않은 실제 최소 거리기반의 최단 통학접근성과 학구 지정에 따른 통학구역 내에서의 최소거리를 산정



[Figure 4-8] Changes of commuting accessibility within school district and the nearest distance in 2020

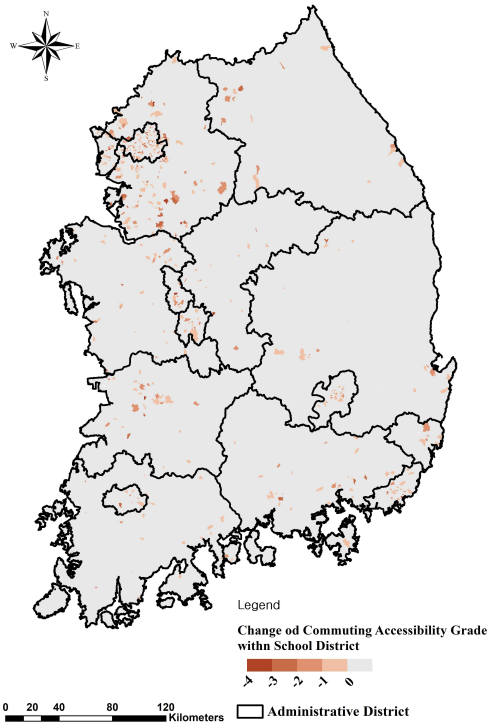
하여 비교하였다. 행정구역을 고려하지 않은 실제 최단 통학거리보다 학구지정으로 인해 통학거리가 증가한 마을은 3,453개 지역으로 분석되었으며, 이 가운데 도시 554개, 농촌 2,989개로 나타났다(Figure 4-8).

학구지정으로 인하여 통학거리의 증가량을 보면, 도시지역은 평균 0.4km, 최대 5.8km가 증가하였으며, 농촌지역은 평균 2.4km, 최대 36.6km가 증가하는 것으로 분석되었다. 도시지역에서 학구지정으로 인하여 가장 높은 통학거리 증가지역은 서울시 외곽에 위치한 송파구 거여2동이다. 이 지역은 수도권의 대규모 단지 개발지역(위례신도시)으로 2021년 3월에 완공을 목표로 하고 있다. 이로 인하여 대규모 아파트 단지가 입주하고, 학군이 재편성되어가는 과정에서 일부 학교의 폐교와 신규학교의 입지로 접근성의 변화가 발생하는 것으로 파악된다. 반면 농촌지역에서 가장 높은 통학거리 증가지역은 춘천시 동면 품걸리로 나타났다. 후순위로 제천시 한수면 한천리, 황강리, 안동시 도산면 원천리의 순으로 나타났다. 이 지역들은 주로 소양호, 충주호, 안동호 등 국내의 대형호수 인근에 있는 마을들로 나타났다. 이 지역들은 학구도 지정으로 인하여 지리적으로 가까운 초등학교로 통학이 되지 않고 해당 행정구역에 위치한 학교까지 이동해야 하며, 호수의 특성상 호반(Lakeside) 도로를 이용하여 우회거리가 길어져 통학거리가 더욱 증가하는 것으로 파악된다.

이를 통학접근성 등급의 변화로 살펴보면, 도시는 353개 지역, 농촌은 178개의 지역에서 접근성 등급이 변화하는 것으로 분석되었다(Figure 4-9). 농촌지역의 경우에는 학구도로 인하여 2,989개의 지역에서 접근거리가 증가하는데 반해 접근성 등급은 178개의 지역에서만 변경되었다. 이는 농촌지역의 물리적 거리 자체가 길기 때문에 접근성 등급의 변화는 크지 않는 것으로 보여진다. 반면 도시지역에서는 학구도로 인하여 554

개 지역에서 접근거리가 증가하며, 이로 인하여 353개 지역에서 접근성 등급이 변화되었다.

우리나라의 초등학교 설립 기준은 2개의 근린주거구역 단위에 1개의 비율로 설치하도록 규정하고 있으며, 이는 약 4,000~6,000가구당 한 개의 학교로 볼 수 있다. 이러한 기준으로 인해 아파트와 같이 한 지역에 인구가 밀집된 지역 인근에 초등학교가 배치되는 상황이다. 이처럼 아파트 인근에 초등학교가 위치하고 학구도가 설정되어 일반주택지에 거주하는 초등학생은 가장 가까운 초등학교가 아닌 가장 인구중심점에 위치한 초등학교로 통학을 해야 한다. 이로 인하여 도보로 이동할 수 있는 통학



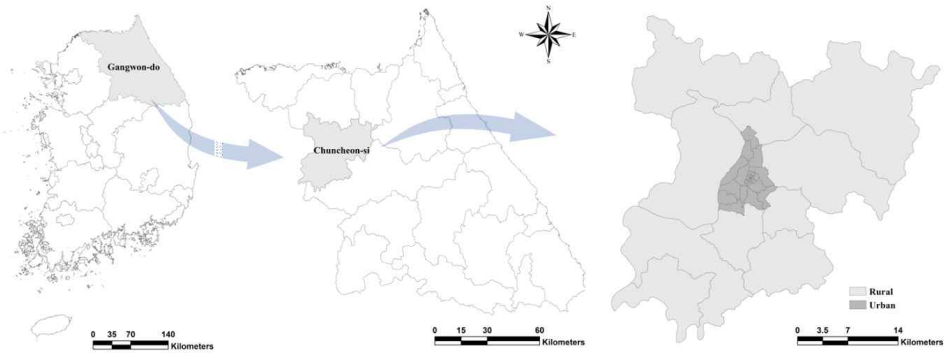
[Figure 4-9] Changes of commuting accessibility grade within school district in 2020

거리에서 자전거 혹은 통학버스 등 다른 통학수단을 이용해야 하는 범위의 접근성 등급이 변하는 것으로 파악된다. 또한 본 연구에서는 지역의 대표성을 가진 주민센터를 기준으로 분석을 수행하였다. 우리나라의 주민센터는 행정의 편의를 위하여 여러 개의 법정동을 관할하게 된다. 이로 인하여 도시지역에서의 접근성은 과대 혹은 과소 추정될 수 있다. 따라서 합리적인 학구도 지정을 위해서 도시지역은 인구 기준의 격자와 같은 정밀한 데이터로 분석이 수행되어야 한다. 또한 학구도를 지정함에 있어 도시지역은 인구중심의 관점에서 인구가 밀집된 아파트 인근에 초등학교가 위치할 가능성이 높고, 농촌지역은 인구가 행정구역의 경계로 해당 행정구역 이외로 지정이 되지 않기 때문에 이용편의성과 같은 형평성에 입각한 기준의 재설정이 필요하다.

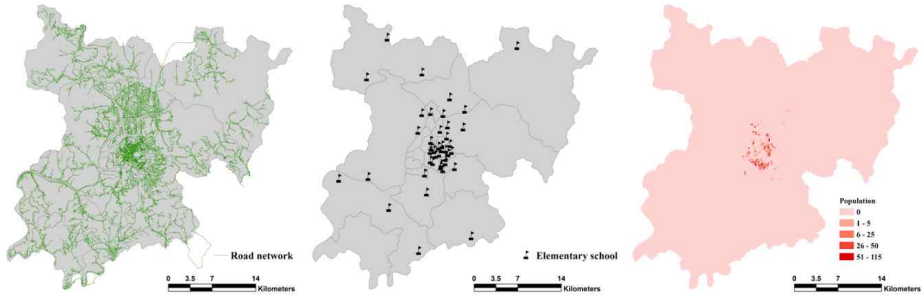
3.2. 학령인구 감소를 고려한 휴리스틱 공간최적화 기반의 교육시설 입지 모델 개발

3.2.1. 사례 연구지역

본 연구에서 대상지역은 대한민국 강원도 춘천시로 설정하였다(Figure 4-10 & Figure 4-11). 이 연구지역은 폐교 수, 통학거리의 변화 등을 고려하여 선정되었다. 연구대상지인 춘천시는 2021년 기준 총 58개의 초등학교가 개교하였으며, 이 중에서 38%는 도시지역(22개 학교)이고 62%는 농촌지역(36개 학교)에 소재하였다. 학령인구의 감소로 농촌지역에 소재하고 있는 16개의 학교가 통폐합되어 더는 운영되지 않고 있다. 2020년 기준으로 춘천시는 42개의 학교(국공립 41개, 사립 1개)에서 초등교육을 제공하고 있다. 사립학교는 학군에 관계없이 등교할 수 있으므로, 본 연구에서는 지자체에서 학군을 지정하는 41개의 국공립학교를 대상으로



[Figure 4-10] Location of the study area: Chuncheon, Gangwon province in South Korea



[Figure 4-11] Attributes of Chuncheon: roadmap, primary schools, and population

공간최적화 분석을 수행하였다. 국공립 41개의 초등학교 중에서 40개 학군은 1개의 학교에 직접적으로 할당되는 통학구역이며 1개 학군은 2개의 학교 중에서 선택할 수 있는 공동통학구역이다. 학교의 소재지를 기준으로 도시와 농촌으로 구분해보면, 도시지역은 21개의 통학구역으로 나누어져 있고 농촌지역은 19개의 통학구역이다.

Kim *et al.* (2020)의 연구에 따르면, 강원도 춘천시는 물리적으로 더 가까운 학교가 있음에도 불구하고 학구지정으로 인해 통학거리가 증가한 마을이 전체의 24.2% (91개 마을 중 22개 마을)로 나타났다. 더 심각한

것은 춘천시 북산면 소재의 대동리의 경우 가장 가까운 초등학교까지의 거리가 17.0km이지만, 학구 지정에 따라 실제로 대동리에 거주하고 있는 학생들은 무려 32.6km 더 먼 초등학교로 통학해야 하며 그 통학 거리가 49.6km에 달한다. 이에 춘천시는 도시가 가운데 집약되어 있고 농촌이 도시를 둘러싸는 형태이며 전국에서 물리적 통학거리와 학구지정에 따른 통학거리의 차이가 가장 큰 지역이다. 따라서 본 연구에서 춘천시를 대상으로 공간최적화 분석을 통해 보다 합리적으로 학군을 재편성하는 모델을 모의하는데 의의가 있다고 판단하였다.

3.2.2. 기존의 학군과 모의된 최적 학군 비교

춘천에 있는 도시와 농촌지역 학교는 기존의 상황과 p-median 기반의 최적 모의된 상황 모두 학군의 면적과 통학거리가 큰 차이를 보이고 있다(Table 4-6). 현재 상황을 기준으로 도시지역 학군은 농촌지역의 학군보다 그 규모가 약 14.3배 정도 작다. 도시지역 학군의 평균면적은 3.6km^2이며, 가장 작은 학군의 면적은 0.18km^2이다. 또한, 학군면적이 가장 넓은 도시지역의 학교는 약 21.6km^2을 담당하고 있다. 반면 농촌지역의 경우 평균 학군 면적은 52.0km^2으로 가장 작은 학군과 가장 큰 학군의 차이는 114km^2이나 차이가 난다(최소 5.7km^2 및 최대 119.7km^2). 기존의 학군에서는 도시와 농촌의 학교까지의 통학거리가 약 3.6배 정도 차이가 있다. 도시지역의 통학거리는 평균 3.4km을 이동해야 하며, 농촌지역은 평균 12.1km를 이동해야 하는 것으로 분석되었다. p-median 기반으로 모의한 최적의 학군 모델에서는 도시지역의 평균 학군 면적이 4.1km^2, 농촌지역은 이보다 약 12.5배 넓은 51.3km^2이다. 또한, 도시지역의 평균 통학거리는 4.3km이며 농촌지역은 10.4km로 나타났다.

도시와 농촌의 교육환경의 격차가 여전히 큼에도 불구하고, 최적 모의

된 상황의 경우 도시의 관할 면적과 통학거리를 증가시키는 반면 농촌의 학군 면적과 통학거리는 감소시켜 도농간의 격차를 다소 줄이는 것으로 나타났다. 한 개의 학교가 관할하는 면적의 경우 도시는 평균 3.6km^{2}에서 4.1km^{2}으로 약 0.51km^2 정도 넓어졌으며 반대로 농촌은 평균 52.0km^{2}에서 51.3km^{2}으로 약간 줄어들었다. 통학거리는 평균 3.4km에서 4.3km로 약 900m 정도 증가하였으며 농촌지역의 경우 평균 12.1km에서 10.4km로 1.7km 정도 감소하였다.

공간최적화 기반의 최적의 학구도가 현재 상황과 얼마나 차이가 있는지 살펴보기 위하여 p-median을 이용하여 통학거리가 최소화되는 학구도를 재설정하였으며 기존의 학구도와 비교하였다(Table 4-7 & Figure 4-12). 그 결과 춘천시의 약 26.9%인 299.7km^{2}의 지역에서 학군 지정

[Table 4-6] Comparison of coverage area and commuting distance in urban and rural areas under the reference situation and optimally simulated situation

Location of school	Reference situation		Optimally simulated situation	
	Urban	Rural	Urban	Rural
Coverage area (Unit: km^2)				
Average	3.63	52.00	4.14	51.25
Standard deviation	5.22	33.02	7.24	43.88
Maximum	21.65	119.69	28.78	181.20
Minimum	0.18	5.70	0.61	3.21
Commuting distance (Unit: km)				
Average	3.36	12.09	4.29	10.43
Standard deviation	2.95	13.94	4.46	11.31
Maximum	12.94	72.32	17.10	50.34
Minimum	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1

[Table 4-7] Consistent and inconsistent coverage areas of schools based on current districts compared to optimal districts in urban and rural areas

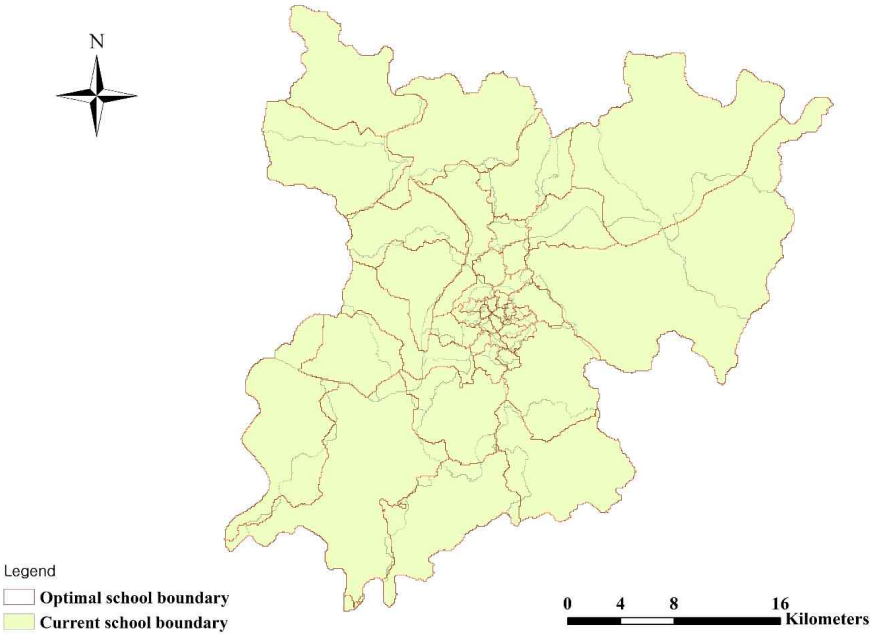
(Unit: km^2)

Area	Consistent area	Inconsistent area	Total
Urban	40.82 (53.58%)	35.36 (46.42%)	76.18 (100.0%)
Rural	774.65 (74.56%)	264.30 (25.44%)	1,038.95 (100.0%)
Total	815.47 (73.13%)	299.66 (26.87%)	1,115.13 (100.0%)

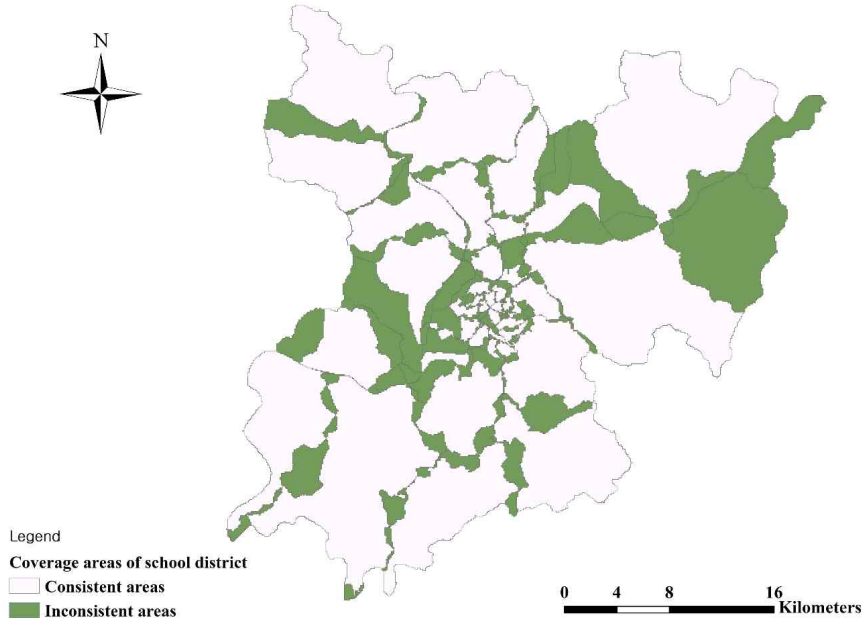
으로 인해 가장 가까운 학교를 두고 더 먼 학교로 통학해야만 하는 것으로 나타났다. 기존의 학구도와 신규 학구도가 일치하는 면적은 815.5km^2으로 전체면적(1,115km^2)의 73.1%로 분석되었으며, 불일치하는 면적은 299.7km^2으로 26.9%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이를 도시와 농촌으로 구분한 결과, 도시지역의 경우에는 일치하는 면적이 40.8km^2로 도시지역의 전체면적 76.2km^2에 대하여 53.6%가 일치하는 것으로 분석되었으며, 불일치 비율은 35.4%로 분석되었다. 농촌지역에서는 전체면적 1,039km^2에 대하여 일치하는 비율은 74.6%로 분석되었으며, 불일치는 25.4%로 분석되었다.

3.2.3. 실제 폐교 순위와 시나리오에 따른 폐교 순위 비교

지자체는 수요-공급의 시장원리에 따라 학생수가 적은 소규모 학교를 대상으로 통폐합을 진행하고 있다. 이에 고령화가 빠르게 진행되고 학령인구가 급격히 감소하는 농촌지역의 대다수 학교는 통폐합 대상이 되고 실제로 통폐합이 우선적으로 진행되고 있다. 이로 인하여 폐교의 증가에 따라 농촌지역의 통학거리는 지속적으로 증가되고 있다. 정부의 노력에도



(a) Comparing current districts and optimal districts



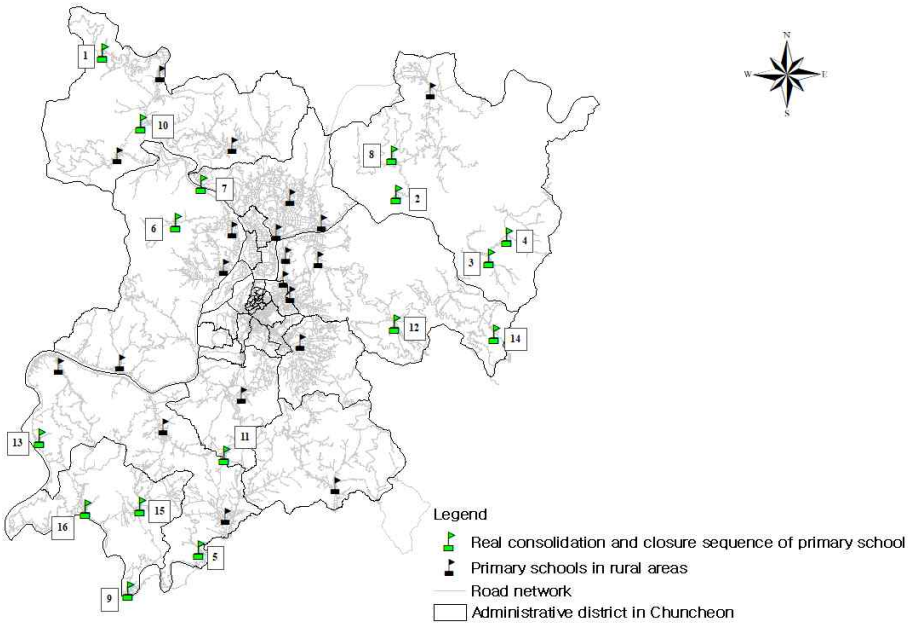
(b) Consistent and inconsistent areas between current and optimal districts

[Figure 4-12] Consistent and inconsistent coverage area between current and optimal district

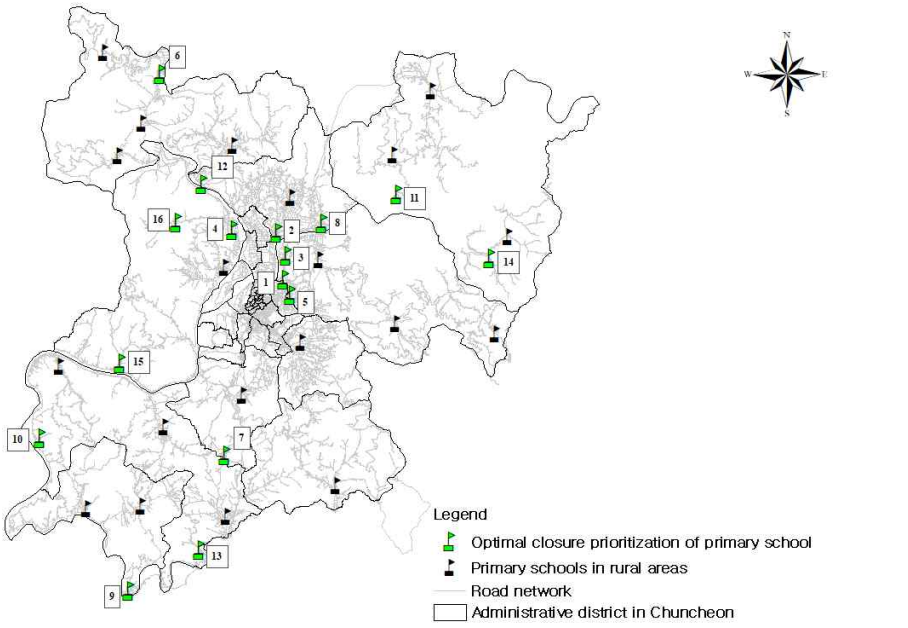
불구하고 학교를 유지하는 것이 여러 가지 이유로 곤란하여 폐교를 반드시 진행해야 한다면, 어느 학교를 폐교시킬 것인지에 대한 합리적인 대안이 필요하다. 단순히 학생수가 감소하는 학교가 폐교의 대상이 되는 것은 시장원리에 따르는 방식으로 공공의 성격을 띠는 학교의 목적하고도 부합하지 않는다. 이에 농촌지역의 통폐합으로 인하여 교육환경이 얼마나 악화되고 있는지 정량적으로 평가하기 위하여 농촌지역을 대상으로 지난 30년간 실제적으로 폐교된 학교의 순서를 살펴보았다. 또한, 폐교가 불가피하다면 인구를 고려하지 않았을 경우 어느 학교가 폐교의 우선순위가 되는 것이 형평한지 혹은 인구를 고려하였을 경우의 폐교 우선순위에 대해 휴리스틱 p-median 알고리즘을 통해 폐교의 순위를 분석하였다 (Figure 4-13). 휴리스틱 p-median을 이용한 폐교의 순위는 모든 수요지로부터 가장 가까운 학교까지의 합이 가장 큰 학교를 우선적으로 폐교되는 순위로 1개씩 선정한다.

춘천시는 1906년 춘천초등학교 개교를 시작으로 지금까지 총 58개가 개교를 하였으며, 이 가운데 도시지역은 22개의 학교가 위치하고 있고, 농촌지역은 36개의 학교가 위치하고 있다. 폐교가 진행된 16개의 학교는 모두 농촌지역에 소재하였다. 춘천시의 폐교된 학교는 주로 외곽에 위치하고 있으며, 폐교된 순서를 도식화하면 Figure 4-13(a)과 같다. 이는 수요-공급의 시장 원리에 따라 진행된 폐교 현상은 춘천시 안쪽으로 점점 도시화가 진행되면서 인구 역시 춘천시 중심으로 밀집하는 경향을 미루어 볼 수 있다.

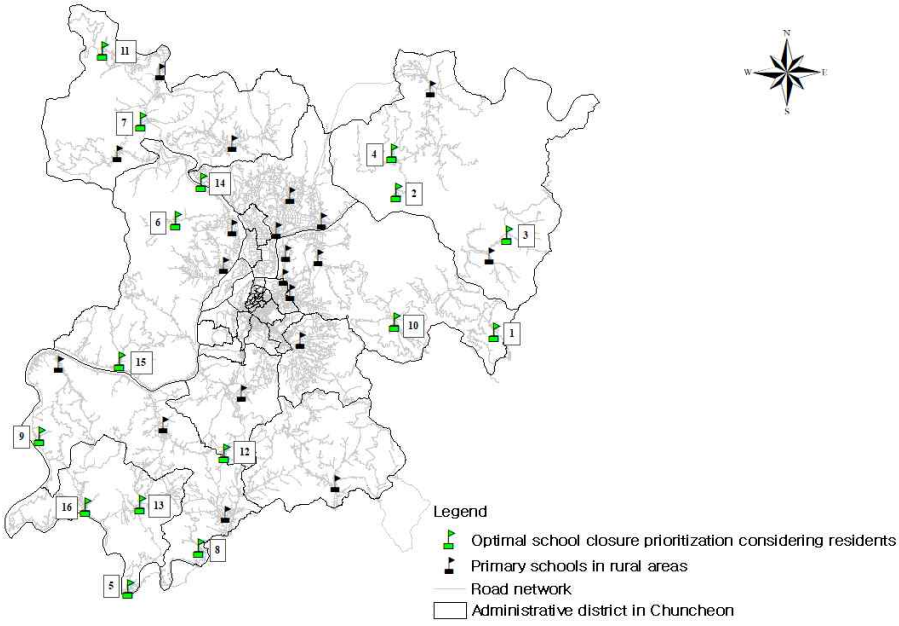
반면 거주인구를 고려하지 않고 p-median에 의하여 농촌지역의 폐교의 우선순위를 분석한 결과 실제 폐교의 경향과는 정반대로 분석되었다 (Figure 4-13(b)). 실제로 춘천시의 폐교는 지역의 외곽으로부터 진행이



(a) Real consolidation and closure sequence



(b) Optimal prioritization of consolidation and closure sequence with spatial fairness



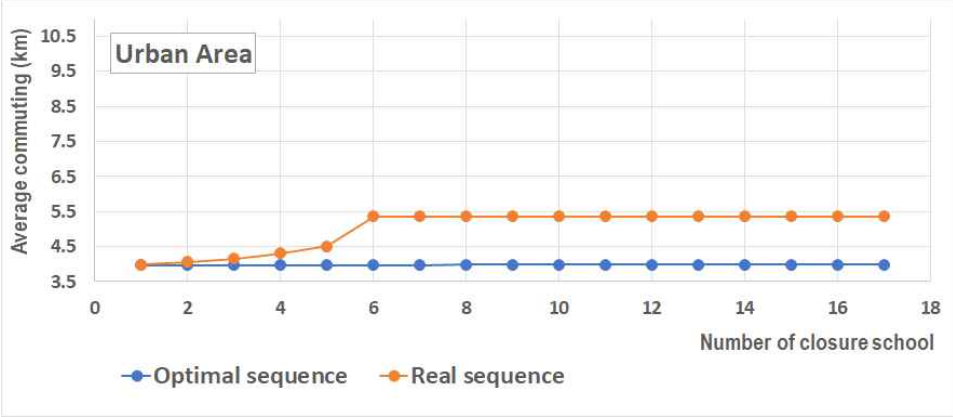
(b) Optimal prioritization of consolidation and closure sequence considering resident population with spatial efficiency

[Figure 4-13] Comparison of real consolidation and closure sequence and optimal prioritization of primary schools

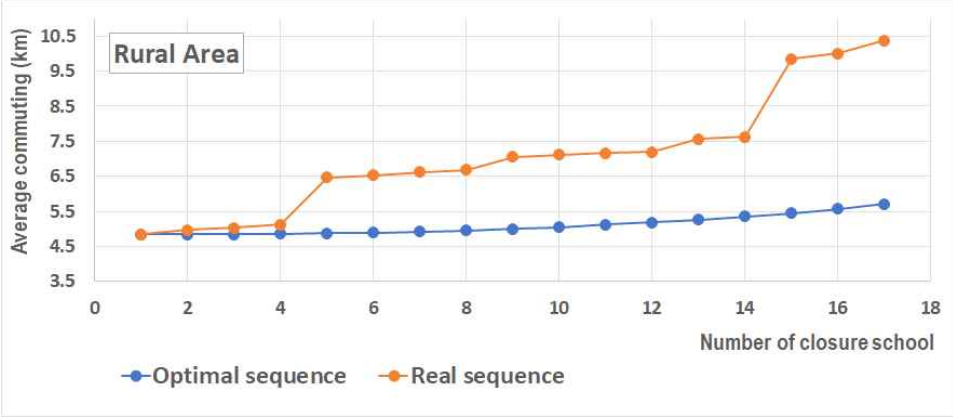
되었으나, p-median 분석에 의한 경우에는 도시지역과 인접한 지역에 소재하는 학교가 우선적으로 폐교가 되는 것으로 나타났다. 특히, 춘천 남쪽 지역은 실제로 지역 내에서 9번째, 15번째, 그리고 마지막으로 16번째로 폐교가 되면서 해당 지역에는 초등학교가 더 이상 없는 지역이다. 그러나 p-median에 의한 폐교 모의 결과 총 16개의 폐교가 진행될 때 해당 지역에는 9번째로 폐교는 동일하나 나머지 두 학교는 모두 폐교 대상이 아닌 것으로 나타났다.

또한 2020년 기준 거주인구를 고려하여 p-median 기법에 의한 농촌지역 폐교의 우선순위를 분석한 결과 순서는 다르지만 실제 폐교 대상이 된 학교 15개와 일치하였다(Figure 4-13(c)). 기존의 폐교는 학령인구의 감소에 직면한 분교 및 소규모학교를 중심으로 진행되었기 때문에 폐교의 우선순위는 다르더라도 통폐합의 대상이 되는 학교를 지정하는 것은 동일하게 분석 된 것으로 사료된다. 또한 실제 춘천시의 폐교 경향과 비슷하게 지역의 외곽으로부터 폐교가 진행되며, 특히 폐교 우선순위 1위에서 4위까지는 춘천시의 동북쪽에 소재한 학교이다. 그럼에도 불구하고 실제 통학구역 내의 학교가 소재하지 않음에 따라 공동통학구역으로 설정된 지역의 학교 2개소 중 1개소는 폐교 대상에서 제외되었다.

실제로 춘천시에 16개의 학교가 폐교되면서 도시와 농촌의 통학거리가 어떻게 변화하였는지 분석하였다. 또한, 휴리스틱 p-median으로 최적의 폐교 우선순위에 따를 때 도시와 농촌의 통학거리 변화를 실제 상황과 비교하였다(Figure 4-14). 농촌지역에 소재하고 있는 16개의 폐교가 진행되면서 실제로는 도시지역에서의 평균 통학거리는 약 3.9km로 그 변화가 매우 미미하다. 반면 농촌지역의 학교가 폐교되면서 통학거리가 증가하는 충격은 더욱 크게 나타난다. 모든 학교가 운영될 때 농촌지역의 평



(a) Distance changes following school closings in urban areas



(b) Distance changes following school closings in rural areas

[Figure 4-14] Distance changes of the real and optimal sequence for primary school closings in urban and rural areas. The orange line shows the distance change after closing primary schools. The blue line indicates the distance change under the optimal sequence for school closings.

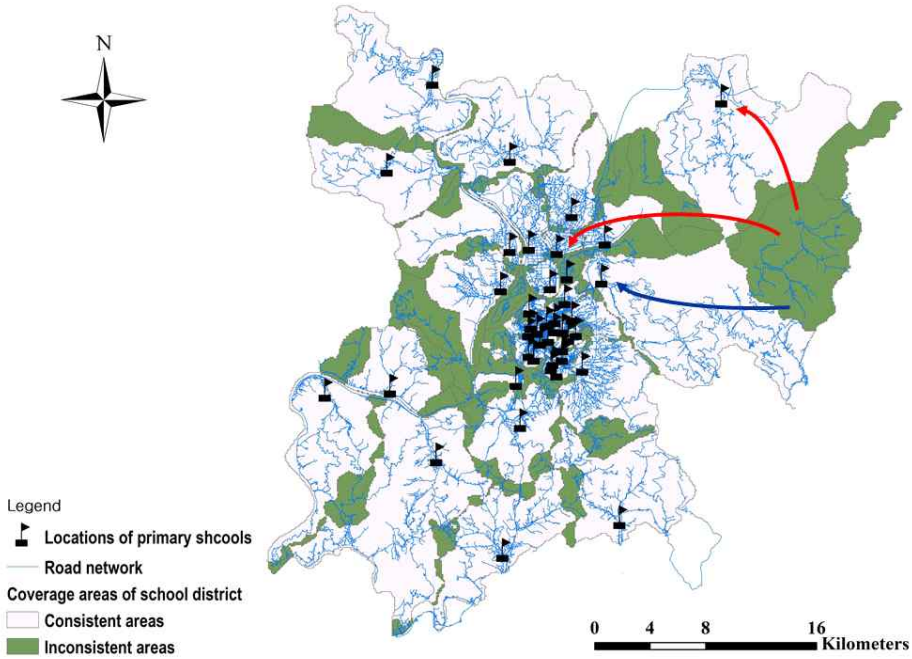
균 통학거리는 4.8km였지만 16개의 학교가 폐교되면서 통학거리는 평균 10.4km로 약 2.2배 정도 증가하게 되었다. 특히, 실제로 폐교 순위 3번과 4번, 13번과 14번 학교가 폐교될 때 농촌지역의 평균 통학거리가 가장 크게 증가하였다(폐교 순위는 Figure 4-13(a) 참고).

반면 휴리스틱 p-median으로 최적의 폐교 우선순위에 따를 때는 도시

와 농촌의 평균 통학거리가 비슷해지며 도농간 통학환경에 대한 격차가 줄어드는 것으로 나타났다. 최적 시나리오에 따르면 도시는 초기 4.0km의 통학거리에서 5.4km로 약 1.4km 증가하였으며, 농촌은 초기 4.8km에서 5.7km로 약 900m 정도 증가할 뿐이다. 이를 통해 단순히 수요-공급 시장원리에 따른 폐교방식은 도농 격차를 더욱 심화시키는 방향으로 교육환경을 만들게 된다. 그러나 휴리스틱 p-median으로 폐교의 우선순위를 설정하게 될 경우 전반적으로 도시와 농촌의 통학환경이 비슷하게 만들어줄 수 있는 효과적인 방법임을 확인하였다.

4. 고찰

교육부와 시도교육청은 적절한 교육환경을 제공하기 위하여 지역의 교육 자원과 통학환경 등을 고려하여 학군을 재설정할 필요가 있다. 춘천시 동쪽에 존재하는 공동통학구역이다(Figure 4-15에서 빨간색으로 표시된 2개의 학교인 추곡초등학교와 천전초등학교). 그러나 이 두 개의 학교 중에서 북쪽에 위치한 학교(추곡초등학교)는 직선거리로 보면 가장 인접한 학교이지만 공동통학구역에서 통학할 수 있는 도로가 없다. 특히, 지역과 추곡초등학교 사이에 소양호수가 위치하고 있지만 바로 접근할 수 있는 도로망과 교량이 없다. 결국, 공동통학구역의 학생들은 해당 초등학교에 등교하기 위해서는 서쪽으로 이동해 춘천시의 도심부를 거쳐 다시 동북쪽으로 이동해야 한다. 이는 실제로 약 60km 이상의 거리로 자동차로 1시간 30분가량 소요되는 거리이다. 대안으로 도시지역 중심부에 위치한 학교(천전초등학교)로 통학하는 경우에도 마찬가지로 지리적으로 더 가까운 학교(Figure 4-15에서 파란색으로 표시된 학교인 가산초등학교)가 존재함에도 불구하고 이를 지나쳐 통학해야 하는 것으로 나타났다. 이 지역까



[Figure 4-15] The issue of school allocation in a joint school district according to the consolidation and closure of primary schools. The green areas indicate inconsistent school districts. The red line indicates schools that can commute in the joint school district. However, it is hard for students in the joint school district to commute to allocated schools because there is no road network or it is farther away. Thus, the blue line indicates the school we propose based on the optimized method.

지의 통학거리 역시 약 40km 이상이며 1시간가량 통학에 소요된다.

만약 춘천시에서 16개의 학교가 폐교 대상이며 그 폐교를 휴리스틱 p-median 알고리즘을 통해 선정하였다면, 학교의 부재에 따라 학군이 불합리하게 결정되는 상황도 발생하지 않았을 것이다. 공동통학구역에 소재하던 2개의 학교는 정부의 소규모학교 통폐합 정책의 일환으로 1994년에 동시에 통폐합되면서 공동통학구역은 30년 가까이 통학환경이 열악한 것으로 나타났다. 그러나 p-median 알고리즘을 통해 폐교 우선순위를

모의한 결과, 2개의 학교 중에서 1개는 유지해야 하는 것으로 분석되었다. 한국 역시 농촌 지역에서의 통학문제는 도시지역보다 훨씬 더 길고 고된 여정이라는 연구 결과는 미국의 Howley *et al.* (2001)이나 남아프리카의 Morojele & Muthukrishna (2012), 유럽의 de Bour (2008) 등의 주장을 뒷받침하고 있다.

2021년 1월 한국의 합계출산율이 0.84명으로 감소하며 사상 처음으로 출생인구가 사망자보다 적은 인구 자연감소 현상이 일어났다. 그리고 정부는 출산율은 감소하고 인구는 고령화되면서 사망자 수는 계속 증가함에 따라 한국의 인구가 더 빠르게 줄어들 것이라고 예상하였다. 이러한 상황에서 학령인구가 지속적으로 감소함에 따라 농산어촌 소규모학교의 통폐합 과정은 불가피하다. 그러나 단순히 학교별로 적정 규모의 학생 수를 보전할 수 없음에 따라 통폐합을 결정하는 방식보다는 Choi(2008)과 Oh & Kim(2017)의 주장처럼 통폐합 정책은 효율성과 형평성을 모두 추구할 수 있는 방향으로 진행될 필요가 있음을 시사하고 있다.

5. 소결

본 연구는 학령인구 감소로 인한 초등교육시설의 통폐합에 따른 통학접근성 변화를 산정하고, 이를 바탕으로 휴리스틱 기반의 p-median 기법을 이용하여 교육시설 입지최적화 모델을 개발하였다. 본 연구의 통학접근성 변화에 따른 도농간 교육환경의 형평성을 살펴본 결과 기존의 수요-공급의 시장원리에 입각한 통폐합 과정은 교육 자원 및 인프라를 집약적으로 이용함으로써 그 효율성을 증대시켰을지는 모르나 농촌지역 학생들에게는 더욱 열악한 교육환경을 제공한 것으로 나타났다.

초등학교의 통학구역은 단순히 통학거리만을 고려하여 설정하는 것이 아니라 일반적으로 교육부 및 관련 지방교육청이 원활한 교육과정을 운영하기 위하여 학급을 편성하고 시설보유현황 등을 종합적으로 검토하여 결정한다. 또한 교육부의 판단 아래 학교를 운영함에 있어 여러 가지 장애로 인해 폐교가 불가피하다면, 단순히 시장원리에 따라 학생 수 감소로 인한 폐교가 아니라 보편성에 무게를 두어 학생들의 통학에 대한 기회비용을 고려한 합리적인 방안이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 통학접근성의 형평성을 강조하는 휴리스틱 p-median을 이용하여 통학거리만을 기준으로 폐교에 대한 시나리오를 마련함에 따라 단편적인 폐교 우선순위를 살펴보았다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 학령인구 감소에 따른 통폐합 결정을 학교의 학생 수를 기준으로 판단하는 기존의 의사결정과는 다른 인식을 제공한 것에 연구의 의의가 있다고 사료된다. 향후 통학거리 뿐만 아니라 다양한 학교의 속성 정보(교원 수, 보유 시설, 통학버스 등)를 기반으로 교육환경을 진단함으로써 학군을 재설정하고 폐교 대상이 될 학교의 우선순위를 설정하는 데에 있어 보다 더 합리적인 방안을 도출할 수 있을 것으로 예상한다.

제 2 절 실시간 교통정보 기반의 응급의료 취약지 및 생존률 분석

1. 서론

1.1. 배경 및 필요성

응급의료서비스에서 골든타임 안에 응급의료시설까지 도달할 수 있는 접근성과 신속하고 적절한 응급처치는 생존율과 직결되는 매우 중요한 요소이다. 응급의료체계(Emergency medical services system)는 지역에서 응급상황 발생시 효과적이고 신속하게 의료를 제공하기 위해서 인력(Manpower), 시설, 장비를 유기적으로 운용할 수 있도록 재배치하는 것을 말한다. 응급의료체계는 응급의료서비스가 제공되는 장소에 따라 크게 '병원전 단계(Pre-hospital phase)'와 '병원단계(In-hospital phase)'로 구분될 수 있다. '병원전 단계'는 응급환자가 발생했을 때, 현장에서 적절한 처치를 시행한 후, 신속하고 안전하게 환자를 치료에 적합한 병원으로

이송하는 단계이다. 응급의료의 접근성은 최소한의 시간에 최상의 응급의료서비스를 제공하기 위해서 '병원전 단계'에서의 시간과 거리로 평가되며, 주로 응급의료 자원의 이용가능성과 시간 기반 치료의 결합으로 평가된다. 이를 위해서 응급의료 접근성은 시설의 입지에 따른 서비스 가능성(Service availability), 시설의 커버 가능한 인구 범위(Population coverage), 시간 기반 지역적 응급의료 전달(Time based geographic delivery of emergency)을 고려한다.

응급의료 취약지 평가를 통해 응급의료서비스의 접근성을 개선하기 위해서는 도시와 농촌의 응급의료시설의 입지 분포에 대한 차이를 고려해야 한다. 한국의 경우 OCED 국가들 가운데 의료이용의 접근성과 이동도는 전반적으로 우수한 것으로 평가되고 있으나, 이는 인구가 밀집된 도시지역에 의료기관 및 의료인력이 집중되어 전체적으로 일인당 의료서비스 혜택을 받는 비율이 높기 때문이다(Kim *et al.*, 2015). 한국의 대형병원 및 의원과 같은 병원시설은 2019년을 기준으로 총 3,699개소이며, 이 가운데 종합병원은 90.4%, 일반 병원은 85.2%, 의원급 시설은 88.8%가 도시에 집중되어 있어 도시와 농촌 간의 의료서비스 격차는 매우 크다(MIS, 2019). 따라서 농촌의 열악한 의료시설 분포로 인해 실제로 응급상황 발생시 적절한 치료를 받을 수 있는 응급시설까지의 이송거리가 매우 길어지고 이에 따른 소요시간도 길어지게 만드는 요인이다.

도농간 의료시설 불균형뿐만 아니라 심혈관 질환, 호흡기 질환과 같이 신속한 응급처치가 환자의 생존율에 큰 영향을 미치는 응급상황은 고령일수록 발생 빈도가 높다는 사실을 고려해야 한다(Lloyd-Jones *et al.*, 2006). 한국의 고령인구 사망자 가운데 응급처치가 필요한 심혈관질환 및 뇌혈관질환에 의한 사망자는 2006년 14,906명에서 2016년 24,259

명으로 약 63%가 증가하였으며, 매년에 약 6%씩 꾸준히 증가하고 있는 추세다(Statistics, 2017). 또한 농촌의 고령화는 2019년 기준으로 약 23.1%로 도시 10.9%에 비하여 약 2배 이상 높은 것으로 조사되었으며(KOSIS, 2020), 도시지역에 비하여 고령화 속도가 빠르게 진행됨에 따라 농촌에서 사망위험이 높은 응급상황이 발생할 가능성이 더욱 높아지게 된다. 여기에 더하여 의료시설과 인력의 대도시 집중화로 의료환경이 취약한 농촌의 고령인구는 응급상황의 대응이 더욱 어려워지는 것으로 나타나고 있다. 이는 곧 예방 가능하거나 치료를 통해 회피할 수 있는 사망률(preventable or amendable mortality)과 같은 수치의 격차를 더욱 크게 만든다.

지역별 현실상황을 반영한 응급상황에 대한 적절한 대응 방안을 위한 정책을 마련하기 위해서는 실시간 교통흐름 속도 및 구급대원의 출동시간까지 고려하여 접근성 측면에서 응급의료의 취약지역에 대한 재평가가 필요하다(Jeon *et al.*, 2018). 한국에서 정의하는 응급의료 접근취약지는 과거 인구를 기준으로 한 농촌지역(15만명 이하 규모)에서 2017년에 응급의료시설의 접근성을 바탕으로 골든타임 개념을 적용하여 개정함에 따라, 응급상황 발생 시 지역 내 30% 이상의 인구가 지역의 응급의료센터까지 30분 이내 도달이 불가능하거나, 60분 이내에 권역별 응급의료센터 도달이 불가능한 지역으로 설정하고 있다(MHW, 2017). 여기서 도달시간은 환자가 발생한 출발지역(Origins)에서 지역의 응급의료센터 또는 권역별 응급 의료센터까지의 도로의 법정속도로 계산한 소요시간으로 산정되는데, 전국에서 99곳 시군구(약 44%)가 응급의료서비스를 적절한 시간 내에 받을 수 없는 지역으로 분석되고 있다. 그러나 응급의료 취약지역은 응급의료시설까지 도달할 수 있는 실시간 도로상황과 환자 발생 시 응급처치가 가능한 전문의료인(119안전센터 구급대원 등)이 환자의 위치까지

도달할 수 있는 소요시간까지 고려한다면 더욱 증가할 것이다. 특히 급성 심장정지와 같은 응급상황에서는 신속한 응급처치의 여부에 따라 생존율에 큰 차이를 보이므로 응급상황에 대한 지역별 시간적 접근성 평가가 반드시 요구된다.

다양한 분야에서 해당 시설까지의 접근성에 관한 연구는 대부분 물리적인 접근성을 기반으로 평가하였으며, 교통흐름 속도정보를 활용하여 실시간 소요시간을 기준으로 한 취약지 평가에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 기존의 접근성과 관련된 연구는 직선거리, 우회계수를 적용한 추정도로거리, 실제도로거리 등 물리적인 거리를 기반으로 한 연구가 주를 이루었다. Kim *et al.*(2015)은 직선거리의 경우 지리적인 특성이 반영되지 않음에 따라 실제도로거리에 비해 결과가 왜곡될 가능성이 높음을 지적하였다. 이에 직선거리에 지역별 우회계수를 적용하여 의료시설의 취약지 평가를 통해 추정 도로거리가 실제 도로거리를 대신할 수 있는 방안임을 제시하였다. 한국 정부는 도로망의 형상과 법적 최대속도에 대한 정보를 제공하고 있어, 대부분의 연구에서는 접근성을 법적 최대속도를 이용하여 산정한 접근시간을 통해 연구가 이루어졌다. 그러나 도로의 법적최대속도를 이용하는 경우에는 교통체증으로 인한 차량운행 속도 저하, 신호변경으로 인한 도달시간 변화 요인 등에 대한 영향을 반영할 수 없는 한계가 있다. 이러한 물리적인 접근성 연구에서는 동일한 거리일지라도 지역별로 시간대에 따른 교통흐름 속도 변화에 따라 시설에 접근하는 소요시간에 대한 편차가 크다는 현실을 반영하지 못한다는 한계가 있다.

1.2. 연구목적

본 연구에서는 시간대별 실시간 도로속도 변화에 따른 응급의료 접근성

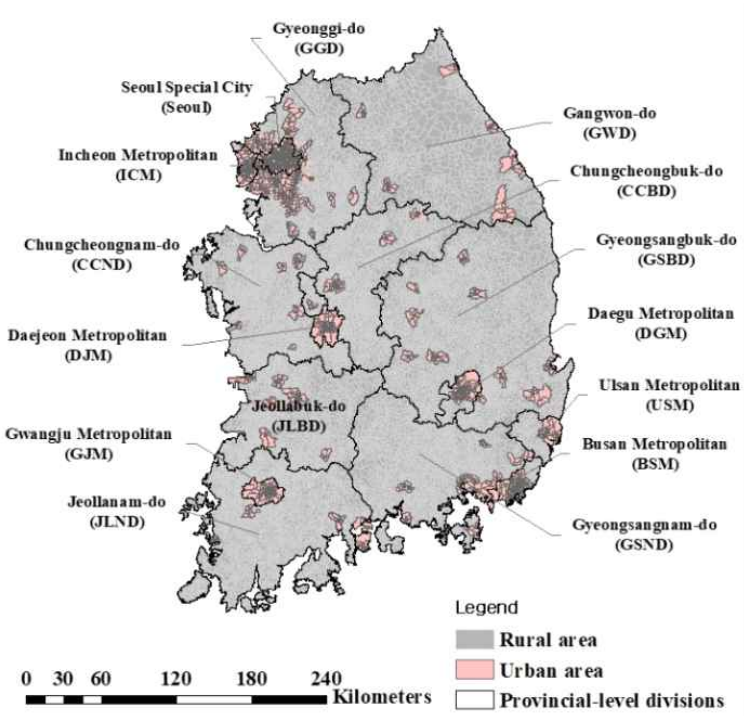
변화를 분석하고 이에 따른 응급의료 취약지와 응급환자의 생존율을 평가하고자 한다. 이를 위해 전국의 도로망도를 구축하여 시간대별로 도로의 속도흐름 이용 현황을 파악하고, 네트워크 분석을 이용하여 마을에서부터 응급의료시설까지의 최적경로에 따른 실시간 접근시간을 분석하여 응급의료 취약지를 평가한다. 도로속도를 고려한 평가결과를 법정속도를 기반으로 한 접근취약지와 비교하여 분석한다. 또한, 응급처치 유무 및 구급대원의 출동시간을 추가적으로 고려하여 응급의료시설까지 환자의 이송 과정에 따라 발생 가능한 상황을 구성하여 상황별 생존확률 변화를 도시와 농촌을 나누어 살펴보고자 한다.

2. 분석 방법 및 자료

2.1. 응급의료시설 및 실시간 교통 속도 정보 수집

응급의료 취약지는 실시간 교통흐름속도를 기반으로 접근성 분석이 수행되어야 하기 때문에 전국을 대상으로 도시와 농촌을 구분하여 분석에 필요한 도로 정보와 관련 시설의 위치 정보 등을 포함한 공간빅데이터를 구축하였다(Figure 4-16).

