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

도시계획학 박사학위논문

한국과 일본 도시철도운송업의 비용특성 분석: 확률적 다수산출물 비용변경 모형의 적용

Cost Characteristics of the Korean and Japanese Urban Rail Transit Industry: An Application of Stochastic Multi-Product Cost Frontier Models

2020년 2월

서울대학교 대학원

환경계획학과

조 황 영

국문초록

한국과 일본 도시철도운송업의 비용특성 분석: 확률적 다수산출물 비용변경 모형의 적용

본 연구에서는 한국과 일본 도시철도 운영기관 64개의 2016년 횡단면 자료를 대상으로 확률적 프론티어 방법을 이용하여 한국과 일본 도시철도 운송업의 가변비용함수를 추정하고 비용특성을 분석하였다. 노동, 동력 그리고 유지보수를 가변생산요소로 고려하였고, 자본의 대리변수로 준 고정요소인 궤도연장을 고려하였다. 도시철도 운영기관은 상기 요소를 투입하여 전동차-km의 산출물을 생산하는 것으로 가정하였다. 도시철도 운영기관의 산출물은 중량전철 산출물과 경량전철 및 모노레일 산출물 두 가지로 구분하였다. 이에 더하여 도시철도 운영기관의 국가, 소유구조 특성을 고려하였다.

생산요소 변수, 산출물 변수와 운영기관의 특성변수를 독립변수로 하고 가변비용을 종속변수로 하여 트랜스로그 함수 형태의 도시철도 운영기관의 가변비용함수를 구축하였다. 비용함수의 계수추정은 트랜스로그 비용함수와 비용비중식을 연립방정식 형태로 추정하는 결합일반화최소자승법을 사용하였다. 또한 비용변경접근법인 확률적 프론티어 방법으로 가변비용함수를 추정하였다.

추정된 비용함수로부터 생산요소의 편대체탄력성과 생산요소 수요의 가격탄력성 그리고 도시철도 운영기관의 밀도의 경제성, 규모의 경제성, 범위의 경제성 등 비용특성을 분석하였다. 생산요소의 자기 편대체탄력성과 자기 가격탄력성을 통해 생산요소 투입의 효율성을 파악하였고, 교차 편대체탄력성과 교차 가격탄력성을 분석하여 생산요소 간 보완 또는 대체관계를 파악하였다. 그리고 중량전철과 경량전철 또는 모노레일 형식의 도시철도 노선을 동시에 운영하는 경우 범위의 경제가 존재하는지 분석하였다. 또한 도시철도 운영기관의 밀도의 경제성과 규모의 경제성

을 분석하여 운행빈도와 운영기관의 규모 등의 적정성을 분석하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫 번째로 가변비용함수 추정결과 계수추정치는 합리적으로 추정되었으며 특히 2차항 계수추정치의 유의도가 높게 추정되어 동조성, 동차성, 콥-더글라스 생산기술에 대한 가정을 모두 기각할 수 있었다. 도시철도 운영기관의 특성을 나타내는 소유구조특성변수와 국가별특성변수도 통계적으로 유의하게 추정되었다.

두 번째로 한국과 일본의 도시철도 운송업 전체에는 밀도의 경제와 규모의 경제가 존재하는 것으로 나타났다. 산출형태별로는 중량전철 운송업과 경량전철 및 모노레일 운송업 그리고 두 산출물을 모두 생산하는 경우 밀도의 경제성 지수는 각각 1.067, 1.253, 1.255으로 추정되어 모두 밀도의 경제가 존재하고, 규모의 경제성 지수는 각각 1.069, 1.195, 1.272로 규모의 경제도 모두 존재한다.

세 번째로 한국과 일본의 도시철도 운송업 전체에는 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 범위의 경제성 지수는 중량전철 산출물 비율과 비례하며, 두 가지 산출물을 모두 생산하면서 중량전철 산출물의 비율이 96%이상인 경우 범위의 경제가 존재하지만, 중량전철 산출물의 비율이 낮은 경우 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다.

위와같은 추정결과로부터 우리나라 도시철도 운송업의 주요 이슈인 도시철도 운영기관의 조직형태와 민영화에 대한 다음과 같은 정책적 시사점을 도출하였다.