이를 위해 도시와 농촌마을의 중심인 커뮤니티 센터, 응급실, 119안전센터, 보건소, 인구정보, 도로망도, 그리고 교통속도정보 데이터를 이용하였다(Table 4-8). 커뮤니티 센터는 도시지역과 농촌지역의 행정복지센터(구 동사무소)와 마을회관 정보를 이용하였다. 커뮤니티센터는 마을 주민들이 이용하는 문화, 행정, 소통의 활동공간으로 특히 농촌지역에서는 경로당의 기능을 병행하기 때문에 마을의 랜드마크적인 성향을 가지고 있다(Chin *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2017). 따라서 마을의 중심을 커뮤니



[Figure 4-16] Location of provincial-level divisions in South Korea except for Jeju island. South Korea consists of 17 first-tier administrative divisions: 6 metropolitan cities, 1 special city, 1 special self-governing city, and 9 provinces. The gray and pink areas indicate rural and urban areas, organized sub-municipal level divisions (Dong; neighborhood in Urban and Ri; village in Rural).

티센터로 설정하여 분석에 사용하였다. 도시지역의 행정복지센터 (Administrative Welfare Centers)는 행정안전부 (Ministry of the Interior and Safety, MIS)에서 정보를 제공하고 있으며, 국내의 행정구역상 읍면동 지역의 소재지 위치 정보를 제공하고 있다. 이 가운데 동지역에 포함되는 행정복지센터 정보를 추출하여, 동지역을 대표하는 커뮤니티센터로 설정하였다. 농촌지역의 커뮤니티센터는 농림축산식품부 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, MAFRA)에서 관

[Table 4-8] List of available data (facility, population, and traffic speed data) to analyze the vulnerable areas for emergency medical services (EMS). The facility data include data about community centers and medical centers. Each type of data includes a description of the data, the number of available statistics (urban and rural), and reasons for exceptions. The data were provided by the Korean government, and the source of each type of data is shown.

Category		Description	Number of Available Data			Source
			Urban	Rural	Exception[1]	
Facility data						
Community center		Coordinate information on community centers in urban and rural villages	3,507	15,171	907	MIS[2]/ RAISE[3]
Medical center	Emergency medical center	Coordinate information on emergency medical facilities including local emergency rooms and regional medical centers	397	112	14	NMC[4]
	119-safety centers	Coordinate information on 119-safety centers	709	1,112	110	NFA[5]
	Community health center	Converting addresses to coordinate information of local community health centers	287	3,195	321	MHW[6]
Traffic speed data						
Roadmap		Polyline information	531,843 links		-	ITS[7]
Traffic speed		Text information	358,143 links		-	MLIT[8]

[1] Each facility for assessing accessibility of emergency medical center in island and military zone excepts in this study.
[2] Ministry of the Interior and Safety (MIS)
[3] Rural Areas Information Service (RAISE)
[4] National Medical Center (NMC)
[5] National Fire Agency (NFA)
[6] Ministry of Health and Welfare (MHW)
[7] Intelligent Transport Systems (ITS)
[8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT)

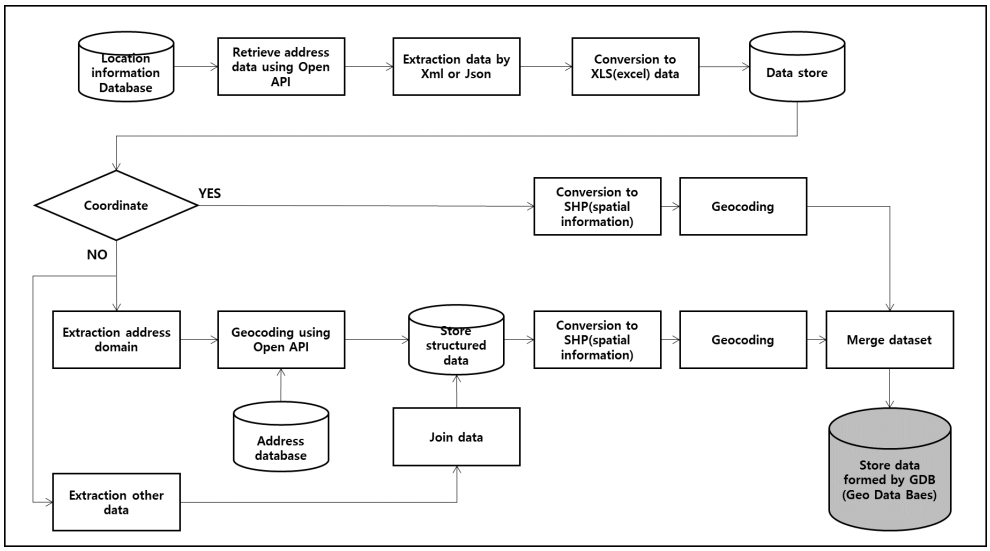
리하는 농산어촌지역개발 공간정보시스템(Rural Areas Information Service, RAIS)의 정보를 이용하였다. 본 연구에서는 2019년도를 기준으로 제공된 3,507개의 행정복지센터와 14,264개의 마을회관을 커뮤니티센터로 설정하여 총 17,771개 마을을 대상으로 분석하였다.

Medical Center 시설은 응급실, 보건소, 119안전센터 데이터를 이용하였다. 응급실은 국립중앙의료원(National Medical Center, NMC)에서 제공하고 있으며, 보건소는 보건복지부(Ministry of Health and Welfare, MHW)에서 제공하고, 119안전센터는 소방청(National Fire Agency, NFA)에서 제공하고 있다.

교통관련 데이터는 도로망도와 교통속도정보를 이용하였다. 도로망도는 국토교통부의 지능형 교통체계 관리시스템(Intelligent Transport System, ITS)에서 제공하고 있으며, 교통속도정보는 국토교통부의 교통정보 공개서비스(Traffic and Road Information Service, TRIS)에서 제공하고 있다. 도로망도는 2019년 기준의 데이터를 사용하였으며, 교통정보공개서비스에서 속도정보를 추출하여 사용하였다.

2.2. 시설 위치정보 변환 및 정제

본 연구에서는 농촌마을회관, 행정복지센터, 응급실, 보건소, 119 안전센터 등 위치정보를 제공하는 기관에서 OpenAPI(Open Application Programming Interface)를 통하여 소재지 주소정보를 추출하여 지오코딩(Geocoding)을 통해 TM 좌표로 변환하여 사용하였다(Figure 4-17). Open API는 데이터를 주고받기 위한 표준화 방법론으로 국내에서는 공급자 위주의 정보공개에서 국민중심·수요자 중심으로 패러다임을 변환하고, 공공기관이 이용자에 정보를 재활용할 수 있도록 사용하고 있다. 즉,

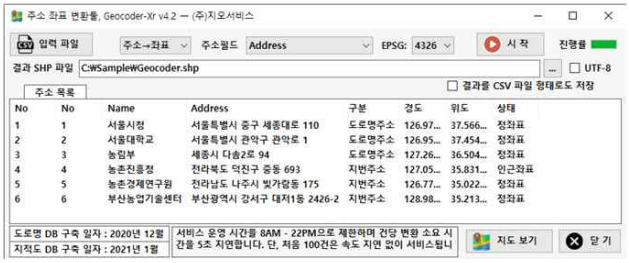


[Figure 4-17] Flows of geocoding process to converse address to coordinate system using location information database

사용자가(또는 이용자)가 데이터에 대해 질의를 하면 그에 대한 답변을 주는 형태로 정보를 제공해 준다. 본 연구에서는 시설물 정보를 제공하는 기관에 시설물 정보를 질의하고 그 결과를 받아 정보를 취득하였다.

Open API를 통해 제공되는 시설물 정보는 각 기관의 제공되는 정보에 따라 위치정보(좌표정보)가 없이 주소정보를 제공하거나, 위치정보와 주소정보 모두 제공한다. 따라서 위치정보가 없이 주소정보만 제공되는 경우에는 전처리(Per-process)과정이 필요하다. 주소정보를 좌표값 형태의 위치정보로 변환하기 위해서 지오코딩을 이용하였다. 지오코딩은 고유명칭(주소나 산, 호수의 이름 등)을 가지고 위도와 경도 등과 같은 좌표값를 얻는 것을 의미한다. 이를 위해 국내 민간에서 개발한 Geocoder-XR Tool을 이용하였다. 이 좌표변환 Tool은 전국의 지번주소와 도로명주소를 기반으로 지속적으로 DB가 업데이트가 되며, 변환 건수의 횟수에 대한 제한이 없다. Geocoder-XR Tool을 이용하여 주소를 좌표로 변환하

No	Name	Address	구분
1	서울시청	서울특별시 중구 세종대로 110	도로명주소
2	서울대학교	서울특별시 관악구 관악로 1	도로명주소
3	농림부	세종시 다솜2로 94	도로명주소
4	농촌진흥청	전라북도 덕진구 중동 693	지번주소
5	농촌경제연구원	전라남도 나주시 빛가람동 175	지번주소
6	부산농업기술센터	부산광역시 강서구 대저1동 2426-2	지번주소



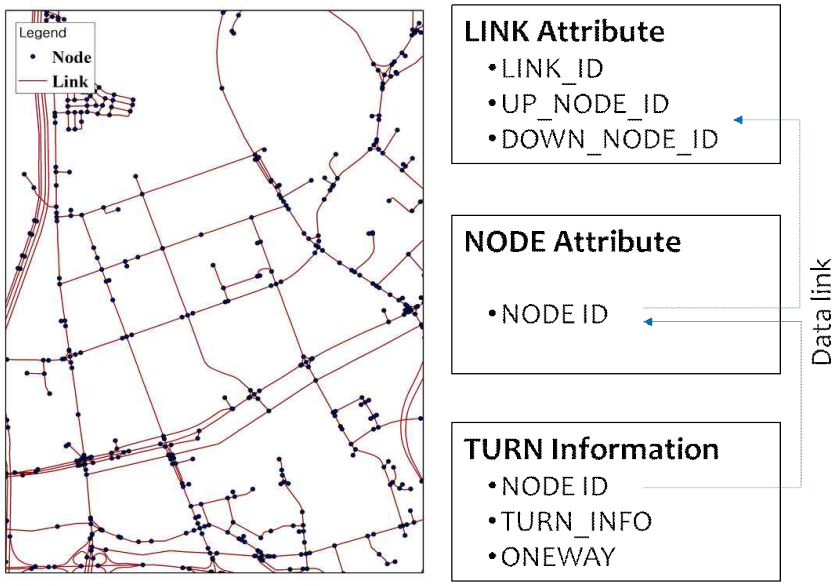
[Figure 4-18] Examples of geocoding process using Geocodr-XR tool

는 예시는 Figure 4-18과 같다.

2.3. 속성정보 융합한 교통흐름 도로망 구축

국토교통부의 지능형 교통체계 관리시스템(Intelligent Transport System, ITS)에서 제공하는 도로망도를 이용하여 분석이 가능한 Network Dataset을 구축하였다. 이를 위해 ITS에서 제공하는 공간정보 파일(SHP파일)과 속성정보 파일을 이용하여 분석이 가능하도록 수정하였다. 제공되는 도로망도는 선형의 Polyline의 정보(Link Data)와 도로연결 포인트(Node)의 공간정보와 좌회전, 우회전, 유턴, 일방통행의 대한 텍스트 정보를 포함하고 있다. 분석을 위해서 선형의 Polyline만 이용하는 경우 운행이 불가능한 경로로 계산되기 때문에 접근성의 오류를 포함하게 된다. 따라서 이러한 조건을 최소화하기 위하여 Node Data에 속성정보를 연결하여 상행(UP_NODE_ID)과 하행(DOWN_NODE_ID)에 대한 Network Dataset을 구성하였다(Figure 4-19).

이렇게 구축된 도로망도는 사용이 가능하지만, 도로의 속도정보는 입력



[Figure 4-19] Construction of road network map and dataset with up and down node and link attributes

되지 않아 시간적 접근성은 분석이 불가능하다. 따라서 교통체계 관리시스템 교통속도 정보와 결합하여 속도 속성정보가 포함된 도로망도를 제작하였다. 교통정보공개 서비스는 교통소통정보, 공사, 사고정보를 제공하며, 과거 데이터는 CSV(Comma Separated Values) 형태로 제공하고, 실시간으로 발생하는 정보는 Open API 형태로 제공한다. 교통소통정보는 1일을 주기로 5분 단위의 소통정보를 제공한다. 데이터는 집계일자, 시간, 링크 ID, 속도를 제공하며, 링크 ID는 표준노드링크의 링크 ID와 조인이 가능하다. 교통소통정보의 데이터는 하루 약 3~4 Gigabyte(GB) 정도의 크기로 제공이 된다. 대규모 데이터의 통계치를 추출하는 과정에서 H/W의 제약으로 본 연구에서는 2020년 5월 2째주에 해당하는 5일간(월~금)의 데이터를 활용하였다.

제공되는 데이터는 정확히 5분 단위로 정보가 제공되지 않고 수집된 그

Raw data of real speed

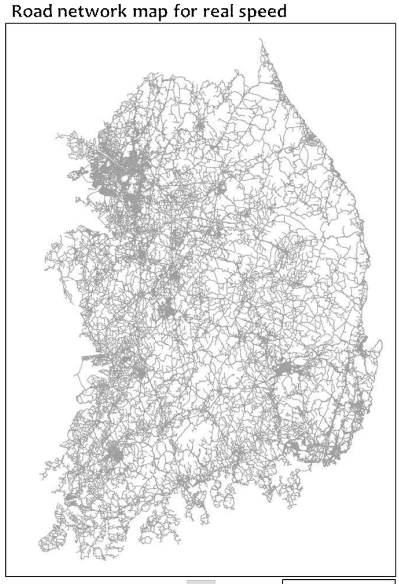
Time	Link_ID	
	1000000100	1000000200
00:02:00	24	36
00:06:00	32	36
00:13:00	23	39
00:17:00	25	32
00:22:00	28	34
00:27:00	30	36
00:33:00	23	39
00:38:00	32	36
00:42:00	24	36
00:48:00	32	24
00:51:00	23	25
00:58:00	15	29
01:02:00	31	30
01:06:00	22	28
01:11:00	32	36
01:17:00	25	32
01:22:00	24	37
01:26:00	24	31
01:31:00	32	24
01:37:00	23	25
01:42:00	28	28
01:47:00	15	29
01:52:00	25	32
01:58:00	29	25
02:02:00	29	37
02:08:00	29	25
02:12:00	22	28
02:18:00	23	39
02:22:00	24	31

Revised data of real speed

Time	Link_ID	
	1000000100	1000000200
00:05:00	24	36
00:10:00	32	36
00:15:00	23	39
00:20:00	25	32
00:25:00	28	34
00:30:00	30	36
00:35:00	23	39
00:40:00	32	36
00:45:00	24	36
00:50:00	32	24
00:55:00	23	25
01:00:00	15	29
01:05:00	31	30
01:10:00	22	28
01:15:00	32	36
01:20:00	25	32
01:25:00	24	37
01:30:00	24	31
01:35:00	32	24
01:40:00	23	25
01:45:00	28	28
01:50:00	15	29
01:55:00	25	32
02:00:00	29	25
02:05:00	29	37
02:10:00	29	25
02:15:00	22	28
02:20:00	23	39
02:25:00	24	31

Data join

Road network map for real speed



Velocity DB

road_network_spd

	FID	Shape *	ROAD_RANK	MAX_SPD	UP_ITS_ID	DOWN_ITS_I	Shape_Leng	T_00_00	T_00_05	T_00_10	T_00_15	T_00_20	T_00_25	T_00_30	T_00_35	T_00_40	T_00_45
▶	0	Polyline	107	30	4080083200	4080082900	25,07778	42,5	42,5	42,5	42,3	42,3	42,3	42,2	40,7	42,2	43
	1	Polyline	107	50	4080001401	4080001301	30,316184	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	61,7	62,2	61,7	61,7
	2	Polyline	107	50	4080000700	4080000800	32,314125	51,6	51,1	51,1	51,1	51,6	51,6	51,6	50,3	51,6	51,8
	3	Polyline	107	30	4080112700	4080112600	96,228536	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
	4	Polyline	106	60	4080006500	4080005900	1568,038138	60,4	59,7	59,8	58,9	59,4	59,4	59,5	58,2	58,9	58
	5	Polyline	106	60	4080001101	4080001202	1025,042087	49	49	49	49	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6
	6	Polyline	107	50	4080078300	4080078400	110,919116	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,6	38,4	38,6	38,6
	7	Polyline	106	60	4080001201	4080001102	351,444163	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9
	8	Polyline	107	30	4080111400	4080111500	2169,406166	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,6	52	51,6	51,6
	9	Polyline	107	50	4080000800	4080000700	272,668383	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,7	53,3	53
	10	Polyline	107	30	4080111900	4080111800	235,150526	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	38,7	39	38,7	38,7
	11	Polyline	106	60	4080004700	4080004800	723,12943	66,4	63,8	57,9	60,5	62,5	61,8	68	64,6	70,2	66,8
	12	Polyline	107	30	4080129700	4080129800	508,829274	41,2	41,2	41,2	41,2	41,2	41,2	41,2	41,1	41,2	41,2
	13	Polyline	107	50	4080129500	4080129600	1963,080526	47,8	47,8	47,8	48,8	48,8	48,8	49,8	47,9	49,8	50,8
	14	Polyline	107	50	4080129600	4080129500	521,577966	49,3	49,4	50	50	50	49,6	49,3	49,8	49,3	49,3
	15	Polyline	106	60	4080005900	4080006000	225,434326	58,3	56,3	55,4	55,4	56,2	55,4	55,4	54,7	55	55,1
	16	Polyline	106	60	4080002002	4080001902	126,871919	66,4	66,2	66,3	66,3	66,8	66,8	67	66,7	67	66,8
	17	Polyline	107	50	4080196100	4080196200	94,984639	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6
	18	Polyline	107	30	4080111701	4080111601	115,408806	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
	19	Polyline	107	30	4080111602	4080111702	320,881447	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

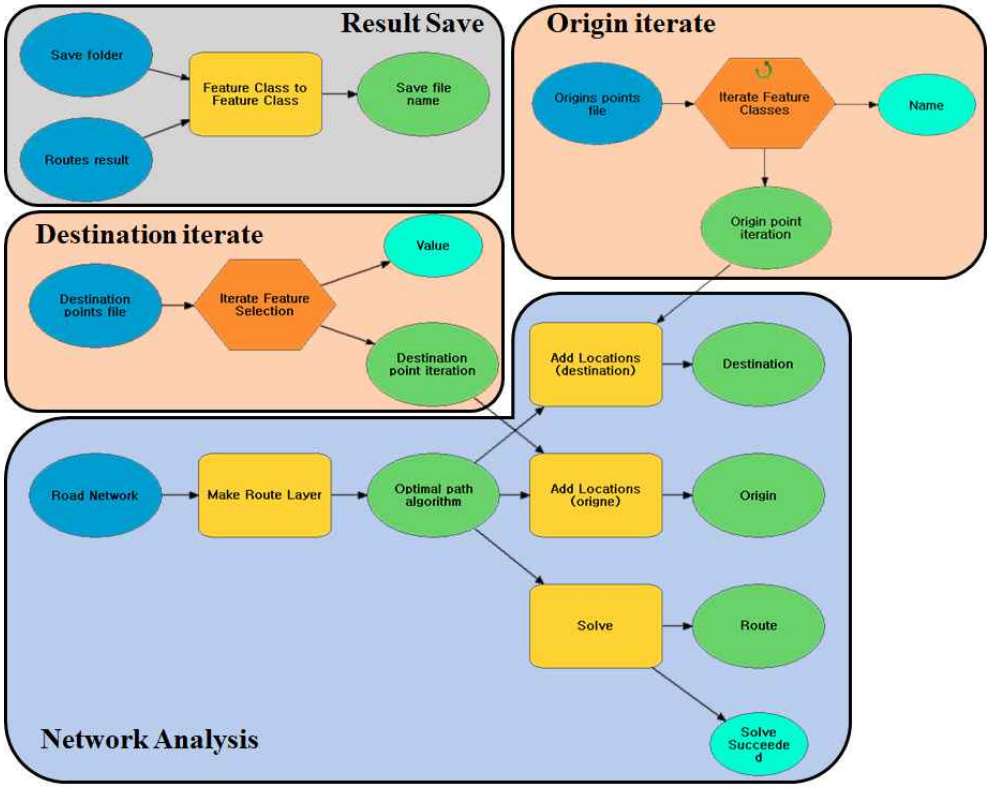
[Figure 4-20] Road network with real speed on the road to converse real speed data by link and road network map

시점의 시간의 정보를 제공하고 있다. 이를 위해서 0:00시부터 24:00시 사이의 5분 간격으로 시간 테이블을 새롭게 만들고 조건문에 의해서 5분 이내에 포함되는 데이터를 삽입하여 정제하였다(Figure 4-20). 최종적으로 정제된 데이터를 도로망의 LINK ID와 연결하여 실제 교통흐름 속도 속성정보를 가진 도로망을 구축하였다.

2.4. 실시간 응급의료서비스 접근 네트워크 모델

본 연구에서는 네트워크 분석을 이용하여 전국단위의 도시지역과 농촌지역의 응급의료 취약지를 분석하였다. 접근성 산정을 위한 네트워크 분석은 ArcGIS™ 의 지리정보시스템(GIS)의 Network Analyst를 이용하였다. Network Analyst는 도로망에 따른 최적 경로 분석, 가장 가까운 시설물 파악, 서비스영역 분석 등과 같은 네트워크 기반의 공간분석을 제공하는 확장자(Extension)이다. Network Analyst의 기능 가운데 O-D Cost Matrix를 이용하여 출발지와 도착지의 다대다 매트릭스를 산정하고, 이 가운데 시간이 가장 작게 소요되는 목적지까지의 경로를 추출하여 사용하였다. 응급환자의 이송을 위하여 커뮤니티센터로부터 가장 가까운 보건소 및 119 안전센터에서 출발하여 커뮤니티센터를 경유해 응급실로 이동하는 경로를 설정하였다. 이렇게 설정한 경로를 이용하여 임의의 지역에서 발생하는 응급환자의 5분 단위 교통량 데이터를 고려하여 시간대별 응급의료시설까지의 도달시간을 산정하였다.

응급의료시설까지의 시간대별 접근성을 5분 단위로 산정하는 과정을 반복적으로 수행하기 위해 ArcGIS 내의 Model Builder 기능을 사용하였다. Model Builder는 분석과정 중 피드백이 필요하거나 일부 조건을 변경 혹은 중간 과정부터 분석을 다시 수행하는 등 과정이 발생할 때 이러한 일련의 과정을 다이어그램 형태로 작성하여 분석과정을 여러 번 반복적으로 수행하고 변수의 조정이나 파일의 변경 등을 용이하게 할 수 있다는 장점이 있다. 이에 5분 단위 시간대별 접근성 분석모델은 Origin 반복과정과 Destination 반복과정을 수행하는 모듈을 작성하여 네트워크 분석을 자동으로 수행하고 결과를 저장하는 요소로 구성하였다(Figure 4-21).



[Figure 4-21] Model builder for calculating network analysis from origin to destination of emergency medical services by 5 minute time slot

2.5. 응급의료 취약지 및 응급상황별 생존률

2.5.1. 응급의료 취약지 선정 기준

1) 국가 법령에 따른 응급의료 취약지

국내 응급의료 취약지는 보건복지부의 주도로 「공공보건의료에 관한 법률」(약칭: 공공보건의료법)의 제 12조제2항 및 제3항의 규정에 따라 의료자원의 분포와 지리적 접근성 등을 고려하여 의료공급이 부족한 지역을 2년 주기로 평가하여 의료취약지로 지정한다. 이에 2019년 개정된 국내의 응급의료 취약지는 '응급의료분야 의료취약지정 고시' 제정·발령에 따라 '지역응급의료센터로 30분 내 도달이 불가능하거나, 권역응급의료센터로 1시간 이내 도달이 불가능한 인구가 지역 내 30% 이상인 지역'으로 지정된다. 이러한 응급의료취약지역 지정 기준은 시군구 지자체를 기준으로 지역내 인구수를 고려한다.

2) 농어촌서비스기준에 따른 응급의료 최소기준 취약지

농촌의 경우 거주 지역에 관계없이 국민으로서 누려야 할 기본적인 최소한의 삶의 질 수준인 '국가 최소 기준(National minimum)'을 명시하였다. 이 기준에 따라 모든 농어촌 시군에 적용되는 농어촌서비스기준에 대하여 7개 부문 17개 세부항목의 목표치를 설정하여 매년 서비스기준 달성 정도를 점검한다. 핵심항목은 제3차 삶의 질 향상 계획에 따라 보건·복지, 정주생활기반, 경제활동·일자리, 문화·여가·환경·경관, 안전 등으로 구성된다. 이 핵심항목 중에서 보건·복지부문의 응급서비스 핵심항목의 국가최소기준은 '응급환자 발생 시 기본적인 응급장비가 마련되고 전문 인력이 동승한 구급차가 30분 이내 도착하여 응급처치 서비스를 받

[Table 4-9] Description of national minimum and evaluation method and means of emergency services in rural areas

Sector	Health and welfare
Core item	Emergency service
National minimum	In the event of an emergency patient, basic emergency equipment is prepared, and ambulances with professional personnel arrive within 30 minutes to provide first aid services shall be at least 97%. In the case of an island area, a system for transporting patients using helicopters and ships shall be established.
Evaluation method	(The number of cases within 30 minutes of arrival on site / Total cases) × 100
Evaluation means	National Fire Agency (NFA): Address (administrative village) and arrival time (or average time spent) data of EMT-P for each event

을 수 있는 비율을 97% 이상으로 한다. 도서지역의 경우 헬기·선박을 이용한 환자 이송체계를 구축한다.'고 제시하였다(Table 4-9). 응급서비스 핵심항목에 대한 점검방법은 소방청의 출동건수와 출동시간 자료에서 30분 이내에 도착한 건수로 계상하고 있다. 이러한 점검방법은 소방청의 협조자료에 의존하며, 응급환자가 발생하여 출동한 횟수로 산정하기 때문에 30분 이내에 119 소방대원이 도착할 수 있는지에 대한 여부를 지역별로 평가해볼 수 없다는 한계가 있다.

3) 응급의료취약지 기준 설정

먼저 국가 법령에 따라 마을단위로 응급의료서비스 접근에 대한 취약성을 평가하기 위하여 마을로부터 응급의료시설까지의 접근성이 30분 이내 도달이 불가능한 지역으로 설정하였다. 또한 농촌지역을 대상으로 농어촌 서비스 기준에 따라 응급의료 취약지를 살펴보기 위하여 119 안전센터에

서부터 마을회관까지의 접근성이 30분 이상인 지역을 국가 최소 기준을 만족하지 못하는 응급의료서비스 최소기준 불충족 취약지로 설정하였다.

이러한 특정 시간 내에 시설까지의 도달하는 접근성을 산정하기 위하여 국내의 연구에서는 도로망을 기반으로 분석을 수행하고 있다(Kim *et al.*, 2015; MW, 2017; Joen *et al.*, 2018). 그러나 이 분석들은 도로의 법정 제한속도(Limit Speed)를 이용하여 산정되기 때문에 실시간 교통흐름 속도를 반영하지 못한다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 법정 제한속도와 더불어 교통정보공개 서비스에서 제공하는 교통속도정보를 이용하여 실제 차량이동속도에 따른 5분 단위의 접근성을 산정하였다.

2.5.2. 응급상황 정의

중증외상환자 혹은 심장마비 환자와 같은 초응급상황에서의 골든타임이 5~10분임을 감안하면(Gottschalk *et al.*, 2002; May *et al.*, 2018; Eisenberg *et al.*, 1990), 응급의료환자의 생존율은 실시간 교통흐름속도 뿐만 아니라 초기대응의 유무에 따라 달라질 수 있다. 이에 초기 응급처치 유무 및 소방인력의 출동여부에 따라 예상할 수 있는 4가지의 응급의료 대응 경우(CASE)를 설정하여 실시간 접근성에 따른 취약지역 변화 및 응급의료환자의 생존확률을 분석하였다(Table 4-10).

119구조대의 출동구역은 「119구조·구급에 관한 법률 시행규칙」에 따라 소방서 관할 구역을 출동 구역으로 지정하며, 관할 구역 이외의 지역으로 출동할 경우는 크게 3가지 경우로 제시하였다. 먼저 지리적·지형적 여건상 신속한 출동이 가능한 경우, 대형재난이 발생한 경우, 그 밖에 소방청장이나 소방본부장이 필요하다고 인정하는 경우이다. 과거 대다수의 경우 도내 각 소방서 상황실에서 신고를 접수하여 관할 구역의 소방서에서 구

[Table 4-10] Description of emergency cases considering first-aid and transfer systems

Case	Description	Emergency First Aid
Case 1	A patient moves to the nearest emergency center using a personal means of transportation.	X
Case 2	An emergency medical technician-paramedic (EMT-P) is dispatched, but a person near the patient (Bystander) immediately provides first aid according to the first aid instructions given by a telephone operator (dispatcher). After arriving onsite, the EMT-P transfers the patient to the nearest emergency center.	O
Case 3	An EMT-P is dispatched. After arriving onsite, the EMT-P provides first aid, and then transfers the patient to the nearest emergency center.	O
Case 4	An EMT-P or an additional healthcare provider from a community health center is dispatched, provides first aid on-site, and then the EMT-P transfers the patient to the nearest emergency center.	O

조대가 출동하였다. 그러나 2000년대 후반부터 각 도별 소방본부에서 119종합상황실을 운영하며 통합접수를 시행함에 따라 소방서 출동관할구역에 구분없이 신고자와의 최단거리에 위치한 소방관서에서 출동하는 비중이 높아졌다. 또한, 실제로 응급환자를 응급의료시설로 이송하는 것은 관내에 소재하고 있는 응급시설 그리고 응급실의 수용력 등 여러 가지 상황을 고려한다. 그러나 이에 본 연구에서는 가장 최선의 상황(Optimistic situation)을 모의하기 위하여 환자로부터 가장 가까운 구급대원이 출동하며, 환자로부터 가장 가까운 응급실에 이송한다고 가정하였다.

CASE 1은 초기 응급처치 없이 환자가 직접 응급실로 이동하는 경우로

써, 기존의 응급의료 취약지 산정방법과 동일한 상황을 모사한다. CASE 2는 응급환자 주변인(Bystander)이 응급상황 전화상담원(Dispatcher)의 응급처치요령에 따라 1차 응급처치를 수행하는 동안에 구급대원이 도착하여 구급차로 응급실까지 이송하는 상황이다. CASE 3는 구급대원이 출동하여 응급환자에게 현장 응급처치 후 구급차로 응급실까지 이송하는 상황이다. CASE 4는 응급환자 발생지로부터 가장 가까운 구급대원 혹은 보건소 의료인력이 출동하여 현장에서 응급처치 후 구급대원이 구급차로 응급실까지 이송하는 상황이다.

2.5.3. 응급상황별 생존률

응급의료환자 특히, 중증외상환자와 심정지 환자는 골든타임이 매우 중요하며, 초기대응에 따라 생존확률을 높일 수 있다. 동맥경화성 심장병(협심증, 심근경색증)과 같은 돌연사 심정지는 예기치 못한 급성 증상이 나타난 후 1시간 이내에 의식을 잃고 사망하며, 이러한 돌연사 심정지는 심장병 환자의 약 50% 이상을 차지한다(Koh *et al.*, 2005).

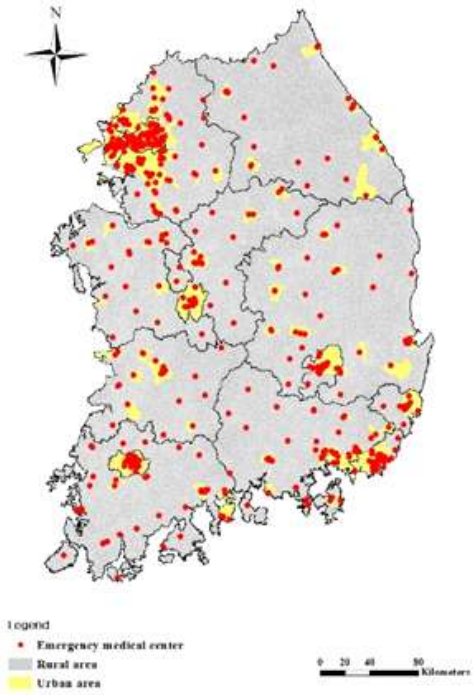
심장마비가 발생한 환자는 바로 주변 목격자가 즉시 심폐소생술을 실시한 경우 생존율을 2배 높일 수 있으며, AED(Automated External Defibrillator)를 이용하는 경우 3배까지 높일 수 있다(Eisenberg *et al.*, 1991). 구체적으로 심정지 환자에게 심폐소생술을 실시할 경우 생존율이 분당 3~4% 감소하고, 심폐소생술을 실시하지 않는 경우에는 분당 8~10% 감소하는 것으로 보고되고 있다(Larsen *et al.*, 1993; ERC, 2000). 따라서 본 연구에서는 심정지 응급환자의 주변인, 응급차량, 보건소 직원이 초기대응을 한 경우 분당 사망률이 3%씩 감소한다고 가정하였으며, 초기대응이 없는 경우 1분당 10%씩 감소한다고 가정하였다.

3. 분석결과

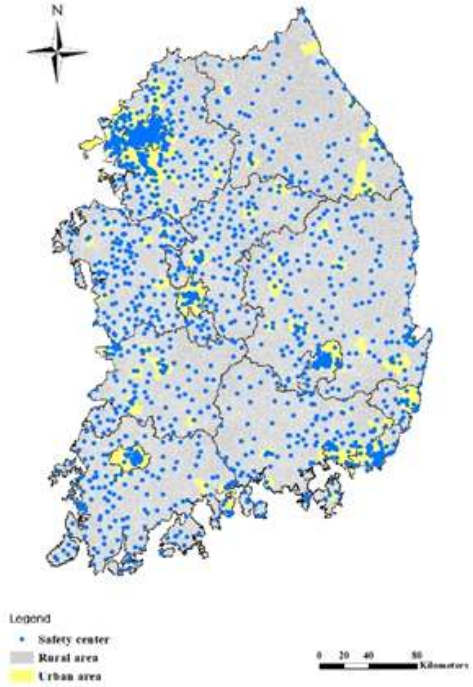
3.1. 도농간 의료환경 및 도로이용상황 비교

3.1.1. 도농간 의료환경 비교

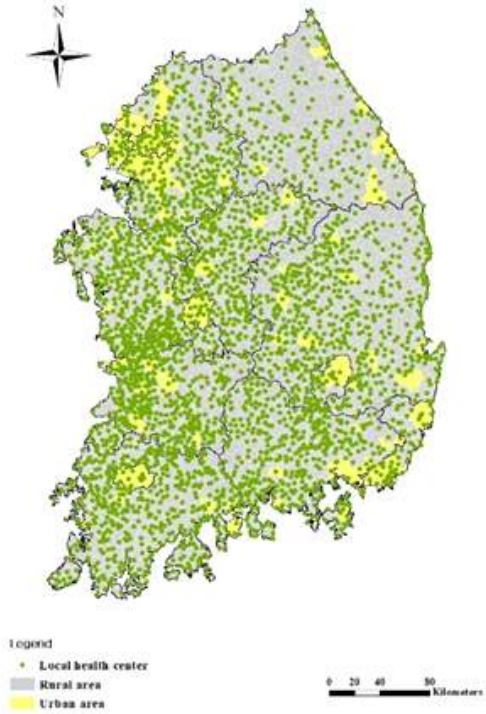
도시와 농촌의 의료환경에 대한 불균형 현상을 파악하고자 응급의료센터, 보건소, 119안전센터의 현황을 분석하였다(Figure 4-22). 전국의 응급의료센터(Figure 4-22(a)), 119안전센터(Figure 4-22(b)), 보건소(Figure 4-22(c))는 각각 509개, 1,702개, 3,156개가 위치하는 것으로 조사되었다. 이 가운데 응급시설은 도시지역에 405개가 위치하여 전체의 79.6%가 집중하고 있는 것으로 조사되었다. 반면 보건소는 농촌지역에 2,879개가 위치하여 91.2%가 집중하는 것으로 조사되었다. 119안전센터는 도시지역에 688개(40.4%)가 소재하고 있고, 농촌지역에 1,014개(59.6%)가 위치하여 도시와 농촌에 비교적 형평성 있게 소재하는 것으로 조사되었다. 보건소와 119안전센터의 경우에는 「지역보건법」, 「소방기본법」에 의하여 주민의 공중보건 향상 및 증진, 생명과 재산의 보호적 서비스를 제공하기 위해 국가적 차원의 관리가 이루어지고 있기 때문에 도시와 농촌의 관할지역마다 균등하게 배치되고 있다. 그러나 대부분의 응급의료센터는 인구가 집중되어 있는 도시지역에 집중되어 있으며, 이로 인하여 농촌지역에서의 응급환자는 상대적으로 취약할 수밖에 없는 시설배치가 이루어지고 있는 실정이다.



(a) Emergency medical center



(b) 119-Safety center



(c) Community health center

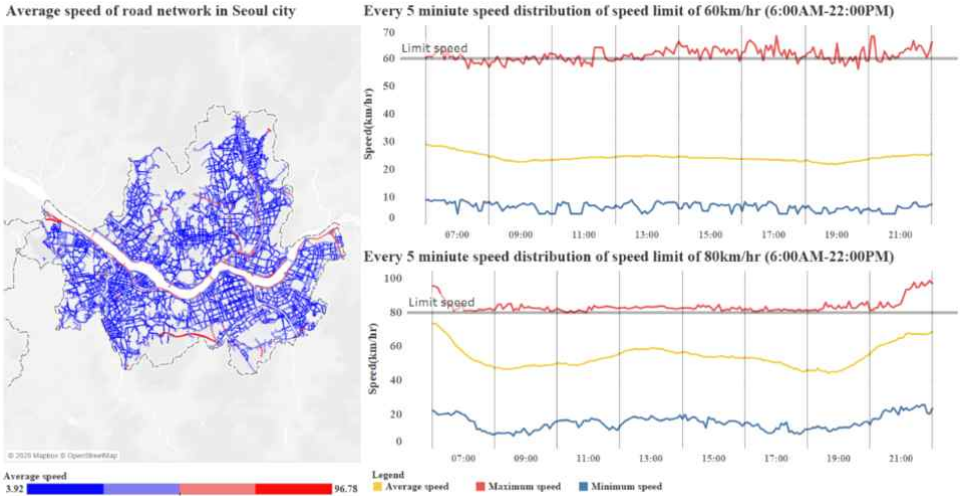
[Figure 4-22] Distribution of medical facilities in Korea. The yellow and gray areas indicate urban and rural areas, respectively. The individual medical facilities are represented by dots. Red dots in (a) are emergency medical centers, blue dots in (b) are 119-safety centers, and green dots in (c) are community health centers. There are 495 emergency medical centers, 1,702 safety centers, and 3,156 community health centers.

3.1.2. 도농간 시간대별 도로이용상황 비교

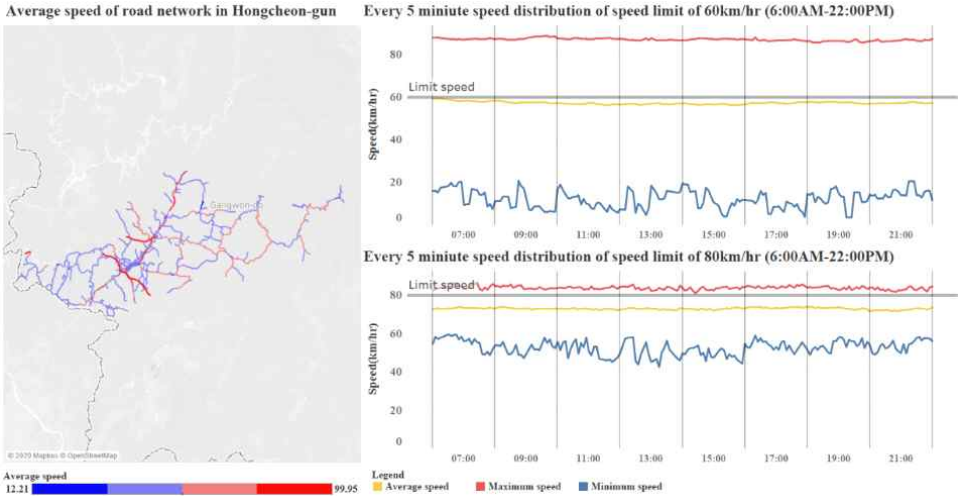
국토교통부 ITS에서 제공하는 표준노드링크와 교통정보공개서비스에서 제공하는 교통소통정보를 결합하여, 5분 단위 접근성이 가능한 도로망도를 구축하였다. 구축된 도로망도의 법정 제한 속도와 실제 흐름 속도를 비교하였으며, 구체적으로 인구밀집도가 가장 큰 지역(서울)과 낮은 지역(홍천)을 비교하였다(Figure 4-23).

국내에서 인구가 가장 밀집되어 있는 수도(서울)의 제한속도와 실제속도를 비교한 결과 60km/hr의 도로에서의 평균적으로 20~30km/hr 범위의 속도로 차량이 이동하는 것으로 분석되었으며, 80km/h의 도로에서는 40~60km/hr 범위의 속도로 이용하는 것으로 분석되었다. 특히 출퇴근 시간인 오전 8시 인근과 퇴근시간인 오후 5시 인근 시간에 도로의 이용 속도가 감소하는 것으로 분석되었다(Figure 4-23(a)).

국내에서 산악지역 속하며, 동시에 전형적인 농촌 지역인 홍천지역을 대상으로 제한속도와 실제속도를 비교하였다. 그 결과 60km/hr의 도로에서는 제한속도와 유사한 속도로 이용하는 것으로 분석되었으며, 80km/hr의 도로에서는 60~70km/hr 범위의 속도로 이용하는 것으로 분석되었다. 도시지역과 다르게 농촌지역의 경우 출퇴근 시간 등에 따라 차량정체에 민감하지 않은 것으로 나타났다(Figure 4-23(b)).



(a) Vehicle speeds in the road network measured at a 5-min unit by road type in Seoul (Urban)



(b) Vehicle speeds in the road network measured at a 5-min unit by road type in Hongcheon-gun (Rural)

[Figure 4-23] Vehicle speeds in the road network measured at a 5-min unit by road type in urban and rural areas. The average speed of roads is shown in blue to red on each road map. The distribution of the actual vehicle speed is indicated by road type (speed limit of 60 km/h and 80 km/h) on the right side in the line graph.

3.2. 도로속도에 따른 응급의료시설의 서비스 권역 및 취약인구 범위

3.2.1. 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따른 서비스 권역 범위

도로의 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따라 응급의료시설의 응급의료 서비스를 전달할 수 있는 권역을 시간 단위로 산정하였다. 응급의료시설의 소재지 위치에 따라 도로의 제한속도에 따른 10분 및 30분 이내 접근이 가능한 면적과 실시간 교통흐름 속도 중에서 가장 혼잡도가 높은 시간대인 출퇴근 시간(오전 8시 및 오후 6시)에 접근이 가능한 서비스 권역의 면적을 추정하였다(Table 4-11 & Figure 4-24).

도로 제한속도를 기준으로 전국 응급의료시설의 10분 이내에 서비스 접근이 가능한 면적은 평균 217m^2이며, 30분 이내 서비스 권역은 이보다 약 10배 정도 넓은 2,164m^2 정도이다. 서비스 권역이 평균적으로 가장 넓은 응급의료시설이 소재한 지역은 경기도(241m^2)이며, 이 후 대구(240m^2), 인천(236m^2), 서울(234m^2) 순으로 나타났다. 반면 강원도에 소재한 응급의료시설은 10분 이내 서비스 권역이 168m^2으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 도로 제한속도 기준으로 30분 이내 서비스 권역이 가장 넓은 지역은 서울(2,689m^2), 세종(2,614m^2), 경기(2,602m^2), 광주(2,469m^2) 순으로 나타났으며, 여전히 강원도의 서비스 권역은 1,137m^2으로 서울의 약 2.5배 낮은 수준이다. 이러한 지역별 서비스 권역의 격차는 지역 내 응급의료시설이 얼마나 분포하고 있는지와 도로망의 구성에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

반면에 교통혼잡도가 가장 높은 출퇴근 시간대의 실제 속도에 따른 응

[Table 4-11] Average area of coverage services of emergency medical facility located in each province following accessible time (within 10 min and 30 min) of speed limit on road and real traffic speed in rush hour

(Unit: m^2)

Province located in emergency center	Speed limit		Real traffic speed			
			Morning rush hours (8:00 AM)		Evening rush hours (18:00 PM)	
	within 10 min	within 30 min	within 10 min	within 30 min	within 10 min	within 30 min
Seoul	233.93	2,868.69	50.13	951.80	47.81	882.19
Busan	202.97	1,690.68	67.13	839.29	66.41	874.72
Daegu	239.68	2,431.89	60.15	1,194.49	54.34	1,182.81
Incheon	236.41	2,336.14	68.18	983.46	59.48	1,074.36
Gwangju	229.57	2,469.46	73.66	1,393.32	81.34	1,553.91
Deajeon	216.80	2,322.47	65.27	1,189.67	64.50	1,142.32
Ulsan	219.85	1,778.83	88.25	1,110.87	77.26	1,059.94
Sejong	214.39	2,614.26	86.46	1,630.04	85.11	1,639.26
Gyeonggi	241.12	2,602.33	76.04	1,082.02	78.25	1,231.03
Gangwon	168.24	1,137.43	100.37	1,013.29	95.14	1,005.01
Chungbuk	217.38	2,082.56	103.95	1,383.79	103.51	1,431.30
Chungnam	222.41	2,308.61	129.23	1,735.51	129.67	1,745.52
Jeonbuk	214.21	2,115.27	120.44	1,594.40	119.10	1,621.91
Jeonnam	194.33	1,673.63	124.81	1,363.35	122.96	1,358.62
Kyeongbuk	190.11	1,745.59	109.73	1,412.69	103.65	1,372.92
Kyeongnam	200.12	1,823.61	110.50	1,274.80	106.47	1,219.31
Average	216.68	2,164.20	88.06	1,197.85	86.16	1,218.82

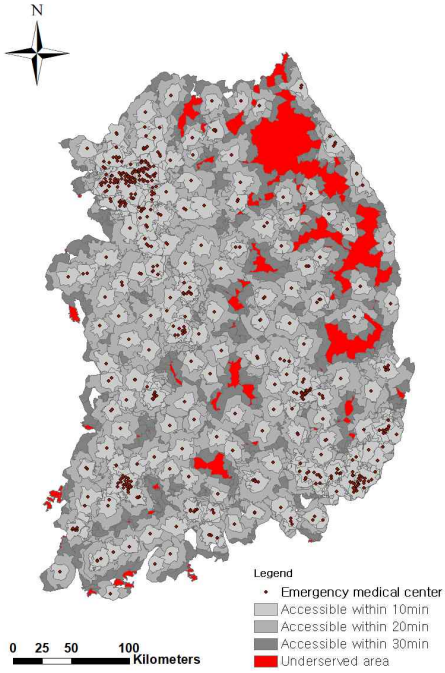
급의료시설의 서비스 권역은 교통흐름이 많은 지역인 대도시에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 출근시간(오전 8시)와 퇴근시간(오후 6시)의 지역별 응급의료시설의 서비스 권역에 대한 면적의 차이는 크지 않는 것으로 나타났다. 출근시간대에 전국 응급의료시설의 서비스 권역은 평균 88m^2(10분 이내) 및 1,198m^2(30분 이내)이다. 그러나 이러한 실제 도로속도에 의한 서비스 권역의 면적은 도로 제한속도 기준 서비스 권역의 약 40.6% 및 55.3% 수준으로 좁아짐을 알 수 있다. 특히 서울시에 소재한 응급의료시설의 서비스 권역은 출퇴근 시간대에 약 50m^2 정도로 가장 낮으며, 도로 제한속도에 따른 서비스 권역의 약 1/4 수준으로 좁아진다. 서울을 비롯한 6개의 광역시(대구, 대전, 부산, 인천, 광주, 울산)는 출퇴근 시간대의 10분 내 서비스 권역이 100m^2가 채 되지 않는다. 서비스 권역이 가장 넓은 지역은 충남, 전남, 전북, 경남, 경북, 충북, 강원도 순으로 나타났다.

응급의료시설까지 30분 이내에 도달할 수 없는 응급의료 서비스 취약지역의 면적 역시 도로 제한속도와 실제 교통흐름 속도에 따라 차이가 있으며, 대도시와 도지역 간의 차이가 큰 것으로 나타났다(Table 4-12). 도로 제한속도를 기준으로 전국의 서비스 취약지역은 약 8,167km^2으로 전국 국토면적의 약 8.75%를 차지한다. 그러나 실제 교통흐름 속도에 따라 출퇴근 시간대의 서비스 취약지역은 평균 약 10,500km^2 정도(약 10.7%)로 확대된다. 지역별로 서비스 취약지역을 살펴보면, 서울시와 부산광역시, 광주광역시, 세종시의 경우 출퇴근 시간대에도 응급의료시설로부터 30분 이내에 모든 지역에 접근할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 강원도의 경우 약 27% 이상이 여전히 응급의료시설로부터 30분 이내에 접근이 불가능한 것으로 분석되었으며, 그 뒤로 경상북도(약 15% 이상), 경상남도(약 8% 이상), 전라북도(약 6% 정도) 순으로 나타났다.

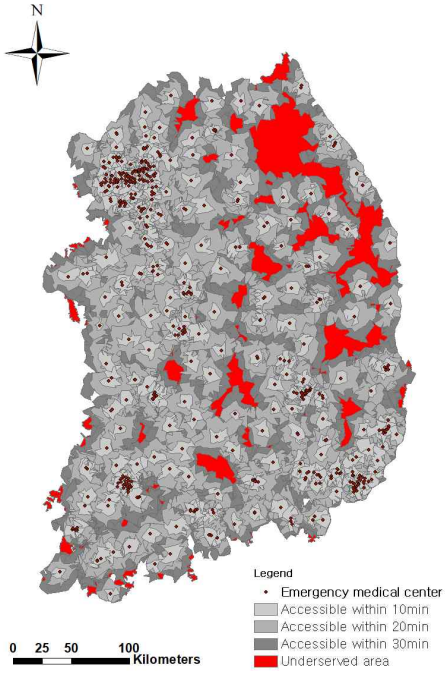
[Table 4-12] Average underserved area of emergency medical services in each province following accessible time (within 10 min and 30 min) of speed limit on road and real traffic speed in rush hour

(Unit: km^2, %)

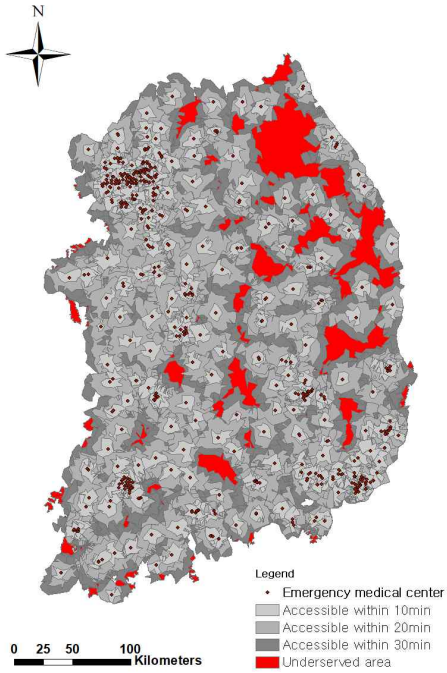
Province located in emergency center	Speed limit		Real traffic speed			
			Morning rush hours (8:00 AM)		Evening rush hours (18:00 PM)	
	within 10 min	within 30 min	within 10 min	within 30 min	within 10 min	within 30 min
Seoul	<0.0 (<0.0)	<0.0 (<0.0)	15.3 (2.53)	<0.0 (<0.0)	23.8 (3.94)	<0.0 (<0.0)
Busan	30.7 (3.98)	<0.0 (<0.00)	161.8 (21.02)	<0.0 (<0.0)	160.4 (20.83)	<0.0 (<0.0)
Daegu	262.5 (29.70)	<0.0 (<0.00)	428.9 (48.52)	1.2 (0.14)	434.6 (49.16)	2.9 (0.33)
Incheon	135.4 (12.74)	6.3 (0.59)	136.4 (12.83)	17.2 (1.61)	138.9 (13.07)	13.9 (1.31)
Gwangju	80.0 (15.98)	<0.0 (<0.0)	91.3 (18.22)	<0.0 (<0.0)	97.9 (19.55)	<0.0 (<0.0)
Deajeon	90.8 (16.84)	<0.0 (<0.0)	166.6 (30.91)	0.8 (0.15)	162.7 (30.18)	0.7 (0.14)
Ulsan	260.3 (24.54)	3.7 (0.35)	446.8 (42.11)	5.9 (0.55)	455.2 (42.90)	6.0 (0.57)
Sejong	162.0 (34.84)	<0.0 (<0.0)	335.7 (72.20)	<0.0 (<0.0)	314.1 (67.55)	<0.0 (<0.0)
Gyeonggi	3,599.5 (35.33)	157.4 (1.55)	5,615.8 (55.13)	189.1 (1.86)	5,498.0 (53.97)	189.2 (1.86)
Gangwon	12,148.6 (72.19)	4,568.8 (27.15)	12,851.8 (76.37)	4,612.7 (27.41)	12,876.2 (76.52)	4,534.7 (26.95)
Chungbuk	4,948.5 (66.80)	309.3 (4.17)	5,821.2 (78.58)	533.5 (7.20)	5,874.7 (79.30)	566.9 (7.65)
Chungnam	4,927.6 (59.90)	87.3 (1.06)	5,981.1 (72.71)	233.1 (2.83)	5,973.9 (72.62)	235.3 (2.86)
Jeonbuk	5,134.4 (63.63)	173.6 (2.15)	6,014.6 (74.54)	454.3 (5.63)	5,995.2 (74.30)	491.9 (6.10)
Jeonnam	7,035.0 (57.03)	381.0 (3.09)	7,926.8 (64.26)	578.4 (4.69)	7,946.1 (64.42)	574.3 (4.66)
Kyeongbuk	14,532.6 (76.35)	2,574.4 (13.53)	16,017.5 (84.16)	2,921.1 (15.35)	16,085.3 (84.51)	3,095.2 (16.26)
Kyeongnam	6,416.8 (60.88)	355.5 (3.37)	7,438.6 (70.57)	873.3 (8.29)	7,464.0 (70.82)	862.0 (8.18)
Total	59,764.8 (60.67)	8,617.3 (8.75)	69,450.2 (70.50)	10,420.6 (10.58)	69,501.1 (70.55)	10,573.0 (10.73)



(a) Emergency service area by speed limit on the road



(b) Emergency service area by real speed in morning rush hour (8 AM)

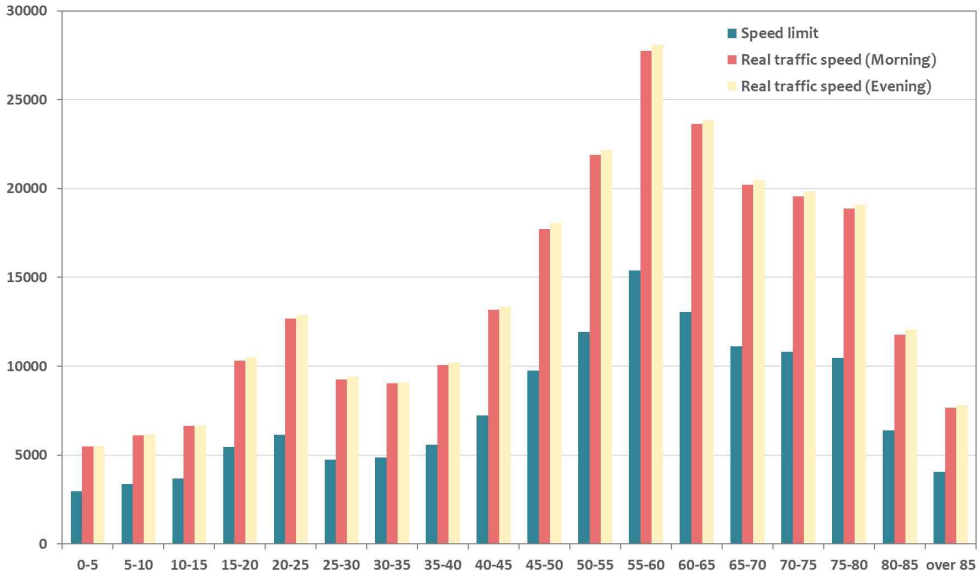


(c) Emergency service area by real speed in evening rush hour (18 PM)

[Figure 4-24] Distribution of emergency service area by speed limit and real speed on the road in Korea. The underserved area indicated that cannot be accessible within 30 minutes from emergency medical center.

3.2.2. 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따른 서비스 취약 인구

도로의 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따라 응급의료시설의 응급의료서비스를 30분 이내에 전달할 수 없는 지역을 서비스 취약지역으로 설정하였다. 2020년 인구격자망을 이용하여 해당 서비스 취약지역에 거주하고 있는 5세 단위 인구 분포를 살펴보았다(Figure 4-25). 도로의 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따라 응급의료서비스 권역의 면적이 약 2배 정도 차이가 나는 경향은 서비스 취약인구에도 비슷하게 나타난다. 도로 제한속도를 기준으로 30분 이상 소요되는 취약지역의 인구는 총 13만 7천여 명으로 분석되었으나 출퇴근 시간대의 평균 취약인구는 총 25만 4천여 명으로 약 1.9배 높은 수준이다(2020년 대한민국 전체인구 5171만명 중 약 0.5%). 또한, 출근시간대와 퇴근시간대의 취약인구에 대



[Figure 4-25] The underserved population of emergency medical services within 30 minutes by age considering speed limit on the road and real traffic speed during rush hours (morning at 8 AM and evening at 18 PM)

한 격차는 크지 않으며 퇴근시간대의 취약인구가 연령대별로 0.5~2.3% 정도 높은 수준이다. 제한속도와 실시간 교통흐름 속도에 따른 취약인구의 차이는 연령대별로도 약 1.8배에서 2.1배 정도 격차가 있다. 출퇴근 시간대에 30분 안에 응급의료시설 서비스를 전달받지 못하는 연령대별 취약인구를 살펴보면, 55~60세가 전체 취약인구의 11%(약 2만 8천여 명)이며, 전체 취약인구 중에서 50세 이상의 비율이 전체 60% 이상을 차지하고 있다.

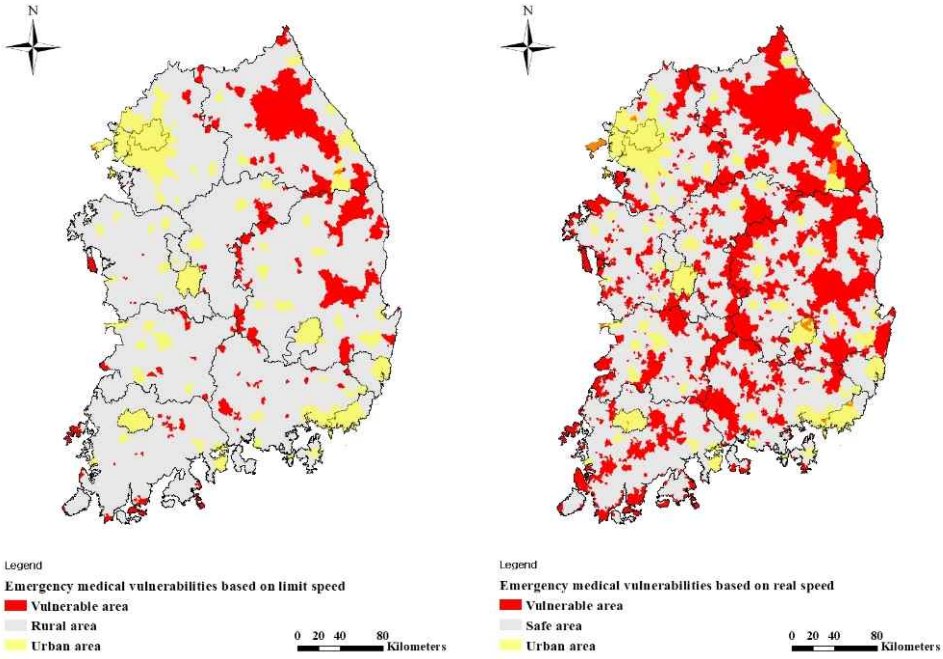
3.3. 마을단위 실시간 교통정보에 따른 의료취약지 평가

도로망의 제한속도와 실제속도를 기반으로 커뮤니티 센터에서 응급실까지 30분 이내에 도달하지 못하는 응급의료 취약지를 분석하였다(Figure 4-26). 응급상황 상황 중 Case 1에 따라 환자가 직접 응급실까지 이동할 경우 제한속도 기준으로 응급의료 취약지역은 659개 지역으로 분석되었으나(Figure 4-26(a)), 실제 속도 기준(오전 6시부터 오후 10시까지 평균)은 최대 3,434개 지역이 취약지역으로 평가되었다(Figure 4-26(b)). 이러한 실제 속도 기반의 취약지역 증가지역은 대부분이 농촌지역으로 나타났다.

이를 5분 단위 실제 속도로 보면 오후의 퇴근시간에 응급의료취약마을이 가장 높은 것으로 분석되었다(Figure 4-27). 도시지역에서는 오후 6시 35분에 48개의 마을에서 응급의료 취약지가 발생되는 것으로 분석되었으며, 농촌지역은 오후 6시 25분에 3,570개의 마을에서 응급의료 취약지가 발생되는 것으로 분석되었다.

도로망의 속도 분포를 보면 농촌지역의 경우 출퇴근 시간 등에 따라 교통 정체에 민감하지 않은 것으로 분석되었으나, 퇴근시간에 응급의료 취

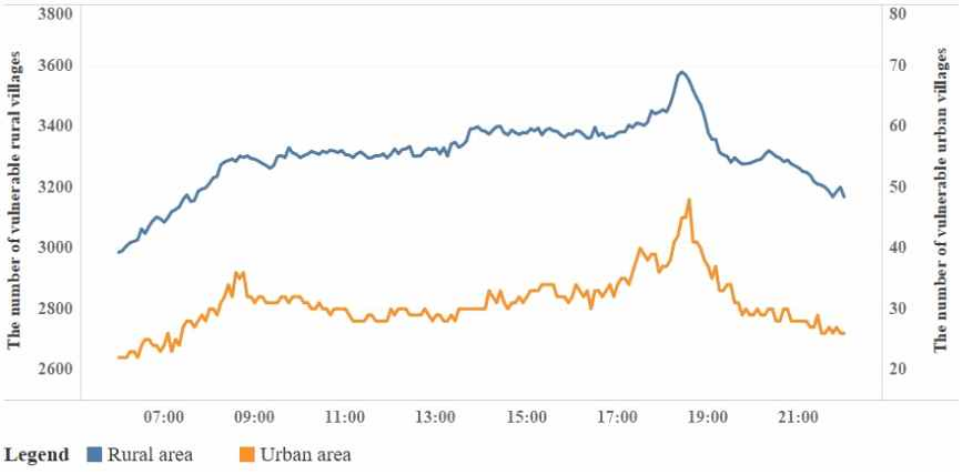
약지가 가장 높은 것으로 분석되었다. 이러한 경향은 응급의료센터의 소재지 위치에 기인하는 것으로 판단된다. 대부분의 응급의료센터는 도시에 집중되어 있기 때문에(405개소, 전체의 79.6%), 농촌에서 도시로 진입하는 도로의 속도흐름이 낮아짐에 따라 취약지역으로 평가되는 지역이 증가하는 것으로 판단된다.



(a) Vulnerable areas based on speed limits of roads

(b) Vulnerable areas based on real speed of roads

[Figure 4-26] Vulnerable areas depending on the road traffic flow speed. The yellow and gray areas indicate urban and rural areas, respectively. The red areas indicate vulnerable areas of EMS, where an emergency patient could not arrive at an emergency medical center within 30 min. (a) shows 659 vulnerable areas (4 urban areas and 655 rural areas). (b) shows 3618 vulnerable areas (48 urban areas and 3570 rural areas).



[Figure 4-27] Number of vulnerable areas of EMS in urban and rural areas based on the real road traffic speed in five-minute units. The number of vulnerable areas is marked as an orange line for urban areas and as a blue line for rural areas. The time slots when the number of vulnerable areas reach a peak during afternoon rush hour (17:00-20:00). The highest is 6:35 p.m. (48 villages) in urban areas, and 6:25 p.m. (3570 villages) in rural areas.

3.4. 지역별 응급의료환자의 시간대별 생존률 분석

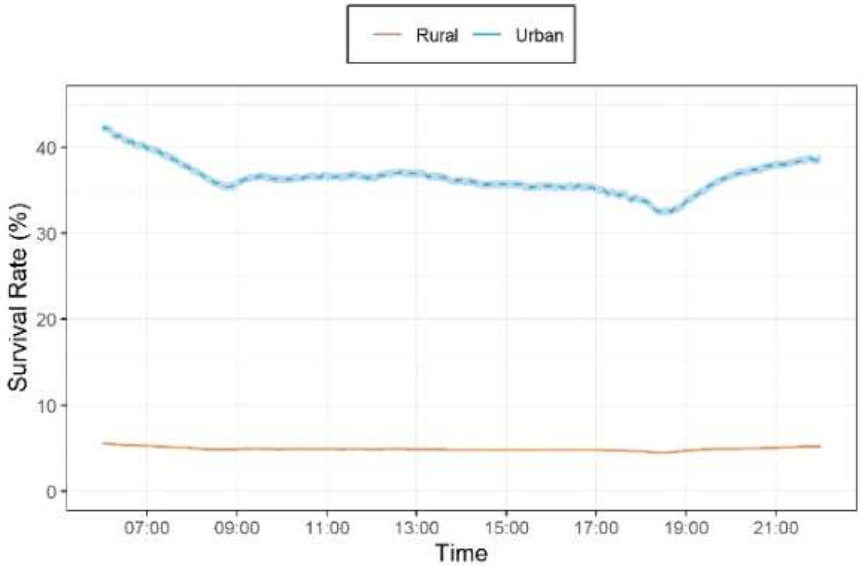
3.4.1. 도농간 시간대별 생존률 변화

초기 응급처치 유무 및 EMT의 출동 여부에 따라 예상할 수 있는 4가지 경우(CASE)에 대한 응급의료환자의 생존확률을 예측하였다(Figure 4-28). CASE 1의 평균 생존확률은 도시지역에서 36.55%, 농촌지역에서는 4.91%로 분석되었으며, 도시지역이 농촌지역에 비하여 약 31.64%가 높은 것으로 분석되었다(Figure 4-28(a)). CASE 2를 적용한 경우 도시지역은 59.43%로 CASE 1보다 약 22.88%가 증가하는 것으로 분석되었으며, 농촌지역은 22.22%로 17.31%가 증가하는 것으로 분석되었다(Figure 4-28(b)). 특히 농촌지역이 CASE 1과 비교하면 4.5배 가량 생

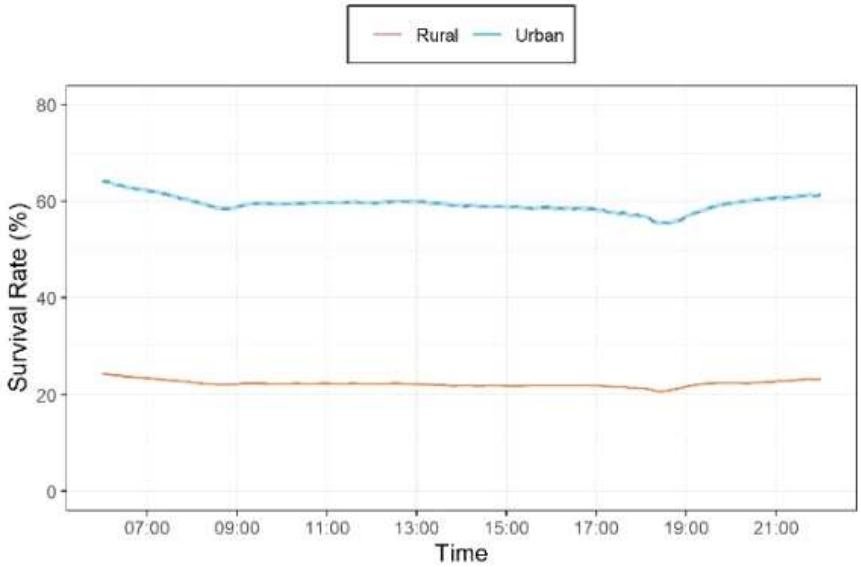
존확률이 증가하여 심폐소생술의 유무에 따라 생존율의 차이가 급격하게 차이가 나는 것으로 볼 수 있다. 따라서 기존의 연구 및 경험에 따라 기존 급성심정지가 발생한 지역, 인구밀집지역, 유동인구가 많은 지역 등에 AED 보급과 지속적인 교육을 통하여 초기의 응급처치가 가능하다면 생존확률을 증가시킬 수 있는 효과로 나타날 것이다.

CASE 3의 경우 도시지역은 31.78%, 농촌지역은 7.28%로 분석되었으며(Figure 4-28(c)), 마지막으로 CASE 4의 경우 도시지역은 35.03%, 농촌지역은 10.76%로 분석되었다(Figure 4-28(d)). CASE 3의 도시지역의 경우에는 CASE 1의 경우보다 약 5%가 감소하는 것으로 나타났다. 도시지역에는 응급의료시설의 자원이 균일하게 분포되어 있어서 오히려 소방의료인의 도착시간 증가로 인하여 생존확률이 감소하는 것으로 파악된다. 그에 비해 농촌지역에서는 응급의료시설까지 접근거리가 멀기 때문에 생존률이 낮은 것으로 분석되었으나, EMT의 도움을 받는 경우에는 생존율의 감소폭(심폐소생술 이후 생존율10%→3%)이 작아져 전체적인 생존확률이 증가하는 것으로 분석되었다.

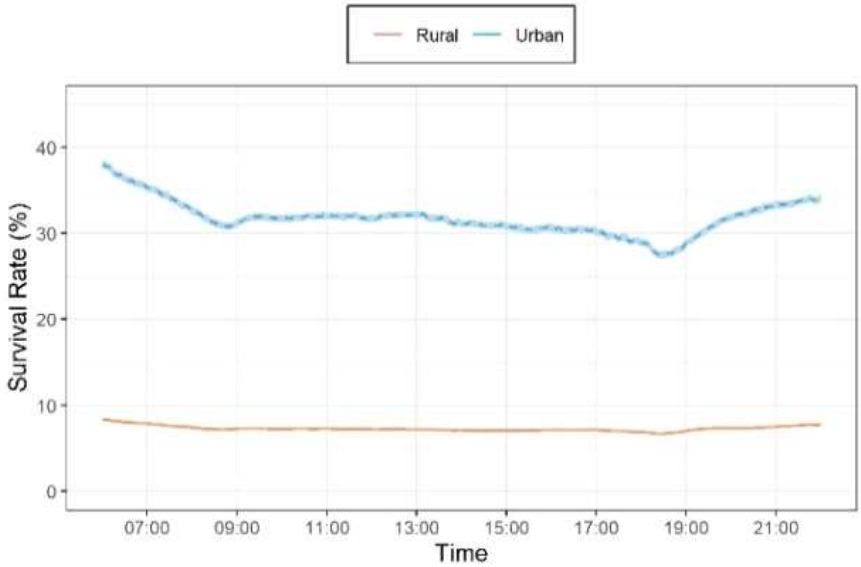
CASE 4의 도시지역의 경우에는 CASE 3에서와 마찬가지로, 응급의료인 또는 보건의료인의 도착시간의 증가로 전체적인 생존확률이 감소하는 것으로 나타났으나, 농촌지역에서는 CASE 1에 비하여 약 2배가량 증가하는 것으로 분석되었다. 농촌지역의 경우에는 소방서와 응급실까지의 거리가 멀기 때문에 빠른 초기 대응만이 생존율을 높일 수 있으며, 가장 근거리에 위치한 보건소 인력의 자원을 이용한다면 2배 이상의 생존율을 높일 수 있다. 이와 연결되어 주변인이 즉각적인 초기 대응을 시행한 경우 생존율이 4배 이상 증가하게 된다. 따라서 신속한 초기대응이 부여될 수 있는 정책적 지원이 절실히 필요하다. 이를 위하여 경찰, 보건소 일반



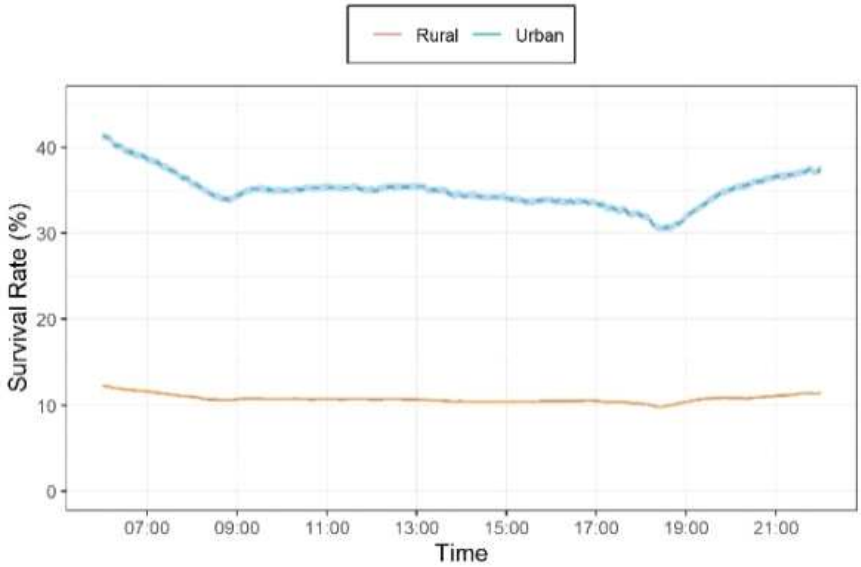
(a) Case 1 (Average rate; urban 36.6%, rural 4.9%)



(b) Case 2 (Average rate; urban 59.4%, rural 22.2%)



(c) Case 3 (Average rate; urban 31.8%, rural 7.3%)



(d) Case 4 (Average rate; urban 35.0%, rural 10.8%)

[Figure 4-28] Survival rates in urban and rural areas by emergency response case. The survival rates in different timeslots are shown according to the emergency response cases described in Table 4-10. Among the four cases, the highest survival rate is Case 2, which is when a patient receives cardiopulmonary resuscitation (CPR) by someone near the patient.

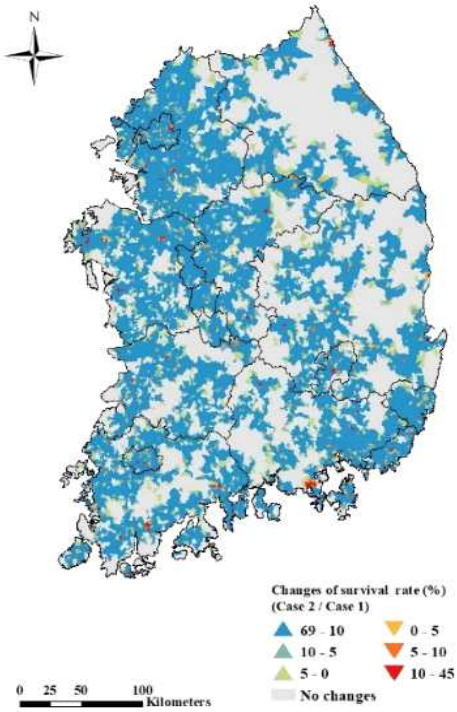
직원, 아파트 관리인, 건물 관리인, 마을대표(이장) 등 초기 대응의 기회를 증가시킬 수 있는 인적 인프라를 육성한다면 생존확률을 높일 수 있는 효과적인 방법 중 하나가 될 것이다.

3.4.2. 응급상황별 생존률 변화

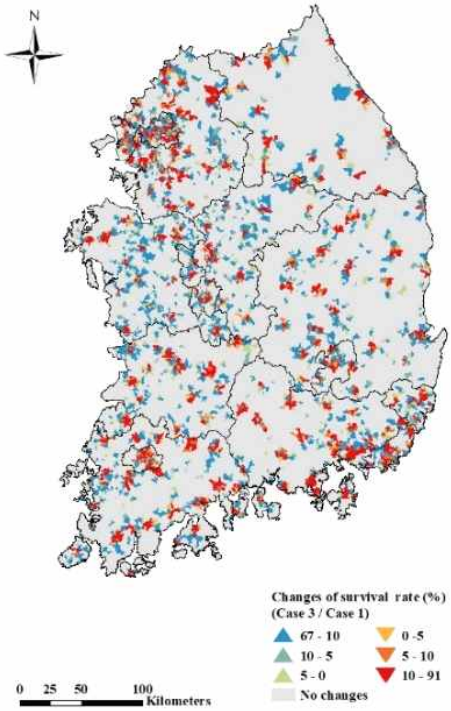
4가지의 응급상황에서 CASE 1에 대비하여 각 응급상황 대처 방안에 따라 생존률이 지역별로 바뀌는 경향을 살펴보고자 CASE 1을 기준으로 CASE 2, CASE 3, CASE 4의 경우 생존률 증감을 비교하였다(Figure 4-29). CASE 2의 경우 case 1에 비해 전국적으로 12,439개의 마을에서 생존률이 증가하는 것으로 분석되었다(Figure 4-29(a)). 이는 전체 마을의 70%가 생존률이 증가하는 것으로 가장 이상적인 상황으로써 환자 주변인이 EMT 도착 전에 초기 응급처치를 시행함으로써 생존률을 증가시킬 수 있는 중요성을 보여주는 부분이다.

EMT의 출동 후 현장에서 초기 응급처치를 받는 CASE 3의 경우 CASE 1에 비해 3,440개 지역에서 생존률이 증가하는 것으로 나타났으며, 오히려 생존률이 감소하는 지역은 2,627개로 분석되었다(Figure 4-29(b)). CASE 3을 적용한 경우에는 부산, 광주, 경기도 등 도시지역에서 오히려 생존률이 감소하는 경향이 나타나며, 서울지역에서는 증가지역과 감소지역이 동시에 발생하는 것으로 나타난다.

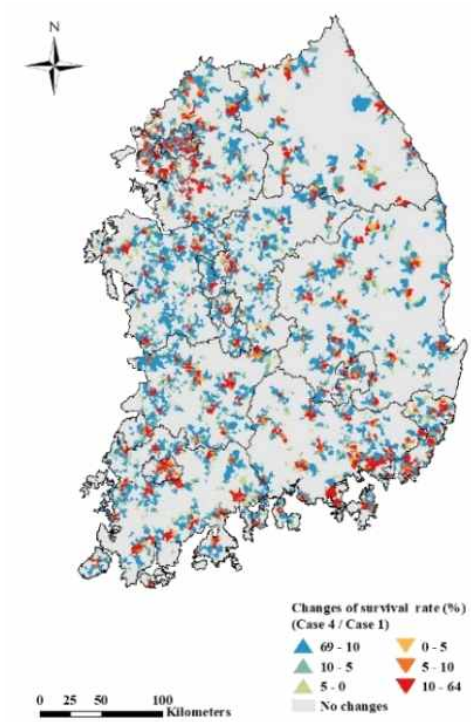
마지막으로 환자로부터 가장 가까운 보건 의료인 또는 EMT의 도움을 받는 CASE 4의 경우에 생존률이 증가하는 지역은 5,309개로 분석되었으며, 감소하는 지역은 2,217개로 분석되었다(Figure 4-29(c)). 도시지역(서울, 부산, 광주, 대구, 경기)에서는 오히려 생존률이 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 도시지역은 EMT 또는 보건 의료인의 도움이 응급의료시설



(a) Changes in the survival rate for Case 2 compared to Case 1



(b) Changes in the survival rate for Case 3 compared to the Case 1



(c) Changes in the survival rate for Case 4 compared to the Case 1

[Figure 4-29] Survival rates in emergency response cases compared to Case 1. The blue areas represent the areas where the survival rate increases through expanded emergency responses by local individuals compared to Case 1. Red areas represent areas where the survival rate decreases. In both urban and rural areas, the emergency response in Case 2 was found to be the most effective in improving the survival rate.

까지의 이송시간 증가시키는 역효과를 불러오기 때문에 도시지역에서 CASE 4 적용은 현실적으로 시행하기 어려운 정책으로 보여진다.

농촌지역에 CASE 4를 적용한 경우 4,060개 마을에서 생존률이 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 농촌지역에서는 보건소의 의료인의 초기 응급처치를 수행할 수 있는 체계가 생존률을 높일 수 있는 적정 대안이 될 수 있으며, EMT와 유기적으로 협업한다면 더욱 생존율을 높일 수 있을 것이다. 그러나 예외적으로 강원도 지역에서는 CASE 4를 적용하더라도 그 효과가 미비한 것으로 나타났다. 이 지역은 국내의 대표적인 산악지형으로 낮은 도로밀도, 응급의료시설, 119 안전센터, 보건소의 배치가 인구가 집중되어 있는 중심지에 위치하기 때문에 그 효과가 미비한 것으로 판단된다. 따라서 이 지역은 보다 효과적으로 지역주민의 생존률을 높일 수 있는 새로운 응급의료시스템의 방안을 도입할 필요가 있다.

4. 고찰

본 연구를 통해 농촌지역의 경우 지역 인력을 활용한 신속한 응급처치를 위한 정책 기반 지원을 제안한다. 현행 주요 의료 인프라가 도시지역에 집중돼 있어 EMS 접근성을 높이기 위해 농촌에 응급의료시설을 더 많이 구축해야 한다. 그러나 모든 농촌지역에 취약지가 발생하지 않을 만큼의 응급의료센터를 새로 짓는 것이 효율성이 떨어질 수 있다. 대신 생존율을 높이기 위해 응급환자에게 1차 응급처치를 하는 것이 더 효율적인 방법을 본 연구를 통해 확인하였다. 본 연구의 결과에 따르면, EMT-P가 도착하기 전에 1차 응답자가 응급처치를 제공할 때, 농촌 지역 마을의 생존율은 70% 증가했다. 또한, EMT-P가 응급처치를 한 후 환자를 응급의료시설로 이송하는 농촌지역에서도 생존율이 높아졌다.

EMT-P 출동 시간의 단축과 일반인에 의한 AED 사용의 중요성을 주장한 일부 연구(Lee *et al.*, 2017; Hawkes et el., 2017; Nishi *et al.*, 2015)에 기초하여, 환자가 빠른 응급처치를 받을 경우 환자의 생존율을 높일 수 있는 효율적인 대응 시스템을 수립하는 것이 필요하다. 예를 들어 인구 밀집지역이나 기저질환을 가진 환자가 많아 응급 위험도 높은 지역 등 응급환자가 발생할 잠재적 위험이 있는 장소에 AED 추가 보급을 고려할 수 있다. 생존율을 높이는 가장 효과적인 방법은 즉각적인 응급처치이기 때문에, 정부는 국민들이 인구 밀집 지역에 AED를 설치하고 교육하는 것뿐만 아니라 심폐소생술을 시행하도록 훈련시켜야 할 필요가 있다. 신속한 응급처치를 위한 또 하나의 효과적인 방법 중 하나는 경찰, 지역사회 보건소 일반 직원, 아파트나 건물 관리인, 마을 대표 등 인적 인프라를 육성해 응급처치 기회를 늘리는 것이다. 이러한 접근 방식은 도시지역의 응급의료센터 접근시간과 응급 구조대가 도착하기 전에 농촌 지역에서 응급처치를 제공하는 데 도움을 줄 수 있도록 더 많은 사람들을 고려한 응급 환자의 생존율을 개선하는 합리적인 방법이 될 것이다.

5. 소결

본 연구에서는 실시간 교통흐름 속도정보를 이용하여 실제 도로속도를 반영한 지역 및 시간대별 응급의료서비스(EMS)에 대한 접근취약성과 그에 따른 응급환자의 생존율을 분석하였다. 주요 결과는 도시와 농촌이 응급의료시설까지의 접근성 측면에서 서로 다른 특성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 도시지역에서는 혼잡한 도로 교통 흐름(특히 출퇴근 시간)이 접근시간을 지연시키는 것으로 분석되었다. 이와는 대조적으로 대부분의 응급의료시설이 도시지역에 소재하고 있음에 따라 농촌지역에서는 응급의료시설

과의 물리적 거리가 멀어져 접근도가 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 기존의 취약지 지정 기준처럼 도로의 제한속도를 기준으로 EMS 취약지역을 평가하면 실제 도로상황을 반영하지 못해 응급의료시설까지 걸리는 시간을 과소평가하는 것으로 나타났다.

본 연구는 실시간 접근성이 중요한 응급의료서비스 측면에서 실시간 활동 데이터(실시간 주행 속도)와 지리 데이터(공간정보)를 이용한 빅데이터 분석을 통해 보다 현실 상황을 반영한 응급의료 취약지를 재평가한 것에 의의가 있다고 사료된다. 본 연구의 결과는 교통 신호 및 응급환자 이송과 같은 더 많은 데이터 소스를 통해 현실 상황을 보다 더 반영할 수 있는 방향으로 개선될 수 있다. 첫째, 교통 신호로 인한 지연시간이 없을 뿐 아니라 119안전센터에서 EMT-P의 출동 준비 시간을 고려하지 않음에 따라 궁극적으로 응급환자의 생존률 추정에 반영하지 못하였다. 둘째, 환자의 선택이나 의료인력, 장비 등 센터의 의료상황에 따라 환자가 다른 응급센터로 이송될 수 있지만 모든 응급환자는 가까운 응급의료센터로 이송될 것으로 추정하였다. 셋째, COVID-19와 같은 유행성 전염병 질병이 확산할 경우 의료진과 의료시설 내 다른 환자의 감염 가능성을 방지하기 위해 응급실 일시 폐쇄 혹은 해당 응급환자의 접근성을 잠재적으로 제한하는 등의 상황에 대한 영향을 고려할 수 없는 한계가 존재한다.

향후 연구는 실시간 데이터와 더불어 응급환자의 정확한 이송 응급센터 위치뿐만 아니라 EMT-P의 실제 출동시간과 도착시간과 같은 협조자료를 통해 보다 더 진보된 모델을 개발할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 실시간 데이터를 바탕으로 한 지속적인 취약지 연구는 EMS의 취약 영역에 대한 보다 정확한 평가를 제공할 뿐만 아니라 지역 응급의료서비스를 위한 최적의 환자 이송 시스템을 제안할 수 있을 것이다.

제 5 장

지역 소득향상을 위한

시스템 분석 연구

제 1 절 유휴 운송자원을 활용한 농산물 스마트 로지스틱스 시스템 성능 분석

1. 서론

1.1. 배경 및 필요성

기존의 복잡한 유통체계를 극복함과 동시에 신선한 먹거리에 대한 소비자의 니즈가 증가함에 따라 직접적으로 지역 생산자와의 농산물 직거래가 증가하고 있다(Lockeretz, 1986; Hinrichs, 2000; Thilmany *et al.*, 2008; Bond *et al.*, 2008; Mann *et al.*, 2018). 더 나아가 과거에 마트에서 직접 상품을 보고 고르던 패턴에서 최근 COVID-19 대유행(Pandemic)으로 인해 소비자들의 상품에 대한 구매 패턴이 비대면으로 온라인 거래를 통해 안전하고 편리하게 신선식품 구매로 구매 패턴의 패러다임이 변하고 있다(Butu *et al.*, 2020; Godrich *et al.*, 2020; Duda-Chodak *et al.*, 2020; Zwanka & Buff, 2021; Fanelli, 2021).

전통적인 농산물 유통은 생산자로부터 도매시장, 중도시장, 소매시장의 복잡하고 긴밀한 수직적 관계를 거쳐 소비자에게 전달된다(Linda & Hobbs, 2002). 기존의 농산물 물류는 일괄적으로 농산물을 수확함으로써 인건비를 절감하고 홍수 출하에 따른 대량 운송이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 복잡한 공급망 체계는 농산물 소매가격의 약 45~72% 정도로 유통 비중을 높게 차지하고 있다. 또한, 여러 단계의 유통체계를 거치면서 수확부터 소비자까지 전달되는데 최소 3일 이상의 시간이 소요되며 상품의 신선도에 영향을 미친다(Amorim *et al.*, 2012; Amorim *et al.*, 2013). 이러한 기존의 농산물 유통체계의 한계를 극복하여 유통비중을 절감시켜 생산자의 수익을 증대시키고 소비자에게 안전하고 질 좋은 상품을 빠른 시간 내에 공급하고자 농산물 직거래를 활성화하고 있다.

농산물 직거래의 규모가 커지고 있음에도 불구하고 공산품과 다른 농산물의 특징 때문에 직거래를 위한 운송시스템에 여전히 다양한 문제점이 있다(Wolf *et al.*, 2005). 농산물은 무게와 부피에 비해서 상대적으로 상품 가격이 낮지만 운송비용은 높다. 이뿐만 아니라 시간에 따라 품질이 빠르게 저하되기 때문에 운송 중 손실량 비중이 공산품에 비해서 높아 시간적으로 운송에 많은 제약을 갖고 있다(McKenzie *et al.*, 2017; Mitrannavar & Yeledalli, 2014). 산지에서 직송하는 신선 채소는 주문 당일 혹은 익일에 수확하여 발송한다는 장점이 있으나 현지 사정에 따라 배송 일정이 달라질 수 있다. 또한, 상품의 규격이 표준화되지 못한 탓에 생산자와 소비자 사이의 상품의 신선도, 질 혹은 크기에 대하여 이견이 있을 수 있다(Brown, 2003; Ernst *et al.*, 2006). 시간에 따라 상품의 질이 하락하는 농산물의 특성상 구매자의 변심으로 인한 환불이 불가하며, 상품에 이상이 있을 경우 판매자가 새로운 상품을 다시 발송하고 해

당 상품은 재판매 할 수 없으므로 생산자 혹은 구매자가 파기해야 한다는 부담이 있다.

유통단계를 줄여 비용을 절감하는 직거래 방식은 여전히 기존의 택배 유통망을 이용하므로 최저 단가가 이미 형성되어 있다. 농산물의 가격은 부피나 무게에 비해 워낙 가격이 낮으므로 생산단계에서 원가를 절감하기에는 한계가 있으므로 결국 운송단계에서의 비용을 줄이는게 핵심이다. 또한, 생산-유통 과정에서 운송단계를 축소함으로써 운송비용을 절감시킬 수 있는데, 농산물의 신선도를 고려하면서 운송시간 역시 절감하는 고려가 필요하다(Han *et al.*, 2020).

기존의 택배망을 이용한 직거래 방식은 여전히 유통비용을 절감하는데 한계가 있으므로, 새로운 형태의 운송시스템을 구축할 필요가 있다. 이를 위해 새로운 형태의 농산물 직거래를 위해서는 우리 주변에 자원으로서 활용가능성이 있지만 사용되지 않고 산재해 있는 유휴자원(Latent resources)을 유연하게 활용하는 방법을 제안할 수 있다(Ma *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2020). 활용되지 않고 있는 유휴자원을 타인과 공유함에 따라 불필요한 소비 자원의 낭비를 줄이고, 궁극적으로는 사회 공동의 이익 증가에 기여할 수 있는 장점이 있다(Yang *et al.*, 2009; Van Duin et al, 2019; Choi *et al.*, 2020). 예를 들어, 대표적인 유휴자원으로 더 이상 농업용으로 사용하지 않는 저수지, 빈집, 공터, 폐교 등이 있다.

여러 유휴자원 중에서 농산물 운송에 활용가능한 자원은 정기적으로 운행되는 광역교통수단(고속/시외버스)의 화물 공간을 예로 들 수 있다. 광역교통수단은 승객의 탑승공간과 화물적재 공간이 분리되어 있으며, 화물적재공간은 승객에게 무료서비스로 제공함에도 불구하고 승객들의 개인

물품을 적재하는 공간이용률은 낮다. 기존의 고속/시외버스의 소화물 운송서비스는 비용이 많이 들고 적재 가능 여부의 확인이나 도착 등에 대한 실시간 정보제공이 미흡하여 그 이용률이 낮은 현실이다. 그러나 IoT와 ICT를 기반으로 하여 유휴공간을 사용하거나 공유하기 위한 기술을 통해 실시간 위치서비스 추적 등 다양한 정보제공은 소비자의 위치정보를 이용해 라스트마일(Last miles) 기반의 즉시배송(Intermediate delivery)이 가능하게 만든다(Ropke & Pisinger, 2006; Suh *et al.*, 2012; Schor & Fitzmaurice, 2015). 또한, UAV와 자율주행 등 첨단 운송 수단의 기술이 발달함에 따라 지역 내에서 제품을 수집하고 다시 분배하는데 이용할 수 있다(Yoo *et al.*, 2018; Peng *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019; Kirschstein, 2020; El-Adle *et al.*, 2021).

1.2. 연구목적

본 연구에서는 유휴 운송자원과 드론을 이용한 새로운 형태의 농산물 스마트 로지스틱스(AgroSLS)를 제안하고, 기존 택배망과의 운송범위, 소요시간 및 에너지 사용량 비교를 통해 시스템의 성능을 평가하고자 한다. 이를 위해 먼저 새로운 형태의 농산물 운송시스템(AgroSLS)에 대한 구조를 설계한다. 또한, 운송시스템의 성능을 평가하기 위하여 각 단계별로 수집할 데이터와 수행해야 할 방법론을 기술한 평가 프레임워크를 구축한다. 마지막으로 기존의 우체국 택배망을 이용한 배송과 AgroSLS기반의 배송에 대한 운송범위, 소요시간 및 에너지 사용량을 추정하고 비교하고자 한다. 이를 위해 도로망과 지형정보를 이용한 네트워크 경로를 분석할 수 있는 모델을 제시한다. 또한 농산물 공급지와 소비지를 설정하고 수요-공급 가정조건을 설정하여 운송 시스템의 성능을 분석하고자 한다.

2. 분석 방법 및 자료

2.1. AgroSLS 시스템 구조 설계

사물인터넷 기반의 기술발전은 과거에는 이용하기 어려웠던 불용 공간이나 자산에 대한 활용을 가능하게 하고 있다(Alioto, 2017; Cai *et al.*, 2019). 이러한 실시간 정보와 추가적인 활동정보를 이용한 불용자원에 대한 활용의 사례를 새로운 농산물 운송시스템인 스마트 로지스틱스 설계에 반영하고자 하였다. 이에 기존의 승객-화물 혼재시스템(Masson *et al.*, 2017)을 벤치마킹하여 광역교통망 네트워크 기반의 유휴 적재공간을 활용한 농산물 로지스틱스 시스템을 친환경적으로 디자인하였다. 이 로지스틱스 시스템은 드론, 전기차와 같은 적용가능한 최신기술을 도입과 기존의 광역·로컬 운송수단의 유휴 운송공간을 이용한 운송시스템의 현실화 방안을 제시한다.

스마트 물류란 운송, 보관, 하역, 시설, 장비 및 물류시스템 등 물류 전 분야에 걸쳐 ICT 기술, 센서, 정보통신 및 제어기술을 활용하여 물류 효율성을 향상시키고 이를 통해 물류비용을 절감하는 것을 목표로 하는 물류로 정의할 수 있다(Lee *et al.*, 2018; Korczak & Kijewska, 2019; Leyerer, 2020). 설계된 스마트 물류시스템은 실제 고속/시외버스의 교통망을 기반으로 하며, 실시간으로 유휴 적재공간인 화물칸의 상황을 추적하면서 효과적으로 상품을 전달할 수 있어 생산지역의 농산물을 가장 빠르고 저렴하게 소비지로 운송할 수 있는 농산물 물류 시스템을 가능하게 한다.

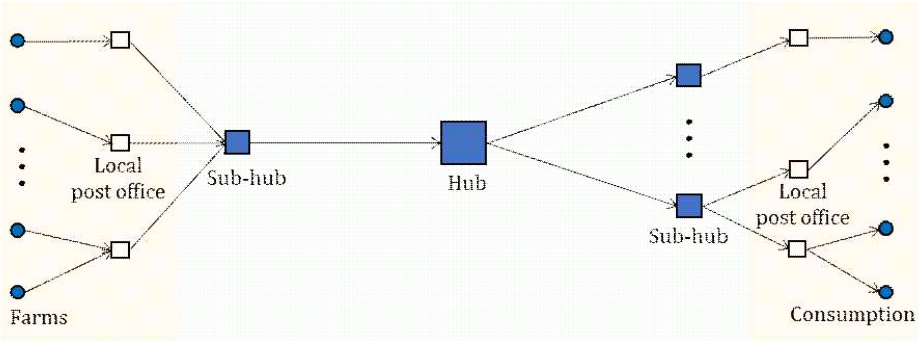
AgroSLS의 운송체계는 농산물을 생산지에서 개별 수집수단(트럭, 드론,

전력구동 수단과 같은 첨단 기술)을 통해 가장 가까운 광역 출발노드(터미널)로 운송와 광역교통(버스)의 유휴 물류자원(화물공간)을 활용하여 농산물을 소비지의 터미널(도착노드)까지 운송 후 최종 배송지까지 개별 배송방법(트럭, 드론 등)으로 소비자에게 전달하는 단계를 거친다.

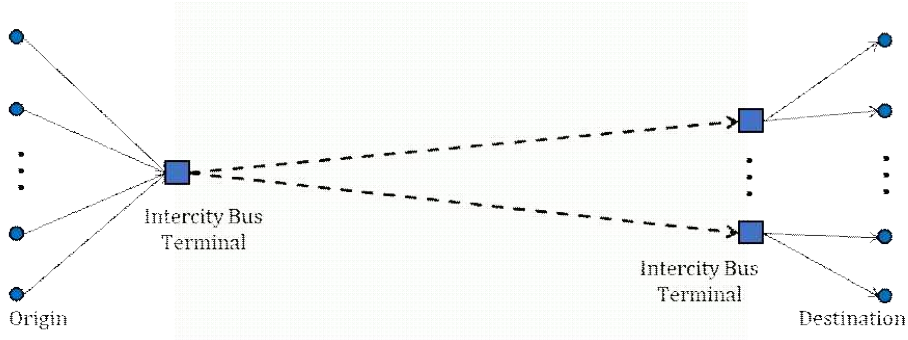
기존의 택배망을 기반으로 한 직거래 체계와 AgroSLS의 체계는 다음과 같은 차이점을 가진다(Figure 5-1). 우체국택배는 전자상거래업체들이 선정한 신선식품 배송에 적합한 운송망(전체의 약 60.7%)이라고 알려져 있으며, 특히 우체국 주거래 업체의 물품 배송 종류는 농수산물이 약 57.1%를 차지하였다. 우체국 택배의 경우 생산자로부터 지역 우체국 지소에서 접수받은 후 지역 우체국으로 집하 한 후 수취지역과 가까운 Hub로 이동한다. 이후 수취지역의 지역 우체국에서 지역 우체국 지소로 전달받은 상품을 최종 소비자에게 전달한다. 이 전체적인 과정은 최소 6단계로 진행되기 때문에 단계별로 6종류의 운영 주체가 존재한다. 반면 AgroSLS의 경우 지역 내 가장 가까운 광역버스 터미널로 운송 뒤 정기적으로 운행하는 버스의 화물 공간을 기반으로 상품이 운송된 후 수취지역에서의 최종 배송이 완료된다. 이 과정에서 최소 3단계로 진행되며, 3종류의 운영 주체가 존재한다.

2.2. AgroSLS의 영향 평가 프레임워크

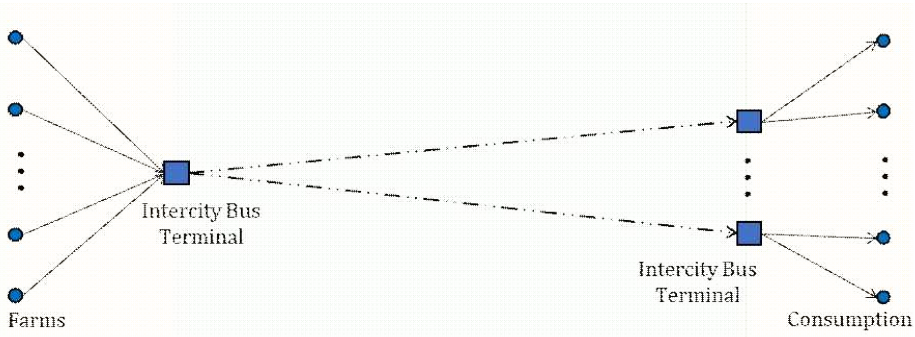
환경, 경제, 사회적 관점에서 AgroSLS의 성과를 평가하기 위해서 개념적 프레임워크를 제시하였다(Figure 5-2). 프레임워크는 크게 다섯 단계로 구성된다. 먼저, 로지스틱스 시스템의 구조와 구성 데이터를 이해하기 위한 구조적 특징 해부 단계, AgroSLS를 구성하기 위한 데이터 수집 단계, 네트워크 분석 기반의 모델 개발 단계, 개발된 모델의 시뮬레이션 단



(a) Direct transaction phase for logistics



(b) Regional transportation



(c) AgroSLS phase (Combination of (a) and (b))

Logistics phases

Local distribution

Regular distribution

Flows and Attributes

⟶	Primary flow	Truck, drone, etc.	Cargo
—··→	Secondary flow	Intercity bus	Loading space
- - →	Regular flow	Intercity bus	Passenger space

[Figure 5-1] Schematic representations of direct transaction and AgroSLS process

계, 환경, 경제, 사회적 성과 평가로 이루어진다.