첫 번째로 두 도시철도 운영기관의 통합에 따른 산출량, 임금, 근로조건 등의 변화가 발생하지 않는 것으로 가정하는 경우 서울 두 도시철도 운영기관의 통합은 비용관점에서 타당하지 않다. 서울 두 도시철도 운영기관의 통합의 타당성을 살펴본 결과 통합된 운영기관은 밀도와 규모의 불경제가 존재하고, 규모가 최적규모보다 크기 때문에 평균가변비용이 극소화된다고 할 수 없다.

두 번째로 두 산출물을 동시에 생산하는 우리나라 도시철도 운영기관 세 곳을 대상으로 두 부문의 분리에 따른 가변비용변화를 살펴본 결과 산출물별로 운영기관을 분리한다면 가변비용이 10.65%~24.10% 감소하는 것으로 추정되었다. 밀도와 규모의 경제 효과보다 범위의 불경제 효과가 더 크게 존재하기 때문에 두 산출물을 한 운영기관에서 동시에 생

산하는 것보다 산출물별로 운영기관을 나누어 운영하는 것이 비용관점에서 타당하다고 할 수 있다. 그러나 실제로 두 도시철도 운영기관을 산출물별로 분리하는 경우 추가적으로 발생하는 비용이 존재하기 때문에 이를 면밀히 고려한 의사결정이 필요할 것이다.

세 번째로 확률적 프론티어 방법을 이용하여 비용변경을 도출하는 경우 도시철도운송업 전반의 평균가변비용이 15.62%감소하는 것으로 나타났다. 이는 도시철도 운영기관의 생산효율성을 개선해야 할 필요성이 있음을 시사한다. 한국 도시철도 운영기관의 경우 노동생산성이 일본에 비하여 매우 낮은 것으로 나타났기 때문에 생산효율성을 개선하기 위해서는 인력을 감축할 필요성이 있다. 특히 역무와 유지보수부문의 구조조정을 통해 노동생산성을 제고해야 할 것이다. 역무의 경우 우리나라도시철도의 역무자동화시설이 100% 설치되어있음에도 불구하고 노동생산성이 낮게 나타났기 때문에 인력감축의 필요성이 매우 높다.

마지막으로 서울메트로와 광주교통공사의 민영화를 가정하여 가변비용 변화를 분석한 결과 두 운영기관을 민간에서 운영하면 현재 가변비용의 약 21%를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 민간부문에서 도시철도 노선을 운영하는 경우 재정투명성이 낮고, 계약방식에 따라 보조금이 존재하는 경우 오히려 생산효율성이 공영운영기관보다도 낮아질 수 있기 때문에 민영화에 대한 신중한 검토가 필요할 것이다. 이뿐만 아니라 위험회피비용, 거래비용 등의 거버넌스비용이 추가적으로 발생하여 오히려 더 많인 비용이 소요될 가능성도 존재하기 때문에 절감되는 비용이 이보다 큰 경우에만 민영화를 검토해야 할 것이다.

본 연구는 앞서 수행된 연구와 다르게 도시철도 운송업의 다수산출물 가변비용함수를 추정하여 범위의 경제를 분석하였다는 점에서 큰 의의가 있다. 또한 소유구조를 세분화하여 공영, 준공영, 민영으로 구분하였다는 점도 의미가 있다. 최근 몇 년간 도시철도 운송업 시장은 차량시스템과 소유구조 측면에서 다양화 되고 있기 때문에 본 연구는 이러한 여건변화에 대응할 수 있는 시사점을 제공할 수있다는 점에서 의미를 가진다.