- 구조 특성화 단계

구조 특성화 단계에서는 로지스틱스를 구성하는 구조와 데이터에 대한 이해를 수행한다. 로지스틱스의 네트워크망을 구성하는 노드들의 위치, 로지스틱스를 수행하는 주체, 주체들의 행위 등과 같은 데이터를 정의한다. 예를 들어, 기존의 택배망을 이용한 농산물 직거래 로지스틱스에서는 생산자의 위치, 소비자의 위치, 생산자에서부터 소비자에게로 상품을 전달하기 위한 관할 Sub-hub 및 Main hub 파악이 필요하다. 또한, 상품을 운송하는 운송단계별 운송업자 등에 대한 정보를 필요로 한다.

- 데이터 수집 단계

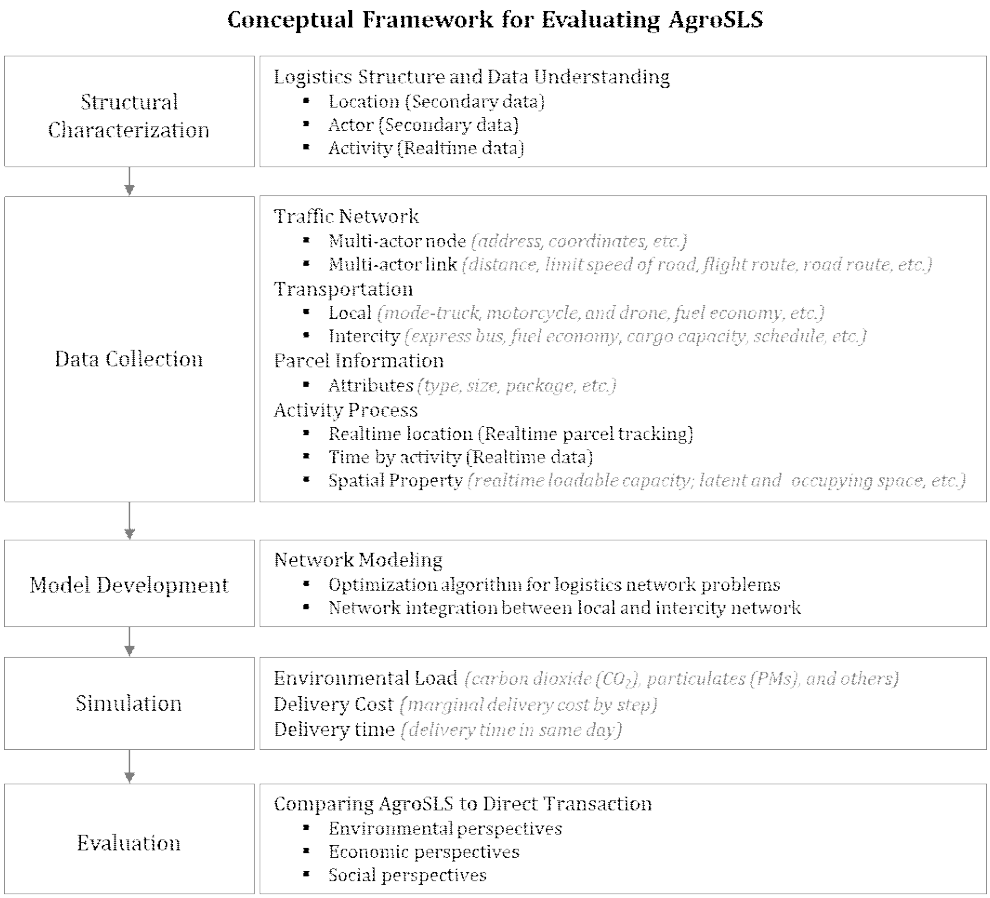
데이터 수집 단계에서는 AgroSLS를 구성하기 위한 데이터를 수집하는 단계로써, 크게 노드와 링크로 구성된 운송 네트워크망, 지역 및 광역의 운송 수단, 상품 정보, 실시간 행위 과정 등 4개로 이루어져 있다.

- 모델 개발 단계

모델 개발 단계에서는 Data collection 단계에서 수집된 데이터를 바탕으로 로지스틱스 네트워크 문제를 해결할 수 있는 최적 알고리즘을 구성한다. 또한, 지역내 배송 네트워크를 구성하고, 시외버스를 기반으로 한 광역 배송에 대한 네트워크를 구성하여 최종적으로 지역 및 광역 네트워크를 융합하여 AgroSLS 네트워크망을 구성한다.

- 모델 모의 단계

모델 모의 단계에서는 AgroSLS의 운영에 따라 발생하는 이산화탄소



[Figure 5-2] Conceptual framework for evaluating environmental, economic, and social impact of AgroSLS performance

(CO_2)와 미세먼지(PM)와 같은 환경부하량을 추정한다(식(5-1)). 이와 더불어 주문 당일 즉시 배송이 가능한 시간과 최종 운송 소요시간을 계산한다(식(5-2)). 또한, 기존의 직거래 체계와 경쟁이 될 수 있을 정도로 단계별로 한계운송비용을 추정한다(식(5-3)).

$$EL(i) = \sum \frac{1}{\alpha} kD(i) \tag{5-1}$$

$$T(i) = \sum \frac{1}{\upsilon} D(i) + \sum t(i) \tag{5-2}$$

$$MC \leq \sum C_d(i) \tag{5-3}$$

- 모델 평가 단계

모델 평가 단계에서는 모의 단계에서 추정된 AgroSLS의 환경부하량, 소요시간, 한계운송비용과 택배망을 이용한 기존 직거래 로지스틱의 환경부하량, 소요시간, 운송비용을 비교하여 AgroSLS의 적용 가능성을 평가한다.

2.3. AgroSLS의 경로분석

2.3.1. 도로 네트워크를 통한 경로 분석

광역교통망의 유휴공간과 드론을 이용한 AgroSLS를 시스템을 구현하기 위하여 도로 네트워크를 기반으로 접근성 분석을 수행하였으며, AgroSLS의 정량적인 비교를 위해 기존의 우정사업본부의 우체국 택배망 분석을 동시에 수행하였다.

AgroSLS는 광역교통망 정보를 기반으로 출발지터미널에서 목적지 터미

널까지의 접근성 분석이 수행되어야 한다. 접근성 분석은 ArcGIS™ 의 Network Analyst를 이용하였다. Network Analyst는 도로망에 따른 최적 경로 분석, 가장 가까운 시설물 파악, 서비스영역 분석 등과 같은 네트워크 기반의 공간분석을 제공하는 Extension이다. Network Analyst의 기능 가운데 New Route 기능을 이용하였다. New Route 기능은 가장 손쉬운 방법으로 출발지(Origin)와 도착지(Destination)를 입력하면 가장 가까운 거리 혹은 가장 소요시간이 작은 경로를 계산해준다.

AgroSLS의 방법과 비교를 위한 우정사업본부의 택배망 분석을 위해서도 ArcGIS™ 의 Network Analyst를 이용하였다. 우정사업본부의 택배망은 접수국(우체국) 〉 관할국 〉 집중국 〉 관할국 〉 우체국 〉 구매자의 과정을 거치게 된다. 이러한 절차로 여러 곳의 우체국에서 접수된 택배는 관할국으로 이송되며, 다시 여러 곳의 관할국에서 집중국으로 이송된다. 따라서 출발지가 다양하거나, 도착지가 다양한 경우에 해당한다. 이러한 분석을 위해서 Network Analyst의 기능 가운데 OD Cost Matrix 기능을 이용하였다. 이 기능은 출발지와 도착지가 2개 이상일 다대다의 경로 분석에 사용이 가능하다.

또한 우정사업본부의 택배망은 택배를 보내는 판매자는 직접 접수국(우체국)에 택배를 가져다주지만, 반대로 구매자는 우체국의 택배경로를 통하여 순차적으로 배송이 된다. 따라서 구매자의 택배를 운송하기 위해서는 택배경로를 사전에 정의하고, 그 순서에 따라 배송되어야 한다. 이러한 분석을 위해서 Network Analyst의 기능 가운데 Vehicle Routing Problem(VRP) 기능을 이용하였다. 이 기능은 공급지에서 출반한 배송차량이 시간 제약 혹은 차량 적재용량 제한 등의 제약조건 하에서 고객들을 방문하고 다시 거점으로 돌아오는데 소요되는 비용, 시간, 거리 등을 최

적화하는 기능이다. 본 연구에서는 택배를 이용하는 최적의 경로를 산정하기 위하여 최소조건의 제약조건으로 문제를 정의하여 사용하였다.

제약조건 1. 공급지와 수요지는 모두 해당 행정구역(시군구) 단위로 설정하였으며, 해당 우체국 개수를 기준으로 100개씩의 택배물량이 정해진다고 설정

제약조건 2. 택배망을 이용하는 과정에서 Service Time(도보를 이용한 택배 배송시간)은 3분으로 설정

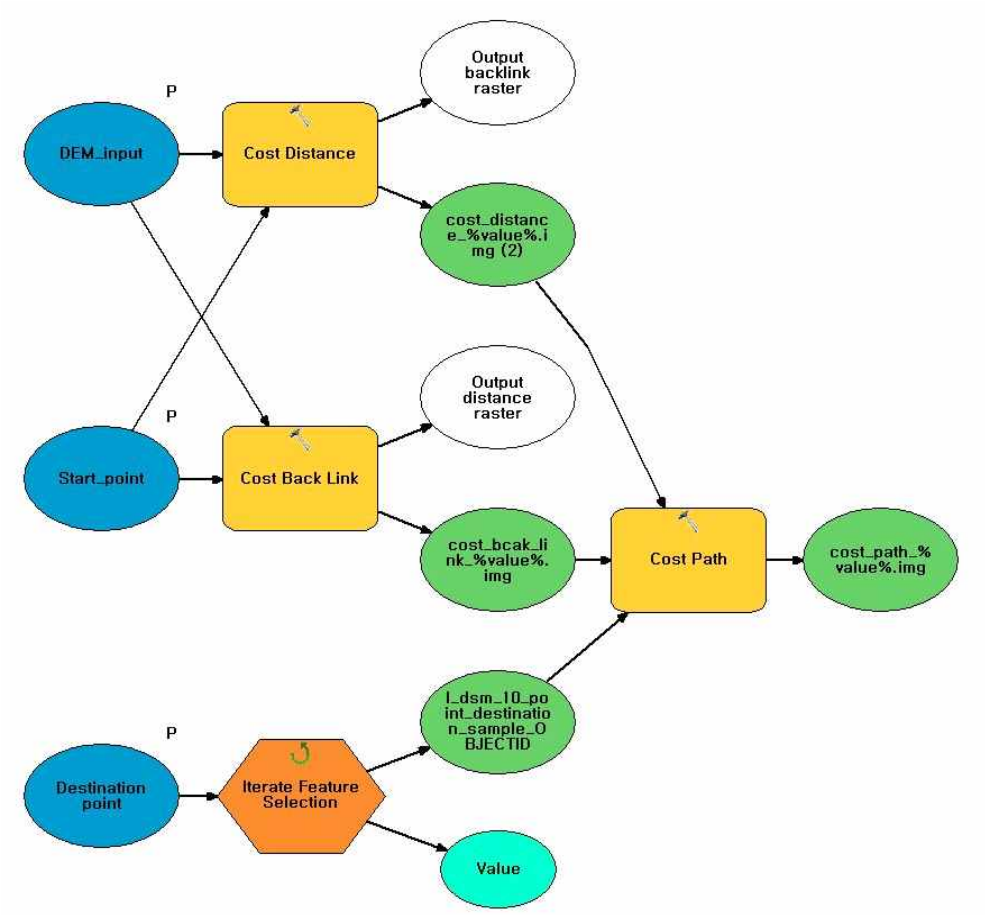
제약조건 3. 택배를 운영하는 도로의 속도는 구축된 도로망의 점심 시간(12:00)으로 설정하여 이동한다고 설정

그 외의 제약조건은 없는 것으로 설정하였으며, 최적분석은 시간이 최소화되는 조건으로 분석을 수행하였다.

2.3.2. 지형정보를 이용한 드론 경로 분석

AgroSLS에서는 공급지에서 터미널 또는 터미널에서 수요지까지는 드론을 이용하도록 설정되어 있다. 드론을 이용한 운송의 최소비용 경로분석은 ArcGIS™의 Spatial Analyst를 이용하였다. Spatial Analyst는 지형과 관련된 다양한 분석도구를 제공하는 Extension으로, 이 가운데 Least Cost Path(LCP) 알고리즘을 사용하였다. LCP 알고리즘은 Cost distance raster와 Cost back link raster를 이용하여 경로를 선정한다. Cost distance는 비용표면에서 가장 가까운 소스까지 각 셀의 최소 누적거리 비용을 계산한다. Cost back link는 가장 가까운 소스에 대한 최소 누적 비용 경로에서 다음 셀인 이웃을 정의한다. 이를 통하여 최종적으로 누적비용이 최소화가 되는 경로를 산정한다.

서울과 평창의 터미널에서 드론이 출발하여 각 격자별에 도착하고 농산물을 탑재하여 다시 터미널로 복귀하는 프로세스로 구성하였으며, ArcGIS™의 모델빌더를 이용하여 최소비용 모델을 작성하였다(Figure 5-3).



[Figure 5-3] Least cost path Algorithm for drone delivery using Modelbuilder of ArcGIS

2.4. 운송수단별 에너지 사용량 추정

2.4.1. 트럭 운송의 에너지 사용량

기존의 택배망(우체국망)에 따른 방법은 공급자가 지역 우체국 지소에 접수한 후 총 6단계를 거쳐 소비자에게 도달하게 된다. 최초 공급자가 지역 우체국까지는 개인의 차량(개인 승용차 또는 개인 소형 화물차)을 이용하여 이동하게 된다. 이후 지역 우체국에서 관할국까지는 우체국 소형 택배 트럭(1톤 트럭)을 이용하고, 관할국에서 집중국 까지 중형 택배 트럭(2.5톤 트럭)을 이용하고, 집중국에서 집중국까지는 대형 택배 트럭(8톤 트럭)을 이용한다. 이후 공급지까지는 역순으로 트럭을 이용하여, 최종적인 소비자에게 도달하기 위해서도 소형 택배 트럭을 이용하게 된다.

이처럼 택배망은 택배 운송 물량에 따라 대·중·소형의 전용 트럭을 이용하며, 사용하는 차량에 따라 에너지 사용량이 고려되어야 한다. 따라서 택배를 운송하기 위한 차량의 연비를 기준으로 이동거리에 따른 에너지 사용량을 산정하였다. 이를 위해서 차량 적재 무게별 화물차량 연비자료를 이용하였다(Table 5-1). 화물차는 크게 적재함의 형태에 따라 박스가 있는 윙바디(또는 탑차)와 박스가 없는 카고로 구분된다. 대부분의 택배운송차량은 택배 물품의 보호를 위해서 박스가 있는 윙바디의 형태로 운영되기 때문에 본 연구에서는 윙바디 차량의 연비를 활용하였다.

트럭의 운송용량에 따른 연비를 바탕으로 택배 트럭을 이용한 에너지 사용량은 다음의 식(5-4)와 같이 산정하였다.

$$E_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{wf_i} d_i \qquad (5\text{-}4)$$

Where E_t is energy consumption by truck for parcel delivery, wf_i is energy consumption of truck by loading weight, d_i is traveling distance.

2.4.2. 버스 운송의 에너지 사용량

AgroSLS는 버스와 드론을 이용하여 농산물을 당일 내에 효율적으로 운송하는 융합형 운송 프로세스이다. 버스는 출발지에서 목적지까지 사람을 이동시켜주는 대표적인 수단이다. 일반적으로 버스는 45인승, 33인승, 15인승으로 구분된다. 버스경로의 운행빈도가 낮은 경우 45인승의 버스로 운행하여 최대한 많은 인원을 이동시키게 된다. 반면 운행빈도가 높은 경우 33인승으로 적은 인원을 많은 횟수로 이동하게 된다. 15인승의 경우 인구밀도가 낮은 농촌지역에서 마을버스 등으로 활용이 되고 있다. 버스는 출발지와 목적지를 이용하는 인원(수요량)에 따라 운행되며, 개인의 여객화물 또한 동시에 운송된다. 그러나 대부분의 버스 화물적재함이 개인의 여객화물을 채워 넣는 경우가 많지 않다. 이로 인하여 버스를 이용

[Table 5-1] Energy economy of truck by weight and loading capacity

(Unit: km/L)

Capacity	Cargo	Refrigerator (Cold)	Refrigerator (Frozen)	Wing body
1.0t	9.0	8.5	8.0	8.3
1.4t	8.3	7.9	7.2	7.5
2.5t	7.2	6.8	6.2	6.5
3.5t	6.8	6.1	5.5	5.8
5.0t	5.5	4.9	4.2	4.5
8.0t	4.5	4.1	3.5	3.5
11.5t	3.5	3.0	2.3	2.7
14.0t	3.0	2.8	2.0	2.4

[Table 5-2] Energy economy by bus type (express and intercity bus)

(Unit: km/L)

Energy economy	Intercity bus	City bus	Reference
Average	4.36	2.36	Lee *et al.*(2013)
Average with Idle	5.12	2.41	Choi(2014)
Average without Idle	5.19	2.64	

함에 사용되지 않는 공간(여객화물 공간)이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 버스에서 사용되지 않는 여객화물 공간에 농산물의 물동량을 운송한다고 설정하여 분석을 수행하였다.

국내의 공인연비의 측정 의무사항은 15인승 이하의 차량으로 한정되어 있기 때문에 버스에 대한 공식적인 연비에 따른 통계자료가 제공되지 않고 있다. 따라서 기존의 연구에서 제공되고 있는 연비자료를 이용하였다. Lee *et al.*(2013)는 버스의 실주행 패턴을 파악하기 위해 차량의 OBD 단자를 통하여 운행데이터를 제공하고 있으며, Choi(2014)는 CAN 계측기를 실제 운행 차량에 부착하여 차량의 연비 정보를 제시하였다(Table 5-2)

또한, 버스 제조사에서는 적재량에 따라 반적을 기준으로 차량 주행 시뮬레이션 결과값을 제공하고 있다(Table 5-3). 제공되는 연비를 보면 약 3~9km/L로 제시되고 있으며. 평균적으로 보면 5.14km/l이다. 따라서 본 연구에서는 제공되는 연비의 평균값인 5.14km/L을 사용하였다.

2.4.3. 드론 운송에 따른 에너지 사용량

트럭이나 버스의 이동에 따른 환경영향이나 시간은 정해진 이동경로에

[Table 5-3] Energy economy of bus model by manufacturer

(Unit: km/L)

Model	Energy Economy			Combined energy economy
	Urban	Rural	Motorway	
Hyundai County	7.95	9.31	8.92	8.72
Hyundai Aerocity	2.67	3.24	3.26	3.06
Daewoo Hi-Decker	3.46	4.42	5.73	4.51
Hyundai Universe	3.35	6.65	6.12	4.99

따라 운송수단의 속도와 이동 거리에 연비를 고려하여 산정한다. 한편, 드론은 수직 이동과 수평 이동에 따라 에너지효율이 달라지기 때문에 드론을 이용한 화물 운송의 환경부하량과 소요시간 등을 산정하기 위해서는 피치각에 따른 에너지 사용량에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

최근 다양한 드론 기체에 대해서 에너지효율에 대한 연구가 수행되고 있으며, 본 연구에서는 부피가 크고 무거운 농산물을 운송을 해야하기 때문에 화물(Payload)은 일정 무게 이상이 되어야 한다. 특히, 농산물 중 배추는 한 포기당 무게가 최소 3kg 정도이므로 이보다 큰 화물의 탑재가 가능해야 한다. 따라서 기존에 분석된 드론 연구 가운데 화물무게가 4.6kg까지 가능한 Xu(2017)가 제안한 대형급 드론으로 선정하여 분석을 수행하였다(Payload 4.6 kg, Air speed 22.2m/s, Range 12km, Epm 525J/m).

이에 드론의 재원에 제시된 에너지 사용량을 기준으로 각도에 따른 효율(가중치)을 기준으로 산정하였다. Qin(2018)은 이항184를 이용하여 수평 이동과 수직 이동에 따른 에너지효율을 비교하였으며, 수평으로 이동하는

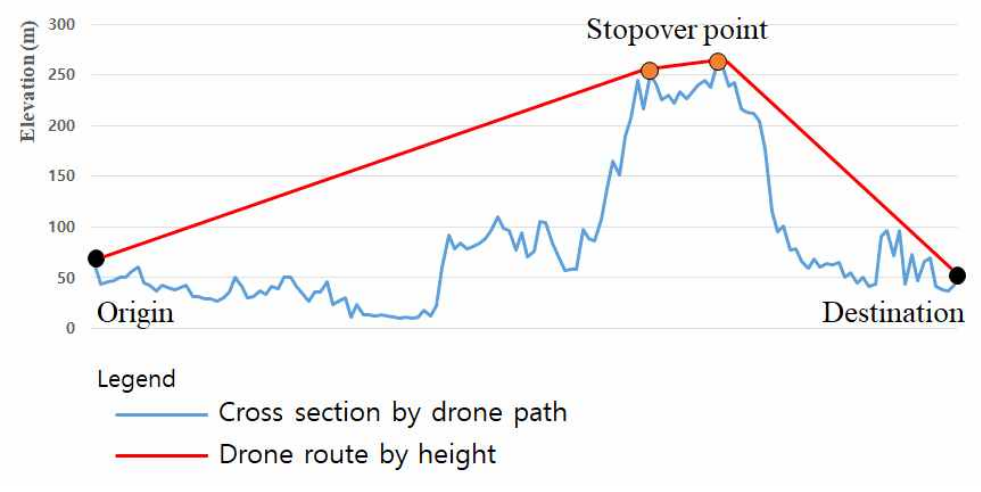
경우 수직 이동에 소요되는 에너지의 60% 정도의 에너지를 사용하는 것으로 분석되었다. 예를 들어 피치각이 45도인 경우에는 수직 이동과 수평 이동의 에너지를 절반씩 사용한다고 가정하면, 수직 이동으로 255J을 사용하고, 수평 이동은 60% 효율을 적용하여 315J 사용하여 총 405.28J를 사용한다. 이처럼 피치각의 크기에 따라 에너지 사용량이 수평과 수직 이동에 각각 분담한다고 설정하여 드론의 에너지 사용량은 다음의 식(5-5)과 같다.

$$E_d = \frac{\angle P}{90} W + \frac{(90 - \angle P)}{90} W_c \tag{5-5}$$

Where E_d is energy consumption by pitch angle of the drone's flight, $\angle P$ is pitch angle of the drone's flight, W is a hovering power of drone, and W_c is a cruising power of drone.

드론의 피치각도는 지형의 고도에 따라서 설정되어야 한다. 출발점과 도착점 사이에 다양한 지형 차이로 인하여 피치각도가 변하게 된다. 본 연구에서는 LCP 알고리즘에 의해서 산출된 경로를 기준으로 출발점과 도착점 사이의 지형 횡단면도(Cross-section)에 따라 이동 경유점을 생성하고, 각각의 경유점 및 목적지까지의 피치각에 따라 이동한 에너지량의 총합을 전체 에너지 사용량으로 산정하였다(Figure 5-4).

여기서 경유점은 Convex Hull을 이용하여 산정하였다. Convex Hull은 기하학의 개념으로 2차원 평면에 N개의 점이 주어졌을 때, 모든 점을 포함하는 다각형을 만드는 개념이다. 이를 풀기 위한 알고리즘은 다양하게 존재하나 본 연구에서는 오픈소스로 제공되고 있는 Andrew's Monotone Chain 알고리즘을 사용하였다. Andrew's Monotone Chain 알고리즘은 기하학적인 두 점간 직선을 기준으로 상부와 하부로 구분을 하고, 이후 상부와 하부 영역의 외곽선을 각도를 이용하여 탐색하



[Figure 5-4] Drone route by cross section and height

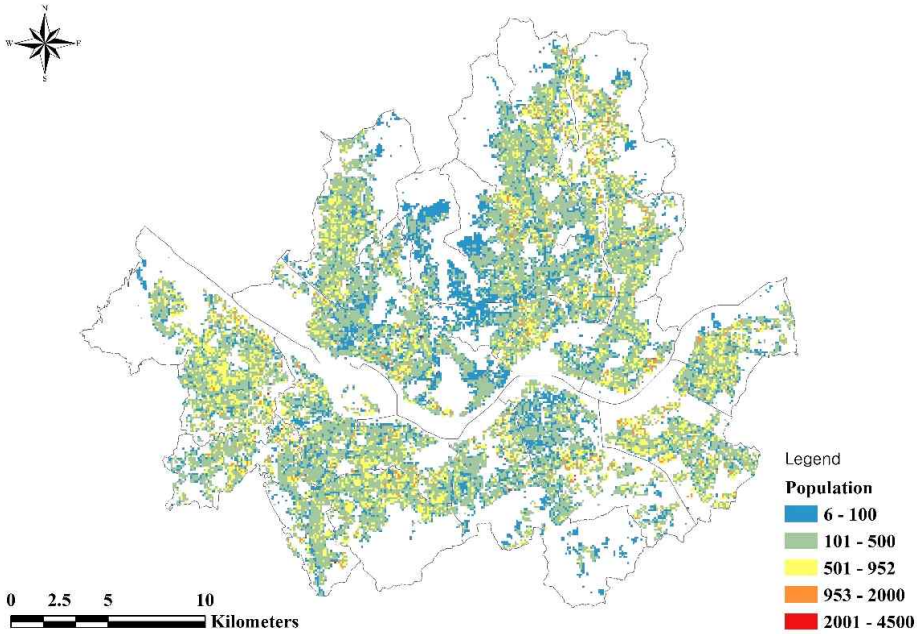
는 알고리즘이다.

3. 분석 결과

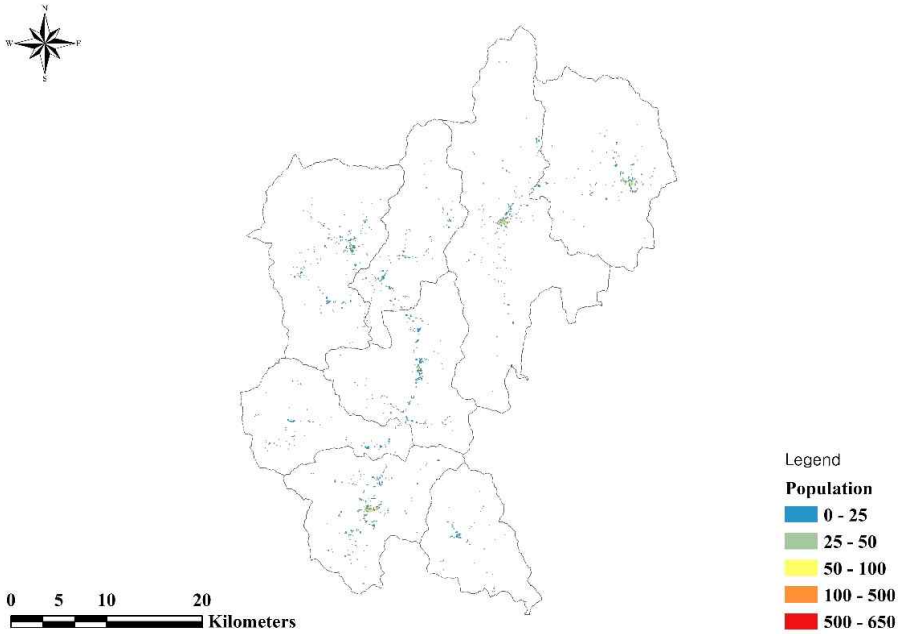
3.1. 대상지역 설정

본 연구의 공간적 범위는 대한민국의 수도인 서울특별시와 강원도 평창군을 대상으로 설정하였다(Figure 5-5). 서울특별시는 약 9,985만 명이 거주하는 지역으로 전국에서 생산되는 농산물의 소비 수요가 가장 높은 지역이다(Figure 5-5(a)). 평창군 지역은 태백산맥 줄기에 위치하여 우리나라 전통 음식인 김치의 주재료인 배추 등과 같은 작물의 생산량이 높은 지역이다(Figure 5-5(b)). 따라서 배추의 공급을 담당하는 평창 지역과 이 작물의 수요를 담당하는 서울을 연구의 공간적 범위로 설정하였다.

이 가운에 평창에서 서울로 운행하는 경로는 동서울 방향과 남서울 방

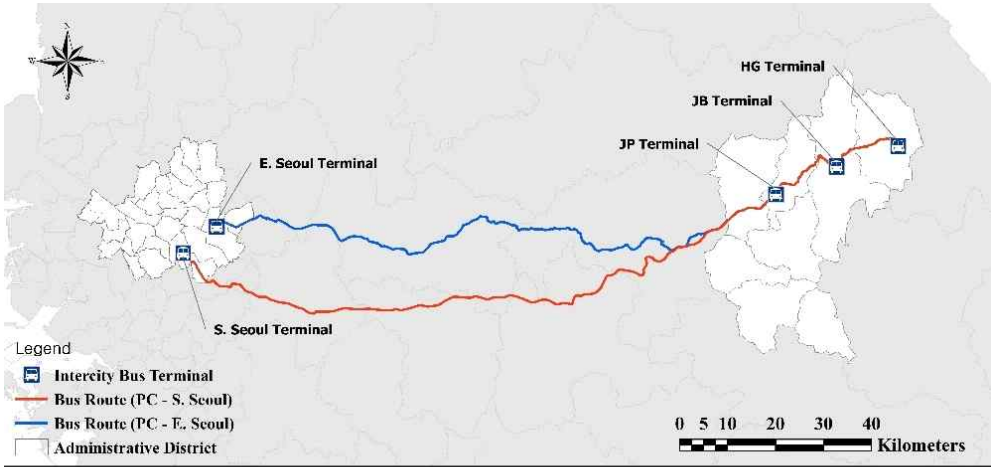


(a) Consumption place: Seoul



(b) Production place: Pyeongchang

[Figure 5-5] Consumption and production places and their population distribution ((a) Seoul and (b) Pyeongchang)



[Figure 5-6] Regional intercity bus route in urban and rural terminals between Seoul and Pyeongchang

향 2개로 조사되었으며, 운행횟수는 동서울로 7회/일, 남서울로 3회/일이다. 이 경로는 평창의 3개의 터미널인 횡계, 진부, 장평터미널을 순차적으로 경유하여 최종적인 동서울 및 남서울터미널로 이동한다(Figure 5-6). 평창의 장평터미널을 기점으로 동서울과 남서울까지의 거리는 New Route 기능을 이용하여 분석한 결과 각각 177.46km과 181.78km로 조사되었다.

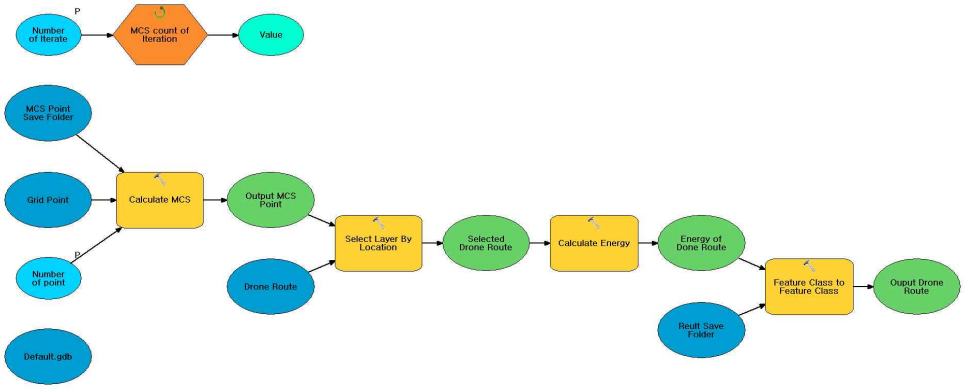
3.2. 수요-공급 가정조건

농촌지역에서 발생한 농산물을 도시지역까지 운송하기 위하여 기존의 택배망과 본 연구에서 제안한 AgroSLS(드론 및 버스를 이용)에 따른 비교를 하였다. 기존의 택배망은 농업인(공급자)가 접수처(우체국)까지 직접 농산물을 이동하고, 그 이후 택배망에 따라 최종적인 구매자(수요자)에게 도달한다. 이 과정에서 수요자가 여러 명일 경우에는 도시지역의 우체국에서 일정한 경로계획에 따라 이동을 하며 농산물을 배송하게 된다. 따라

서 우체국에서 각 격자까지 도달함에 있어 택배 배송 경로가 적용되어야 한다. 이를 위하여 본 장에서는 VRP-MCS를 기반으로 택배수요지를 결정하고, 그에 따른 경로계획에 따라 배송을 한다고 설정하고자 한다.

우리나라의 1인당 일평균 택배 물량은 약 200개로 추정되고 있다. 농산물과 관련된 택배는 정식적으로 조사되지는 않았으나, 2017년 7월 농협중앙회와 한진택배는 '농협택배'를 추진하고, 2019년 기준 누적 취급물량 2000만 건을 돌파했다. 연간 1,000만 건으로 볼 때 하루에 약 50,000개의 농산물 택배가 운송되는 것으로 볼 수 있다. 이를 택배기사 수로 나누면 택배기사 일인당 농산물 택배는 약 10개로 볼 수 있다. 따라서 택배망을 이용하는 경우 해당 우체국에 10개의 택배 물량이 운송된다고 설정되어야 한다. 그러나 택배는 농산물만 따로 뽑아서 택배운영을 수행하지 않고 정해진 루트에 농산물이 포함이 될 뿐이다. 따라서 본 연구에서는 MCS를 통하여 농산물을 포함한 물량이 100개라고 설정하고, 이 루트를 운행함에 있어 사용되는 에너지량과 이에 따른 오염물질 배출량을 산정하였다.

버스와 드론을 이용하는 경우에도 MCS를 기반으로 분석을 수행하였다. 택배망 분석과 마찬가지로 하루에 물량은 100개로 설정하였다. 이 가운데 농산물은 1개일 경우에서 100개로 설정하였다. 즉, 수요자의 요청이 1개인 경우 평창에서 1개의 농산물만 드론으로 버스정류장으로 이동을 하고, 이후 버스를 통하여 서울로 진입하고 드론으로 소유자 지점으로 운송을 하는 프로세스이다. 이를 수요자 지점의 변화를 주기 위하여 무작위 랜덤 포인트로 100회 반복 수행을 하였다. 이와 같은 방법으로 1개의 농산물에서 100개의 농산물이 운송된다고 설정하였으며, 각각 운송은 MCS 기법을 활용하여 100회씩 반복하여 평균 에너지 사용량을 산출하였으며,



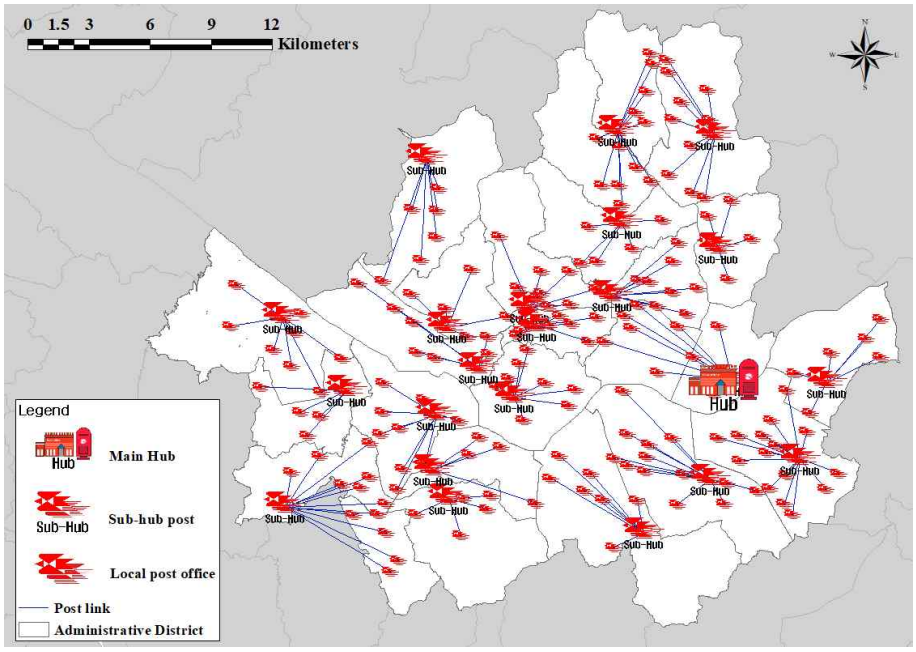
[Figure 5-7] Iteration process to randomly deliver the agricultural product parcel from producer to consumer with Monte Carlo Simulation

이에 따른 오염물질 배출량을 계산하였다. 이를 위해서 평창군과 서울시를 대상으로 각 포인트에서 버스터미널까지 직선경로를 미리 계산하고, 드론운송에 따른 에너지량을 기입하여 드론 경로에 대한 DB를 구축하였다. 구축된 드론경로 DB를 기준으로 랜덤으로 설정된 포인트와 접하는 경로만 선택하여 에너지 사용량을 추출하였다. 이 과정은 모델빌더를 이용하여 경로별 에너지를 미리 산출하여, 계산량을 최소화 할 수 있으며, 간략한 수식으로 MCS를 구현할 수 있다(Figure 5-7).

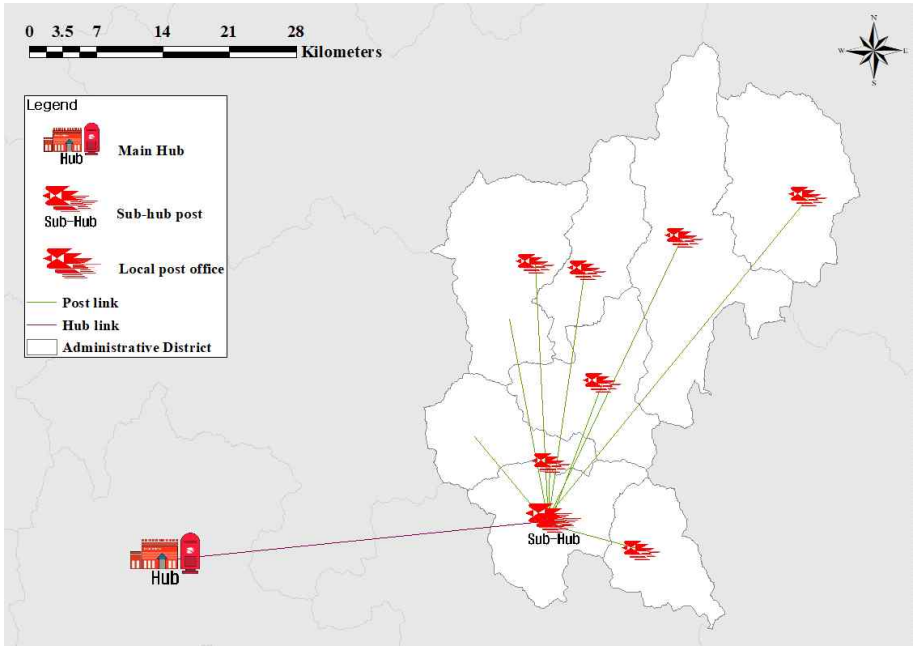
3.3. 기존의 직거래 운송망과 AgroSLS의 운송범위 추정

3.3.1. 우체국 택배망을 이용한 지역배송 범위

서울시와 평창군을 대상으로 우체국 택배망에 따른 로지스틱스(유통) 분석을 수행하였다. 우체국은 크게 우편집중국, 관할우체국, 지역우체국으로 구분된다. 서울시의 우체국은 199개, 관할우체국은 22개, 집중국은 1개로 조사되었다(Figure 5-8(a)). 평창군의 우체국은 9개, 관할국은 1개로



(a) Post office and main hub distribution: Seoul



(b) Post office and main hub distribution: Pyeongchang

[Figure 5-8] Post office and main hub distribution ((a) Seoul and (b) Pyeongchang)

조사되었다. 평창군에서는 집중국이 소재하지 않으며, 약 25km 떨어진 원주지역에 강원도우편집중국이 위치하는 것으로 조사되었다(Figure 5-8(b)).

조사된 집중국, 관할국 우체국 위치정보를 이용하여 도로망도에 따른 접근성 분석을 수행하였다. 평창군의 격자망 중심으로부터 우체국까지의 접근거리는 평균 3.82km로 분석되었으며, 최대 21.57km로 분석되었다. 다음으로 우체국에서 관할우체국까지의 평균거리는 25.97km로 분석되었으며, 관할국에서 원주시에 위치한 집중국까지는 25.29km 떨어져 있는 것으로 분석되었다.

서울시의 격자망 중심으로부터 우체국까지의 평균 접근거리는 0.94km으로 분석되었다. 이는 평창군과 비교하면 약 4배 정도 가까운 거리이다. 우체국에서 관할 우체국까지의 평균거리는 3.30km로 분석되었으며, 관할 우체국에서 집중국까지의 평균거리는 13.67km 떨어져 있는 것으로 분석되었다.

3.3.2. AgroSLS를 이용한 지역배송 범위

평창지역에서 발생하는 농산물을 서울까지 운송하는데 드론과 버스를 이용한 접근성 분석을 수행하였다. 이를 위하여 드론을 이용하여 평창지역의 터미널에 농산물이 수집된다고 설정하였으며, 수집된 농산물은 다시 버스를 통해 서울지역으로 이동되고, 서울지역 터미널에서 각 수요지점으로 운송된다고 설정하였다.

평창군의 시외버스터미널은 장평, 진부, 횡계터미널이 있으며, 각 터미널을 기준으로 가장 넓은 영역을 커버하는 터미널은 장평터미널로 나타났다. 이 가운데 인구가 포함된 격자를 대상으로 살펴보면 장평은 1030개

의 격자를 커버해야 하며, 진부는 252격자, 횡계는 172격자를 커버해야 한다. 각 격자에서 장평터미널까지는 평균 14.3km, 진부터미널은 3.67km, 횡계는 1,92km 떨어져 있는 것으로 분석되었다(Figure 5-9(a)).

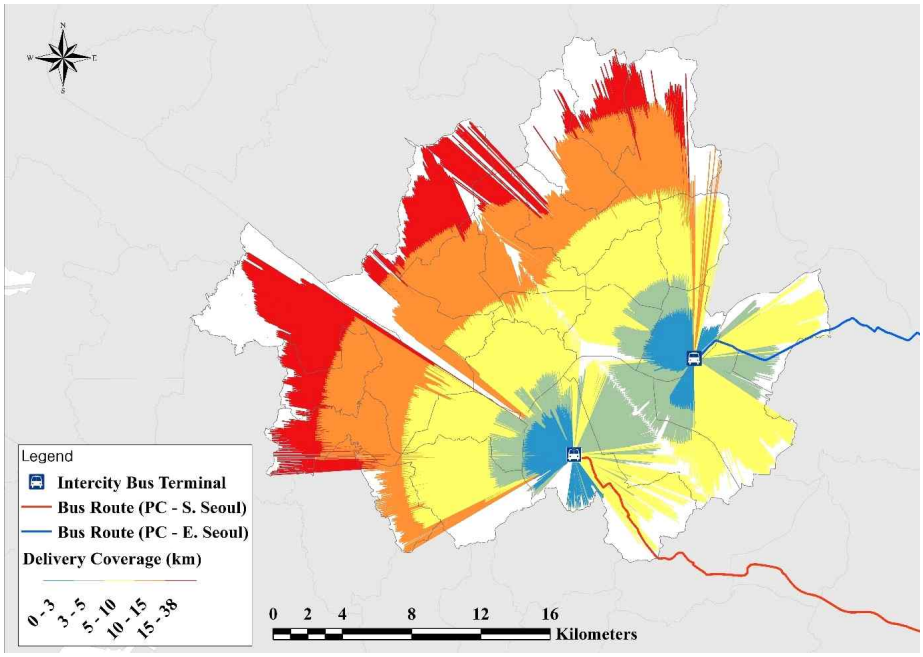
서울지역에는 동서울터미널과 남서울터미널이 소재하고 있다. 각 터미널에서 인구가 포함된 격자를 대상으로 살펴보면 동서울은 13,114개의 격자를 커버해야 하며, 남서울은 16,225격자를 커버해야 한다. 또한 격자에서 동서울터미널까지는 평균 8.05km, 남서울터미널은 10.21km 떨어져 있는 것으로 분석되었다(Figure 5-9(b)).

3.4. 기존의 직거래 운송망과 AgroSLS의 소요시간 추정

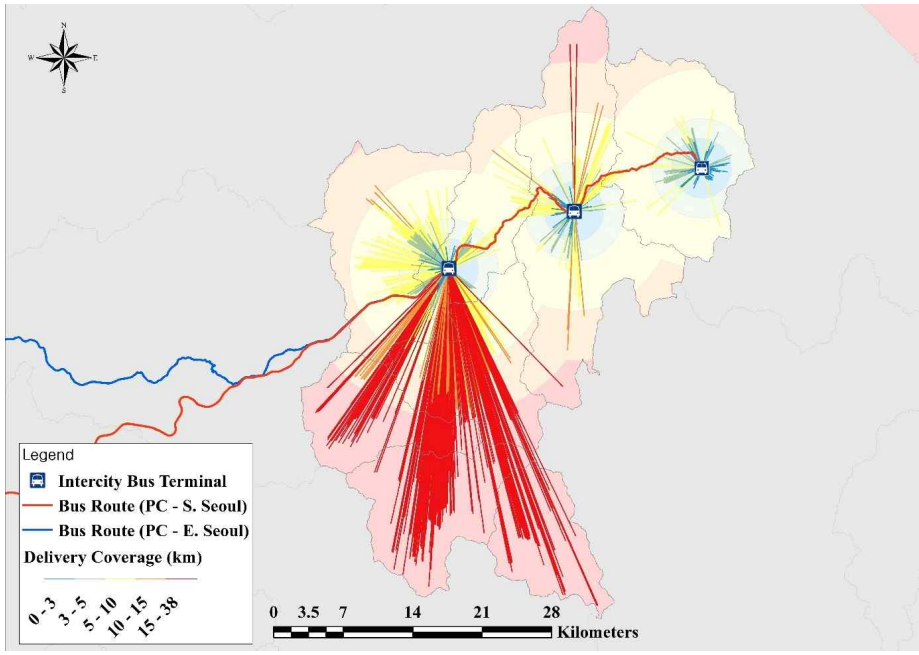
3.4.1. 우체국 택배망을 이용한 소요시간

평창군의 격자망으로부터 최근린 우체국까지의 접근시간은 평균 6.27분 정도 소요되는 것으로 분석되었으며, 최대 37.84분이 소요되는 것으로 분석되었다. 우체국에서 관할우체국 까지는 평균 35.84분이 소요되며, 가장 멀리 떨어져있는 대관령우체국은 84.53분이 소요되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 관할국에서 원주에 위치한 집중국까지는 약 78분이 소요되는 것으로 분석되었다. 또한 각 격자망에서 우체국과 관할국을 거쳐 집중국까지 이동시간은 평균 120.35분이 소요되는 것으로 분석되었으며, 최소 78.96분, 최대 192.16분이 소요되는 것으로 분석되었다.

서울특별시의 경우에는 격자망으로부터 우체국까지의 접근시간은 평균 2.92분이 소요되며, 최대 15.88분이 소요되는 것으로 분석되었다. 우체국에서 관할우체국 까지는 평균 9.49분이 소요되며, 최대 24.05분이 소요



(a) Coverage area and range using drone for AgroSLS in Seoul



(b) Coverage area and range using drone for AgroSLS in Pyeongchang

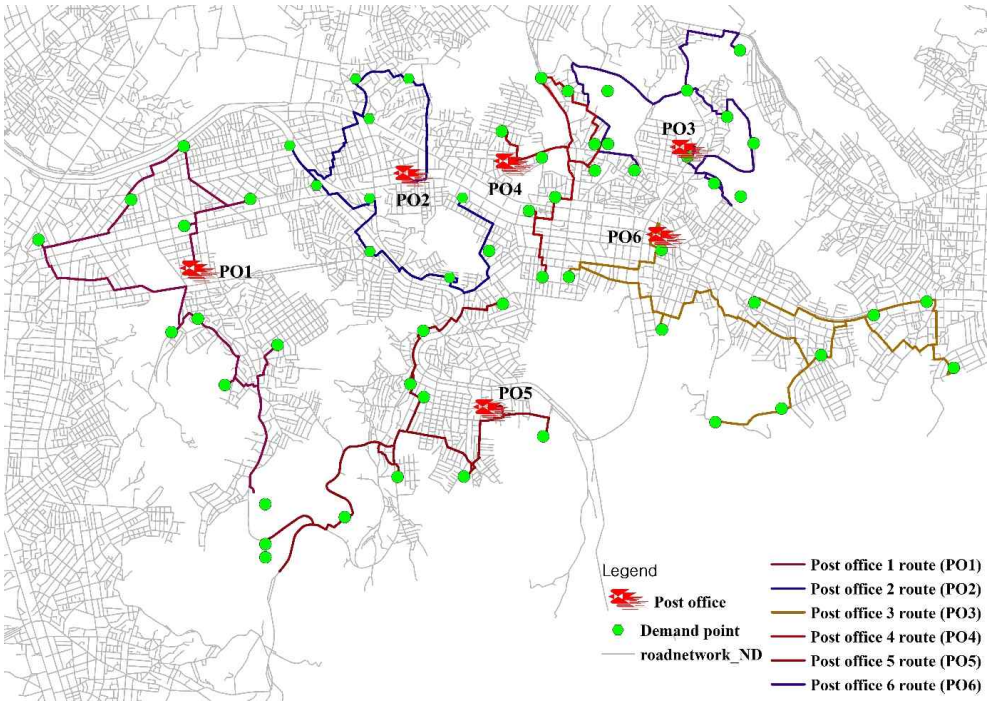
[Figure 5-9] Coverage area and its range using drone for AgroSLS in Seoul and Pyeongchang

되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 관할국에서 동서울에 위치한 집중국까지는 평균 38.73분이 소요되며, 최대 76.26분이 소요되는 것으로 분석되었다. 또한 각 격자망에서 우체국과 관할국을 거쳐 집중국까지 이동하는 시간은 평균 50.39분이 소요되는 것으로 분석되었으며, 최소 2.94분, 최대 103.55분이 소요되는 것으로 분석되었다.

이를 보면, 평창에서 서울까지 물류 이동을 위한 시간은 평균적으로 4시간이 필요한 것으로 볼 수 있다. 또한 원주와 서울에 위치한 집중국에서 가장 멀리 위치한 격자까지의 이동을 위한 최대소요시간은 6.12분이 소요되는 것으로 나타났다.

우체국(택배)망의 수요를 설정하기 VRP 기능을 수행하였으며, 서울시 관악구를 대상으로 연구 결과 일부를 시각화하였다. 관악구 지역은 1개의 관할국과 6개의 우체국이 분포되어 있다. 이 가운데 서울대학교 교내에 위치한 우체국은 교내의 물량에 대해서 운송하기 때문에 본 시각화에서는 이를 제외하고, 한 우체국당 10개의 농산물이 배송된다고 설정하고, 관악구 지역에 총 60곳의 무작위 지점을 설정하였다. 또한 각 우체국에서 최적의 경로를 따라 이동을 한다고 설정한 결과, 최종적으로 설정된 지점 및 경로는 Figure 5-10과 같다. 이와 같은 방법으로 해당 행정구역의 우체국별 택배경로를 산정하였다.

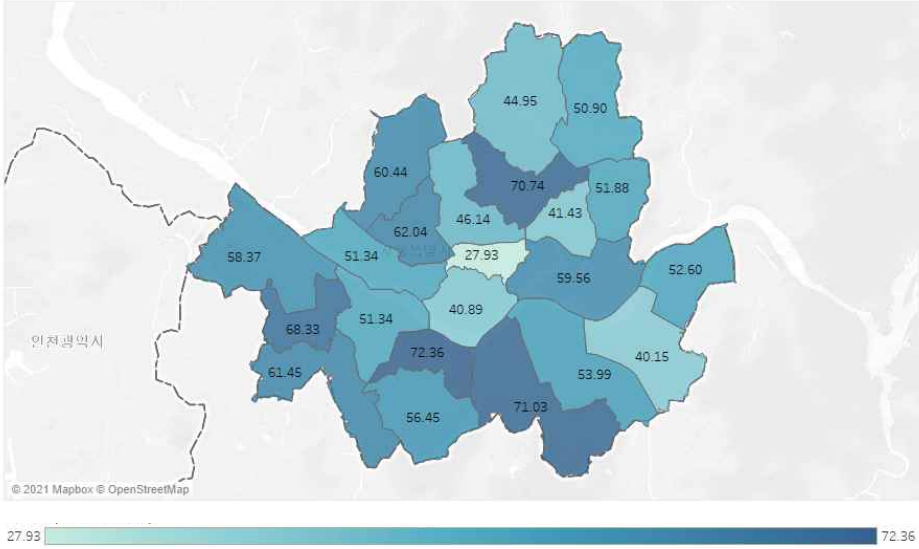
우체국망을 이용한 경우 농산물 수집 우체국 〉 평창관할국 〉 원주집중국 〉 동서울집중국 〉 관악관할국 〉 6개 우체국 〉 수요지점 운송의 순서로 진행된다. 농산물 수집은 공급자가 개인의 차량을 이용하여 우체국까지 이동한다고 가정하여, 에너지 및 소요시간을 제외하고, 수집 우체국을 최초출발점으로 설정하였다. 이러한 과정으로 분석을 한 결과 최초 출발지로부터 최종수요지점까지 이동하는 거리는 총 592km가 소요되었으며,



[Figure 5-10] Optimal point and its delivery route by post office in Gawnak city, Seoul

소요시간은 762.54분(12.7시간)이 소요되는 것으로 분석되었다. 여기에 평창지역 우체국에서 평창관할국까지의 이동은 동시에 작용할 수 있으며, 서울지역 6개 우체국과 우체국에서 출발한 택배경로 또한 동시에 볼 수 있기 때문에 가장 소요시간이 오래 걸리는 경로로 보면 최대거리는 243.67km, 소요시간은 391.95분(6.5시간)이 소요된다고 볼 수 있다.

서울시 전체 행정구역의 우체국별 택배경로를 산정하기 위하여 해당 행정구역에 포함되는 우체국 수를 기준으로 한 우체국당 100개의 물량이 랜덤 지점에 운송된다고 설정하고, 이를 MCS를 통해 100회 반복하여 분석하였다. 또한 1개의 물량을 배송하기 위해서 택배차량을 정차하고, 차량에서 물품을 꺼내서 최종배달지까지 도보를 이용하여 배송을 하는 과정



(a) Average delivery time using conventional postal service within Seoul

(b) Average time by delivery route using conventional postal service within Seoul

[Figure 5-11] Average time by administrative district (City) and its delivery route by using conventional postal service within Seoul

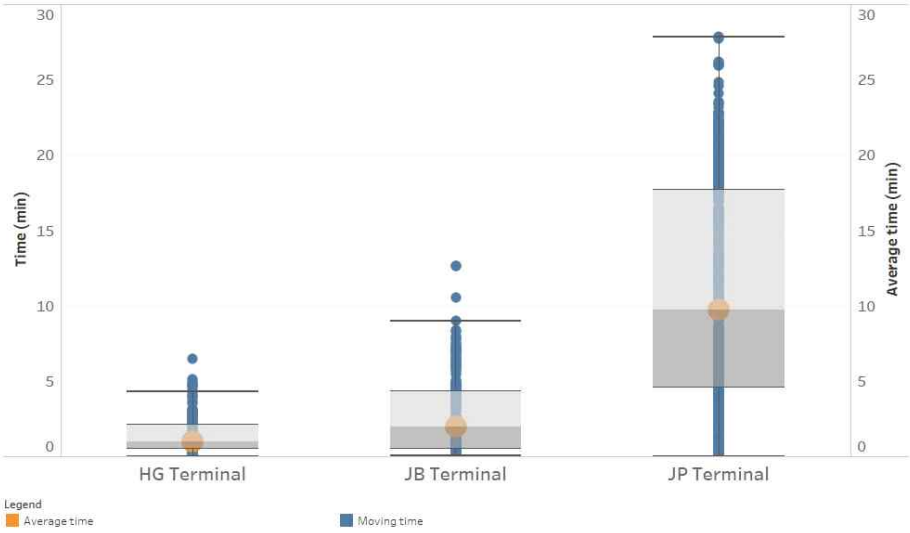
으로 진행된다. 따라서 차량으로 이동하는 시간 이외의 도보로 이동하는 시간이 포함되어야 하며, 이를 서비스타임(Service time)으로 정의하였다. 이 서비스 타임은 실제 택배 배송을 위한 시간으로 설정되어야 한다. 그러나 서비스 타임은 주거지의 위치, 도로상황, 배송지 층수 등 다양한 여건에 따라 달라지게 된다. 이러한 실정을 고려하여 1개의 물량의 운송을 위한 서비스타임에 3분이 소요된다고 가정하여 분석을 수행하였다.

이와 같은 방법을 기준으로 분석을 수행한 결과 100개의 물품을 배송하기 위해서는 평균 326.45분(5.44시간)이 소요되는 것으로 나타났다. 여기에 서비스타임이 3분으로 설정이 되기 때문에 100개의 물품을 배달하기 위한 고정시간은 300분으로 산정이 된다. 따라서 서비스타임을 제외한 순수 택배운송 이송시간은 52.52분(0.88시간)으로 분석되었다. 이를 행정구역에 속해있는 우체국의 택배 운송시간과 택배경로별 운송시간은은 다음 Figure 5-11(a) 및 Figure 5-11(b)와 같다.

3.4.2. AgroSLS를 이용한 소요시간

1) 농산물 생산지에서의 드론 운송

평창지역에서 드론을 이용하여 지형을 따라 이동한 시간을 분석하였다(Figure 5-12 & Table 5-4). 그 결과 각 격자에서 터미널까지 드론을 통해 이동하는 시간은 평균 8.3분이 소요되는 것으로 분석되었다. 이를 각각의 터미널을 기준으로 보면, 장평터미널은 평균 10.8분, 최대 27.85분이 소요되는 것으로 분석되었다. 진부터미널은 평균 2.8분, 최대 12.64분으로 분석되었으며, 횡계터미널은 평균 1.4분, 최대 6.48분이 소요되는 것으로 분석되었다. 장평터미널은 평창지역의 남부구간을 담당하며, 이로 인하여 운송의 시간이 높아진 것으로 예상된다.



[Figure 5-12] Moving time to deliver agricultural products by drone from farms to the nearest intercity bus terminal in Pyeongchang

[Table 5-4] Descriptive statistics of delivery time by drone to intercity bus terminal in pyeongchang

(Unit: min)

Delivery time	Intercity bus terminal in Pyeongchang		
	Jangpyeong	Jinbu	Hwoinggye
average	10.80	2.77	1.45
Standard deviation	6.82	2.51	1.27
max	27.85	12.64	6.48
min	0.03	0.04	0.03

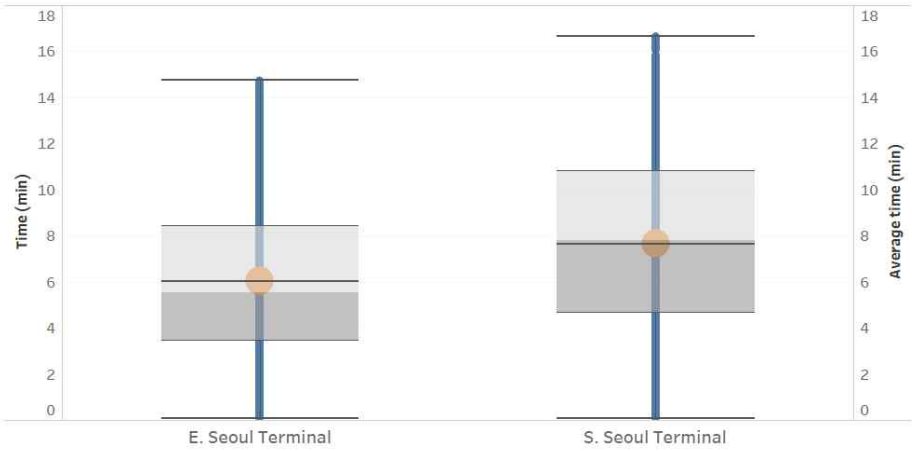
2) 농산물 생산지에서 소비지까지 버스 운송

평창지역에서 드론을 이용하여 터미널에 접수된 농산물은 버스의 화물 공간에 실려 서울지역으로 운송된다. 최종적인 소비지의 위치에 따라 동서울버스터미널과 남서울버스터미널로 각각 운송되고, 이후 드론을 이용

하여 최종배송지로 운송된다. 따라서 평창지역의 터미널에서 동서울과 남서울터미널까지의 운송시간을 분석하였다. 평창지역의 장평터미널을 기준으로 동서울터미널까지는 103.99분이 소요되는 것으로 분석되었으며, 남서울터미널까지는 110.04분이 소요되는 것으로 분석되었다.

3) 농산물 소비지에서의 드론 운송

소비지인 서울에서 드론을 이용하여 지형을 따라 이동한 시간을 분석하였다(Figure 5-13 & Table 5-5). 그 결과 터미널에서부터 인구격자망까지 드론을 통해 이동하는 시간은 평균 6.9분이 소요되는 것으로 분석되었다. 이를 각각의 터미널을 기준으로 동서울터미널은 평균 6.0분, 최대 16.7분이 소요되며, 남서울터미널은 평균 7.7분, 최대 14.8분이 소요되는 것으로 분석되었다.



[Figure 5-13] Moving time to deliver agricultural products by drone from terminal to consumer in Seoul

[Table 5-5] Descriptive statistics of delivery time by drone to intercity bus terminal in Seoul

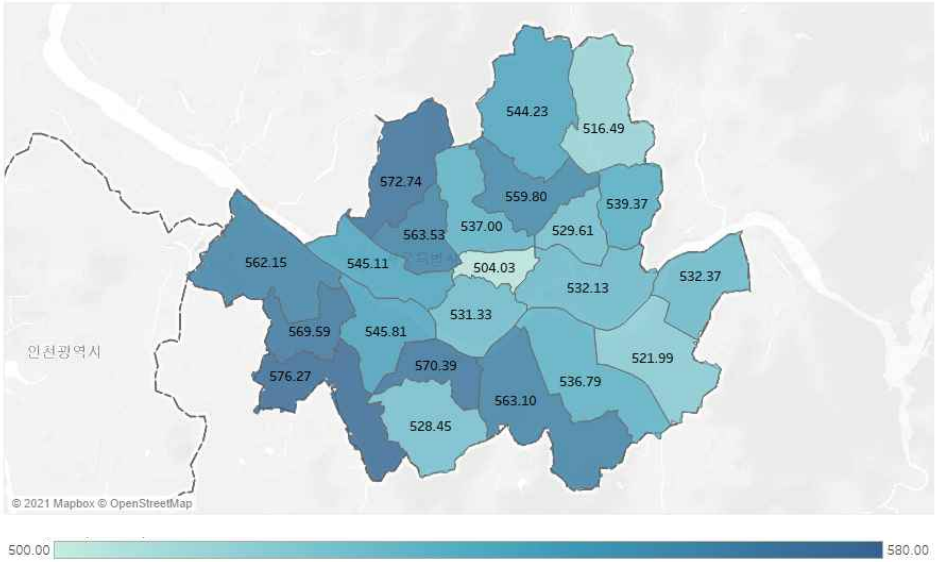
(Unit: min)

Delivery time	Intercity bus terminal in Seoul	
	E. Seoul	S. Seoul
Average	6.047	7.663
Standard deviation	3.145	3.737
max	14.750	16.654
min	0.07	0.06

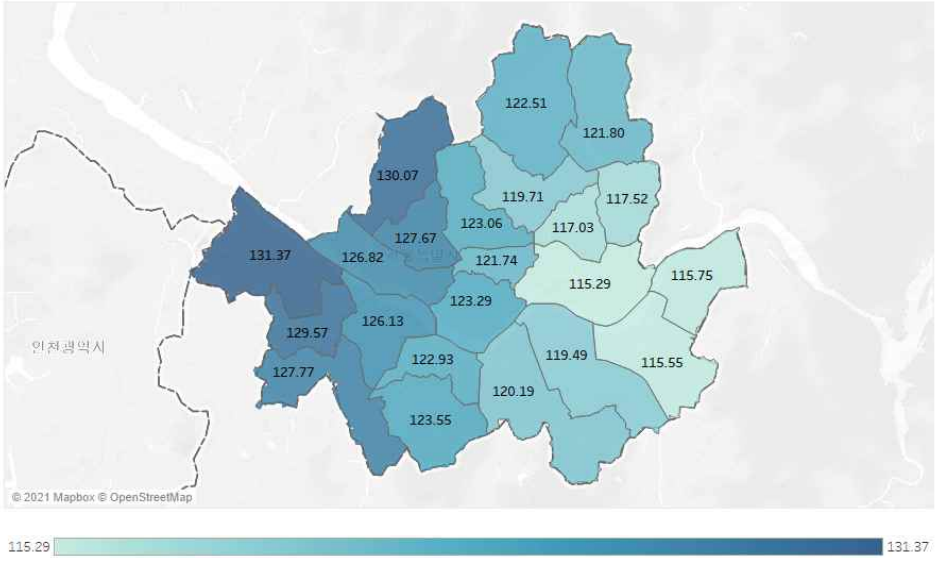
3.4.3. 우체국 택배망과 AgroSLS의 총 소요시간 비교

AgroSLS와 우체국 택배망에 따라 농산물의 배송시간을 기준으로 정량적인 비교를 수행하였다(Figure 5-14). 기존 우체국 택배망을 이용하는 경우(Figure 5-14(a)) 평창지역의 접수국(우체국)에서 관할국까지는 평균 35.84분이 소요되며, 원주에 위치한 집중국까지는 65.78분이 소요되고, 서울에 위치한 집중국까지 71.57분이 소요되었다. 또한 서울의 집중국에서 관할국까지는 평균 23.93분이 소요되며, 택배 운송을 위한 우체국까지는 평균 7.7분이 소요되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 각 우체국의 택배경로에 따른 배송시간은 340분이 소요되었다. 이를 평균시간을 기준으로 보면 평창지역의 접수국에서 서울지역의 목적지까지는 약 545분(9.08시간)이 필요한 것으로 나타났다.

AgroSLS를 이용하는 경우(Figure 5-14(b)) 평창지역의 각 격자에서 가장 가까운 터미널까지 드론을 이용한 평균 운송시간은 8.28분이 소요되는 것으로 나타났으며, 최대 27.82분이 소요되는 것으로 분석되었다. 평창지역의 장평터미널을 기준으로 동서울까지는 103.99분이 소요되는



(a) Total average delivery time using conventional postal service (unit: min)



(b) Total average time by delivery route using AgroSLS (unit: min)

[Figure 5-14] Total average time by administrative district (City) and its delivery route using conventional postal service and AgroSLS from Pyeongchang to Seoul

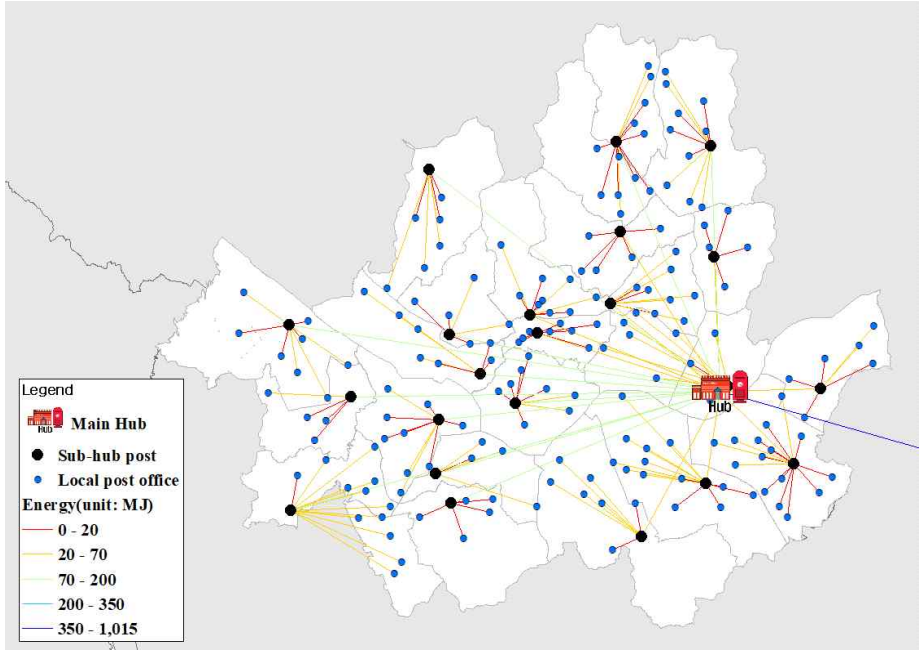
것으로 분석되었으며, 남서울터미널까지는 110.04분이 소요되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 서울지역의 터미널에서 각 격자까지의 드론에 의한 운송시간은 6.94분이 소요되는 것으로 나타났으며, 최대 16.65분이 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 이를 기준으로 보면 평창지역의 출발지에서 서울지역의 목적지까지는 평균 122.24분이 소요되며, 최대시간으로는 154.51분이 소요되는 것으로 나타났다.

3.5. 기존의 직거래 운송망과 AgroSLS의 에너지 사용량 추정

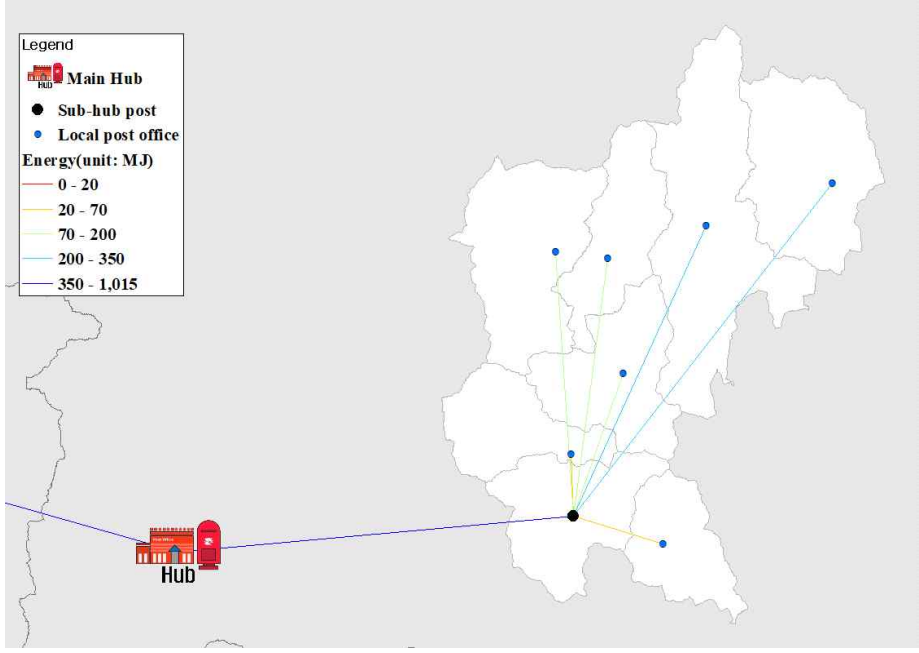
3.5.1. 우체국 택배망을 이용한 에너지 사용량

우체국 택배망을 이용하여 평창지역의 출발지점에서 서울지역의 도착지점까지의 에너지량을 산정하였다. 이를 위해 우체국 택배망 체계를 기반으로 단위별 에너지 사용량을 산정하고, 최종적으로 합산을 하였다.

우체국 택배망의 시작은 우편물이 우체국(접수국)에 수집된 이후 관할국, 집중국으로 이동을 하고 역순으로 이송되어, 최종적으로 소비자에게 도달하게 된다(Figure 5-15). 평창지역에서는 우체국(접수국)에 우편물이 접수되고, 평창관할국까지 이동하기 위해서 사용된 에너지는 평균 147.78MJ이 소요되는 것으로 분석되었으며, 최대 286.09MJ, 최소 54.82MJ로 분석되었다. 또한 평창관할국에서 원주에 위치한 집중국까지 이동하기 위해서는 364.16MJ이 소요되며, 서울에 위치한 집중국까지 이동하기 위해서 1,014.55MJ이 소요되는 것으로 분석되었다. 서울의 집중국에서 서울 관할국까지 이동하기 위해서는 평균 79.19MJ이 소요되었으며, 관할국에서 우체국까지는 평균 19.15MJ로 분석되었다.



(a) Energy consumption by postal delivery service: Seoul



(b) Energy consumption by postal delivery service: Pyeongchang

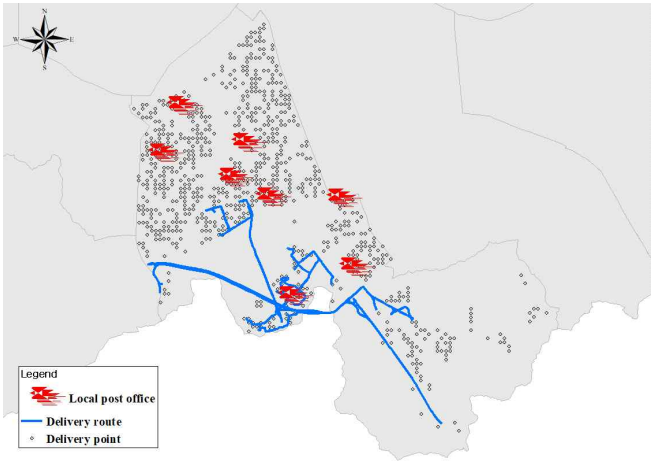
[Figure 5-15] Energy consumption by postal delivery service ((a) Seoul and (b) Pyeongchang)

서울지역의 각 우체국에서 100개의 물품을 배송하는 상황을 모의하여 택배경로를 통한 에너지 산정량을 분석하였다(Figure 5-16). 그 결과 서울지역에서 약 100개의 택배 배송을 위하여 필요한 에너지량은 평균 81.93MJ이 소요되는 것으로 분석되었으며, 최대 228.48MJ, 최소 35.70MJ이 소요되는 것으로 분석되었다.

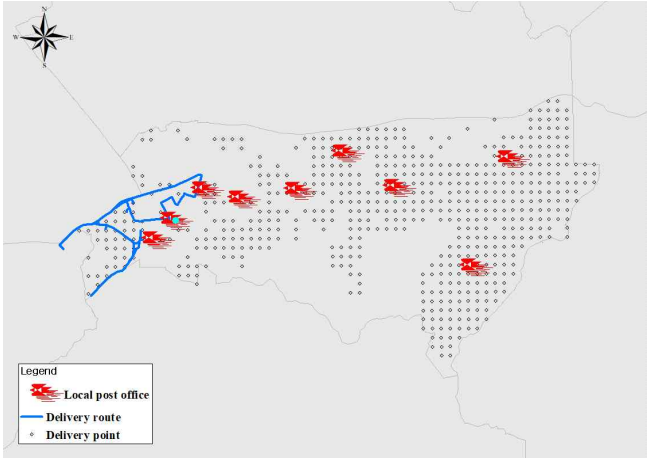
가장 많은 에너지를 소모하는 택배경로는 서울시 서초구 위치한 우면동 우체국 경로로 분석되었다(Figure 5-17(a)). 서초구의 북쪽지역은 계획도시로 개발되어 높은 인구밀도를 가지고 있으며, 동시에 우체국이 6개가 배치되어 있다. 반면 남쪽지역은 구룡산과 대모산이 위치하고 있으며, 아직 주거 및 상업단지가 입지하고 있지 않고 있기 때문에 2개의 우체국이 배치되어 있어, 상대적으로 이동을 위한 거리가 길어져 이동에 따른 에너지를 높게 사용되는 것으로 파악된다.

[Figure 5-16] Energy consumption by delivery route of postal service in Seoul

반대로 에너지가 가장 낮은 에너지를 사용하는 택배경로는 서울시 중구에 위치한 소공동우체국 경로로 분석되었다(Figure 5-17(b)). 중구는 서울시의 가장 작은 면적을 가진 행정구역이며, 소공동 우체국은 중구에 서쪽에 위치하고 있다. 따라서 작은 면적 내에서 택배경로가 이동을 하기 때문에 배송이동을 위한 거리가 짧아져 에너지를 낮게 사용되는 것으로 파악된다.



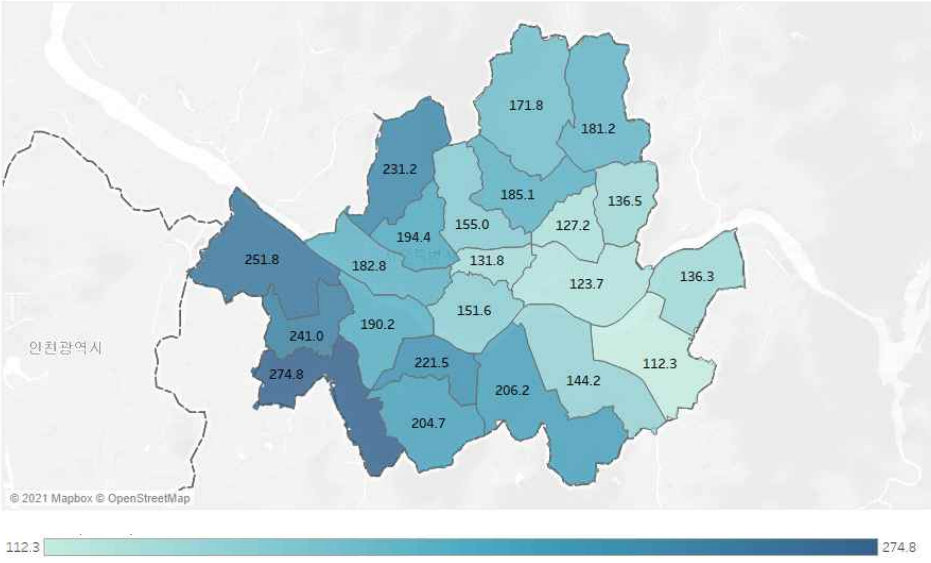
(a) Umyeondong post office



(b) Sogongdon post office

[Figure 5-17] Post offices that the highest (a) and lowest (b) energy consumption for parcel delivery

최종적으로 평창지역의 우체국에서 서울지역의 집중국까지 이동하기 위한 에너지 소모량은 약 1,526.49MJ 정도이다. 이후 서울집중국에서 각 지역의 관할국을 거쳐 우체국까지 도달하기 위해서는 평균 1624.83MJ의 에너지를 사용하는 것으로 분석되었으며, 소비자에게 도달하기 위해서는 평균 1706.76MJ이 필요한 것으로 분석되었다. 즉, 평창지역에서부터 집중국까지는 개별 농산물은 동일한 에너지를 사용하지만, 그 이후 관할국을 거쳐, 우체국, 소비자에게 도달하기까지는 정해진 택배경로에 따라 에너지 소모량에 편차를 보이게 된다. 이를 집중국까지의 에너지 사용량을 제외한 관할국〉우체국〉소비자까지 도달하기 위한 행정구역 단위의 평균에너지 사용량은 서울시의 서쪽 방향으로 갈수록 사용되는 에너지량이 높이지는 것으로 볼 수 있다(Figure 5-18). 이는 집중국에서 관할국까지 이동을 위한 에너지가 포함되어 있기 때문에 이송 거리가 증가하여 나타나는 결과로 볼 수 있다.

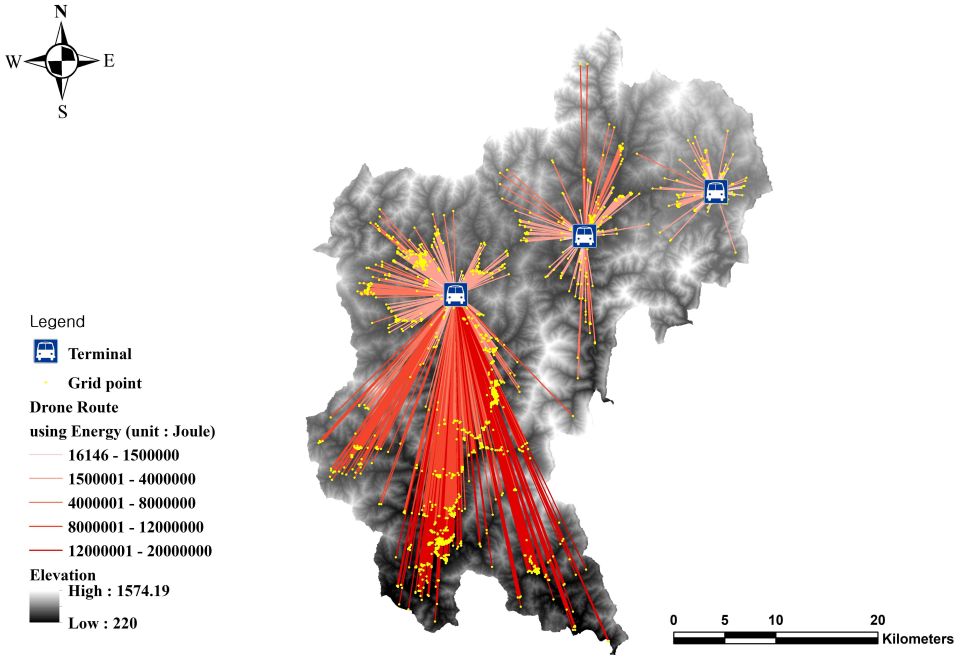


[Figure 5-18] Total average energy consumption by administrative district (City) using conventional postal service from Pyeongchang to Seoul (Unit: MJ)

3.5.2. AgroSLS를 이용한 에너지 사용량

1) 농산물 생산지에서의 드론 운송

AgroSLS에서 드론을 이용하여 평창지역의 각 지점에서 가장 가까운 터미널까지 이동한 거리에 따라서 사용된 에너지는 평균 5.81MJ이 소요되는 것으로 분석되었다(Figure 5-19 & Table 5-6). 각각의 터미널을 기준으로 평균 에너지 사용량의 경우 장평터미널까지 7.55MJ, 진부터미널까지 1.94MJ, 횡계터미널까지 1.01MJ이 소요되는 것으로 나타났다. 가장 많은 에너지를 사용하여 드론을 이용해 농산물을 운송하는 지점은 평창군 남쪽지역이며 최대 19.47MJ 정도 소모되는 것으로 분석되었다.



[Figure 5-19] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Pyeongchang

[Table 5-6] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Pyeongchang

(Unit: KJ)

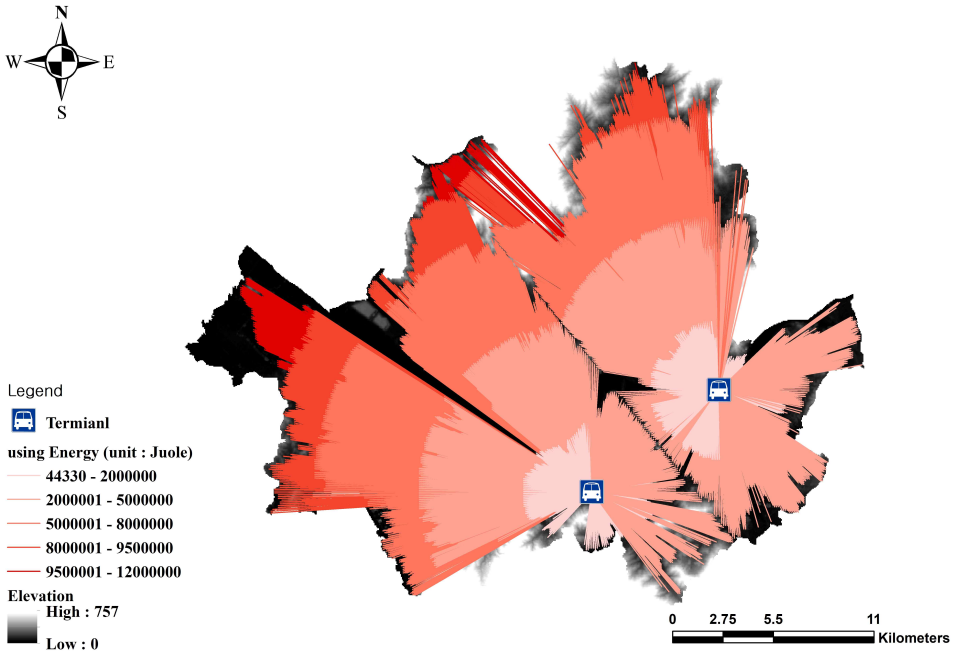
Energy consumption	Intercity bus terminal in Pyeongchang		
	Jangpyeong	Jinbu	Hwoinggye
Average	7553.92	1934.30	1011.29
Standard deviation	4768.78	1755.15	884.84
max	19473.56	8839.17	4533.48
min	20.245	25.561	19.633

2) 농산물 생산지에서 소비지까지 버스 운송

평창군 내에 소재하는 횡계, 진부, 장평터미널을 거쳐 동서울과 남서울로 이동한 거리와 버스의 연비에 따라서 사용된 에너지를 산정하였다. 횡계, 진부, 장평터미널까지의 물리적인 도로거리는 35.791km, 장평에서 동서울까지는 177.46km 남서울까지는 181.78km다. 여기에 연비를 고려한 에너지 사용량은 각각 263.54MJ, 1,338MJ, 1,307MJ로 분석되었다.

3) 농산물 소비지에서의 드론 운송

소비지인 서울에서 드론을 이용하여 농산물을 운송할 때 소모되는 에너지 사용량을 분석한 결과, 터미널에서 각 인구격자망까지 이동에 따른 평균 에너지 소모량은 약 4.79MJ정도로 나타났다(Figure 5-20 & Table 5-7). 이를 각각의 터미널을 기준으로 살펴보면 동서울터미널은 평균 4.23MJ, 최대 10.31MJ의 에너지가 소모되며, 남서울터미널은 평균 5.36MJ, 최대 11.65MJ의 에너지가 소모되는 것으로 분석되었다.



[Figure 5-20] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Seoul

[Table 5-7] Energy consumption for agricultural product delivery using drone by intercity bus terminal in Seoul

(Unit: KJ)

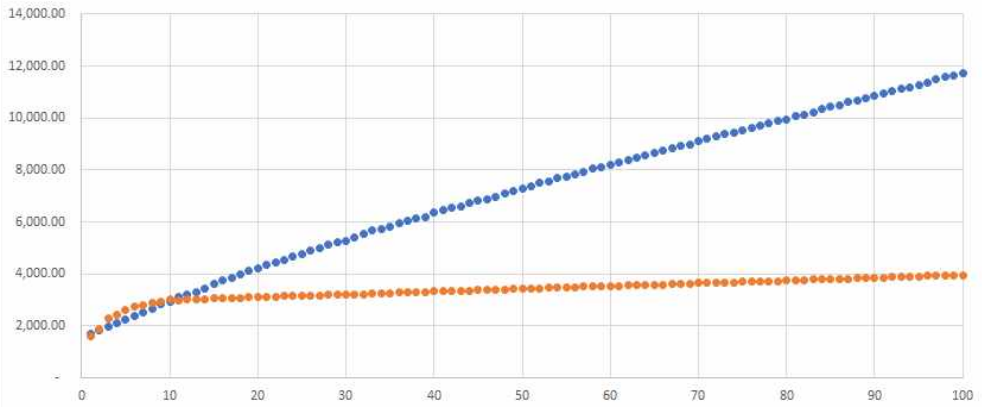
Energy consumption	Intercity bus terminal in Seoul	
	E. Seoul	S. Seoul
Average	4,228.57	5,359.00
Standard deviation	2,198.95	2,613.37
max	10,314.52	11,646.39
min	50.894	44.330

3.5.3. 우체국 택배망과 AgroSLS의 총 에너지 사용량 비교

농산물을 1개에서부터 100개까지 운송할 경우 AgroSLS와 우체국 택배망에 따른 총 에너지 사용량을 추정하는 과정을 100번씩 모의하였다. AgroSLS를 적용하는 경우 평창 1개 지점에서 농산물이 출발하여 서울 1개 지점에 배송되기 위하여 필요한 평균 에너지는 1,596.77MJ로 분석되었으며, 100개 지점에서 운송되는 경우 총 3,962.19MJ이 필요한 것으로 분석되었다. MCS를 통하여 분석을 수행한 결과 평창에서 1개 지점에서 출발하여 서울로 가는 경우 100회 반복하는 동안 소비지 위치에서부터 가장 가까운 터미널 중 한 개의 터미널로 이동한다. 그러나 농산물 개수가 2개 이상일 경우 한 개 혹은 두 개의 터미널로 농산물 운송이 할당된다. 이에 100회의 모의 결과, 2개 지점에서 출발을 하는 경우에 100회 중 23회가 동서울터미널과 남서울터미널을 동시에 이동하는 것으로 분석되었으며, 3개 지점에서는 52번, 4개 지점에서는 74번, 5개 지점에서는 84번이 두 개의 터미널에 할당되는 것으로 나타났다. 이로 인하여 초반의 에너지 사용량은 동서울 혹은 남서울터미널까지 한 개의 터미널까지 운송함에 따라 발생하는 에너지 사용량 경향을 나타내다가 이후 점차 두 개의 터미널까지 이용해야 하는 에너지 사용량으로 변화하는 양상을 볼 수 있다. 이후 10개의 농산물 배송부터는 모두가 두 개의 터미널에 할당되어, 선형적인 에너지사용량 증가세를 보이는 것으로 분석되었다.

기존 우체국 택배망을 적용하는 경우 평창 1개 지점에서 농산물이 출발하여 서울 1개 지점에 배송되기 위하여 필요한 에너지는 1,681.34MJ로 분석되었으며, 100개 지점에서 운송되는 경우 총 11,722.43MJ이 필요한 것으로 분석되었다. MCS를 통하여 분석을 수행한 결과 평창에서 1개 지점에서 출발하는 경우에는 서울지역의 한 개의 우체국 택배경로를 이용하

게 된다. 그러나 100개의 농산물이 배송되는 경우 서울지역에 위치한 모든 우체국 택배경로를 이용하게 된다. 따라서 택배의 개수가 증가할수록 서울 전지역의 우체국에 분산되어 배송이 되어야 하기 때문에 많은 곳의 택배경로가 이용된다. 이로 인하여서 선형적인 증가추세로 에너지를 사용하는 것으로 볼 수 있다. 이를 AgroSLS에서 사용된 에너지와 비교하면 다음의 Figure 5-21과 같다. 시각화된 그림을 기준으로 보면, AgroSLS를 이용하여 농산물을 100개 배송하는 경우 기존의 택배망보다 약 3배의 에너지를 절감하는 것으로 분석되었다. 농산물이 10개 이하일 경우에는 기존 택배망을 이용하는 것이 적은 에너지를 사용하는 것으로 분석되었으나, 10개가 초과되는 이후로는 AgroSLS를 이용하는 것이 적은 에너지를 사용하는 것으로 분석되었다.



[Figure 5-21] Total energy consumption for AgroSLS and potal delivery from Pyeongchang to Seoul considering 1-100 orders (Blue dots: postal delivery, Orange dots: AgroSLS)

4. 고찰

본 연구에서 제시한 공간빅데이터 기반의 농산물 스마트 로지스틱스 시

스템(AgroSLS)은 유휴 운송공간과 최신 소화물 운송 기술을 접목한 운송 시스템이다. 기존의 승객-화물 혼재시스템을 벤치마킹하여 광역교통수단의 유휴 운송공간을 이용하여 농산물을 운송함으로써 에너지 사용량을 절감하고 당일 내에 배송이 가능한 시스템으로 구상하였다.

본 연구에서 제시한 AgroSLS 연구는 현재 걸음마를 시작한 단계이다. 그럼에도 불구하고 AgroSLS가 상용화된다면 다음과 같은 기대효과를 예상할 수 있다. 첫째, 잠재적 유휴 물류자원에 대한 활용성을 극대화할 수 있다. 정기적으로 운행되는 광역교통수단인 고속/시외버스는 승객과 화물 공간이 분리되어 운영되며 승객에게 수화물 공간을 서비스로 제공하고 있다. 하지만 현재 수화물 공간의 활용성은 매우 낮고, 현재 운영 중인 고속버스 소화물 운송은 유료로 운행되고 있으며 비용이 많이 들고 실시간으로 상품의 위치를 파악하기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 본 연구에서 제안하는 ICT 기반의 동적 네트워크 물류시스템은 고속/시외버스의 유휴 수화물 적재공간을 실시간으로 파악하여 농산물 직거래를 위한 소포장 운송을 위한 유휴 적재공간으로 활용성을 극대화할 수 있는 시스템으로 개발되어 잠재적 유휴 물류 자원의 새로운 부가가치를 창출할 수 있다.

둘째, 유휴 운송자원을 활용한 새로운 운송시스템의 환경개선 효과와 경제성을 확보할 수 있다. AgroSLS는 농산물을 유휴 유통자원을 통하여 운송함으로써 복잡한 물류 단계를 단순화할 뿐만 아니라 운송단계에서 발생하는 기후변화, 미세먼지 발생 등의 환경영향에 대한 감축이 가능하다. 기존의 농산물 유통은 생산자로부터 도매시장, 중도시장, 소매시장을 거쳐 소비자에게 전달되는 과정을 거치면서 상품가격에서 유통비용이 차지하는 비중이 다른 상품에 비해 상대적으로 매우 높기 때문에 과다한 물류비용으로 인해 농산물의 생산자는 수익이 감소하고, 소비자는 다른 상품

에 비해 많은 운송비를 지불해야하므로 경제적으로 비효율적이다. 그러나 AgroSLS는 광역교통망을 이용하여 로컬운송과 광역운송으로 물류 단계를 단순화하였고, 이를 바탕으로 운송비를 절감할 수 있을 뿐만 아니라 농산물의 출하 패턴을 시기별로 파악하여 최적의 배송비를 소비자와 생산자의 입장에서 유연하게 산정할 수 있다.

셋째, 직거래 증가에 따른 농가 및 운송업자 소득 향상과 상품에 대한 소비자의 만족도가 증가할 수 있다. 안전하고 신선한 먹거리에 대한 소비자 니즈의 증가는 직거래 기반의 농산물 산지 배송 규모 증가를 가져왔으며, 이러한 직거래를 통한 농산물 운송은 배송을 위한 시간과 거리를 단축하여 농산물의 신선도와 안전성을 높일 수 있다. 개발된 시스템은 농산물이 가지고 있는 특성들을 고려하여 유통단계를 줄이고 이를 농가의 소득을 높이고 소비자가 저렴한 농산물을 구매할 수 있는 기반을 제공할 수 있고, 새로운 운송시스템 도입은 지속적인 화물 수요 증가를 통해 중장기적으로 운수업자에게 새로운 블루오션을 창출함으로써 매출 증가에 기여할 수 있다.

5. 소결

본 연구에서는 유휴 운송자원과 드론을 이용한 새로운 형태의 농산물 스마트 로지스틱스(AgroSLS)를 제안하고, 기존 택배망과의 운송범위, 소요시간 및 에너지 사용량 비교를 통해 AgroSLS의 성능을 평가하였다. 이를 위해 농산물 운송시스템(AgroSLS)에 대한 구조를 설계하고 운송시스템의 성능을 평가할 수 있는 평가 프레임워크를 구축하였다. 이를 기반으로 기존의 우체국 택배망을 이용한 배송과 AgroSLS기반의 배송에 대한 운송범위, 소요시간 및 에너지 사용량을 추정하고 비교하였다.

향후 기술적 고도화를 통해 실질적으로 운영될 수 있는 AgroSLS의 개발이 필요하며, 이러한 고도화를 통하여 다음과 같은 방향으로 농산물 물류가 변화할 수 있다. 첫째, 농산물을 대상으로 한 지능형 공급망(Intelligent supply chain)이 구축될 수 있다. 빅데이터 분석과 AI를 활용하여 소비자의 과거 구매 데이터를 분석하여 비교적 높은 정확도로 농산물의 출하 시기 이전에 생산자에게 수요량을 전달할 수 있으며, 출하 시기에 상품의 등급별로 소비자가 원하는 제품을 추천할 수 있다. 이는 유통단계에서 판매가 예상되는 농산물을 생산자와 소비자를 연결해 줄 수 있으며, 사전예약과 같이 생산과 동시에 상품거래를 통해 물류 리드타임을 감축시킴으로써 상품의 신선도를 확보할 수 있다.

둘째, 주문 즉시 배송이 시작되어 24시간 이내에 상품을 받아볼 수 있는 즉각 배송(Instant delivery)이 실현될 수 있다. IoT 장비를 활용해 실시간 화물의 위치를 감지함으로써 실시간 추적 및 화물 상태 모니터링이 가능해질 것이며, 단일 플랫폼에서 물류의 전 과정(주문부터 최종 배송까지)을 통합 관리함으로써 농산물의 위치와 현황을 스마트하게 제공할 수 있다.

셋째, 신기술과 유휴공간을 기반으로 한 물류 혁신을 통해 상품의 신선도 유지는 물론 배송 비용이 한계비용까지 절감될 수 있다. 새로운 드론 및 전력 구동 수단은 산지에서 광역교통지점까지 운송된 농산물을 광역교통망의 유휴 물류공간을 활용하여 최종 소비지까지 최적화된 라스트마일을 구현한다. 현재 많은 비용이 발생하는 농산물 물류 프로세스 곳곳에 산재한 단순 작업이 요구되는 단계들이 드론과 자동화 설비 등으로 대체되어 운송과정의 비용을 혁신적으로 감축시킬 수 있다.

제 2 절 농업 생산시스템의 불확실성을 고려한 통계적 추론 기반의 저탄소농산물 인증기준 평가

1. 서론

1.1. 배경 및 필요성

파리 기후변화 협정 발효에 따른 선진국들의 온실가스 감축 의무 기준 상향과 같이(UNFCCC, 2015) 기후변화 관련 규제 및 기준이 강화됨에 따라 다양한 분야에서 인증제도와 같이 자발적이면서도 적극적인 대응을 모색하고 있다(Kang *et al.*, 2012). 특히 한국은 농림축산부문에서 농가의 자발적인 온실가스 감축을 위하여 전세계 최초로 농축산물을 대상으로 한 저탄소농산물 인증제와 같은 다양한 감축 노력 제도를 시행 중이다. 한국은 전체 온실가스 발생량 중 약 2.9%를 차지하는 농림축산부문에서 2030년까지 배출전망치(Business As Usual, BAU) 대비 7.9%(1.9백만톤 감축)의 이산화탄소를 감축해야 한다(Bae, 2015; Ha *et al.*, 2019;

Kafle *et al.*, 2017; NCGIR). 이에 농림축산식품분야 기후변화 대응 기본계획, 기후변화 영향 및 대응계획 제정을 근거로 온실가스 감축을 위한 저탄소 농업기술의 개발과 함께 2012년부터 농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업 및 저탄소 농축산물 인증제를 도입하는 등 다양한 감축노력을 추진 중이다(RDA, 2103).

국내에서 시행하고 있는 저탄소 농축산물 인증제도는 농업 분야에서 온실가스 저감을 위한 대표적인 제도 중 하나이다(Lee *et al.*, 2019; Lim, 2016; Liu *et al.*, 2016). 이 저탄소 인증제도는 무기농 및 유기농과 같은 친환경인증과 GAP (Good Agricultural Products) 인증을 받은 국내 농산물을 대상으로 저탄소 농업기술을 적용하여 생산된 농산물에 부여하는 국가적 농식품 인증제도이다. 이 제도는 국가의 농업부문 온실가스 감축 목표를 달성하기 위하여 농가의 자발적인 온실가스 감축 노력을 국가에서 인증해주고, 이에 따른 보상으로 소비자의 윤리적인 소비에 따라 제품 선택을 유도할 수 있도록 추진하는 시장기반형 온실가스 감축 프로그램이다. 한국의 저탄소 농축산물 인증은 2012년 시범사업을 시작으로 7개의 농업경영체 (60 농가)가 인증을 받았으며, 2019년 10월 기준으로 3,822호의 농가 (4,721 ha)가 인증을 유지하고 있다. 친환경인증 농가수 58,055호 (2019년 기준) 및 GAP 인증 농가수 99,050호 (2019년 기준)에 비하여, 저탄소인증 농가수는 약 5% 수준으로 아직은 도입단계에 있는 실정이다. 저탄소 농산물인증제도를 통해 연간 68,904 tCO_2e의 온실가스를 감축하는 효과를 보였다.

저탄소 농축산물 인증을 취득하기 위해서는 크게 다음과 같은 세 가지 자격 요건을 충족시켜야 한다; 먼저 농산물의 종류가 인증대상 품목에 해당하여야 하며, 둘째, 사전에 친환경/GAP 인증과 같은 농식품 국가인증

서를 획득하고, 마지막으로 저탄소 농업기술을 적용하여 농산물을 생산해야 한다. 그 후 해당 농가에서 농산물 재배에 따른 온실가스 배출량이 국가에서 제시하고 있는 품목별 평균 온실가스 배출량 기준보다 적어야만 저탄소 인증을 받을 수 있다. 여기서 국가 평균 온실가스 배출량 기준은 농산물 종류별로 5개년 평균값을 사용한다. 이러한 인증기준에 따르면 신청 농가의 농산물의 온실가스 배출량이 대상 품목의 국가 평균 온실가스 배출량을 기준으로 얼마나 적어야 하는지에 대한 제한사항이 없기 때문에, 국가 평균 기준보다 아주 적은 양의 온실가스라도 감축하는 경우 저탄소 인증을 받을 수 있는 시스템이다.