주요어 : 도시철도 운송업, 가변비용, 트랜스로그 비용함수, 다수산출물 비용함수, 확률적 프론티어 모형, 범위의 경제성
학 번 : 2016-31755

목 차

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구의 배경과 목적 ····· 1

제 2 절 연구의 범위와 내용 ····· 5

1. 시간적 범위 ····· 5
2. 공간적 범위 ····· 5
3. 내용적 범위 ····· 6
4. 연구의 구성 ····· 9

제 2 장 선행연구의 고찰 ····· 10

제 1 절 도시철도 운송업의 비용특성 분석에 관한 선행연구 ····· 10

제 2 절 소유구조가 대중교통 운영기관의 비용에 미치는 영향에 관한 선행연구 ····· 20

제 3 절 시사점 및 본 연구의 차별성 ····· 24

제 3 장 연구방법론의 정립 ····· 29

제 1 절 비용함수 모형 및 추정방법 ····· 29

1. 비용함수 설정 ····· 29
2. 확률적 프론티어 방법 ····· 34

제 2 절 비용특성 분석 ····· 39

1. 생산요소의 편대체탄력성과 가격탄력성 ····· 39
2. 범위의 경제성과 밀도 및 규모의 경제성 ····· 42
3. 평균비용과 한계비용 ····· 45

제 4 장 자료 ····· 47

제 1 절 사용 자료 ····· 47

1. 사용 자료의 특징 ····· 47
2. 도시철도 운영기관별 자료의 구축 ····· 53

제 2 절 자료의 기술적 분석 ····· 58

1. 영업비용 ····· 58
2. 산출량, 생산요소 가격 및 궤도연장 ····· 69
3. 생산요소의 부분생산성 ····· 82

4. 수송인원, 운임수입 및 수익성 ····· 87
5. 궤도 및 정거장 시설물 ····· 97
6. 소결 ····· 105

제 5 장 한국과 일본 도시철도 운영기관의 비용특성 분석결과 ····· 107
제 1 절 가변비용함수의 추정결과 ····· 107
1. 계수추정결과 ····· 107
2. 추정결과의 경제적 조건 분석 ····· 117
제 2 절 비용특성의 분석결과 ····· 120
1. 밀도 및 규모의 경제성 ····· 121
2. 범위의 경제성 ····· 130
3. 편대체탄력성과 요소수요의 가격탄력성 ····· 133
4. 평균가변비용과 한계비용 ····· 139

제 6 장 결론 ····· 153
제 1 절 연구결과의 요약 및 정책적 시사점 ····· 153
제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구방향 ····· 157

참고문헌 ····· 161

부 록 ····· 165
부록 1. 밀도 및 규모의 경제성 지수 ····· 165
부록 2. 범위의 경제성 지수 ····· 169
부록 3. 평균비용과 한계비용 ····· 170

Abstract ····· 174

표 목 차

<표 1> 국내 도시철도운송업의 비용함수를 추정한 선행연구 ····· 15
<표 2> 외국 도시철도운송업의 비용함수를 추정한 선행연구 ····· 16
<표 3> 선행연구의 비용특성 분석결과 ····· 25
<표 4> 한국 철도통계연보의 주요 통계 지표 및 사용 자료 ····· 48
<표 5> 한국 지하철 운영기관 손익계산서의 통계 지표 및 사용 자료 ····· 49
<표 6> 일본 철도통계연보의 주요 통계 지표 및 사용 자료 ····· 51
<표 7> 일본 철도통계연보 손익계산서의 통계 지표 및 사용 자료 ····· 52
<표 8> 도시철도 운영기관의 소유구조 및 산출형태별 표본수 ····· 55
<표 9> 한국 도시철도 운영기관 표본 ····· 56
<표 10> 일본 도시철도 운영기관 표본 ····· 56
<표 11> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균비용 ····· 60
<표 12> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균비용 ····· 61
<표 13> 도시철도 운영기관의 산출형태별 산출물당 영업비용과 가변비용 ···· 63
<표 14> 도시철도 운영기관의 소유구조별 산출물당 영업비용과 가변비용 ···· 64
<표 15> 도시철도 운영기관의 산출형태별 가변비용 중 생산요소별 평균 비율 ·· 66
<표 16> 도시철도 운영기관의 소유구조별 가변비용 중 생산요소별 평균 비율 ·· 66
<표 17> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 산출량 ····· 70
<표 18> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 산출량 ····· 71
<표 19> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 1인당 인건비 ····· 73
<표 20> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 1인당 인건비 ····· 74
<표 21> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 1kWh당 동력비 ····· 75
<표 22> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 1kWh당 동력비 ····· 76
<표 23> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 전동차 1대당 유지보수비 ···· 77
<표 24> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 전동차 1대당 유지보수비 ···· 77
<표 25> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 궤도연장과 운행밀도 80
<표 26> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 궤도연장과 운행밀도 80
<표 27> 도시철도 운영기관의 산출형태별 생산요소의 부분생산성 ····· 82
<표 28> 도시철도 운영기관의 소유구조별 생산요소의 부분생산성 ····· 83
<표 29> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 수송인원과 평균탑승거리 ···· 88
<표 30> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 수송인원과 평균탑승거리 ···· 89
<표 31> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 재차인원 ····· 90