농산물은 공산품과는 달리 실제 농산물 재배에 영향을 미치는 불확실성이 큰 생산환경 요인들 때문에 정량적인 방법을 이용하여 합리적인 인증기준을 마련하기가 매우 어렵다. 예를 들면 매년 기상조건, 병충해, 토양상태 등 재배환경에 따라 농가별로 농산물 생산에 투입되는 물질의 양에 대하여 편차가 크기 때문에(Yang *et al.*, 2018), 5개년 평균값과 같은 표본의 대푯값을 기준으로 인증을 부여하는 방식에는 무리가 있을 수 있다. 따라서 현재 인증기준으로 사용하고 있는 '국가 평균 배출량보다 적다'는 인증기준 방식은 당해 연도의 재배환경을 반영하기 어렵다는 단점이 있다. 또한, 통계적인 관점에서 농가별 온실가스 감축량이 통계적 유의수준 안에서의 유의미하다고 판단할 수 있는 범위를 고려하지 못하고 있다는 점도 한계로 지적되고 있다. 이에 정부는 이러한 한계를 인식하고 향후 농산물 온실가스 산정 기초 자료 등 데이터가 축적된 후 인증기준 강화 여부에 대하여 검토할 예정이라고 밝히고 있으나 아직까지 구체적인 인증기준은 제시하지 못하고 있는 실정이다.

에코라벨(Ecolabel)은 광범위한 제품군에서 엄격한 환경영향 기준

(Standards 혹은 Criteria)을 충족하는 제품에 대하여 소비자에게 제품의 환경정보를 전달하고, 제조업체나 소매업자에게 환경영향 감축 목표에 대한 정보를 전달하는 메커니즘을 제공하는 것을 목적으로 한다(Clift, 1993; Minkov *et al.*, 2019; Roe *et al.*, 2014). Ecolabel을 수여하는데 가장 중요한 환경영향을 평가하고, 인증기준의 최소 숫자 혹은 범위를 정의하기 위하여 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)기법이 사용된다(Bratt *et al.*, 2011). 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)는 ISO 14020시리즈의 환경라벨링(ISO, 2000; ISO 2006a; ISO 2006b; ISO 2016c; ISO, 2018)과 ISO 14040시리즈의 LCA 기법(ISO, 2006) 등 ISO 탄소표시제 관련 표준을 제정하여 소비자 및 이해관계자에게 제품의 온실가스 배출량 정보를 제공하는 탄소표시제에 대한 국제 규격을 지속적으로 개발해오고 있다(Liu *et al.*, 2016; Thøgersen & Nielsen, 2016).

농업분야에서도 LCA를 이용하여 농산물의 탄소배출량을 산정하는 연구는 많이 진행되어왔으나, 통계적 기법을 활용하여 인증제도의 기준을 설정하는 관련 연구는 찾아보기 힘들다. 영국의 Carbon reduction label, 프랑스의 Indice carbon, 스위스의 Climatop, 미국의 Climate conscious carbon label, 스웨덴의 Climate declaration과 같이 이미 여러 국가에서 전과정평가를 이용하여 제품의 탄소배출량을 평가하여 탄소표시제도를 시행 중이나 이는 대부분 공산품을 대상으로 한다. 또한 탄소배출량 인증은 기준배출량(Baseline)이 결정되지 않은 제품에 대해서 온실가스 배출정보를 공개하는 인증 방법, 동종제품의 평균 온실가스 배출량보다 낮거나 제품별 온실가스 최소감축목표(Minimum reduction target)을 달성한 제품에 부여하는 상대적 우수등급제를 운영하고 있다. 농산물에 대한 환경영향을 평가하는 방법은 정형화되어 다양한 농산물의

재배에 대한 GWP, PM, AP, EP 등 농산물 재배시 기여도가 큰 환경부하를 산정하는 연구는 진행되어 오고 있다 (Bennetzen *et al.*, 2016; Biswas *et al.*, 2008; Carlson *et al.*, 2017; FAO, 2017; Goglio *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2018). 그러나 농산물은 공산품과는 달리 생산환경에 민감하게 반응하여 재배 시 투입되는 물질의 양의 편차가 크게 발생한다. 이에 농산물 재배 전체 농가를 대표할 수 있는 샘플의 수가 많이 확보되어야 하나 현실적으로 적절한 샘플의 수를 확보하기는 어렵기 때문에 생산농가별 탄소배출량 산정값에 대한 불확실성(Uncertainty)이 높다 (Bae *et al.*, 2013). 이렇듯 농가별로 민감한 재배 환경과 높은 불확실성을 반영하여 농산물의 인증을 부여할 수 있는 기준 설정 방법은 아직까지 미비한 실정이다.

1.2. 연구목적

본 연구에서는 농업 생산시스템의 불확실성을 고려하여 통계적으로 유의미한 저탄소농산물 인증기준을 평가하고자 한다. 이를 위해 먼저 전과정평가를 이용하여 추정한 대상 농산물의 온실가스 발생량과 국가에서 발행하고 있는 자료를 바탕으로 현재 국가에서 사용하고 있는 인증기준인 과거 5개년의 온실가스 배출량 평균을 산정하였다. 다음으로, 당해년도 기상 환경을 반영할 수 있는 당해년도의 51개 농가 샘플 데이터를 이용하여 전체 농가의 평균을 추정하는 통계적 추론방법(모수추정과 비모수추정)으로 인증기준을 산정하였다. 마지막으로, 이를 국가 평균 기준과 본 연구에서 제안하는 통계적 추론 기반의 인증기준과의 비교를 통하여 농업 생산 환경의 불확실성을 고려한 적절한 농산물 인증기준의 통계적 대안을 제시하였다.

2. 분석 방법 및 자료

2.1. 농가 영농활동 데이터

농산물 재배의 국가 평균 온실가스 발생량을 산정하기 위하여 농촌진흥청에서 매년 발간하는 농축산물소득자료집의 농자재 투입량 정보가 담긴 영농 활동데이터를 이용하였다. 정부는 농산물별 표본을 선정하기 위하여 농업총조사 자료를 바탕으로 상대표준오차와 목표오차를 고려하여 작물별 표본수를 결정하고, 모집단 재배비율을 반영하여 지역별(도별)로 표본수를 배분한다. 이후 각 시군의 농업기술센터에서 이중추출법과 할당추출법을 병행하여 표본 농가를 선정하고 표본 농가의 작물 재배시 투입되는 영농 활동데이터를 수집한다. 이 영농 활동데이터는 정부의 주도하에 수집되며, 재배면적 및 생산량 등 기본정보와 함께 영농자재 투입내역이 농가별로 작성되어 있다: 비료(유기질 및 무기질), 작물보호제(제초제, 살균제, 살충제 등), 에너지(전기 및 유류), 기타 농자재 등.

2.2. 농산물 생산단계 온실가스 산정방법

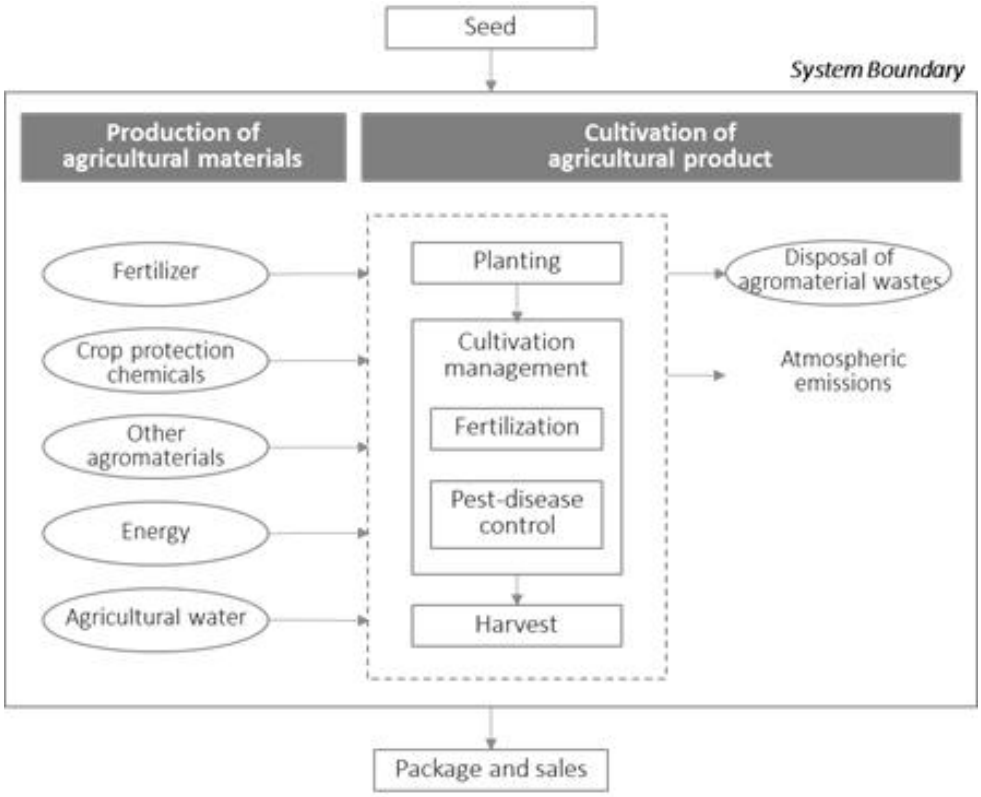
농산물 생산단계에서 발생하는 온실가스 배출 산정은 주로 국제표준기구(International Organization for Standardization, ISO)에서 제정한 ISO 14040와 ISO 14044 국제표준에 따라 전과정평가(Life cycle assessment, LCA) 방법론을 기반으로 한다(FACT, 2017a). 전과정평가는 제품 또는 시스템의 전과정에 걸쳐 에너지와 광물자원의 사용과 이로 인한 환경부하량을 정량적으로 평가하는 방법이다(SAIC & Curran, 2006; Sala & Castellani, 2019). 이에 저탄소농산물 인증에서 사용하

는 전과정평가는 농산물 생산 전과정에서 투입되는 모든 자재 (예를 들어, 비료, 작물보호제, 에너지, 기타 농자재 등)의 정량적인 양을 수집한 활동자료를 기반으로 온실가스 발생량을 추정하여 잠재적인 기후변화지수를 산정한다.

국내의 저탄소농산물 인증을 시행하는 국가기관인 농림축산식품부와 농업기술실용화재단에서 발행한 지침에 따라 농산물 품목별로 재배단계의 전과정 온실가스 배출량을 산정한다(FACT, 2017a; FACT, 2017b). 해당 지침에서는 농산물의 적용 범위, 온실가스 배출량 산정방법, 시스템경계(System boundary), 온실가스 배출량 계산 등을 품목별로 구체적으로 제시하고 있다. 국가평균 온실가스 배출량 산정을 위하여 기능단위(Functional unit, 이하 FU)를 생산량(kg)이 아닌 재배면적(1,000㎡, 10a, 1기작)으로 정의하는데, 이는 농산물의 경우 기상조건 등 농업환경에 따라 생산량이 크게 변동되기 때문에 면적당 투입하는 농자재의 양에 따라 발생하는 온실가스를 추정한다.

농산물 재배의 전과정 단계는 농자재 생산단계와 농산물 재배단계로 구분 지을 수 있다(Figure 5-22). 농자재 생산단계는 농산물 재배단계에 투입되는 농자재의 생산과 관련된 천연자원의 채취로부터 생산단계까지를 포함한다. 이에 비료, 작물보호제, 기타 농자재, 에너지, 관개용수가 포함된다. 농산물 재배단계는 종자의 파종으로부터 비료사용, 방제 등 재배관리와 관련된 농작업과 수확, 폐농자재 처리를 포함한다.

농산물 재배단계에서 발생하는 온실가스는 크게 직접배출과 간접배출로 구분할 수 있다. 직접배출은 화석연료의 연소에 의해 대기 중으로 배출되는 CO_2, CH_4와 같은 온실가스와 질소비료 시비 등으로 인하여 토양에서 직접 발생하는 N_2O, NO_X, 그리고 NH_3와 같은 온실가스이다. 간접배출



[Figure 5-22] Life cycle system boundary of agricultural products. The system boundary was set as cradle-to-gate (CtG), covering the agricultural materials production stage and agricultural product cultivation stage, excluding package and sales. In the production of agricultural materials stage, indirect GHG emissions included production of fertilizer, chemicals for crop protection, energy, and other agro-materials. In the cultivation stage, direct GHG emissions were estimated using nitrous oxide emissions from nitrogen fertilizer and by GHG emissions from energy combustion.

은 투입 및 산출물의 상하위 흐름에서 발생하는 온실가스 배출을 의미하며, 주로 비료, 작물보호를 위한 화학물질(예를 들어, 제초제, 살균제, 살충제 등), 연료 등 농자재 생산단계에서 발생하는 온실가스이다.

농산물 재배를 위해 필요한 농자재 생산 및 사용에 따른 온실가스 배출량 계산은 IPCC에서 제시한 방식(식(5-6))을 따르며, 영농자재별 온실가스 배출계수는 선행연구를 참고로 하였으며(Ecoinvent; KEITI; ME; RDA, 2013; Son *et al.*, 2019) 세부 항목별 값은 Table 5-8과 같다.

$$GHGs = \sum (A_i \times EF_i) \quad (5\text{-}6)$$

Where $GHGs$ is greenhouse gas emissions ($kgCO_2e$), A_i is the activity data of the agricultural activity i, and the EF_i is the GHG emission coefficient by agricultural activity i.

[Table 5-8] GHG emission coefficient by agro-material

Category		Agro-materials	Emission Factor	Unit	Reference
Fertilizer	Inorganic	Urea	1.01	$kgCO_2/kg$	RDA (2013)
		Ammonium sulphate	2.65	$kgCO_2/kg$	Ecoinvent
		Fused phosphate	0.725	$kgCO_2/kg$	
		Boron	1.6	$kgCO_2/kg$	
		Agricultural Lime	0.0499	$kgCO_2/kg$	ME
		Compound	1.27	$kgCO_2/kg$	RDA (2013)
	Organic	Compost	0.00336	$kgCO_2/kg$	

Crop protection chemicals	Plant growth regulator	Soluble concentrate	0.108	$kgCO_2/kg$	Son *et al.* (2019)
		Wettable powder	0.165	$kgCO_2/kg$	
	Insecticide	Emulsifiable concentrate	0.1	$kgCO_2/kg$	
		Dustable powder	0.113	$kgCO_2/kg$	
		Granule	0.118	$kgCO_2/kg$	
		Wettable powder	0.165	$kgCO_2/kg$	
	Fungicide	Emulsifiable concentrate	0.1	$kgCO_2/kg$	
		Dustable powder	0.113	$kgCO_2/kg$	
		Granule	0.118	$kgCO_2/kg$	
		Wettable powder	0.165	$kgCO_2/kg$	
	Herbicide	Emulsifiable concentrate	0.1	$kgCO_2/kg$	
		Granule	0.118	$kgCO_2/kg$	
Energy	Electricity		0.495	$kgCO_2/kWh$	KEITI
	Fuel	Diesel	2.60	$kgCO_2/L$	
		Gasoline	2.13	$kgCO_2/L$	
Other materials	Mulching plastic	low-density polyethylene (LDPE)	0.0172	$kgCO_2/kg$	
	Plastic tie	Homo-polypropylene (HPP)	2.205	$kgCO_2/kg$	
Direct emission from nitrogen fertilizer		Organic nitrogen	0.018	kgN_2/kgN	RDA (2013)
		Inorganic nitrogen	0.019	kgN_2/kgN	

직접배출 중 경지에서 질소 비료사용으로 인한 아산화질소(N_2O)는 식 (5-7)과 같이 산정하며(FACT, 2017a), 비료에 대한 유효성분 함유율과 건조 중량율, 토양배출계수 등 특성은 Table 5-9를 참조한다. N_2O의 지구온난화지수는 IPCC 가이드라인에서 제시한 298 $kgCO_2e/kgN_2O$을 사용한다(IPCC, 2007).

$$S_{CO_2} = \sum_i \left(M_{i-Fert.} \times AI_{i-N} \times WI_{i-Dry} \times E_{N_2-Soil} \times GWP_{N_2O} \times \frac{44}{28} \right) \quad (5\text{-}7)$$

Where S_{co_2} is the nitrous oxide soil GHG emissions ($kgCO_2e/kgN_2O$) from nitrogen fertilizers, $M_{i-Fert.}$ is the amount of fertilizer i (kg), AI_{i-N} is the effective nitrogen component in fertilizer i, WI_{i-Dry} is the dry weight ratio of fertilizer i, E_{N_2-Soil} is the soil emission coefficient of N_2 per 1 kg of fertilizer (kgN_2/kgN), GWP_{N_2O} is the GWP of N_2O ($kgCO_2/kgN_2O$), and 44/28 indicates (molecular weight of N_2O/molecular weight of N_2), which is about 1.5714.

[Table 5-9] Direct emissions to soil from nitrogenous fertilizer (RDA, 2013)

Nitrogenous Fertilizers	**Urea**	**Compound**	**Compost**
Content ratio of active ingredient of nitrogen (%)	46.0	17.7	1.49
Dry weight rate (%)	100.0	100.0	56.9
N2 Soil emission factor by 1 kg (kgN_2/kgN)	0.019	0.019	0.018
GWP coefficient of nitrous oxide (N_2O) (kg CO_2e/kgN_2O)		298	
N Molecular weight (N_2O/N_2)		1.5714	

2.3. 통계적 인증기준 평가 방법

2.3.1. 절삭평균법

국가에서 제시하고 있는 품목별 저탄소 인증 온실가스 배출량 기준은 최근 5년간의 온실가스 배출량에서 최대값과 최소값을 제외한 3개년의 평균값인 20% 절삭평균으로 산정한다(식(5-8)). 즉, 품목별 영농 활동데이터 수집기간이 5년 이상인 품목은 온실가스 배출량이 가장 높은 해와 가장 낮은 해를 제외하고 3개년도 평균을 산정해 국가평균 온실가스 배출량으로 산정하고 있다. 이 절삭평균은 평균의 장점과 중앙값의 장점을 갖는 대푯값으로서, 산술평균의 단점인 이상치(Outlier)로 인한 왜곡현상을 방지하여 자료의 중심을 파악할 수 있는 측도로 사용된다. 그러나 수집기간이 4년 이하인 품목의 경우 온실가스의 최대 배출년도와 최소 배출년도를 제외하지 않고 모든 연도의 온실가스 배출량의 산술평균을 반영하여 국가 평균 온실가스 배출량으로 산정하고 있어 왜곡이 발생할 수 있다.

$$GHG_{Nj} = \begin{cases} \dfrac{1}{n-2k}\displaystyle\sum_{i=k+1}^{n-k} a(i) & \text{if } n=5 \\ \dfrac{1}{n}\displaystyle\sum_{i=1}^{n} a_i & \text{if } n<5 \end{cases} \tag{5-8}$$

Where GHG_{Nj} is the national GHG emissions of agricultural product j, a_i is the GHG emissions of agricultural product j in each of recent n years. k is the smallest and largest k^{th} number to be excluded from the sorted observations, i.e., we can calculate the mean of GHG emissions in 3 years when k is 1 by deleting the smallest and largest GHG emissions in 5 years.

2.3.2. 통계적 추정방법

1) 모수추정법

모집단의 평균이나 분포와 같은 모집단의 통계적 특성인 모수를 모르는 상태에서 표본평균을 이용하여 모집단의 평균을 추정하는 방법을 통계적 추론(Statistical inference)라 한다. 이에 표본 집단의 평균이 정규분포라는 정규성 가정과 비교 대상의 표본들이 추출된 각각의 모집단의 분산은 동일하다는 가정은 모수 통계 분석의 기본 전제이다(Curran-Everett *et al.*, 1985). 관측치의 수, 즉 추출횟수가 증가함에 따라 합이나 평균의 확률히스토그램이 정규분포곡선으로 수렴해가는 중심극한정리(Central limit theorem, CLT)에 따라 일반적으로 표본이 30개 이상인 큰 표본(Large sample)일 경우 모집단의 분포는 정규분포로 가정할 수 있다.

모집단의 평균을 추정하기 위해서는 일반적으로 95%의 신뢰구간을 사용한다(Altman DG & Bland JM, 2005; Beaulieu-Prévost, 2006; Curran-Everett, 2008). 모집단의 표준편차를 모르기 때문에, 그 추정치로서 표본의 표준편차를 이용하며, 표본평균의 확률오차를 감안하여 산정한다. 모평균을 추론하기 위해서 Margin of error을 산정할 때, 모집단의 표준편차를 이용하나, 모집단의 표준편차(σ)를 모르기 때문에 표본평균의 표준편차(s)로 대체하여 표본평균의 표준오차($\hat{\sigma}_{\bar{x}}$)를 산정한다. 이 표본평균의 표준오차($\hat{\sigma}_{\bar{x}}$)는 표본평균의 관측치가 그 기대값인 모집단의 평균(μ)으로부터 전형적으로 얼마나 떨어져 있는지를 알려주는 지표이다(Curran-Everett, 2008). 이 때 모집단의 평균(μ)은 '표본평균($\bar{x}$) ± 표준오차($\hat{\sigma}_{\bar{x}}$)'의 범위 안에 존재한다. 이를 95%의 신뢰수준에서의 신뢰구간

은 표준오차($\hat{\sigma}_{\bar{x}}$)에 critical z-score(z_c)를 곱하여 하한값과 상한값을 통해 산정된다(식(5-9)). 이때 신뢰구간의 하한값은 95% 신뢰수준 하에서 해당년도의 평균보다 온실가스 배출량이 낮다고 표현할 수 있는 기준값이 된다.

$$CI = \left(\bar{x} - z_c\hat{\sigma}_{\bar{x}}, \quad \bar{x} + z_c\hat{\sigma}_{\bar{x}}\right) \tag{5-9}$$

Where CI is a confidence interval that range of lower limit and upper limit, $\bar{x}$ is the sample mean, z_c is the critical z-score, which is the number of standard deviations based on the confidence level, $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ is the standard error of the mean, which is substituted with the sample SD (s) instead of the population SD (σ) when is unknown. $z_c\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ also represents the margin of error, which is the width of the CI.

2) 비모수추정법

일반적으로 표본이 적어 모집단이 어떠한 분포를 이루는지 알 수 없는 경우에는 위와 같은 모수 통계 기법을 사용하기가 어렵다. 왜냐하면 표본 수가 모집단에 비해 매우 작을 경우 모집단의 특성을 충분히 반영할 수 있는 대표성이 결여되어 모집단의 분포를 왜곡할 가능성이 높아지기 때문이다(Tong *et al.*, 2016). 이럴 경우 모집단에 대한 가정을 필요로 하지 않는 비모수적 통계 기법을 사용할 수 있다.

적절한 표본의 크기는 해당 연구의 타당성(Validity), 신뢰성(Reliability), 정확성(Accuracy), 진실성(Integrity)의 측면에서 매우 중요하다(In, 2016). 따라서 모집단의 크기를 알 때, 모집단의 특성을 대표할 수 있는 적절한 표본의 수는 식(5-10)로 결정할 수 있다.

$$N_s = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1+\left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}\right)} \tag{5-10}$$

Where N_s is the number of samples, N is population size, z is the z-score, e is the margin of error, and p is the SD.

모집단의 분포가 알려지지 않았거나 모집단에 비해 표본수가 작을 경우, Adèr *et al.* (2008)는 비모수적 통계 기법의 하나인 표본에서 재표본 추출을 통해 관심 있는 대상의 분포를 정규분포로 근사시키는 방법인 부트스트랩(Bootstrap) 기법을 추천하였다. Bradley Efron (1979)에 의해 제안된 부트스트랩 기법은 유한표본(Finite sample) 혹은 작은 표본(Small sample)에서 표본 추출과 이에 입각한 통계치 계산의 과정을 반복함으로써 주어진 통계량의 유한표본분포(Finite sampling distribution)를 구하는 방법이다. 원래의 표본으로부터 복원추출(Sampling with replacement)로 같은 크기의 부트스트랩 표본(Bootstrap sample)을 추출하고, 이 부트스트랩 표본으로부터 새로운 표본평균을 구하는 두 단계의 과정을 전체적으로 일정 횟수(n times)만큼 반복(Replications)하면, n개의 표본평균을 구할 수 있다. 이렇게 얻은 n개의 표본평균을 히스토그램으로 나타내면 표본평균의 확률히스토그램에 대한 하나의 근사가 된다. 또한, n개의 표본평균의 표준편차를 구하면 이는 표본평균의 표준오차(Standard error of the mean; SEM)에 대한 근사치가 된다.

이 연구에서는 부트스트랩 반복횟수가 모집단을 대표할 수 있는 최소한의 표본수와 Diciccio & Efron(1996)가 제안한 부트스트랩 횟수를 고려하여 2,000번 반복을 수행하였다. 이에 부트스트랩 표본으로부터 계산된

부트스트랩 표본수, 평균, 표준편차를 이용하여 95% 신뢰수준에서의 신뢰구간을 산정하고, 신뢰구간의 하한값을 95% 신뢰수준 하에서 평균보다 온실가스 배출량이 낮다고 표현할 수 있는 기준값으로 제시한다.

3. 분석 결과

3.1. 농산물 영농활동 데이터 기술통계 분석

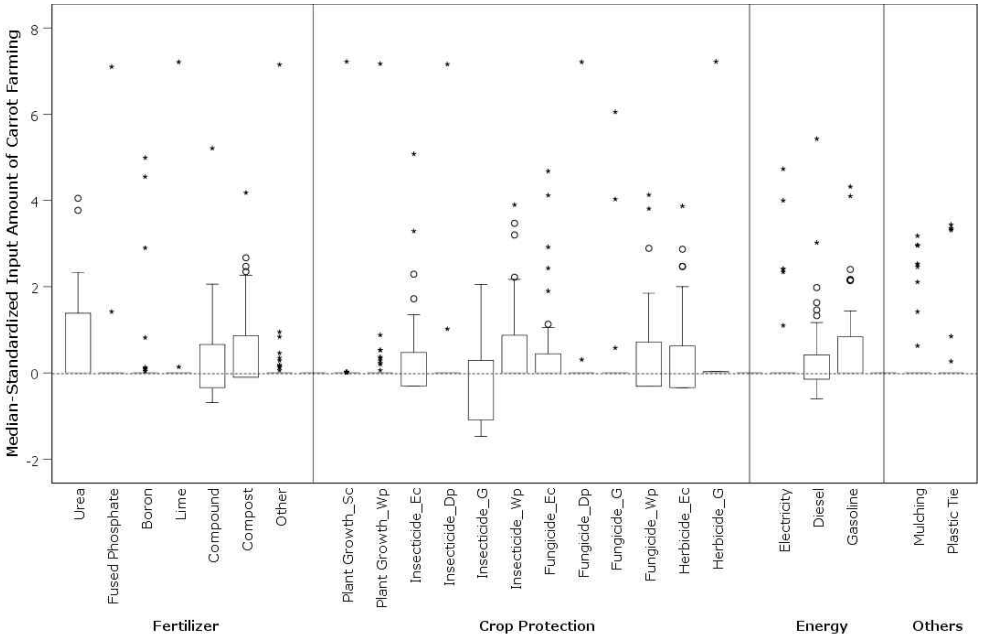
2015년 51개 농가가 당근 농사를 위해 투입한 농자재의 투입량에 대한 농가별 편차는 매우 큰 것으로 나타났다(Table 5-10).

[Table 5-10] Descriptive statistics by agro-material of 51 carrot farms in 2015.

Category		Agro-materials	Unit	N	Mean	Standard deviation	Min	Max
Fertilizer	Inorganic	Urea	㎏	51	11.5	16.5	0.0	66.7
		Fused phosphate	㎏	51	3.5	21.1	0.0	150.0
		Boron	㎏	51	7.5	28.1	0.0	140.0
		Agricultural Lime	㎏	51	6.0	41.6	0.0	300.0
		Compound	㎏	51	167.7	175.0	0.0	1,031.3
	Organic	Compost	㎏	51	2,184.0	3,503.2	0.0	15,000.0
		Others	㎏	51	224.2	1,048.6	0.0	7,500.0
Crop protection	Plant growth regulator	Soluble concentrate	L	51	18.0	124.7	0.0	900.0
		Wettable powder	g	51	271.5	1,307.2	0.0	9,375.0
	Insecticide	Emulsifiable concentrate	㎖	51	357.5	558.1	0.0	3,000.0

		Dustable powder	g	51	13.4	83.8	0.0	600.0
		Granule	㎏	51	6.6	5.1	0.0	18.0
		Wettable powder	g	51	139.2	216.4	0.0	843.8
	Fungicide	Emulsifiable concentrate	㎖	51	95.1	189.8	0.0	888.9
		Dustable powder	g	51	61.4	416.0	0.0	3,000.0
		Granule	㎏	51	0.1	0.3	0.0	2.1
		Wettable powder	g	51	683.3	970.5	0.0	4,312.5
	Herbicide	Emulsifiable concentrate	L	51	582.7	801.4	0.0	3,375.0
		Granule	㎏	51	23.0	150.3	0.0	1,085.4
Energy	Electricity		kWh	51	39.0	117.1	0.0	553.8
	Fuel	Diesel	L	51	23.4	24.9	0.0	150.0
		Gasoline	L	51	2.6	4.2	0.0	18.0
Other materials	Mulching plastic	low-density polyethylene (LDPE)	m	51	118.0	253.7	0.0	807.7
	Plastic tie	Homo-polypropylene (HPP)	hank	51	0.8	2.2	0.0	7.7

농자재별로 단위가 상이하므로 중앙값(Median) 표준화로 산정하였으며 농자재별 투입량에 대한 정규화된 범위는 Figure 5-23과 같다. 복합비료와 살충제 입제(Insecticide_G) 및 경유를 포함한 일부 농자재는 모든 농가가 사용하나 상자도표의 하한치가 없는 농자재들은 대부분의 농가가 해당 농자재를 투입하지 않아 중앙값이 0으로 표현되고, 투입한 농가는 상한치 및 이상치로 표현될 만큼의 양을 투입하여 당근을 재배하였다.



[Figure 5-23] Distribution of the amount of agro-materials input dataset of carrot farming (1,000㎡) in 2015 with box-whisker plots of standardized variables. The agro-materials input data were standardized with each median value and standard deviation (SD), calculated by $(x_i - \overline{x})/s$. Descriptive statistics of each variable, such as the mean, SD, and minimum and maximum values are shown in Table 5-10. The vertical line of each box is the range from the greatest value to the least value excluding outliers. These outlying observations, shown as open circles (◦) and asterisks (∗), represent suspected outliers and highly suspected outliers, respectively. Abbreviations of variables in crop protection chemicals indicate types of materials such as granules (G), wettable power (Wp), emulsifiable concentrate (Ec), and dustable powder (Dp).

3.2. 농산물 재배단계별 온실가스 추정

당근에 대한 온실가스 배출량을 산정하기 위해서 노지에서 재배되는 당근을 대상으로 당근 재배면적 1,000m^2으로 제한하고 1기작을 기준으로 산정하였다. 또한, 당근 재배의 전과정에 대한 시스템경계에 포함되는 단계별 세부활동은 당근 재배의 특성에 따라 설정하였다. 당근 재배의 전과정 단계는 농자재 생산단계와 농산물 재배단계로 구분 지어 온실가스의 직접배출과 간접배출을 산정하였다. 다만, 시스템경계에서 저장 및 포장, 유통 및 수송, 판매 단계는 제외하였다.

당근 농사에 대한 연도별 국가 평균 온실가스 배출량은 영농자재의 투입재의 양에 따라 연도별로 편차가 크게 나타났다(Table 5-11). 2011년부터 2015년 사이의 1,000㎡의 당근 재배시 온실가스가 가장 크게 배출되는 해는 2015년으로 약 818.8 kgCO_2e/1,000㎡이다. 이와 반대로 온실가스가 가장 적게 발생한 해는 2012년으로써 2015년의 약 63.4% 수준에 불과한 519.3 kgCO_2e/1,000㎡로 나타났다. 전체 온실가스 발생량 중에서 농자재 생산단계의 무기질비료 생산에 따른 온실가스 발생(전체의 28.8-34.6%)과 농산물 재배단계의 질소계 비료사용에 따른 아산화질소 발생(전체의 41.5-50.9%)이 가장 높은 비중을 차지하고 있다.

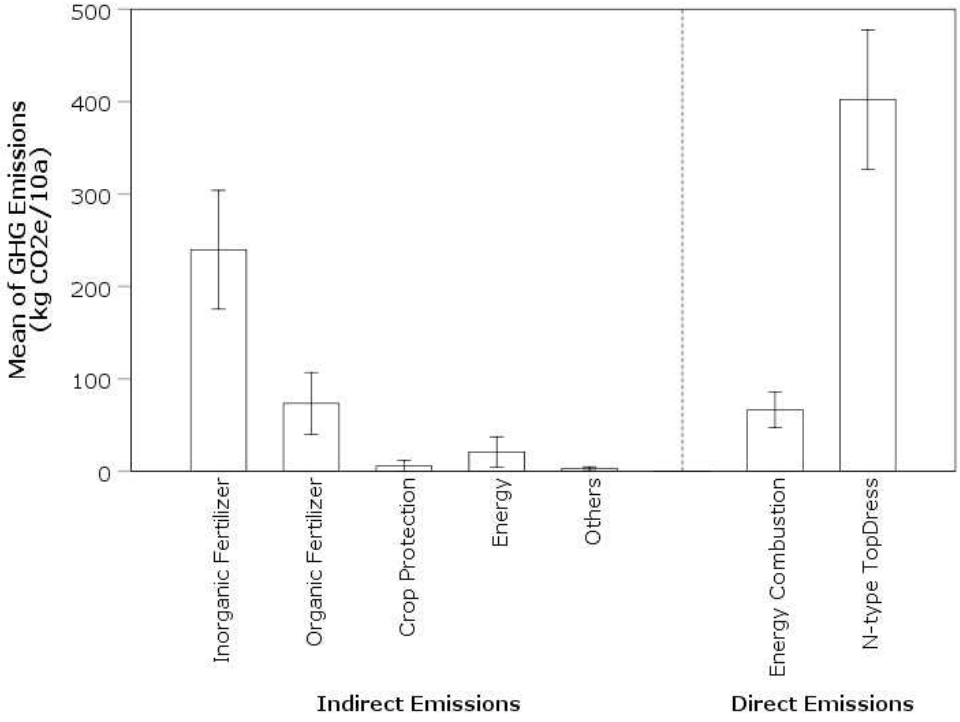
2015년의 51개 샘플 농가의 평균 온실가스 배출량은 810.8 kgCO_2e/1,000㎡이며, 이 중 약 41.4%는 재배 전 단계의 영농자재 생산과 관련한 간접배출에서 기인한 것이며, 약 58.6%는 재배단계의 질소계 비료시비와 농기계 연료의 연소 시 발생하는 직접배출이다(Figure 5-24). 당근 재배 전단계인 간접배출에서 무기질비료 생산에 따른 온실가스 발생량은 평균 239.7 kgCO_2e/1,000㎡로 전체의 약 29.7%를 차지한다. 유

[Table 5-11] National average GHG emissions of carrot farming by agromaterial type (2011-2015)

Unit: kg CO_2e/Functional unit (%)

Stage	Agromaterial Type		2011	2012	2013	2014	2015
Production of agromaterial	Fertilizer	Inorganic	187.5 (34.6)	149.6 (28.8)	232.2 (30.7)	195.2 (32.4)	239.4 (29.2)
		Organic	21.9 (4.0)	28.1 (5.4)	62.7 (8.3)	36.5 (6.0)	80.9 (9.9)
	Crop protection chemicals	Growth regulator	4.3 (0.8)	4.2 (0.8)	1.4 (0.2)	2.3 (0.4)	2.0 (0.2)
		Insecticide	0.8 (0.1)	0.8 (0.2)	0.9 (≤0.1)	0.7 (0.1)	0.8 (0.1)
		Fungicide	0.1 (0.1)	1.6 (0.3)	0.1 (≤0.1)	0.1 (≤0.1)	0.1 (≤0.1)
		Herbicide	0.1 (≤0.1)	1.3 (0.2)	0.2 (≤0.1)	0.2 (≤0.1)	2.8 (0.3)
	Energy	Electricity	40.4 (7.4)	35.8 (6.9)	14.2 (1.9)	14.7 (2.4)	19.3 (2.4)
		Fuel	1.3 (0.2)	1.3 (0.3)	1.2 (0.2)	1.7 (0.3)	1.5 (0.2)
	Others	Others	2.3 (0.4)	2.7 (0.5)	3.3 (0.4)	0.04 (≤0.1)	2.7 (0.3)
Cultivation of agricultural product	Energy Combustion	Fuel	58.4 (10.8)	60.3 (11.6)	54.9 (7.3)	76.4 (12.7)	69.7 (8.5)
	Top-dress with Fertilizer	N-type fertilizer	225.3 (41.5)	233.2 (44.9)	384.7 (50.9)	274.9 (45.6)	399.1 (48.7)
	Recycle	Plastic	0.3 (0.1)	0.4 (0.1)	0.6 (≤0.1)	0.4 (≤0.1)	0.4 (0.1)
Total GHG emissions			542.6 (100.0)	519.3 (100.0)	756.4 (100.0)	603.1 (100.0)	818.8 (100.0)

기질비료 생산은 전체 온실가스 발생량의 7.1% 수준으로 나타났으며, 에너지는 3.4%, 작물보호제 및 기타 농자재는 0.4-0.7%이다. 재배단계인 직접배출은 질소계 비료 사용에 따른 아산화질소 발생이 전체 온실가스 발생량의 약 47.8%(402.2 kgCO_2e/1,000㎡)를 차지하며 가장 높은 수준으로 환경부하에 기여하는 것으로 나타났다. 또한. 재배단계에서 유류 사용에 따른 온실가스 발생 역시 10.8% 수준으로 분석되었다.



[Figure 5-24] Average GHG emissions of 51 carrot farm households by agricultural activity in 2015. The average GHG emissions of individual agricultural materials are represented as the maximum value in each bar graph, with a 95% CI representing the error bar graph.

3.3. 통계적 비교를 통한 인증기준 설정

추정된 농산물 재배의 온실가스 발생량을 바탕으로 통계적으로 합리적인 저탄소 인증 기준을 마련하기 위하여 2015년 기준 당근 재배를 바탕으로 세 가지의 방식을 비교하였다 (Table 5-12). 인증 기준 방법은 한국에서 사용하고 있는 국가 인증 기준 방법인 5개년도 절삭평균값(Baseline)을 이용한 기술통계, 당해년도 농가 표본의 영농활동 데이터를 바탕으로 통계적 유의수준을 고려한 모수적 추정 방법을 이용한 추론통계(SI-PM), 샘플 수를 충분히 확보할 수 있는 비모수적 추정 방법을 이용한 추론통계(SI-NPM)이다.

현재 한국에서 사용하고 있는 국가 인증 기준은 5개년도 데이터의 절삭평균값을 이용한다 (Baseline in Table 5-12). 이에 당근의 경우 2015년의 당근에 대한 국가 저탄소 인증 온실가스 배출량 기준은 최근 5년간의 데이터가 존재하므로 2011년부터 2015년의 5년간의 온실가스 절삭평균값을 사용하였다. 연도별 당근의 조사 농가수는 2011년 39 농가, 2012년 39 농가, 2013년 39 농가, 2014년 51 농가, 2015년 51 농가이다. 이에 온실가스 발생량이 가장 높은 해인 2013년(11,370 $kgCO_2e/1,000㎡$)과 가장 낮은 해인 2012년(519.34 $kgCO_2e/1,000㎡$)를 제외한 5개년의 절삭평균값은 789.5 $kgCO_2e/1,000㎡$이며, 이는 2015년의 국가 인증기준이 된다. 국가 평균 온실가스 배출량 인증기준을 5개년도의 중심경향성을 나타내는 대표값으로써 최대값과 최소값을 제외한 절삭평균값을 사용하여 국가 평균값으로 제시하였다. 그러나 5개년도의 평균값 이외에 표준편차(Standard deviation)나 평균의 표준오차(Standard error of the mean) 등 자료의 특성을 설명할 수 있는 통계량을 추가적으로 제시하지 못한다면, 전체 당근 농가의 국가 평균 배출량

[Table 5-12] Comparison of certificate criteria for low-carbon carrot farming in 2015.

Unit: $kgCO_2e$/Functional unit

Evaluation Type		Baseline	SI-PM	SI-NPM
Number of samples		5	51	2,000
Statistical characteristics	Average[a]	648.1	810.8	810.1
	Standard deviation	132.8	461.7	62.1
	95% CI	-	(684.1, 937.5)	(807.3, 812.8)
Certificate criteria[b]		634.1	684.1	807.3

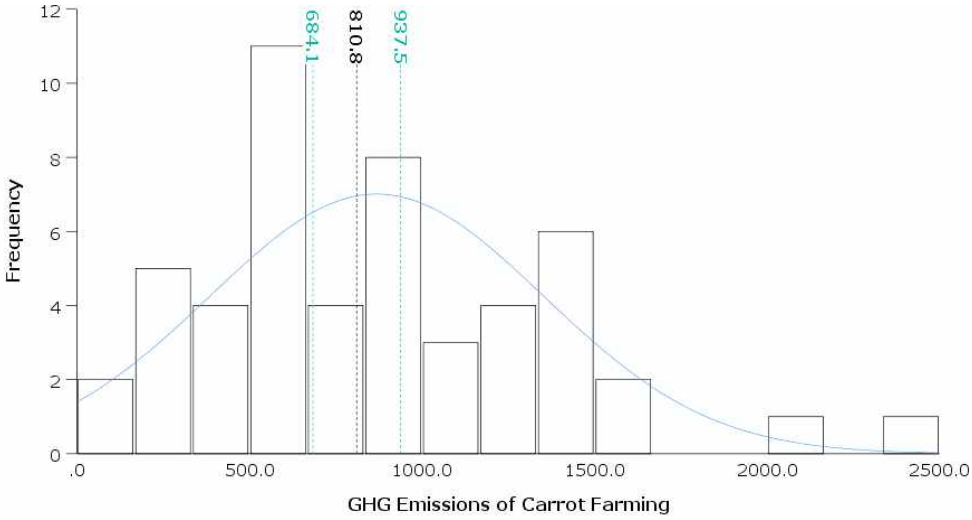
[a] Among the average values, the baseline method uses the descriptive mean of the 5 years (2011 to 2015). The SI-PM (i.e., statistical inference with a parametric method) also uses the descriptive means of 51 farm samples in the targeted year (2015). The SI-NPM (i.e., the statistical inference with a nonparametric method) uses the descriptive means of the 2,000 bootstrapping samples based on the original samples (51 farm samples) in 2015.

[b] Among the evaluation types, the baseline method is the current certified method that uses a 20% trimmed mean considering the GHG emissions over the past 5 years (2011 to 2015). The SI-PM uses the lower limit of a 95% CI for GHG emissions of each farm (51 farm samples) in the targeted year (2015) assuming a large sample. The SI-NPM also uses the lower limit of a 95% CI for GHG emissions of the bootstrapping samples based on the original samples (51 farm samples) in the targeted year (2015).

기준을 대표한다고 해석할 수 없으므로 이는 Savage & Markowitz(2009)가 주장한 평균의 함정(The flaw of averages)으로 작용하고 있음을 보여준다.

이러한 현행 인증 방식이 가지고 있는 평균값의 한계에 대한 문제점을 보완하기 위하여 당해년도 표본데이터를 활용하여 통계적으로 유의한 값

을 제시하여 대표성을 확보할 수 있는 방법을 제시하였다(SI-PM in Table 5-12). 이에 2015년에 수집된 51개 농가 샘플 데이터를 이용하여 모집단의 평균을 추정하는 통계적 추론을 모수적인 방법으로 풀어보았다. 2015년의 51개의 당근농가의 영농활동 데이터를 이용하여 각 농가의 온실가스 발생량을 분석한 결과 (Figure 5-25), 평균적으로 810.8 $kgCO_2e/1,000㎡$의 온실가스를 발생시켰으며, 그때의 표준편차는 461.7 $kgCO_2e/1,000㎡$로 매우 크게 나타났다. 51개의 표본 수(n), 표본의 평균($\bar{x}$), 표본의 표준편차(s)를 이용하여 95%의 신뢰수준($\alpha = 0.05$)에서의 신뢰구간 중 하한값을 산정한 결과, 95% 신뢰수준 하에서 해당년도의 평균보다 온실가스 배출량이 낮다고 표현할 수 있는 기준값은 684.1 $kgCO_2e/1,000㎡$다. 51개의 농가 샘플 데이터를 large sample로 모집

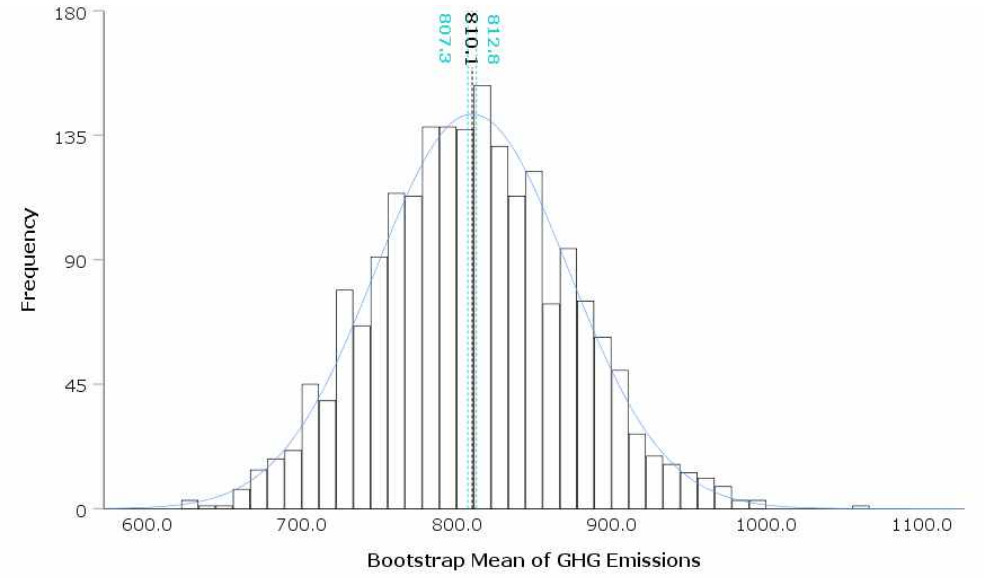


[Figure 5-25] Frequency of GHG emissions of carrot farming in 2015. The histogram of the 51 observations is overlaid with a normal curve. Three values, shown with dotted lines in the graph, indicate the lower limit of a 95% CI, average value, and upper limit of a 95% CI with carrot farming observations (N=51).

단이 정규분포를 따른다는 가정하에 모집단의 평균이 포함될 구간을 95%의 신뢰수준에서 산정하였으나, 샘플의 표준편차가 461.7 $kgCO_2e/1,000㎡$ 정도로 산포도가 매우 큰 것으로 나타났다.

SI-PM in Table 5-12와 같이 당해년도의 농업환경을 반영할 수 있는 모수적 방법에도 불구하고 수집된 농가의 샘플 수가 모집단을 대표할 수 없을 정도로 작을 경우에는 보다 정교한 분석 방식으로 부트스트래핑 기법을 적용한 비모수적 방법을 사용하였다 (SI-NPM in Table 5-12). 2015년 기준으로 한국의 당근을 재배하는 농가는 총 4,878호이며, 이는 당근 농가의 모집단 수라고 볼 수 있다. 95%의 신뢰수준에서 margin of error이 3% 일 때, 모집단을 대표할 수 있는 표본수는 최소 876개이며, 심지어 margin of error을 5%로 고려한다고 해도 최소 357개의 표본이 필요하다. 따라서 식(5-11)으로 결정된 최소 표본수에 비해 실제 표본수는 51개로 매우 적으므로, 당근 농가 51개의 표본을 이용하여 모집단의 분포를 추정하기에는 무리가 있다.

이에 51개의 당근농가의 영농활동 데이터를 2,000번 반복한 부트스트랩 평균은 1,000㎡의 면적에서 당근 생산시 810.1 $kgCO_2e$의 온실가스를 발생시켰으며, 그때의 표준편차는 62.1 $kgCO_2e/1,000㎡$이다. 2,000개의 부트스트래핑 표본 수(n), 표본의 평균($\bar{x}$), 표본의 표준편차(s)를 이용하여 95%의 신뢰수준($\alpha = 0.05$)에서의 신뢰구간 중 하한값 산정한 결과, 95% 신뢰수준 하에서 해당년도의 평균보다 온실가스 배출량이 낮다고 표현할 수 있는 기준값은 807.3 $kgCO_2e/1,000㎡$이다 (Figure 5-26). 51개의 샘플을 이용하여 모집단의 분포를 정규분포로 가정한 방법보다 부트스트래핑을 이용하는 방법이 표본의 수를 증가(51개에서 2,000개)시키면서 표준편차(461.7에서 62.1)를 더욱 감소하여 산포도를



[Figure 5-26] Frequency of GHG emissions of carrot farming with 2,000 times bootstrapping samples in 2015. The bootstrapping samples are normally distributed, as shown by the histogram of 2,000 bootstrapping samples overlaid with a normal curve. Three specific values, shown with dotted lines in the graph, indicate the lower limit of a 95% CI, average value, and upper limit of 95% CI with bootstrapping carrot farming observations (N=2,000).

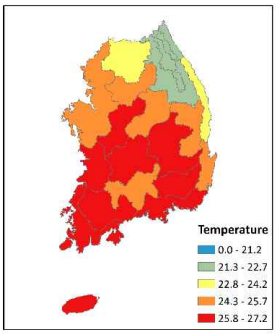
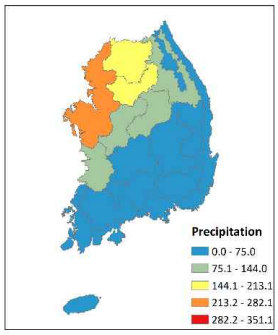
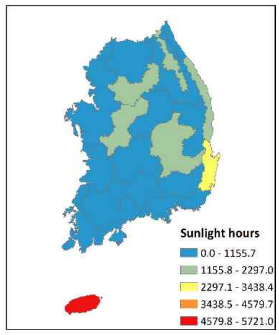
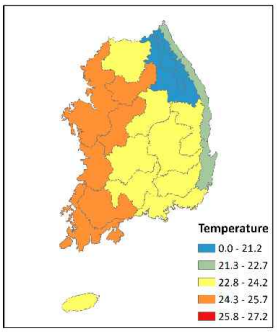
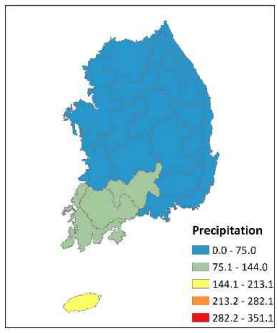
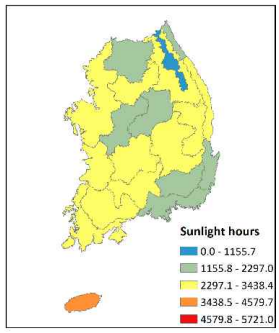
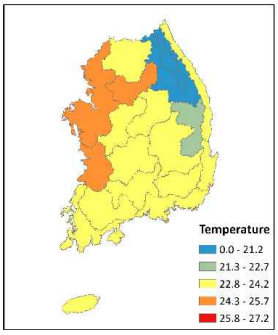
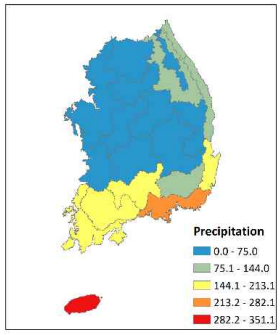
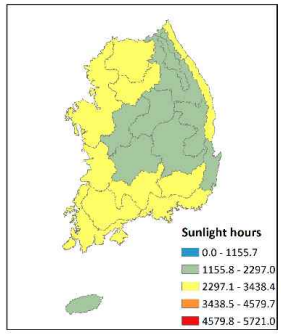
줄일 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 모집단의 평균값을 어떤 특정한 신뢰도(예: 95%, 99% 등) 이상의 확률로 포함할 것으로 추정되는 구간인 신뢰구간을 좁힘으로써 모집단의 평균에 대한 더 정확한 추정이 가능해진다(Sharpe, 2004). 또한, 측정의 정확도를 나타내는 표준에러(Standard error, $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$)는 표본 추출에 의한 추정치와 모집단의 평균 간의 거리를 나타내는 지표로 사용된다. 51개 샘플데이터의 SE인 64.65이었으나, 2000개의 부트스트래핑 표본의 SE는 2.9로 에러가 눈에 띄게 감소함으로써 정확도가 상승한 것으로 나타났다.

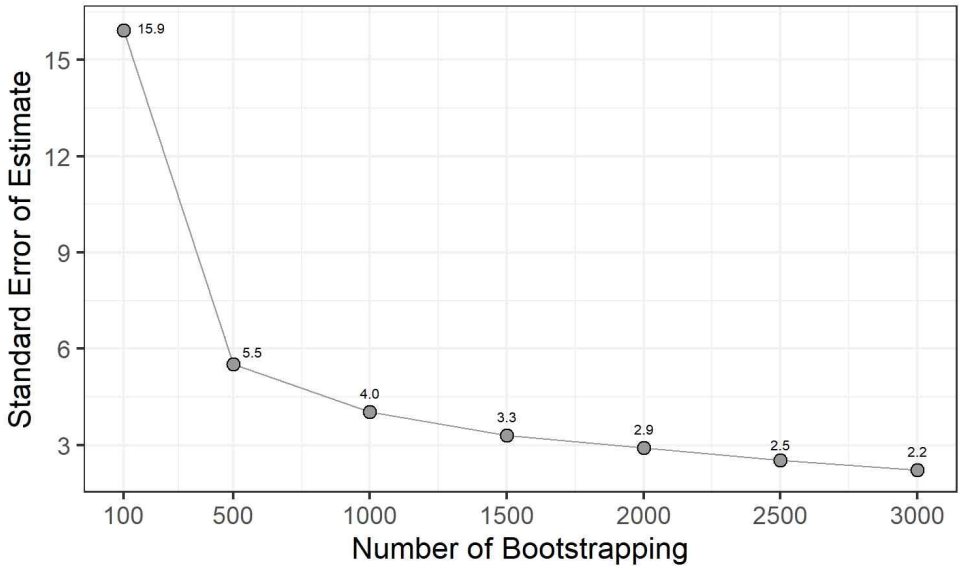
4. 고찰

공산품과 달리 농산물은 지역이나 연도별로 농산물 생산에 영향을 미치는 재배환경의 편차가 크다는 특징이 있다. Table 5-13과 같이 동일한 기간이라고 할지라도 지역별로 기온, 강수량, 일조시간과 같은 기상요인이 지역별로 편차가 크다. 농산물 재배 시 기상뿐만 아니라 토양상태, 직전 재배작물의 종류, 병충해 등 재배환경에 따라 농가별로 투입물의 차이가 발생한다. 이로 인하여 동일한 작물을 동일한 연도에 재배했음에도 불구하고 Figure 5-23과 같이 농가별로 투입재에 대한 편차가 크다. 본 연구에서 사용한 당근 샘플의 경우 4개의 시도지역에서 수집한 활동데이터를 이용하여 전국의 당근에 대한 일관적인 기준을 마련하는데에 초점을 맞췄다. 그러나 향후 농산물 온실가스 산정 기초자료 등 데이터가 축적된 후 인증기준을 강화할 때에는 지역별로 그 기준을 설정하는 방안에 대한 고려도 필요하다.

온실가스 배출량 산정 시 전체 환경부하의 5% 미만의 배출기여도 항목에 대해서는 국내외 탄소라벨링 제도에서도 데이터 수집기준에서 공식적으로 해당 항목을 제외(Cut-off)하고 있다. 이에 국내 저탄소농산물 인증제도의 온실가스 배출량에서도 작물보호제 사용에 따른 온실가스 배출량이 모든 작물군(식량작물, 채소, 과수, 특용작물 등)에서 5% 미만의 배출기여도를 나타내어 작물보호제 항목은 온실가스 산정에서 제외하고 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 2015년의 당근 농가 51개의 샘플에서는 작물보호제와 기타농자재 항목이 전체의 0.5-0.7% 수준이며 에너지의 간접배출 항목 역시 3.4% 수준으로 나타났다. 본 연구에서는 온실가스 발생기여도의 5% 미만 항목도 총 온실가스 발생량에 포함하였으나, 온실가스

[Table 5-13] Annual distribution of agricultural meteorology by agricultural belt

Day	Temperature (℃)	Precipitation (mm)	Sunlight hours (hr)
Mid-July, 2019			
Mid-July, 2015			
Mid-July, 2011			



[Figure 5-27] Sensitivity results of standard error of estimate (SEM) by number of bootstrapping replications

발생량은 작물 재배에 필요한 투입재의 양에 기인하므로 각 농산물의 종류별 재배특성과 더불어 매년 기후와 토양 등 재배환경에 따라 영농자재의 투입량 등의 편차가 클 수밖에 없다. 이에 국가 온실가스 배출량 산정 및 기준 마련 시 작물보호제만을 제외(cut-off)하는 일관된 적용이 아니라 농산물의 종류 및 재배환경을 고려하여 어느 항목을 분석에 포함 혹은 제외하는 데에 추가적인 고민이 필요하다.

부트스트랩 반복 횟수는 일반적으로 Diciccio & Efron(1996)가 제안한 것과 같이 최소한 2,000번 반복수행하지만, 최근 Banjanovic & Osborne (2016)은 컴퓨팅 기술의 발달로 5,000번 반복을 제안하고 있다. 이렇게 부트스트래핑 데이터셋은 모집단을 대표할 수 있는 샘플의 수를 복제함으로써 본래의 데이터셋의 추정치보다 더욱 높은 신뢰성을 확보할 수 있다(Toma *et al.*, 2017). 높은 신뢰성을 확보하기 위하여 적정한

반복 횟수는 분석하고자 하는 데이터셋마다 상이하나, 본 연구에서는 부트스트랩 반복 횟수를 달리하며 표준오차의 변화를 살펴보았다(Figure 5-27). 반복 횟수는 100, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000번을 수행하여 표준오차의 민감도를 평가해본 결과, 반복횟수를 증가시킬수록 표준오차가 감소하는 경향을 보였다. 표준오차의 감소폭이 비교적 평평해지는 수준은 약 2,000번의 반복횟수부터 인 것으로 나타났다. 향후 비모수적 방법을 이용하여 저탄소농산물 인증기준을 새로 마련할 경우에는 작물별로 적정 수준의 반복 횟수를 산정하여 부트스트랩 반복 기준을 제시할 수도 있다.

5. 소결

본 연구에서는 농업 생산시스템의 불확실성을 고려하여 통계적으로 유의미한 저탄소농산물 인증기준을 평가하였다. 당근을 대상으로 국가에서 발행하고 있는 농업투입재에 대한 자료를 바탕으로 전과정평가를 이용하여 추정한 대상 농산물의 온실가스 발생량을 추정하였다. 이를 기반으로 현재 국가에서 사용하고 있는 인증기준인 과거 5개년의 온실가스 배출량 평균을 산정하였다. 또한 당해년도 기상 환경을 반영할 수 있는 당해년도의 51개 농가 샘플 데이터를 이용하여 전체 농가의 평균을 추정하는 통계적 추론방법(모수추정과 비모수추정)으로 인증기준을 산정하였다. 마지막으로, 이를 국가 평균 기준과 본 연구에서 제안하는 통계적 추론 기반의 인증기준과의 비교를 통하여 농업생산 환경의 불확실성을 고려한 적절한 농산물 인증기준의 통계적 대안을 제시하였다.

그 결과 현재 한국에서 시행하고 있는 저탄소농산물 인증기준 산정방법인 5개년 절삭평균값은 국가평균값으로 대표하기에는 무리가 있는 것으로

판단된다. 왜냐하면, 5개년도의 절삭평균값은 해당 연도의 기후와 토양의 상태, 직전 재배작물의 종류 등 농자재 투입물에 영향을 미칠 수 있는 요소를 반영하지 못하기 때문이다. 특히 특정 연도의 이상 극치값이 발생하거나 데이터를 제공하는 연도가 5개년 미만일 경우에는 산술평균으로 국가의 평균값이라고 제시하기에는 대표성이 결여되기 때문이다.

본 연구에서 제안하는 통계적 추론기반의 인증 평가기준의 경우 당해년도 샘플데이터를 이용하여 국가 평균을 추정하는 모수적 방법을 이용하더라도 모집단의 수에 비해 표본의 수가 부족할 경우, 모집단을 대표할 수 없어 표본평균에 대한 불확실성이 커지게 된다. 이를 보완하기 위하여 표본의 수를 증가시키는 것이 중요하다. 그러나 추가적인 현장조사를 통해 당해년도의 해당 농산물에 대한 평균을 대표할 수 있을 만큼의 충분한 샘플 수를 확보하는 것은 불가능하며, 추가적으로 샘플의 수를 증가시키는 것은 시간과 비용이 과다 투입되어 비효율적이다. 이를 보완하기 위하여 당해년도 샘플데이터를 부트스트래핑 기법을 이용해 표본수를 증가시키는 것이 측정의 정확도를 높이는데 기여함을 알 수 있다. 궁극적으로 부트스트래핑 기법은 더 많은 데이터를 확보하여 측정치가 더욱 정확해짐으로써 높은 신뢰도를 제고할 수 있다. 이에 당해년도의 농가 샘플 데이터를 이용하여 부트스트래핑 기법을 적용하여 당해년도의 기상요인과 재배환경을 반영하면서도 통계적으로 유의미하며 합리적인 인증기준을 제시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

제 6 장

종합 결론

종합 결론

본 연구에서는 농촌지역의 주요 현안을 정부의 사업들을 대상으로 도출하고, 도출된 지역문제를 데이터사이언스를 기반으로 시스템 접근방법으로 해법을 찾을 수 있는 방안을 모색하고자 하였다. 이를 위해 농촌지역을 구성하는 요소들을 중심으로 상호작용을 기반으로 한 시스템으로 정의하고, 시스템의 목적은 지역이 주민들의 삶의 질 향상을 위해 수행하는 기능인 의료복지, 교육·문화, 정주여건, 경제활동 등으로 설정하였다. 이러한 농촌지역은 기능 중심의 시스템 목적을 달성하기 위하여 구성요소들이 상호작용을 이루는 시스템의 기본적인 특성을 바탕으로 분석하였다. 시스템 관점에서 농촌지역의 핵심과제에 대한 해결방안은 가용할 수 있는 대용량의 데이터를 효과적으로 처리하여 시스템의 개별 주체들의 연결성을 기반으로 한 상호관계를 바탕으로 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 농촌지역에 대한 생태-사회 시스템의 현안들을 시스템 관점에서 해결할 수 있는 문제로 정의하고, 데이터사이언스 기법을 이용하여 해결방안을 제시하는 일련의 과정으로 연구를 수행하였다. 이를 위해 먼저 (1) 농촌지역의 문제를 정주환경개선과 소득향상의 핵심

분야인 교육, 의료, 유통개선, 부가가치 창출과 관련한 주제의 현안으로 정형화하였다. (2) 각각의 현안들에 대하여 시스템 관점에서 문제를 정의하고 데이터사이언스 기반의 분석기법을 바탕으로 문제를 해결하는 일련의 과정을 수행하였다. (3) 이러한 분석과정을 통해 농촌지역 시스템을 구성하는 다양한 요소들의 데이터에 대한 활용가능성과 적절한 분석기법에 대한 적용성을 평가하였다. 이러한 일련의 과정에 대하여 연구의 구성에 따라 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

제1장과 제2장에서는 데이터사이언스 기법을 이용하여 지역문제를 해결하기 위한 연구배경과 목적을 서술하고 데이터사이언스에 기초하여 지역의 다양한 문제를 해결하기 위한 구체적인 방법론에 관한 선행 연구를 고찰하였다. 각 방법론에 대한 연구내용 및 성과를 바탕으로 지역문제 해결을 위한 방법론의 적용가능성과 적합성을 제시하였다.

제3장 지역문제 도출 및 유형화 방안 연구에서는 정부별 국정운영 5개년 계획에 제시된 국가 비전이 지역개발사업과 관련한 국정 목표 및 국정전략, 국정과제에 어떠한 영향을 미치는지 관련 문헌을 고찰함으로써 지역문제를 도출하고 유형화하였다. 지역개발사업과 관련한 문헌을 정성적으로 검토한 결과 정부별로 지역문제를 바라보는 관점이 다름에도 불구하고 지역문제는 크게 생활환경정비를 통한 정주환경 개선과 경제활동 다각화를 통한 소득향상 방안을 모색하는 두 가지 방향으로 귀결됨을 제시하였다.

제4장 지역 정주환경 개선을 위한 시스템 분석 연구에서는 크게 지역이 당면한 현안 중 교육분야와 응급의료분야의 문제를 정의하고 이를 시스템 관점에서 해결하는 연구를 수행하였다. 교육분야에서는 교육시설의 배치와 이용에 대한 문제를 해결하고 응급의료분야에서는 실시간 접근성의 문

제를 해결하고자 하였다.

교육분야의 경우 학령인구 감소에 따른 농촌지역의 교육시설 통폐합을 위해 휴리스틱 공간 최적화 기법 중 하나인 p-median 기법을 이용하여 학교의 운영 혹은 폐교에 대한 의사결정을 내릴 수 있는 모델을 개발하였다. 이를 통해 지자체의 운영상 여러 가지 장애요인으로 인해 폐교가 불가피하다면, 단순히 시장원리에 따라 학생 수 감소로 인한 폐교가 아니라 형평성에 무게를 두어 학생들의 통학에 대한 기회비용을 고려한 합리적인 방안이 필요할 것으로 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 통학거리 뿐만 아니라 다양한 학교의 속성 정보(교원 수, 보유 시설, 통학버스 등)와 인구환경(마을 인구, 인구이동 등)을 반영하지 못하고 교육환경을 진단하였다. 향후 보다 합리적으로 학군을 재설정하고 폐교 대상이 될 학교의 우선순위를 설정하기 위해서는 학교의 속성정보와 인구환경을 동시에 고려할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다.

응급의료분야의 경우 도시와 농촌지역의 시간대별 실시간 도로속도 변화에 따른 응급의료 접근성 변화를 분석하고 이에 따른 응급의료 취약지와 응급환자 생존율을 평가하였다. 또한 다양한 응급상황 시나리오를 구축하여 상황별 생존확률 변화 분석을 통해 개선방안을 도출하였다. 이를 통해 도시와 농촌이 응급의료시설 접근성 측면에서 서로 다른 특성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 도시지역에서는 혼잡한 도로 교통 흐름이 접근성에 악영향을 미치며, 대조적으로 농촌지역에서는 응급의료시설과의 물리적 거리가 문제가 되었다. 또한 도로의 제한속도를 기준으로 응급의료 서비스 취약지역을 평가하면 실제 도로상황을 반영하지 못해 의료시설까지 걸리는 시간을 과소평가하는 것으로 나타났다. 이 연구는 응급의료 취약지를 설정할 때 기존 정부의 도로속도에 따른 접근법에 한계가 있음을

밝히며, 보다 현실성을 갖추기 위해서는 시간대별 활동 데이터(실시간 주행 속도)와 지리 데이터(공간정보)의 활용이 반드시 필요하다는 점을 시사하였다.

제5장 지역 소득향상을 위한 시스템 분석 연구에서는 유통개선 및 부가가치 창출 분야의 문제를 정의하고 이를 해결하는 연구를 수행하였다. 유통개선분야에서는 농산물의 복잡한 유통체계의 문제를 해결하고 부가가치 창출분야에서는 인증제의 정량적 기준 설정 문제를 해결하고자 하였다.

유통개선의 경우 농산물 운송의 한계비용을 최소화하기 위하여 공간빅데이터를 이용하여 광역교통망의 유휴공간과 친환경 운송수단을 이용한 새로운 형태의 스마트로지스틱스 시스템(AgroSLS)을 개발하였다. 또한, 이 AgroSLS의 환경성 및 적용가능성을 평가하기 위하여 기존의 우체국 택배망을 이용한 농산물 운송과 AgroSLS를 이용한 운송의 운송 가능 범위, 운송 소요시간, 에너지 사용량에 따른 환경성 등을 평가하였다. 그 결과 AgroSLS는 소포장된 농산물을 운송하는 데에 에너지 사용량이 현저히 감소함에 따라 환경적으로 탄소저감효과가 있으며, 운송의 단계를 감축시킴으로써 단계별로 물류의 상하차 작업에 따른 지연시간이 감축되는 효과를 분석하였다. 이를 통해 농산물 거래의 물류 리드타임을 감축시킴으로써 상품의 신선도를 확보할 수 있는 방안을 모색하였으며, 주문 즉시 24시간 이내에 상품을 받아 볼 수 있는 즉각 배송 및 실시간 화물 위치 추적이 가능한 시스템을 제안하였다. 더 나아가 신기술과 유휴공간을 기반으로 한 물류 혁신을 통해 에너지 사용량과 그에 따른 환경영향을 최소화 할 수 있는 최적의 라스트마일(Lastmile)을 구현하는 시스템을 제시하였다.

부가가치 창출 분야에서는 농업 생산환경의 불확실성을 고려하여 저탄

소농산물인증제도를 대상으로 통계적 추론기반의 인증기준 설정 모델을 개발하였다. 기존 시행하고 있는 저탄소농산물 인증기준 산정방법인 5개년 절삭평균값은 당해연도의 기후, 토양상태, 직전 재배작물의 종류 등과 같은 농업환경을 반영하지 못함에 따라 국가평균값으로 대표하기에는 무리가 있음을 주장하였다. 이를 보완하고자 당해년도 샘플데이터를 이용하여 국가 평균을 추정하는 통계적 추론 기법을 제시하였으며, 당해연도 농가 활동데이터의 대표성에 대한 문제를 보완하기 위하여 모수적 기법과 비모수적 기법을 비교하였다. 그 결과 샘플수가 모집단을 대표할 만큼 충분하게 확보되었다면 모수적 추정기법을 이용하여 신뢰구간을 추정하는 방법이 타당하다. 그러나 그렇지 않은 경우에 샘플의 수를 증가시키는 것은 시간과 비용이 과다 투입되어 비효율적이므로 비모수 추정기법을 이용하여 신뢰구간을 추정하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 당해년도 샘플데이터를 부트스트래핑 기법을 더 많은 데이터를 확보하여 측정치의 정확성을 더욱 향상시켰다. 이에 당해년도의 농가 샘플 데이터를 이용하여 부트스트래핑 기법을 적용하여 당해년도의 기상요인과 재배환경을 반영하면서도 통계적으로 유의미하며 합리적인 인증기준을 제시하는 것을 제안하였다.

이러한 연구의 과정을 통해 지역개발 및 공간계획 분야에 다음과 같은 학술적 중요성을 시사할 수 있다. (1) 지리정보와 통계정보뿐만 아니라 실시간 교통정보 등 다양한 형태의 빅데이터를 기반으로 농촌지역이 가진 특성들을 고려하여 문제를 해결할 수 있는 데이터사이언스 기반의 정량적인 방안을 제시하였다. (2) 시스템 관점에서 지역의 문제를 정형화하여 해결할 수 있는 정량적인 분석기법에 대한 사례를 통해 실천적인 방안을 모색할 수 있도록 방향을 제시하였다.

본 연구는 농촌지역의 특성을 반영한 적절한 형태의 빅데이터를 활용하고 데이터사이언스 기법을 이용하여 현안에 대한 시스템 분석을 수행하였다. 이를 통해 기존의 행정구역 단위의 통계자료를 기반으로 한 정책 수립과 같은 프로세스를 탈피하고 보다 정량적인 방법론을 통해 데이터를 기반으로 한 정책을 수립할 수 있는 기초를 마련한 것에 본 연구의 의의가 있다고 사료된다. 이는 향후 농촌지역의 보건·복지, 교육, 산업 등 다양한 분야에 수요맞춤형 증거기반 정책의 의사결정을 지원할 수 있으며, 관련된 법·제도 개편에 합리적이고 정량적인 근거를 마련하고 기초자료로 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

제 1 장 서 론

Banks, G. (2010). Evidence-based policy making: What is it? How do we get it?. In WORLD SCIENTIFIC REFERENCE ON ASIA-PACIFIC TRADE POLICIES: 2: Agricultural and Manufacturing Protection in Australia, 719-736. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=1616460

Bell, G., Hey, T., & Szalay, A. (2009). Beyond the data deluge. Science, 323(5919), 1297-1298. doi: https://doi.org/10.1126/science.1170411

Boon, W., & Edler, J. (2018). Demand, challenges, and innovation. Making sense of new trends in innovation policy. Science and Public Policy, 45(4), 435-447. doi: https://doi.org/10.1093/scipol/scy014

Commission on Evidence-Based Policymaking, United States. (2017). "The Promise of Evidence-Based Policymaking." Report of the Commission on Evidence-Based Policymaking. Washington, DC. Available at https://permanent.access.gpo.gov/gpo84663/cep-final-report.pdf.

Davies, P. (1999). What is evidence based education? British journal of educational studies, 47(2), 108-121. doi: https://doi.org/10.1111/1467-8527.00106

DeLaurentis, D., & Callaway, R. K. C. (2004). A system of systems perspective for public policy decisions. Review of Policy research, 21(6), 829-837. doi: https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.2004.00111.x

Dobbs, R., Manyika, J., and Woetzel, J. (2015). The Four Global Forces Breaking all the Trends, book excerpt from No Ordinary Disruption, McKinsey Global Institute. Available at: https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/ou

r-insights/the-fourglobal-forces-breaking-all-the-trends"

Fobia, A. C., Holzberg, J., Eggleston, C., Childs, J. H., Marlar, J., & Morales, G. (2019). Attitudes towards data linkage for evidence-based policymaking. Public Opinion Quarterly, 83(S1), 264-279. doi: https://doi.org/10.1093/poq/nfz008

Foundation, P.-M. (2014). Evidence-based Policymaking: A guide for effective government.

Fredriksson, C., Mubarak, F., Tuohimaa, M., & Zhan, M. (2017). Big data in the public sector: A systematic literature review. Scandinavian Journal of Public Administration, 21(3), 39-62.

Gray, J. A., & Chambers, L. W. (1997). Evidence-based healthcare: how to make health policy & management decisions. Canadian Medical Association. Journal, 157(11), 1598. doi:https://doi.org/10.1016/s0741-5214(99)70404-0

Hahn, L. K. (2008). Sharing Data, Constructing Science, Science, 320(5880): 1162-1163. doi: https://10.1126/science.1155430

Head, B. W. (2010). Reconsidering evidence-based policy: Key issues and challenges, Policy and Society, 29(2), 77-94. doi: https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2010.03.001

Höchtl, J., Parycek, P., & Schöllhammer, R. (2016). Big data in the policy cycle: Policy decision making in the digital era. Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce, 26(1-2), 147-169. doi: https://doi.org/10.1080/10919392.2015.1125187

Jackson, S., D. Hitchins, and H. Eisner. (2010). "What is the Systems Approach?." INCOSE Insight, 13(1), 41-43. doi: https://doi.org/10.1002/inst.201013141a

Jette, D. U., Bacon, K., Batty, C., Carlson, M., Ferland, A., Hemingway, R. D., & Volk, D. (2003). Evidence-Based Practice: Beliefs, Attitudes, Knowledge, and Behaviors of Physical Therapists. Physical therapy, 83(9), 786-805. doi: https://doi.org/10.1093/ptj/83.9.786

Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017, May). Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. In 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), 1-6. IEEE. doi: https://doi.org/10.1109/icc.2017.7996801

Kim, G. H., Trimi, S., & Chung, J. H. (2014). Big-data applications in the government sector. Communications of the ACM, 57(3), 78-85. doi: https://doi.org/10.1145/2500873

Kumar, K., Zindani, D., & Davim, J. P. (2019). Industry 4.0: developments towards the fourth industrial revolution. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8165-2

Office, S. P. M. T. c. (1999). Professional policy making for the twenty century.

Pawson, R. (2006). Evidence-based policy: a realist perspective. Journal of Policy Practice, 7(4), 321-323. doi: https://doi.org/10.1080/15588740802262039

Prisecaru, P. (2017). The challenges of the industry 4.0. Global Economic Observer, 5(1), 66.

Sanderson, I. (2002). Evaluation, policy learning and evidence-based policy making. Public administration, 80(1), 1-22. doi: https://doi.org/10.1111/1467-9299.00292

Sharma, A., & Pandey, H. (2020). Big data and analytics in industry 4.0. In A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development (pp. 57-72). Springer, Cham.

Shin, G. & S. Gwag, 2017. The relationship between knowledge hiding and knowledge sharing: Through determinants of knowledge hiding and knowledge sharing, Knowledge Management Research, 18(2): 129-157. doi: http://dx.doi.org/10.15813/kmr.2017.18.2.007"

Tien, J. M. (2003). Toward a decision informatics paradigm: a real-time, information-based approach to decision making. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 33(1),

102-113. doi: https://doi.org/10.1109/tsmcc.2003.809345

van der Hoeven, M. (2007), "Evidence-based Policy: Yes, but Evidence-based Practice as Well!", in Evidence in Education: Linking Research and Policy, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264033672-16-en.

Velásquez, N., Estevez, E., & Pesado, P. (2018). Cloud computing, big data and the industry 4.0 reference architectures. Journal of Computer Science and Technology, 18(03), e29. doi: https://doi.org/10.24215/16666038.18.e29

Westbrook, L., Pera, A., Neguriță, O., Grecu, I., & Grecu, G. (2019). Real-Time Data-driven Technologies: Transparency and Fairness of Automated Decision-Making Processes Governed by Intricate Algorithms. Contemporary Readings in Law and Social Justice, 11(1), 45-50. doi: https://doi.org/10.22381/crlsj11120197

Young, A. T., Rivera, K. R., Erb, P. D., & Daniele, M. A. (2019). Monitoring of microphysiological systems: integrating sensors and real-time data analysis toward autonomous decision-making. ACS sensors, 4(6), 1454-1464. doi: https://doi.org/10.1021/acssensors.8b01549

Zerhouni, E. A. (2009). Peer-to-peer sharing spurs scientific innovation. Science Translational Medicine, 1(9). doi: https://10.1126/scitranslmed.3000584

제 2 장 기본 이론

Abdelkarim, A. (2019). Integration of Location-Allocation and Accessibility Models in GIS to Improve Urban Planning for Health Services in Al-Madinah Al-Munawwarah, Saudi Arabia. Journal of Geographic Information System, 11(06), 633-662. doi: https://doi.org/10.4236/jgis.2019.116039

Alonso, W. (1961). Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent. Cambridge, Mass.: Harvard University Press. doi: https://doi.org/10.4159/harvard.9780674730854

Askari, E. A., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). A capacitated bike sharing location-allocation problem under demand uncertainty using sample average approximation: A greedy genetic-particle swarm optimization algorithm. Scientia Iranica, 24(5), 2567-2580. doi: https://doi.org/10.24200/sci.2017.4391

Ballou, R. H., Rahardja, H., & Sakai, N. (2002). Selected country circuity factors for road travel distance estimation. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 36(9), 843-848. doi: https://doi.org/10.1016/s0965-8564(01)00044-1

Bell, G., Hey, T., Szalay, A. (2009). "COMPUTER SCIENCE: Beyond the Data Deluge". Science. 323 (5919): 1297 – 1298. doi:10.1126/science.1170411.

Blengini, G. A., & Busto, M. (2009). The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). Journal of Environmental Management. 90: 231-248. doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.006

Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A. A., & Aghamohammadi, H. (2018). The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(2), 44. doi: https://doi.org/10.3390/ijgi7020044

Brady, H. E. (2019). The challenge of big data and data science. Annual Review

of Political Science, 22, 297-323. doi: https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-090216-023229

Brentrup, F., J. Küsters, J. Lammel, P. Barraclough and H. Kuhlmann. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. the application to N fertilizer use in winter wheat production systems. European Journal of Agronomy. 20: 265-279. doi: https://doi.org/10.1016/s1161-0301(03)00039-x

Charles, R., O. Jolliet and G. Gaillard (1998). Taking into account quality in the definition of functional unit and influence on the environmental optimisation of fertilizer level. Proceedings of the International Conference on Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-industry and Forestry, 11-16.

Choi, D. J., & Park, J. H. (2018). Analysis of Dispatch Strongpoint for the Fire Accidents Based on Spatial Location-Allocation Model in the Chungnam Province, South Korea. Journal of The Korean Association of Regional Geographers, 24(2), 267-278. doi: https://doi.org/10.26863/jkarg.2018.05.24.2.267

Chukwusa, E., & Comber, A. (2018). The Impact of Residential and Non-Residential Demand on Location-Allocation Decision-Making: A Case Study of Modelling Suitable Locations for EMS in Leicester and Leicestershire, England UK. Journal of Geographic Information System, 10, 381-397. doi: https://doi.org/10.4236/jgis.2018.104020

Church, R. L. (2002). Geographical information systems and location science. Computers & Operations Research, 29(6), 541-562. doi: https://doi.org/10.1016/s0305-0548(99)00104-5

Cleveland, W. S. (2001), “Data Science: An Action Plan for Expanding the Technical Areas of the Field of Statistics,” International Statistical Review, 69, 21–26. doi: http://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2001.tb0047 Hx

Cooper L. (1963). Location-Allocation Problems. Operations Research, 11(3): 331-343. doi: https://doi.org/10.1287/opre.11.3.331

Davis, G. A., & Davis, G. A. (1993). The use of life cycle assessment in environmental labelling programs. Office of Pollution and Toxics, United States Environmental Protection Agency.

de Oliveira Lage, M., Machado, C. A. S., Monteiro, C. M., Berssaneti, F. T., & Quintanilha, J. A. (2019). Location Suitable for the Implementation of Carsharing in the City of São Paulo. Procedia Manufacturing, 39, 1962-1967. doi: https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.235

Densham, P. J., & Rushton, G. (1992). A more efficient heuristic for solving largep-median problems. Papers in Regional Science, 71(3), 307-329. doi: https://doi.org/10.1007/bf01434270

Dhar, V. (2013). "Data science and prediction". Communications of the ACM. 56 (12): 64–73. doi:10.1145/2500499. S2CID 6107147. Archived from the original on 9 November 2014. Retrieved 2 September 2015.

Dodge, Y. (2006) The Oxford Dictionary of Statistical Terms, Oxford University Press. ISBN 0-19-920613-9

Donoho, D. (2015, September). 50 years of data science. In Princeton NJ, Tukey Centennial Workshop. 1-41.

Ecoinvent Center. (2004). Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent Report 15.

EPA NRMRL Staff (6 March 2012). "Life Cycle Assessment (LCA)". EPA.gov. Washington, DC. EPA National Risk Management Research Laboratory (NRMRL).

Fricker, J. (1986). Circuity factor values in ridesharing: a detailed update. Transportation Research Record, 1082, 3440.

Frischknecht, R., and R. Rebitzer. (2005). The Ecoinvent Databae System: A

Comprehensive Web-based LCA Database. Journal of Cleaner Production. 13:1337-1343. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.05.002

Giacomin, D. J., & Levinson, D. M. (2015). Road network circuity in metropolitan areas. Environment and Planning B: Planning and Design, 42(6), 1040-1053. doi: https://doi.org/10.1068/b130131p

Halberg, N., van der Werf, H. M. G., Basset-Mens, C., Dalgaard, R., & de Boer, I. J. M. (2005). Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. Livestock Production Science, 96, 33-50. doi: https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.05.013

Hanserud, O. S., Cherubini, F., Øgaard, A. F., Müller, D. B., & Brattebø, H. (2018). Choice of mineral fertilizer substitution principle strongly influences LCA environmental benefits of nutrient cycling in the agri-food system. Science of The Total Environment, 615, 219-227. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.215

Harada, H., Kobayashi, H., and H. Shindo. (2007). Reduction in Greenhouse gas emissions by No-tilling Rice Cultivation in Hachirogata Polder, Northern Japan: Life Cycle Inventory Analysis. Soil Science and Plant Nutrition. 53: 668-677. doi: https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00174.x

Harun, S. N., Hanafiah, M. M., & Aziz, N. I. H. A. (2021). An LCA-based environmental performance of rice production for developing a sustainable agri-food system in Malaysia. Environmental management, 67(1), 146-161. doi: https://doi.org/10.1007/s00267-020-01365-7

Hayashi, C. (1998) “What is Data Science? Fundamental Concepts and a Heuristic Example.” In Data Science, Classification, and Related Methods, Proceedings of the Fifth Conference of the International Federation of Classification Societies (IFCS-96), (C. Hayashi, K. Yajima, H. H. Bock, N. Ohsumi, Y. Tanka, and Y. Baba, eds) Tokyo: Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-4-431-65950-1_3

Hayashi, K. (2013). Practical Recommendations for Supporting Agricultural Decisions through Life Cycle Assessment based on Two Alternative View of Crop Production the Example of Organic Conversion. International Journal of Life Cycle Assessment, 18: 331-339. doi: https://doi.org/10.1007/s11367-012-0493-9

Hays, William Lee, (1973) Statistics for the Social Sciences, Holt, Rinehart and Winston, p.xii, ISBN 978-0-03-077945-9

Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. Land Economics, 39: 81-90. doi: https://doi.org/10.2307/3144521

Ilgin, Mehmet Ali; Surendra M. Gupta (2010). "Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery (ECMPRO): A Review of the State of the Art". Journal of Environmental Management. 91 (3): 563 – 591. doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.09.037.

Jeff Leek (12 December 2013). "The key word in "Data Science" is not Data, it is Science". Simply Statistics. Archived from the original on 2 January 2014. Retrieved 1 January 2014.

Jeon, J., Park, M., Yoon, S., Suh, K., & Kim, E. (2017). Calculation of road circuity factors considering public facilities and road condition in rural area. Journal of Korean Society of Rural Planning, 23(2), 55-65. doi: https://doi.org/10.7851/ksrp.2017.23.2.055

Kelleher, J. D., & Tierney, B. (2018). Data science. MIT Press. doi: https://doi.org/10.7551/mitpress/11140.001.0001

Kim, C. S., Jung, H. Y., & Kim, K. S. (2008). A Study on the Evaluation of Management and Re-certification for Green Buildings Certified in Korea. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 24(9), 77-84.

Kim, J. H., Kim, H. W., Kim, J. T., & Tea, C. S. (2014). A study on the improvement of ecological environment certification criteria in the

G-SEED. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 30(11), 195-202. doi: https://doi.org/10.5659/jaik_pd.2014.30.11.195

Kim, K. S. (2015). Changes and Strategies in 2nd cycle of Hospital Accreditation Program. Korea Journal of Hospital Management, 20(1), 65-70.

Kim, Y. R., & Yoon, S. Y. (2011). Estimation of Carbon Footprint in Cherry-tomato Production System and Carbon Labelling in Agriculture Product. Korean Journal of Organic Agriculture, 19(3), 291-308.

Klöpffer, W. & Grahl, B. (2014). Life Cycle Assessment (LCA). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. doi: https://doi.org/10.1002/9783527655625

Ko, D. (2010). A Study on Building Energy Efficiency Requirements of LEED 2009 (Version 3.0) and Korea Green Building Rating System : Analysis and Comparison of Energy Saving and Annual Consumption, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 26(5): 343-354

Lee, J.-S., Kim, G.-Y., Choi, E.-J., Lee, S.-I., Kim, A.-R., Jeong, D.-K., Park, H.-K., & Lee, G.-Z. (2019). Establishment of GHGs Emission Reduction Evaluation Methodology on Land Use Change of Paddy Field from Rice to Upland Crop Cultivation. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 52(4), 352-358. doi:http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2019.52.4.352

Lim, S., Lee, C., and Yang, S., (2010). Environmental Impact and External Cost Analysis by LCA: Conventional vs. Organic Rice, Korean Journal of Organic Agriculture, 18(1): 1-19.

Lim, S.-S. (2016). Promotion of the Low-carbon Agriculture Certification System. Korean Journal of Organic Agriculture, 24(2), 201-219. doi:http://doi.org/10.11625/KJOA.2016.24.2.201

Liu, T., Wang, Q., & Su, B. (2016). A review of carbon labeling: standards, implementation, and impact. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 68-79. doi:http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.050

Macnaughton, D. B. Should We Change the Name of the Field of Statistics to

“Data Science”?.

Mann, Prem S. (1995). Introductory Statistics (2nd ed.). Wiley. ISBN 0-471-31009-3. doi: https://doi.org/10.2307/2532974

Matthews, H. Scott, Chris T. Hendrickson, and Deanna H. Matthews (2014). Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter. pp. 83-95.

Mishra, S., Sahu, P. K., Pani, A., & Mehran, B. (2021). Spatial Planning Framework for Development of Rural Activity Centers: Method of Location Allocation, Effect on Trip Length, and Policy Implications. Papers in Applied Geography, 1-20. doi: https://doi.org/10.1080/23754931.2021.1901237

Moore, David. (1992). "Teaching Statistics as a Respectable Subject". In F. Gordon; S. Gordon (eds.). Statistics for the Twenty-First Century. Washington, DC: The Mathematical Association of America. pp. 14-25. ISBN 978-0-88385-078-7.

Moses, Lincoln E. (1986). Think and Explain with Statistics, Addison-Wesley, ISBN 978-0-201-15619-5.

Mosteller, F. and Tukey, J. W. (1968), “Data analysis, including statistics.” In Handbook of Social Psychology, 2nd ed. (G. Lindzey and E. Aronson, eds.) 2, 80-203, Reading MA: Addison-Wesley.

Murray, A. T. (2010). Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. Journal of Geographical Systems, 12(3), 335-354. doi: https://doi.org/10.1007/s10109-009-0105-9

Muth, R. F., 1969. Cities and Housing: The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use. Chicago: University of Chicago Press

Niles, S., & Hanson, S. (2001, December). A new era of accessibility: Or is it. In Workshop on access to geographic information and participatory approaches using geographic information, Spoleto, Italy (pp. 6-8).

Notarnicola, B., Hayashi, K., Curran, M. A., & Huisingh, D. (2012). Progress in working towards a more sustainable agri-food industry. Journal of Cleaner Production, 28, 1-8. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.007

Panichelli, L., & Gnansounou, E. (2008). GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities. Biomass & Bioenergy, 32(4), 289-300. doi: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.10.008

Pardhan, A., Shrestha, D.S., McAloon, A., Yee, W., Haas, M., and J.A. Duffield. (2011). Energy Life-Cycle Assessment of Soybean Biodiesel Revisited. Transactions of the ASABE. 54(3): 1031-1039. doi: https://doi.org/10.13031/2013.37088

Park, B., Lee, K. J., & Choi, K. (2013). Optimum location choice for bike parking lots using heuristic p-median algorithm. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 33(5), 1989-1998. doi: https://doi.org/10.12652/ksce.2013.33.5.1989

Powers, S.E. (2005). Quantifying Cradle-to-Farm Gate Life-Cycle Impacts Associated with Fertilizer Used for Corn, Soybean, and Stover Production. Technical Report NREL/TP-510-37500. National Renewable Energy Laboratory. doi: https://doi.org/10.2172/1216408

Ramezani, A., Malek, M. R., & Mohammadi, N. (2021). Optimizing airport service performance by spatial multi objective location allocation problem. Spatial Information Research, 29(3), 309-318. doi: https://doi.org/10.1007/s41324-020-00351-9

Romijn, Jan-Willem (2014). "Philosophy of statistics". Stanford Encyclopedia of Philosophy.

Roy, P., Ijiri, T., Nei, D., Orikasa, T., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). Life cycle inventory (LCI) of different forms of rice consumed in

households in Japan. Journal of Food Engineering. 91(1), 49-55. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.08.005

Ryu, J. H., Jung, S. C., Kim, G. Y., Lee, J. S., & Kim, K. H. (2012). LCA (Life Cycle Assessment) for evaluating carbon emission from conventional rice cultivation system: Comparison of top-down and bottom-up methodology. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 45(6), 1143-1152. doi: https://doi.org/10.7745/kjssf.2012.45.6.1143

Ryu, J. H., Kwon, Y. R., Kim, G. Y., Lee, J. S., Kim, K. H., & So, K. H. (2012). Life cylcle assessment (LCA) on rice production systems: Comparison of greenhouse gases (GHGs) emission on conventional, without agricultural chemical and organic farming. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 45(6), 1157-1163. doi: https://doi.org/10.7745/kjssf.2012.45.6.1157

Sayarshad, H. R., & Chow, J. Y. (2017). Non-myopic relocation of idle mobility-on-demand vehicles as a dynamic location-allocation-queueing problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 106, 60-77. doi: https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.08.003

Shim, K. M., Jeong, J. S., So, K. H., Lim, S. T., Roh, K. A., Kim, G. Y., ... & Lee, D. B. (2010). Environmental Impact Assessment of Agricultural Systems Using the Life Cycle Assessment. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(2), 237-241.

So, K. H., Park, J. A., Lee, G. Z., Shim, K. M., Ryu, J. H., & Roh, K. A. (2010a). Estimation of carbon emission and application of LCA (Life Cycle Assessment) from rice (Oryza sativa L.) production system. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(5), 716-721.

So, K. H., Lee, G. Z., Kim, G. Y., Jeong, H. C., Ryu, J. H., Park, J. A., & Lee, D. B. (2010b). Estimation of carbon emission and LCA (Life Cycle Assessment) from soybean (Glycine max L.) Production System. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(6), 898-903.

So, K. H., Park, J. A., Huh, J. H., Shim, K. M., Ryu, J. H., Kim, G. Y., ... & Lee, D. B. (2010c). Estimation of carbon emission and LCA (Life Cycle Assessment) from pepper (Capsicum annuum L.) production system. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(6), 904-910.

So, K. H., Ryu, J. H., Shim, K. M., Lee, G. Z., Roh, K. A., Lee, D. B., & Park, J. A. (2010d). Estimation of carbon emission and application of LCA (life cycle assessment) from potato (Solanum tuberosum L.) production system. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 43(5), 728-733.

Son, M. J., Kim, I., & Cha, K. H. (2013). Water footprint assessment on major agricultural products – A case of water footprint assessment on cabbages. The Korean Society of Life Cycle Assessment, 14(2), 98-109.

Son, W. L., Lee, J. S., Seol, S. H., Jung, S. C., Lee, J. S., and Lim, S. T. (2019). Analysis of Greenhouse Gas Emissions for Domestic Pesticide Product Based on Life Cycle Assessment. Journal of Climate Change Research, 10(4), 361-370. doi: https://doi.org/10.15531/ksccr.2019.10.4.361

Song, S. Y., Lee, H. H., & Lee, H. W. (2008). Average score-to-allotted point ratio analysis of each assessment item of green apartment complex certification system. Journal of the Korean Solar Energy Society, 28(4), 1-9.

Tali, J. A., Malik, M. M., Divya, S., Nusrath, A., & Mahalingam, B. (2017). Location – allocation model applied to urban public services: spatial analysis of fire stations in Mysore urban area Karnataka, India. Indonesian Journal of Geography. 52(2), 201-207. doi: https://doi.org/10.22146/ijg.25365

Teitz, M. B. (1968, December). Toward a theory of urban public facility location. Papers in the Regional Science Association, 21(1), 35-51. doi: https://doi.org/10.1007/bf01952720

Teitz, M. B. and Bart, P. (1968) Heuristic Methods for Estimating the Generalized

Vertex Median of a Weighted Graph. Operations Research, 16(5), 955-961. doi: https://doi.org/10.1287/opre.16.5.955

Tong, D., & Church, R. L. (2012). Aggregation in continuous space coverage modeling. International Journal of Geographical Information Science, 26(5), 795-816. doi: https://doi.org/10.1080/13658816.2011.615748

Tony Hey; Stewart Tansley; Kristin Michele Tolle (2009). The Fourth Paradigm: Data-intensive Scientific Discovery. Communications in Computer and Information Science. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33299-9_1

Tukey, J. W. (1962). The Future of Data Analysis. The annals of mathematical statistics, 33(1), 1-67. doi: https://doi.org/10.1214/aoms/1177704711

Upton, G., Cook, I. (2008). Oxford Dictionary of Statistics, OUP. ISBN 978-0-19-954145-4.

Von Thunen, J. H. (1826). Der Isolierte Staat. In Beziehung auf Landwrirtschaft und Nationalekonomie, Hamburg.

Weber, A. (1929). Theory of the Location of Industries, University of Chicago Press.

Wu, C. F. J. (1997), "Statistics = Data Science?" Retrieved at: July 11, 2017 from http://www2.isye.gatech.edu/~jeffwu/presentations/datascience.pdf

Yang, Y., Tao, M., & Suh, S. (2018). Geographic variability of agriculture requires sector-specific uncertainty characterization. The International Journal of Life Cycle Assessment, 23(8), 1581-1589. doi:http://doi.org/10.1007/s11367-017-1388-6

Yeh, A. G.-O., & Chow, M. H. (1996). An integrated GIS and location-allocation approach to public facilities planning: An example of open space planning. Computers, Environment & Urban Systems, 20(4&5), 339-350. doi: https://doi.org/10.1016/s0198-9715(97)00010-0

Yoon, D. H., Nam, K. W., Oh, S. Y., & Kim, G. B. (2019). Improvement of

Certification Criteria based on Analysis of On-site Investigation of Good Agricultural Practices (GAP) for Ginseng. Journal of Food Hygiene and Safety, 34(1), 40-51. doi: https://doi.org/10.13103/jfhs.2019.34.1.40

Yoon, J. and Lee, S. (2010). A Study on the Location Analysis of Public Service Facilities Considering Spatial Efficiency and Equity. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 13(2): 1-10.

Yoon, S. Y., & Yang, D. W. (2012). Life Cycle Assessment (LCA) for Calculation of the Carbon Emission Amount of Organic Farming Material-With Oyster-shell, Expanded Rice Hull, Bordeaux Mixture Liquid. Korean Journal of Organic Agriculture, 20(4), 475-490. doi: https://doi.org/10.11625/kjoa.2012.20.4.475

제 3 장 지역문제 도출 및 유형화 방안 연구

Cha, J. (2017). Performance evaluation of the balanced development policy : Park Chung-hee government to Park Geun-hye government, Social Science Research, Sogan University, 25(2), 130-174. doi: https://doi.org/10.17787/jsgiss.2017.25.2.130

Chungcheongnam-do (2015). Identifying the 'Administrative Project to Make Village in Chungchungnam-do' at once, 2015. 07.

Government Performance Evaluation Committee. Available at: http://https://www.evaluation.go.kr/

Jeong, D. (2018). Quality of Life in Rural Areas and Its Policy Implications. Health and Welfare Forum. 2018(11), 48-61.

Kang, H. (2007). The Evaluation of Regional Development Policy (2003-2007) in Korea, Citizen & the World, 11, 149-175.

Kang, S. et al. (2016). Service for establishing development direction, including performance analysis of general agricultural and fishing village development projects. Jeju-si Jeju Special Self-Governing Province.

Kim, H. (2017). Analysis of Issues of Moon Jae-in Administration's Decentralized and Balanced Regional Development Policy focusing on Implement System. Local Administrative Research, 31(3), 51-80.

Kim, J. and O. Kwon. (2002). Revitalization of Localities and the Promotion of Small Towns, Urban Information, Korean Association of Land and Urban Planning, 2002(12), 2-15.

Kim, J. (2015). Policy Direction and Policy Issues for the Revitalization of Rural Centers, ChungNam Institute, Basic Material on the Discussion of Subcommittee on the Improvement of Settlement Conditions, May 21th 2013.

Kim, K. and S. Lee. (2004). A Study on the Change Process and Characteristics

of the Development Policy in Rural Area. Journal of the Architectural Institute of Korea, 6(3), 1-14.

Korea Press Foundation, BIGKinds, Available at: http://bigkinds.or.kr/

Lee, B. (2005). A Study on the Direction of Rural Development Projects. Journal of the Korean Society of Rural Planning, 11(1), 67-75.

Lee, D., Choi, K., and J. Seong. (2006). A Study on the Efficient Support System for Rural Area Development and Welfare. Korea Rural Economic Institute.

Lee, E., John, J., and J. Baek (2017). A Study of Multicultural Space in Seoul: Analysing the Coverage of Foreign Communities with News Big Data Analytics 'BigKinds' for 27 Years, Journal of Media Economics & Culture, 15(2), 7-43. doi: https://doi.org/10.21328/jmec.2017.5.15.2.7

Lee, J., Bae, Y., Kim, T., Lee, J., and K. Suh (2013). Quantitative Effect Evaluation and Spatial Autocorrelation Analysis of Rural Development Projects. Journal of the Korean Society of Rural Planning, 19(2), 107-120. doi: https://doi.org/10.7851/ksrp.2013.19.2.107

Lee, S., Cha, J., Lee, Y., and Y. Hong. (2016). Current Status and Direction of Rural Landscape Management in Korea, auri brief, 129, Architecture & Urban Research Institute, 2016.5.15.

Lee, S.. (2019). Trends in Regional Policy and Research Direction in the Future. National Territory Research. The Korea Spatial Planning Review, 100, 10-14. doi: https://doi.org/10.15793/kspr.2019.100..002

Lee, Y.. (2009). A Comparative Study on the Regional Development Policies of the Roh and the Lee Administration. Journal of National Association of Korean Local Government, 10(4), 25-46.

Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, Available at: http://www.mafra.go.kr/

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (2016). Annual Report of

Specialized Support Agencies for the Improvement of Quality of Life for Farmers and Fishermen. 2016.12.

Ministry of Culture, Sports and Tourism, Available at: http://www.korea.kr/

Ministry of the Interior. (2007). The Project for the Promotion of Local Small Towns Comprehensive Report on Performance Evaluation Results, Ministry of the Interior and Council on the Promotion of Small Towns.

Oh, S. and S. Rho. (2014). Retrospect and Prospect of the Regional Development Policies: Comparative Analysis between Roh Moo-Hyun and Lee Myung-Bak Government, Korean Journal of Local Government & Administration Studies, 28(2), 63-85. doi: https://doi.org/10.18398/kjlgas.2014.28.2.63

Sim, J., Song, M., Seong, J., Jeong, D., Jeong, M., and K. Min. (2017). A Study on the Policy of Regional Development for the Future of Rural Settlement. Korea Rural Economic Institute.

Song, M., Lee, D., Park, J., Choi, Y., Yoo, H., and Y. Jo. (2008). A Study on the Development of SiGun Basic Living Area Policy. Korea Rural Economic Institute.

Song, M., Park, S., Lee, K., and J. Seong. (2002). A Study on the Establishment of the Integrated Rural Periodic System in Urban and Rural Areas. Korea Rural Economic Institute.

Song, Y.. (2017). Retrospective of Regional Development Policy since 2000s and Policy Direction of New Government, KIET Industrial Economy, Korea Institute of Industrial Economics and Trade.

Suh, K., Lee, J., Kim, H., Jung, N., Cho, S., and J. Lee. (2003). Evaluation Index of Rural Development for Producing Potential Value of Rural Regions on a Commercial Scale. Journal of the Korean Society of Rural Planning, 9(1), 47-53.

제 4 장 지역 정주환경 개선을 위한 시스템 분석 연구

제1절 학령인구 감소에 따른 통학접근성 변화를 고려한 교육시설의 입지 최적화 모델 개발

Afsharian, M. (2019). A frontier-based facility location problem with a centralised view of measuring the performance of the network. Journal of the Operational Research Society, 1-16. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1639476

Alexander, K., & Alexander, M. D. (2001). American Public School Law. West/Thomson Learning Belmont, CA.

Alsbury, T. L., & Shaw, N. L. (2005). Policy implications for social justice in school district consolidation. Leadership and Policy in Schools, 4(2), 105-126. doi:https://doi.org/10.1080/15700760590965578

Bajerski, A. (2015). Erosion of the school catchment system as local policy: The case of Pozna?, Poland. KEDI Journal of Education Policy, 12(1), 41-60.

Bard, J., Gardener, C., & Wieland, R. (2006). Rural School Consolidation: History, Research Summary, Conclusions, and Recommendations. Rural Educator, 27(2), 40-48. doi: https://doi.org/10.35608/ruraled.v27i2.497

Berry, C. (2006). School Consolidation and Inequality. Brookings Papers on Education Policy, 9, 49-75. Harris School of Public Policy Studies, University of Chicago. Available at: https://www.jstor.org/stable/20067277

Cho, C.-H., & Lee, H.-R. (2015). A study on the comparison analysis about the pre to post educational environment of the integrated small schools in rural area. The Journal of Korean Institute of Educational Facilities, 22(6), 3-11. https://doi.org/https://doi.org/10.7859/kief.2015.22.6.003

Choi, E. (2007). The differentiation of education environment by Region. Journal of Korean Association of Space & Environment Research, 27, 150-171. https://www.earticle.net/Article/A88531

Choi, J. (2008). An Analysis on Educational Policy for Rural Small Schools. Local Education Management 23(2), 55-76.

D'Haese, S., De Meester, F., De Bourdeaudhuij, I., Deforche, B., & Cardon, G. (2011). Criterion distances and environmental correlates of active commuting to school in children. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 8(1), 1-10. doi: https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-88

Gristy, C. (2019). Journeys to school in rural places: Engaging with the troubles through assemblages. Journal of rural studies, 72, 286-292. doi: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.10.016

Haiming, L., Gaowa, N., & Shu, W. (2013). Closures and Consolidation: The Effective Path to Improving the Overall Quality of Basic Education. Chinese Education & Society, 46(5), 36-55. doi: https://doi.org/10.2753/CED1061-1932460503

Hakimi, S. L. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. Operations research, 12(3), 450-459. doi: https://doi.org/10.1287/opre.12.3.450

Hanley, P. F. (2007). Transportation cost changes with statewide school district consolidation. Socio-Economic Planning Sciences, 41(2), 163-179. doi: https://doi.org/10.1016/j.seps.2005.10.004

Howley, C., Howley, A., & Shamblen, S. (2001). Riding the school bus: A study of the rural versus suburban experience in five states. Journal of Research in Rural Education, 17(1), 41-61.

Irawan, C. A. (2016). Aggregation and non aggregation techniques for large facility location problems-a survey. Yugoslav Journal of Operations Research, 25(3). doi: http://doi.org/10.2298/YJOR1409090011

Jang, S. (2004). Differences in educational conditions between regions and measures to improve the operation of local education finance for

improvement of educational conditions.

Jeon, J., Kim, S., Suh, K., & Yoon, S. (2016). Anlaysis of Village Safety Index using Accessibility to Public Facilities. Journal of Korean Society of Rural Planning, 22(2), 121-129. doi: http://dx.doi.org/10.7851/ksrp.2016.22.2.121

Jeong, C. (2002), A Study on the Educational Exchange Programs between Urban-Rural Elementary Schools, Community Development Review 28(2), 19-34.

Jeong, D., Hong, J., Ji, Y., & Lee, H. (2011). A comparative analysis of inter-school equity in public school resources across 16 metropolitan and provincial offices of education. The Journal of Educational Administration, 29(4), 275-295.

Jeong, M. (2014). Analysis of the Causes of Conflict in a Non-consistent for Policy of Small Rural School. Korean Journal for the Conflict Management Studies, 1(1), 183-199.

Jun, B. (2016). Effect of Grid Cell Size on the Accuracy of Dasymetric Population Estimation. Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies, 19(3), 127-143. doi: http://dx.doi.org/10.11108/kagis.2016.19.3.127

Kearns, R. A., Lewis, N., McCreanor, T., & Witten, K. (2010). School closures as breaches in the fabric of rural welfare: community perspectives from New Zealand. In Welfare Reform in Rural Places: Comparative Perspectives. Emerald Group Publishing Limited. doi: https://doi.org/10.1108/S1057-1922(2010)0000015013

Kim, J., & Lee, J. (2020). A Study on the Efficient Selection of the Assets in the Reduced Search Space using Monte-Carlo Genetic Algorithm. Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 30(1), 21-27. doi: http://dx.doi.org/10.5391/JKIIS.2020.30.1.21

Kim, S. (2009). A Study on the Functional Mixed-use between School Buildings

and Community Facilities. Journal of the Korean Institute of Educational Facilities 16(1), 51-19.

Kim, S., Jeon, J., & Suh, K. (2020). Evaluating Educational Fairness of Commuting Distances for Rural Villages following the Closing of Elementary Schools. Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers, 62(1), 29-38. doi: https://doi.org/10.5389/KSAE.2020.62.1.029

Kim, S., Kim, T., & Suh, K. (2017). Evaluation of Accessibility to Elementary and Secondary Educational Facilities on Village Level in Rural Areas. Journal of Korean Society of Rural Planning, 23(3), 121-131. doi: https://doi.org/10.7851/Ksrp.2017.23.3.121

Kim, S., Kim, T., Suh, K. (2015). Assessment of Accessibility to Medical Facilities in Rural Areas using Real Road Distance focusing on Pyeongchang-gun, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 57(4), 39-49. doi: https://doi.org/10.5389/KSAE.2015.57.4.039

Kim, T., Shin. Y., Lee, J., & Suh, K. (2013). Calculation of Regional Circuity Factors using Road Network Distance in South Korea. Journal of Korea Planners Association. 48(4), 319-329.

Ko, Y. D., & Oh, Y. (2018). A study on integrated operation of school bus in suburbs. Journal of the Korean Society for Quality Management, 46(4), 899-910. doi: https://doi.org/10.7469/JKSQM.2018.46.4.899

Korean Educational Development Institute (2014). Standards and Methods of Educational Environment Evaluation, Korean Educational Development Institute.

Kovács, K. (2012). Rescuing a small village school in the context of rural change in Hungary. Journal of rural studies, 28(2), 108-117. doi: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2012.01.020

Kvalsund, R. (2019). Bigger or better? Research-based reflections on the cultural deconstruction of rural schools in norway: Metaperspectives. In

Geographies of Schooling (pp. 179-217). Springer.

Kwon, O. (2016). Policy and Response to the Consolidation of Small Schools, Chuncheon: Gangwon Development Institute, Policy Memo 2016(3), 2016.06.17.

Lee, B. (2017). A Study on the Utilization of Educational Infrastructure by Decreasing the Number of Students, Korean Educational Development Institute. Issue Paper 2017-02-03.

Lee, D. (2012). A Study on the Spatial Inequality of Educational Opportunity in an Urban Area: Focusing on the Opportunity to Learn English by School Native English Instructors. Journal of Korean Association of Space & Environment Research, 22(1), 81-113.

Lee, D.-M., & Lee, J. (2008). A Study on students admission plan that results caused by the School facility differentials between newly opened schools and established ones. Korean Journal of Teacher Education, 24(4), 19-35.

Lee, H., & Dong, J. (2011). A study on the student walking distance for efficient new school arrangement in urban housing site. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 27(6), 77-84.

Lee, H., Choi, J., Kim, J., and C. Kim (2011). A Study on the Restructuring Strategies of the Education Sector against the Decrease of the School Age. Korean Educational Development Institute.

Lin, J.-J., Huang, Y.-C., & Ho, C.-L. (2014). School accessibility and academic achievement in a rural area of Taiwan. Children's Geographies, 12(2), 232-248. doi: https://doi.org/10.1080/14733285.2013.812308

Liu, A., Kelobonye, K., Zhou, Z., Xu, Q., Xu, Z., & Han, L. (2020). School Commuting Mode Shift: A Scenario Analysis for Active School Commuting Using GIS and Online Map API. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(9), 520. doi: /https://doi.org/10.3390/ijgi9090520

Ma, S. (2010). The Actual Conditions of Utilization of Closed School and Policy

Tasks in Rural Areas, Research Policy Report P134.

Macdonald, L., McCrorie, P., Nicholls, N., & Olsen, J. R. (2019). Active commute to school: does distance from school or walkability of the home neighbourhood matter? A national cross-sectional study of children aged 10-11 years, Scotland, UK. BMJ open, 9(12), e033628. doi: http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033628

Min, B. and H. Hong (2011). A Study on the Optimal Size of School and Class for Effective Curricular Implementation. Asian Journal of Education 12(2), 1-24.

Ministry of Education (2017). Current School Status, School Alimi. Available at: http://www.schoolinfo.go.kr/ Accessed 4Oct. 2019.

Mladenovi?, N., Brimberg, J., Hansen, P., & Moreno-P?rez, J. A. (2007). The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. European Journal of Operational Research, 179(3), 927-939. doi: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.034

Morojele, P., & Muthukrishna, N. (2012). The journey to school: Space, geography and experiences of rural children. Perspectives in Education, 30(1), 90-100. doi: https://hdl.handle.net/10520/EJC87658

Murray, A. T., Xu, J., Wang, Z., & Church, R. L. (2019). Commercial GIS location analytics: capabilities and performance. International Journal of Geographical Information Science, 33(5), 1106-1130. doi: https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1572898

Nelson, N. M., Foley, E., O'gorman, D. J., Moyna, N. M., & Woods, C. B. (2008). Active commuting to school: how far is too far? International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 5(1), 1-9. doi: https://doi.org/10.1186/1479-5868-5-1

Oh, S. and D. Kim (2017). Aanlysis of curriculum satisfaction of small-sized school consolidation: Focusing on the elementary school in Ulsan province.

The Korea Educational Review, 23(2), 55-76.

Park, B., Lee, K. J., & Choi, K. (2013). Optimum location choice for bike parking lots using heuristic p-median algorithm. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 33(5), 1989-1998. doi: https://doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.5.1989

Qingyang, G. (2013). The reasons and solutions for problems in rural school consolidation. Chinese Education & Society, 46(5), 76-95. doi: https://doi.org/10.2753/CED1061-1932460506

Reese, J. (2006). Solution methods for the p?median problem: An annotated bibliography. NETWORKS: an international Journal, 48(3), 125-142. doi: https://doi.org/10.1002/net.20128

Ryu, B., Kim, K., Lee, J., Kim, G., Kim, D., & Nam, K. (2018). Exploring the Direction of Education Policy in the Age of Population Barriers -Focused on the Decreasing Population and Decreasing Number of Students in Local Areas-. Available at: https://www.kedi.re.kr/khome/main/research/selectPubForm.do

Seo, H. (2017). The Effect of the Elementary School Closure on the Rural Community, Doctoral Dissertation, Seoul National University, Seoul.

Sipple, J. W., Francis, J. D., & Fiduccia, P. C. (2019). Exploring the gradient: The economic benefits of 'nearby'schools on rural communities. Journal of rural studies, 68, 251-263. doi: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.02.018

Statistics Korea (2017), Population Census, Korean Statistical Information Service, Available at: http://kosis.kr/ Accessed 1Oct. 2019.

Taillard, D. (2003). Heuristic methods for large centroid clustering problems. Journal of heuristics, 9(1), 51-73. doi: https://doi.org/10.1023/A:1021841728075

Talen, E. (2001). School, community, and spatial equity: An empirical investigation of access to elementary schools in West Virginia. Annals of the

Association of American Geographers, 91(3), 465-486. doi: https://doi.org/10.1111/0004-5608.00254

Villa, M., & Knutas, A. (2020). Rural communities and schools? Valuing and reproducing local culture. Journal of rural studies, 80, 626-633. doi: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.09.004

Voulgaris, C. T., Smart, M. J., & Taylor, B. D. (2019). Tired of commuting? Relationships among journeys to school, sleep, and exercise among American teenagers. Journal of Planning Education and Research, 39(2), 142-154. doi: https://doi.org/10.1177/0739456X17725148

Whitaker, R. (1983). A fast algorithm for the greedy interchange for large-scale clustering and median location problems. INFOR: Information Systems and Operational Research, 21(2), 95-108. doi: https://doi.org/10.1080/03155986.1983.11731889

제2절 실시간 교통정보 기반의 응급의료 취약지와 생존률 분석

Barbarisi, I., Bruno, G., Diglio, A., Elizalde, J., Piccolo, C. (2019). A spatial analysis to evaluate the impact of deregulation policies in the pharmacy sector: Evidence from the case of Navarre. Health Policy, 123, 1108-1115, doi:10.1016/j.healthpol.2019.08.010.

Bigdeli, M., Khorasani-Zavareh, D., Mohammadi, R. (2010), Pre-hospital care time intervals among victims of road traffic injuries in Iran. A cross-sectional study. BMC Public Health, 10, 406, doi: https://doi.org/10.1186/1471-2458-10-406.

Bruno, G., Cavola, M., Diglio, A., Piccolo, C. (2020). Improving spatial accessibility to regional health systems through facility capacity management. Socio-Economic Planning Sciences, 71, 100881, doi: https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100881.

Carr, B. G., Branas, C. C., Metlay, J. P., Sullivan, A. F., Camargo, C. A., Jr.

(2009). Access to emergency care in the United States. Annals of Emergency Medicine, 54(2), 261-269, doi: https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2008.11.016.

Carr, B.G., Caplan, J.M., Pryor, J.P., Branas, C.C. (2006). A meta-analysis of prehospital care times for trauma. Prehospital Emergency Care, 10(2), 198-206, doi: https://doi.org/10.1080/10903120500541324.

Chin, H.S., Park, M.J., Yun, D.S. (2014). Evaluating Accessibilities to Village Community Centers via Rural Amenity Resources Information. Journal of Korean Society of Rural Planning. 20(2), 57-69, doi: https://doi.org/10.7851/ksrp.2014.20.2.057.

Chng, C.L., Collins, J., Eaddy, S. (2001). A comparison of rural and urban emergency medical system (EMS) personnel: A Texas study. Prehospital and Disaster Medicine. 16(3), 159-165, doi: https://doi.org/10.1017/S1049023X00025917.

Council, E. R. (2000). Part 6: Advanced cardiovascular life support. Section 8: Postresuscitation care. European Resuscitation Council. Resuscitation, 46(1-3), 195-201.

Dejen, A., Soni, S., Semaw, F. (2019). Spatial accessibility analysis of healthcare service centers in Gamo Gofa Zone, Ethiopia through Geospatial technique. Remote Sensing Applications: Society and Environment. 13, 466-473, doi: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.01.004.

Ehara, A. (2018). Accessibility of pediatric inpatient services in Japan. PLoS ONE 13(8), e0201443, doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201443.

Eisenberg, M.S., Cummins, R.O., Damon, S., Larsen, M.P., Hearne, T.R. (1990). Survival rates from out-of-hospital cardiac arrest: Recommendations for uniform definitions and data to report. Annals of Emergency Medicine. 19(11), 1249-1259, doi: https://doi.org/10.1016/S0196-0644(05)82283-8.

Eisenberg, M. S., Cummins, R. O., Larsen, M. P. (1991). Numerators,

denominators, and survival rates: Reporting survival from out-of-hospital cardiac arrest. The American Journal of Emergency Medicine. 9(6), 544-546, doi: https://doi.org/10.1016/0735-6757(91)90108-V.

Eisenberg, M. S., Horwood, B. T., Cummins, R. O., Reynolds-Haertle, R., Hearne, T.R. (1990). Cardiac arrest and resuscitation: A tale of 29 cities. Annals of Emergency Medicine 19(2), 179-186, doi: https://doi.org/10.1016/S0196-0644(05)81805-0.

ESRI. What is the ArcGIS Network Analyst Extension? Available online: https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-network-analyst-.htm (accessed on 16 September 2020).

Gottschalk, A., Burmeister, M.-A., Freitag, M., Cavus, E., Standl, T. (2002). Influence of early defibrillation on the survival rate and quality of life after CPR in prehospital emergency medical service in a German metropolitan area. Resuscitation 2002, 53(1), 15-20, doi: https://doi.org/10.1016/S0300-9572(01)00483-X.

Grossman, D. C., Kim, A., Macdonald, S. C., Klein, P., Copass, M. K., Maier, R. V. (1997). Urban-rural differences in prehospital care of major trauma. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care, 42(4), 723-729.

Hasselqvist-Ax, I., Riva, G., Herlitz, J., Rosenqvist, M., Hollenberg, J., Nordberg, P., Ringh, M., Jonsson, M., Axelsson, C., Lindqvist, J. (2015). Early cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. The New England Journal of Medicine, 372, 2307-2315, doi: https://doi.org/10.1056/NEJMoa1405796.

Hawkes, C., Booth, S., Ji, C., Brace-McDonnell, S.J., Whittington, A., Mapstone, J., Cooke, M.W., Deakin, C.D., Gale, C.P., Fothergill, R. (2017). Epidemiology and outcomes from out-of-hospital cardiac arrests in England. Resuscitation, 110, 133-140. doi: https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.10.030

Health and Welfare. (2018). Public Health and Medical Services Act. In Article 12 (Designation and Public Announcement of Areas Lacking Medical Services); Korea Legislative Research Institute: Bangok-dong, Korea.

Health and Welfare. (2019). Regional Public Health Act. In Article 3 of the Framework Act on Health and Medical Services; Act No. 16262; Korea Legislative Research Institute: Bangok-dong, Korea.

HIRAS. Healthcare Bigdata Hub; Health Insurance Review & Assessment Service: Wonju-si, Korea. Available online: https://opendata.hira.or.kr/home.do (Accessed on 17 September 2020).

Hoffman, E. (1976). Mortality and morbidity following road accidents. Annuals of Royal College of Surgeons of England. 58(3), 233-240.

Holmberg, M. J., Vognsen, M., Andersen, M. S., Donnino, M. W., Andersen, L. W. (2017). Bystander automated external defibrillator use and clinical outcomes after out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. Resuscitation, 120, 77-87, doi: https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.09.003.

Ikram, S.Z., Hu, Y., Wang, F. (2015). Disparities in spatial accessibility of pharmacies in Baton Rouge, Louisiana. Geographical Review, 105(4), 492-510, doi: https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2015.12087.x.

Intelligent Transport Systems (ITS). Availabe online: http://nodelink.its.go.kr/ (accessed on 16 September 2020).

Jeon, J., Kim, S., Kwon, S. M. (2020). The Effects of Urban Containment Policies on Public Health. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(9), 3275, doi: https://doi.org/10.3390/ijerph17093275.

Jeon, J., Kim, S., Suh, K., Yoon, S. (2016). Analysis of Village Safety Index using Accessibility to Public Facilities. Journal of Korean Society of Rural Planning., 22(2), 121-129, doi:https://doi.org/10.7851/ksrp.2016.22.2.121.

Jeon, J., Park, M., Jang, D., Lim, C., Kim, E. (2018). Vulnerable Analysis of

Emergency Medical Facilities based on Accessibility to Emergency Room and 119 Emergency Center. Journal of Korean Society of Rural Planning., 24(4), 147-155, doi: https://doi.org/10.7851/Ksrp.2018.24.4.147.

Jin, M., Liu, L., Tong, D., Gong, Y., Liu, Y. (2019). Evaluating the spatial accessibility and distribution balance of multi-level medical service facilities. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(7), 1150, doi: https://doi.org/10.3390/ijerph16071150.

Kim, S., Jeon, J., Suh, K. (2020). Evaluating Educational Fairness of Commuting Distances for Rural Villages following the Closing of Elementary Schools. The Korean Society of Agricultural Engineers, 62(1), 29-38, doi: https://doi.org/10.5389/KSAE.2020.62.1.029.

Kim, S., Kim, T., Suh, K. (2016). Analysis of the implication of accessibility to community facilities for land price in rural areas using a hedonic land price model. Journal of Korean Society of Rural Planning, 22(1), 93-100, doi: https://doi.org/10.7851/ksrp.2016.22.1.093.

Kim, S., Kim, T., Suh, K. (2015). Assessment of accessibility to medical facilities in rural areas using real road distance focusing on Pyeongchang-gun. The Korean Society of Agricultural Engineers, 57(4), 39-49, doi: https://doi.org/10.5389/KSAE.2015.57.4.039.

Kim, S., Kim, T., Suh, K. (2017). Evaluation of Accessibility to Elementary and Secondary Educational Facilities on Village Level in Rural Areas. Journal of Korean Society of Rural Planning, 23(3), 121-131, doi: https://doi.org/10.7851/Ksrp.2017.23.3.121.

Koh, J., Kim, Y., Han, S. (2005). A study on Supply Extension Device of AED. The journal of the Korean Society of Emergency Medical Technology, 9(2): 147-186.

KOSIS. (2017). Causes of Death Statistics; Korean Statistical Information Service, Statistics Korea: Daejeon, Korea.

KOSIS. (2019). Population Ageing; Korean Statistical Information Service, Statistics Korea: Daejeon, Korea.

Larsen, M. P., Eisenberg, M. S., Cummins, R. O., Hallstrom, A. P. (1993). Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: A graphic model. Annals of Emergency Medicine, 22(11), 1652-1658, doi: https://doi.org/10.1016/S0196-0644(05)81302-2.

Lee, E. (2014). Designing service coverage and measuring accessibility and serviceability of rural and small urban ambulance systems. Systems, 2(1), 34-53, doi: https://doi.org/10.3390/systems2010034.

Lee, S.Y., Do, Y.K., Do Shin, S., Park, Y.J., Ro, Y.S., Lee, E.J., Lee, K.W., Lee, Y.J. (2017). Community socioeconomic status and public access defibrillators: A multilevel analysis. Resuscitation, 120, 1-7, doi: https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.08.012.

Li, L., Du, Q., Ren, F., Ma, X. (2019). Assessing spatial accessibility to hierarchical urban parks by multi-types of travel distance in Shenzhen, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(6), 1038, doi: https://doi.org/10.3390/ijerph16061038.

Liu, S., Qin, Y., Xu, Y. (2019). Inequality and Influencing Factors of Spatial Accessibility of Medical Facilities in Rural Areas of China: A Case Study of Henan Province. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(10), 1833, doi: https://doi.org/10.3390/ijerph16101833.

Lloyd-Jones, D. M., Leip, E. P., Larson, M. G., d'Agostino, R. B., Beiser, A., Wilson, P., Wolf, P. A., Levy, D. (2006). Prediction of lifetime risk for cardiovascular disease by risk factor burden at 50 years of age. Circulation, 113(6), 791-798, doi: https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.548206.

May, S., Zhang, L., Foley, D., Brennan, E., O'Neil, B., Bork, E., Levy, P., Dunne, R. (2018). Improvement in Non-Traumatic, Out-Of-Hospital Cardiac

Arrest Survival in Detroit From 2014 to 2016. Journal of the American Heart Association, 7(16), e009831, doi: https://doi.org/10.1161/JAHA.118.009831.

Ministry of Health and Welfare (MHW). Availabe online: http://www.mohw.go.kr/react/index.jsp.

National Fire Agency (NFA). Availabe online: https://www.nfa.go.kr/nfa/ (accessed on 16 September 2020).

National Medical Center (NMC). Availabe online: https://www.nmc.or.kr/main.asp (accessed on 16 September 2020).

Neutens, T. (2015). Accessibility, equity and health care: Review and research directions for transport geographers. Journal of Transport Geography, 43, 14-27, doi: https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.12.006.

Nishi, T., Takei, Y., Kamikura, T., Ohta, K., Hashimoto, M., Inaba, H. (2015). Improper bystander-performed basic life support in cardiac arrests managed with public automated external defibrillators. The American Journal of Emergency Medicine, 33(1), 43-49, doi: https://doi.org/10.1016/j.ajem.2014.10.018.

Noble-Mathews, P.M. (2005). Pre-Hospital Care; Elsevier Health Sciences, pp. 61-69.

OECD. (2012). OECD Health Care Quality Review: Korea; Organization for Economic Cooperation and Development Publishing: Paris, France.

Park, Y. M., Shin, S., Lee, Y. J., Song, K. J., Ro, Y. S., Ahn, K. O. (2017). Cardiopulmonary resuscitation by trained responders versus lay persons and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest: A community observational study. Resuscitation, 118, 55-62, doi: https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.024.

Pu, Q., Yoo, E.-H., Rothstein, D.H., Cairo, S., Malemo, L. (2020). Improving the spatial accessibility of healthcare in North Kivu, Democratic Republic of

Congo. Applied Geography, 121, 102262, doi: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102262.

Rural Areas Information Service (RAISE). Availabe online: https://www.raise.go.kr/raise/index.do (accessed on 16 September 2020).

Shin, K., Lee, T. (2018). Improving the measurement of the Korean emergency medical System's spatial accessibility. Applied Geography, 100, 30-38, doi: https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.08.009.

Talen, E. (2001). School, Community, and Spatial Equity: An Empirical Investigation of Access to Elementary Schools in West Virginia, Annuals of the Association of American Geographers, 91(3): 465-486. doi: https://doi.org/10.1111/0004-5608.00254

Traffic and Road Information Service. Availabe online: http:// http://openapi.its.go.kr/data/centerTraffic.do (accessed on 16 September 2020).

Van den Heuvel, W., Ghinescu, M., Olaroiu, M. (2017). How to Prevent Preventable Death. SM Preventive Medicine and Public Health, 1(1), 1-5.

Wang, F. (2012). Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: A methodological review. Annals of the Association of American Geographers, 102(5), 1104-1112, doi: https://doi.org/10.1080/00045608.2012.657146.

Weber, E. J. (2009) Travel or Traffic: Either Way, Emergency Service May Be Delayed. Annals of Emergency Medicine, 54(2), 270-271, doi: https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2009.01.002.

Wielebski, Ł., Medy-ska-Gulij, B. (2019). Graphically supported evaluation of mapping techniques used in presenting spatial accessibility. Cartography and Geographic Information Science, 46(4), 311-333, doi: https://doi.org/10.1080/15230406.2018.1479311.

Wikipedia. Administrative divisions of South Korea. Available online:

https://en.wikipedia.org/wiki/Administrative_divisions_of_South_Korea (accessed on 16 September 2020).

제 5 장 지역 소득향상을 위한 시스템 분석 연구

제1절 유휴 운송자원을 활용한 농산물 스마트 로지스틱스 시스템 성능 분석

Alioto, M. (Ed.). (2017). Enabling the Internet of Things: From Integrated Circuits to Integrated Systems. Springer.

Amorim, P., Belo-Filho, M. A. F., Toledo, F. D., Almeder, C., & Almada-Lobo, B. (2013). Lot sizing versus batching in the production and distribution planning of perishable goods. International Journal of Production Economics, 146(1), 208-218. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.001

Amorim, P., Günther, H. O., & Almada-Lobo, B. (2012). Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products. International Journal of Production Economics, 138(1), 89-101. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.005

Bond, C. A., Thilmany, D., & Keeling Bond, J. (2008). Understanding consumer interest in product and process based attributes for fresh produce. Agribusiness: An International Journal, 24(2), 231-252. doi: https://doi.org/10.1002/agr.20157

Brown, C. (2003). Consumers' preferences for locally produced food: A study in southeast Missouri. American Journal of Alternative Agriculture, 18(4), 213-224. doi: https://doi.org/10.1079/ajaa200353

Butu, A., Brumă, I. S., Tanasă, L., Rodino, S., Dinu Vasiliu, C., Doboș, S., & Butu, M. (2020). The impact of COVID-19 crisis upon the consumer buying behavior of fresh vegetables directly from local producers. Case study: the quarantined area of suceava county, Romania. International journal of environmental research and public health, 17(15), 5485. doi: https://doi.org/10.3390/ijerph17155485

Cai, C., Hu, M., Cao, D., Ma, X., Li, Q., & Liu, J. (2019). Self-deployable indoor localization with acoustic-enabled IoT devices exploiting participatory sensing. IEEE Internet of Things Journal, 6(3), 5297-5311. doi: https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2900524

Choi, J. (2014). Research on Scenarios for Redcution of Greenhose Gas for Intoducing Regulation Standards of Ruel Economy for Heavy Duty Vehicle, Master's degree thesis, Ajou University.

Choi, T. M., Taleizadeh, A. A., & Yue, X. (2020). Game theory applications in production research in the sharing and circular economy era. International Journal of Production Research, 58(21), 6660-6669. doi: https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1684593

Duda-Chodak, A., Lukasiewicz, M., Zięć, G., Florkiewicz, A., & Filipiak-Florkiewicz, A. (2020). Covid-19 pandemic and food: Present knowledge, risks, consumers fears and safety. Trends in Food Science & Technology. 105, 145-160. doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.020

El-Adle, A. M., Ghoniem, A., & Haouari, M. (2021). Parcel delivery by vehicle and drone. Journal of the Operational Research Society, 72(2), 398-416. doi: https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1671156

Ernst, S. C., Batte, M. T., Darby, K., & Worley, C. T. (2006). What matters in consumer berry preferences: price? Source? Quality?. Journal of Food Distribution Research, 37(856-2016-57538), 68-71.

Fanelli, R. M. (2021). Changes in the Food-Related Behaviour of Italian Consumers during the COVID-19 Pandemic. Foods, 10(1), 169. doi: https://doi.org/10.3390/foods10010169

Godrich, S., Kent, K., Murray, S., Auckland, S., Lo, J., Blekkenhorst, L., ... & Devine, A. (2020). Australian consumer perceptions of regionally grown fruits and vegetables: Importance, enablers, and barriers. International journal of environmental research and public health, 17(1), 63. doi:

https://doi.org/10.3390/ijerph17010063

Han, J., Lin, N., Ruan, J., Wang, X., Wei, W., & Lu, H. (2020). A Model for Joint Planning of Production and Distribution of Fresh Produce in Agricultural Internet of Things. IEEE Internet of Things Journal. 8(12), 9683-9696. doi: https://doi.org/10.1109/jiot.2020.3037729

Hinrichs, C. C. (2000). Embeddedness and local food systems: notes on two types of direct agricultural market. Journal of Rural Studies, 16(3), 295-303. doi: https://doi.org/10.1016/s0743-0167(99)00063-7

Kirschstein, T. (2020). Comparison of energy demands of drone-based and ground-based parcel delivery services. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 78, 102209. doi: https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102209

Korczak, J., & Kijewska, K. (2019). Smart Logistics in the development of Smart Cities. Transportation Research Procedia, 39, 201-211. doi: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.022

Lee, C. K., Lv, Y., Ng, K. K. H., Ho, W., & Choy, K. L. (2018). Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics. International Journal of Production Research, 56(8), 2753-2768. doi: https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394592

Leyerer, M., Sonneberg, M. O., Heumann, M., & Breitner, M. H. (2020). Shortening the Last Mile in Urban Areas: Optimizing a Smart Logistics Concept for E-Grocery Operations. Smart Cities, 3(3), 585-603. doi: https://doi.org/10.3390/smartcities3030031

Lockeretz, W. (1986). Urban consumers' attitudes towards locally grown produce. American Journal of Alternative Agriculture, 1(2), 83-88. doi: https://doi.org/10.1017/s0889189300000941

Ma, H. L., Wong, C. W. H., Leung, L. C., & Chung, S. H. (2020). Facility sharing in business-to-business model: A real case study for container

terminal operators in Hong Kong port. International Journal of Production Economics, 221, 107483. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.004

Ma, J., Tse, Y. K., Wang, X., & Zhang, M. (2019). Examining customer perception and behaviour through social media research – An empirical study of the United Airlines overbooking crisis. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 127, 192-205. doi: https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.05.004

Mann, J., Miller, S., O'Hara, J., Goddeeris, L., Pirog, R., & Trumbull, E. (2018). Healthy food incentive impacts on direct-to-consumer sales: A Michigan example. Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development, 8(1), 97-112. doi: https://doi.org/10.5304/jafscd.2018.081.006

McKenzie, T. J., Singh-Peterson, L., & Underhill, S. J. (2017). Quantifying postharvest loss and the implication of market-based decisions: A case study of two commercial domestic tomato supply chains in Queensland, Australia. Horticulturae, 3(3), 44. doi: https://doi.org/10.3390/horticulturae3030044

Mitrannavar, D. H., & Yeledalli, R. A. (2014). Estimation of post-harvest losses of major fruits in Karnataka-a management appraisal. International Journal of Processing and Post Harvest Technology, 5(2), 179-183. doi: https://doi.org/10.15740/has/ijppht/5.2/179-183

Peng, K., Du, J., Lu, F., Sun, Q., Dong, Y., Zhou, P., & Hu, M. (2019). A Hybrid Genetic Algorithm on Routing and Scheduling for Vehicle-Assisted Multi-Drone Parcel Delivery. IEEE Access, 7, 49191-49200. doi: https://doi.org/10.1109/access.2019.2910134

Richards, T. J., & Rickard, B. (2020). COVID-19 impact on fruit and vegetable markets. Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie, 68(2), 189-194. doi: https://doi.org/10.1111/cjag.12231

Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). An adaptive large neighborhood search heuristic

for the pickup and delivery problem with time windows. Transportation Science, 40(4), 455-472. doi: https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0135

Schor, J. B., & Fitzmaurice, C. J. (2015). Collaborating and connecting: the emergence of the sharing economy. In Handbook of research on sustainable consumption. Edward Elgar Publishing. 33-48. doi: https://doi.org/10.4337/9781783471270.00039

Thilmany, D., Bond, C. A., & Bond, J. K. (2008). Going local: Exploring consumer behavior and motivations for direct food purchases. American Journal of Agricultural Economics, 90(5), 1303-1309. doi: https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2008.01221.x

Van Duin, R., Wiegmans, B., Tavasszy, L., Hendriks, B., & He, Y. (2019). Evaluating new participative city logistics concepts: The case of cargo hitching. Transportation Research Procedia, 39, 565-575. doi: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.058

Wang, D., Hu, P., Du, J., Zhou, P., Deng, T., & Hu, M. (2019). Routing and scheduling for hybrid truck-drone collaborative parcel delivery with independent and truck-carried drones. IEEE Internet of Things Journal, 6(6), 10483-10495. doi: https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2939397

Xu, J. (2017). Design perspectives on delivery drones. RAND.

Yang, C. C., Marlow, P. B., & Lu, C. S. (2009). Assessing resources, logistics service capabilities, innovation capabilities and the performance of container shipping services in Taiwan. International Journal of Production Economics, 122(1), 4-20. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.03.016

Yoo, W., Yu, E., & Jung, J. (2018). Drone delivery: Factors affecting the public's attitude and intention to adopt. Telematics and Informatics, 35(6), 1687-1700. doi: https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.04.014

제2절 농업생산시스템의 불확실성을 고려한 통계적 추론 기반의 인증기준 평가

Adèr, H. J., Mellenbergh, G. J., & Hand, D. J. (2008). Advising on research methods: A consultant's companion, Journal of Applied Statistics, 38(12), 2991-2991. doi: https://doi.org/10.1080/02664763.2011.559375

Altman, D. G., & Bland, J. M. (2005). Standard deviations and standard errors. BMJ, 331(7521), 903. doi: https://doi.org/10.1136/bmj.331.7521.903

Bae, S. (2015). Greenhouse gas reduction goal, 37% reduction from BAU. Electric Power, 9(7), 42-43.

Bae, Y. J., Bae, S. J., Seo, I. H., Seo, K., Lee, J. J., & Kim, G. Y. (2013). Estimation of Uncertainty on Greenhouse Gas Emission in the Agriculture Sector. Journal of Korean Society of Rural Planning, 19(4), 125-135. doi: http://doi.org/10.7851/ksrp.2013.19.4.125

Banjanovic, E. S., & Osborne, J. W. (2016). Confidence intervals for effect sizes: Applying bootstrap resampling. Practical Assessment, Research, and Evaluation, 21(1), 5. doi: https://doi.org/10.7275/dz3r-8n08

Beaulieu-Prévost, D. (2006). Confidence intervals: From test of statistical significance to confidence intervals, range hypotheses and substantial effects. Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 2(11). doi: http://doi.org/10.20982/tqmp.02.1.p011

Bennetzen, E. H., Smith, P., & Porter, J. R. (2016). Agricultural production and greenhouse gas emissions from world regions－The major trends over 40 years. Global Environmental Change, 37, 43-55. doi: http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.12.004

Biswas, W. K., Barton, L., & Carter, D. (2008). Global warming potential of wheat production in Western Australia: a life cycle assessment. Water and Environment Journal, 22(3), 206-216. doi: http://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00127.x

Bratt, C., Hallstedt, S., Robèrt, K.-H., Broman, G., & Oldmark, J. (2011). Assessment of eco-labelling criteria development from a strategic

sustainability perspective. Journal of Cleaner Production, 19(14), 1631-1638. doi: http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.012

Carlson, K. M., Gerber, J. S., Mueller, N. D., Herrero, M., MacDonald, G. K., Brauman, K. A., Havlik, P., O'Connell, C. S., Johnson, J. A., & Saatchi, S. (2017). Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. Nature Climate Change, 7(1), 63-68. doi: http://doi.org/10.1038/nclimate3158

Clift, R. (1993). Life cycle assessment and ecolabelling. Journal of Cleaner Production, 1(3-4), 155-159. doi: http://doi.org/10.1016/0959-6526(93)90006-W

Curran-Everett, D. (2008). Explorations in statistics: standard deviations and standard errors. Advances in Physiology Education, 32(3), 203-208. doi: http://doi.org/10.1152/advan.90123.2008

Curran-Everett, D., Taylor, S., & Kafadar, K. (1998). Fundamental concepts in statistics: elucidation and illustration. Journal of Applied Physiology, 85(3), 775-786. doi: http://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.3.775

DiCiccio, T. J., & Efron, B. (1996). Bootstrap confidence intervals. Statistical science, 11(3), 189-212. doi: https://doi.org/10.1214/ss/1032280214

Ecoinvent. The ecoinvent Database. Zurich, Switzerland. Retrieved from: https://www.ecoinvent.org/home.html

Efron, B. (1992). Bootstrap methods: another look at the jackknife. In Breakthroughs in statistics, 569-593, Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4380-9_41

FACT. Project of Low Carbon Agricultural & Livestock Goods Certification System. Retrieved from http://www.smartgreenfood.org/jsp/front/business/b0201.jsp

FACT. (2017a). General Guideline for Calculating GHG Emissions of Agricultural Products. Iksan, South Korea.

FACT. (2017b). Product Category Rule for Calculating GHG Emissions. Iksan, South Korea.

FAO. (2017). Global database of GHG emissions related to feed crops: Methodology. In. Rome, Italy: Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. Food and Agriculutre Organization of the United Nations. Retrieved from http://www.fao.org/partnerships/leap/database/ghg-crops/en/

Goglio, P., Smith, W., Grant, B., Desjardins, R., Gao, X., Hanis, K., Tenuta, M., Campbell, C., McConkey, B., & Nemecek, T. (2018). A comparison of methods to quantify greenhouse gas emissions of cropping systems in LCA. Journal of Cleaner Production, 172, 4010-4017. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.133

Ha, S., Tae, S., & Kim, R. (2019). A study on the limitations of South Korea's National Roadmap for Greenhouse Gas Reduction by 2030 and suggestions for improvement. Sustainability, 11(14), 3969. doi: http://doi.org/10.3390/su11143969

In, J. (2016). Considerations when calculating the sample size for an inequality test. Korean journal of anesthesiology, 69(4), 327. doi: http://doi.org/10.4097/kjae.2016.69.4.327

IPCC. (2007). IPCC fourth assessment report: climate change 2007. In: Cambridge University Press Cambridge, UK.

ISO. (2000). Environmental labels and declarations – General principles (ISO 14020:2000). Retrieved from https://www.iso.org/standard/34425.html

ISO. (2006a). Environmental labels and declarations–type III environmental declarations–principles and procedures (ISO 14025:2006). Retrieved from https://www.iso.org/standard/38131.html

ISO. (2006b). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (ISO 14040:2006). Retrieved from

https://www.iso.org/standard/37456.html

ISO. (2016c). Environmental labels and declarations－self-declared environmental claims (type II environmental labelling) (ISO 14021:2016). Retrieved from https://www.iso.org/standard/66652.html

ISO. (2018). Environmental labels and declarations－type I environmental labelling －principles and procedures (ISO 14024:2018). Retrieved from https://www.iso.org/standard/72458.html

Kafle, S., Parajuli, R., Bhattarai, S., Euh, S. H., & Kim, D. H. (2017). A review on energy systems and GHG emissions reduction plan and policy of the Republic of Korea: Past, present, and future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73, 1123-1130. doi: http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.180

Kang, S. I., Oh, J.-g., & Kim, H. (2012). Korea's low-carbon green growth strategy. OECD Development Centre Working Papers, 310. doi: https://doi.org/10.1787/5k9cvqmvszbr-en

KEITI. Natioanl LCI database. Seoul, South Korea. Retrieved from: http://www.epd.or.kr/lci/lciDb.do

Kim, S., Kim, T., Smith, T. M., & Suh, K. (2018). Environmental implications of eco-labeling for rice farming systems. Sustainability, 10(4), 1050. doi: http://doi.org/10.3390/su10041050

Lee, J.-S., Kim, G.-Y., Choi, E.-J., Lee, S.-I., Kim, A.-R., Jeong, D.-K., Park, H.-K., & Lee, G.-Z. (2019). Establishment of GHGs Emission Reduction Evaluation Methodology on Land Use Change of Paddy Field from Rice to Upland Crop Cultivation. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 52(4), 352-358. doi: http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2019.52.4.352

Lim, S.-S. (2016). Promotion of the Low-carbon Agriculture Certification System. Korean Journal of Organic Agriculture, 24(2), 201-219. doi: http://doi.org/10.11625/KJOA.2016.24.2.201

Liu, T., Wang, Q., & Su, B. (2016). A review of carbon labeling: standards, implementation, and impact. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 68-79. doi: http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.050

MAFRA. Project of Low Carbon Agricultural & Livestock Goods Certification System. Retrieved from https://www.mafra.go.kr/english/1407/subview.do

ME. National GHG emission coefficient. In. Sejong, South Korea: Ministry of Environment. Retrieved from htttp://www.me.go.kr/

Minkov, N., Lehmann, A., Winter, L., & Finkbeiner, M. (2019). Characterization of environmental labels beyond the criteria of ISO 14020 series. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1-16. doi: http://doi.org/10.1007/s11367-019-01596-9

NCGIR. National Center for Greenhousegas Inventory & Research. Retrieved from http://www.gir.go.kr/home/main.do

RDA. Agricultural products income data. Retrieved from https://amis.rda.go.kr/portal/ap/mn/incomeAnalysisLst/lst

RDA. (2013). Development of carbon traceability systems for agricultural products in Korea. In. Jeonju, South Korea: Rural Development Administration. Retrieved from http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201300013982

Roe, B. E., Teisl, M. F., & Deans, C. R. (2014). The economics of voluntary versus mandatory labels. Annu. Rev. Resour. Econ., 6(1), 407-427. doi: http://doi.org/10.1146/annurev-resource-100913-012439

SAIC, & Curran, M. A. (2006). Life-cycle assessment: principles and practice. In M. A. Curran (Ed.). Ohio, U.S.A.: U.S. Environmental Protection Agency (USEPA).

Sala, S., & Castellani, V. (2019). The consumer footprint: Monitoring sustainable development goal 12 with process-based life cycle assessment. Journal of

Cleaner Production, 240, 118050. doi: http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118050

Savage, S. L., & Markowitz, H. M. (2009). The flaw of averages: Why we underestimate risk in the face of uncertainty: John Wiley & Sons. doi: https://doi.org/10.5860/choice.47-3267

Sharpe, D. (2004). Beyond significance testing: Reforming data analysis methods in behavioral research. doi: http://doi.org/10.1176/appi.ajp.162.3.643-a

Son, W. L., Lee, J. S., Seol, S. H., Jung, S. C., Lee, J. S., & Lim, S. T. (2019). Analysis of Greenhouse Gas Emissions for Domestic Pesticide Product Based on Life Cycle Assessment. Journal of Climate Change Research, 10(4), 361-370. doi: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2019.10.4.361

Thøgersen, J., & Nielsen, K. S. (2016). A better carbon footprint label. Journal of Cleaner Production, 125, 86-94. doi: http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.098

Toma, P., Miglietta, P. P., Zurlini, G., Valente, D., & Petrosillo, I. (2017). A non-parametric bootstrap-data envelopment analysis approach for environmental policy planning and management of agricultural efficiency in EU countries. Ecological Indicators, 83, 132-143. doi: http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.049

Tong, L.-I., Saminathan, R., & Chang, C. (2016). Uncertainty assessment of non-normal emission estimates using non-parametric bootstrap confidence intervals. Journal of Environmental Informatics, 28(1), 61-70. doi: http://doi.org/10.3808/jei.201500322

UNFCCC, V. (2015). Adoption of the Paris agreement. Proposal by the President.

Yang, Y., Tao, M., & Suh, S. (2018). Geographic variability of agriculture requires sector-specific uncertainty characterization. The International Journal of Life Cycle Assessment, 23(8), 1581-1589. doi: http://doi.org/10.1007/s11367-017-1388-6

Abstract

Data-Driven System Analysis for Regional Issues

Solhee Kim

Interdisciplinary Program in
Agricultural and Forest Meteorology

The Graduate School

Seoul National University

The development of big data and knowledge information technology enables researchers to find effective ways to use data as evidence for making decisions and policies and solving problems. Data sciences also help scholars accurately recognize problems with systems, identify key data to solve problems, and analyze data using appropriate techniques to produce meaningful results.

In agricultural and rural regions, governments also seek derive quantitative approaches to solve problems by considering regional characteristics while effectively utilizing limited resources in poor environments such as a diminishing population, aging, and hollowing in rural areas. Thus, it is necessary to identify the specifics issues related to the phenomenon based on system perspectives using data science and to identify quantitative, customized, and practical solutions ongoing issues in rural areas.

The main objective of this dissertation is to define the

ecological-social systems issues in rural areas. These problems can be solved from system perspectives, and solutions can be found based on data science techniques. First, this dissertation reviewed the literature related to regional development projects in South Korea and categorized rural issues such as improving the settlement conditions and creating income sources. Second, for each issue, the problem was defined from a system perspectives and processes to solve the problem were recommended based on data science-based analytical techniques. Third, through this analysis process, the study evaluated the availability of data from various components of rural systems and their applicability to appropriate analytical techniques.

In the chapter titled, "A Study on the Derivation and Categorization of Regional Problems," the impact of Korea's national vision, national goals, national strategy, and national tasks were presented in each government's five-year plan related to the composition and implementation of regional development projects. Through the literature review related to regional development projects, the regional issues were categorized into two types: (1) settlement environment improvement by maintaining the living environment and (2) income creation by diversifying economic activities.

The chapter titled, "System Analysis for the Improvement of Rural Settlement Environment," two issues were addressed to define and solve problems in the education and emergency medical sectors. The first study in the education field analyzed and recommended solutions on the operation or closure of schools using heuristic spatial optimization techniques to consolidate educational facilities in rural areas due to the decreasing school-age population. The second study in the emergency medical field analyzed changes in accessibility to emergency medical services due to real-time road speed changes

in urban and rural areas. Emergency medical vulnerabilities and survival rate of emergency patients were also analyzed, and various emergency scenarios were constructed to recommend improvement measures based on the survival probability change analysis.

The chapter on "System Analysis for Rural Income Creation," analyzed problems related to improving crop distribution and value-added generation. In the distribution improvement study, a new type of smart logistic system was suggested using idle space and eco-friendly transportation in a regional network to minimize the marginal cost of agricultural transportation. Applicability was also evaluated by comparing the existing delivery networks. The study in the value-added generation field aimed to establish statistical inference-based certification standards for low-carbon agricultural product certification systems. Statistical alternatives to appropriate certification criteria for low-carbon agricultural production certification schemes were also proposed by comparing the existing national average values considering the uncertainties in agricultural production conditions.

This dissertation with a series of studies contributes to regional development and planning and provide the following academic significance. First, this dissertation presents data science-based quantitative measures to solve problems considering rural characteristics by applying various types of big data such as real-time traffic information as well as geographical and statistical information. In addition, a direction to explore practical measures is presented using examples of quantitative analytical techniques that can be structured and solved by formalizing regional problems from a systems perspective.

This dissertation also addresses the limitations of existing studies on rural policies based on administrative statistics and lays the groundwork for

establishing data-based policies using more quantitative methodologies. The results can support evidence-based policy decisions tailored to the demands in various fields including health, welfare, education, and industry in rural areas in the future. The recommendations also provide reasonable and quantitative grounds for reforming related laws, policies, and regulations.

Keywords : Regional issue; Data science; System perspective; Settlement improvement; Income creation

Student Number : 2018-32084