<표 32> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 재차인원 ····· 91
<표 33> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 운임수입 ····· 93
<표 34> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 운임수입 ····· 94
<표 35> 도시철도 운영기관의 산출형태별 수익성 ····· 95
<표 36> 도시철도 운영기관의 소유구조별 수익성 ····· 96
<표 37> 도시철도 운영기관의 산출형태별 궤도 및 정거장 시설물 ····· 98
<표 38> 도시철도 운영기관의 소유구조별 궤도 및 정거장 시설물 ····· 98
<표 39> 도시철도 운영기관의 산출형태별 궤도 시설물 특성 ····· 99
<표 40> 도시철도 운영기관의 소유구조별 궤도 시설물 특성 ····· 100
<표 41> 도시철도 운영기관의 산출형태별 정거장 시설물 ····· 102
<표 42> 도시철도 운영기관의 소유구조별 정거장 시설물 ····· 103
<표 43> 비용변경 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 1) ····· 111
<표 44> 비용변경전 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 1) ····· 112
<표 45> 비용변경 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 2) ····· 115
<표 46> 비용변경전 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 2) ····· 116
<표 47> 가변비용함수의 요소가격에 대한 비감소성 검토 결과 ····· 117
<표 48> 가변비용함수의 요소가격에 대한 오목성 검토 결과 ····· 118
<표 49> 산출물에 대한 단조성 검토 결과 ····· 119
<표 50> 비용특성 분석 대상 운영기관의 주요변수 ····· 120
<표 51> 도시철도 운영기관별 밀도 및 규모의 경제성 지수 ····· 123
<표 52> 한국 도시철도 운영기관의 산출물별 산출량 ····· 128
<표 53> 도시철도 운영기관별 범위의 경제성 지수 ····· 130
<표 54> 생산요소의 자기편대체탄력성 ····· 134
<표 55> 생산요소의 교차편대체탄력성 ····· 135
<표 56> 생산요소의 자기가격탄력성 ····· 137
<표 57> 생산요소의 교차가격탄력성 ····· 138
<표 58> 평균가변비용과 한계비용 ····· 140
<표 59> 서울 도시철도 운영기관의 통합에 따른 비용특성 ····· 146
<표 60> 부산, 대구, 인천 도시철도 운영기관의 산출물 특성 ····· 149
<표 61> 부산, 대구, 인천의 산출물별 분리에 따른 가변비용 ····· 150
<표 62> 우리나라 도시철도 운영기관의 민영화에 따른 가변비용 ····· 152
<부록-1.1> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 1, 비용변경) ····· 165
<부록-1.2> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 1, 비용변경 전) ····· 166
<부록-1.3> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 2, 비용변경) ····· 167
<부록-1.4> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 2, 비용변경 전) ····· 168

<부록-2.1> 범위의 경제성 지수(모형 1) ····· 169
<부록-2.2> 범위의 경제성 지수(모형 2) ····· 169
<부록-3.1> 평균비용과 한계비용(모형 1, 비용변경) ····· 170
<부록-3.2> 평균비용과 한계비용(모형 1, 비용변경 전) ····· 171
<부록-3.3> 평균비용과 한계비용(모형 2, 비용변경) ····· 172
<부록-3.4> 평균비용과 한계비용(모형 2, 비용변경 전) ····· 173

그 림 목 차

<그림 1> 연구 흐름도 ····· 9
<그림 2> 도시철도 운영기관의 산출형태별 밀도의 경제성 지수 ····· 124
<그림 3> 도시철도 운영기관의 산출형태별 규모의 경제성 지수 ····· 126
<그림 4> 모두생산 유형의 방사형 밀도 및 규모의 경제성 지수 ····· 129
<그림 5> 도시철도 운영기관별 범위의 경제성 지수 ····· 131
<그림 6> 단일산출물 도시철도 운송업의 평균가변비용과 한계비용 곡선 … 142
<그림 7> 다수산출물 도시철도 운송업의 평균가변비용과 한계비용 곡선 … 143
<그림 8> 도시철도 운송업의 평균가변비용곡선 ····· 145
<그림 9> 서울메트로와 서울도시철도공사의 평균가변비용곡선 ····· 147

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 배경과 목적

도시철도는 대표적인 대중교통수단으로 대도시권의 교통혼잡이 심화됨에 따라 통행시간의 신뢰성이 높아 대도시권에서는 많은 사람이 이용하는 교통수단이다. 또한 정부 역시 대도시권의 교통혼잡 문제와 환경오염문제를 해소하기 위하여 지속적으로 도시철도 노선을 건설하였다. 우리나라의 경우 서울시를 비롯한 수도권 지역과 5개 광역시(인천, 부산, 대구, 대전, 광주)에 도시철도 노선이 건설되어 운영되고 있다. 서울특별시, 인천광역시, 부산광역시, 대구광역시의 경우 대도시권과 인접한 도시로 도시철도망을 지속적으로 확장하였고, 대전광역시와 광주광역시는 각각 한 개의 도시철도 노선을 운영중이며, 각각 2호선을 건설 또는 계획중이다. 이뿐만 아니라 각 도시에서는 추가적으로 다양한 도시철도 노선 건설계획을 수립하여 지속적인 도시철도망의 확장을 꾀하고 있다. 이러한 도시철도망의 확장은 교통혼잡과 대기오염을 완화하였고, 이용자의 편의성을 증진하는데 상당한 기여를 했다.

그러나 도시철도망의 지속적인 확장에 따라 도시철도 이용객 수와 수단분담율이 지속적으로 증가하고 있음에도 불구하고 매년 도시철도운영기관의 적자금액이 누적되고 있다. 전국 도시철도 운영기관의 순손실액은 2016년 기준 약 8,400억 원[1]으로 손실액은 재정지원으로 충당되고 있는 실정이다. 이러한 추세가 지속된다면 장래에 지속적으로 도시철도노선을 건설하여 도시철도망을 확장하는 것은 정부의 재정부담을 가중하게 될 가능성이 높다. 따라서 도시철도 운영기관의 손실을 줄일 수 있는 방안을 모색하고, 이에 따른 개선방안을 수립해야 할 필요성이 있다.

우리나라 도시철도 운영기관의 지속되는 적자는 다양한 요인에서 기

1) 손익계산서가 공개된 공영 7개 기관(서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사, 인천교통공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사)의 순손실액 합계임.

인하지만, 대표적으로 낮은 운임수준, 과잉투자, 운영기관의 낮은 운영효율성을 들 수 있다. 도시철도의 경우 시민의 이동권을 보장하는 대중교통의 공적 기능이 강조됨에 따라 공공성 확보를 위하여 운임을 운영기관이 자율적으로 결정하지 못하고, 정부의 규제를 받는다. 이에 더하여 환승할인이나 통합거리비례요금제 등의 도입으로 인하여 실제 승객이 지불하는 운임이 감소하고, 무임승차비율의 지속적으로 증가하여 무임승차에 의한 운임손실도 증가하였다. 이러한 이유로 운송원가보다 낮은 운임을 받으며 도시철도 노선을 운영하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 도시철도를 비롯한 대중교통 운임인상에 대한 이용자의 저항이 매우 크기 때문에 운임인상이 어려운 실정이다. 또한 무임승차 연령을 상향하는 논의도 진행중이지만 이 역시 무임 이용자의 저항과 사회적 합의가 이루어져야 하므로 쉽게 해결될 수 있는 문제가 아닐 것이다.

다음으로 과거에 건설된 일부 도시철도노선의 경우 수요예측의 실패뿐만아니라 정치적 공약 이행, 중앙정부의 건설보조금 등의 다양한 이해관계의 개입으로 인하여 과잉투자가 이루어졌다. 이는 손실로 이어지고 있다. 도시철도 건설사업의 경우 막대한 초기건설비용이 투입되지만 궤도와 정거장등 고정자산의 경우 처분이 어렵고, 운영단계에서는 서비스 수준 유지를 위하여 운행시격을 조정하는데에 한계가 존재하기 때문에 수요가 충분하지 않음에도 과잉공급상태를 유지해야하므로 손실이 지속적으로 발생하게 된다. 예비타당성 조사의 도입과 수요예측 기법의 발전에 따라 과거에 비하여 과잉투자가 감소하였지만 여전히 지역균형발전, 정치 공약 등의 다양한 이유로 과도한 투자가 이루어지고 있는 실정이다.

마지막으로 도시철도 운영기관의 낮은 경영효율성이다. 특히 공공부문에서 전액 출자하여 설립된 공영 운영기관의 낮은 경영효율성이다. 민영 운영기관이 완전히 효율적이라고 할 수는 없지만, 공기업의 경우 도산의 위험이 없기 때문에 경영효율성을 개선하고자 하는 유인이 낮다. 이외에도 정부의 개입과 노조의 압력 등으로 인하여 경영효율성 개선을 위한 구조조정, 임금삭감 등의 다양한 시도에 한계가 존재한다. 이러한 이유로

공영 도시철도 운영기관의 경영효율성은 개선의 여지가 상대적으로 많이 존재할 것이다. 경영효율성의 개선은 운송원가 절감으로 이어질 것이다.

앞서 살펴본 세 가지 도시철도 운영기관의 적자발생요인 중 낮은 운임 경우 이동권 보장, 대중교통의 공공성 확보 측면 그리고 이용자의 저항 등 운임을 인상하는 것은 현실적으로 어려움이 존재한다. 실제로 대중교통 운임인상률은 물가상승률보다 낮았다. 한편 과잉투자의 경우 기존에 건설된 노선의 고정자산의 처분이 사실상 불가능하고, 운행횟수를 줄이거나 전동차를 처분하는 등의 방안은 운영중인 노선의 서비스수준을 저하시켜 수요의 감소를 야기하기 때문에 이 또한 현실적인 대안이 될 수 없을 것이다. 따라서 운임인상을 최소화 하고 서비스수준을 유지하면서 매년 발생하는 손실을 줄이기 위해서는 운송원가를 절감하는 방안이 현실적인 방안일 것이다. 물론 이를 위해서는 공영운영기관의 경영효율성 제고를 위한 조직개편, 구조조정 등이 가능하다는 전제가 수반되어야 할 것이다.

한편, 근래에는 우리나라의 일부 도시에서 예산제약과 초기투자비용 부담을 완화하면서 도시철도 건설에 대한 요구에 대응하기 위하여 민간부문의 투자로 도시철도 노선이 건설되고, 민간 운영기관이 운영하는 도시철도 노선의 수가 증가하고 있다. 또한 차량시스템의 측면에서는 과거에 주로 도입되었던 중량전철에 비하여 건설비가 적게 발생하는 모노레일 또는 경량전철과 같은 차량형식을 도입하는 사례도 늘어나 도시철도 운영기관의 형태가 다양화 되고 있다. 도시철도 운송업의 변화는 새로운 도시철도 노선의 효율적인 건설과 운영을 위한 시도라고 할 수 있다.

만약 민간부문에서 도시철도 노선을 운영하거나, 중량전철이 아닌 차량형식을 도입하는 경우 기존 도시철도 운영기관보다 운송원가가 절감된다면, 비용특성을 비교분석하여 기존 도시철도 운영기관이 벤치마킹 할 수 있는 시사점을 제공할 수 있을 것이다. 이뿐만 아니라 현재 우리나라에서는 새로운 차량형식인 경량전철 또는 모노레일 방식의 도시철도 노선을 운영하는 경우 기존의 중량전철 운영기관에서 함께 운영하고 있는데, 이러한 형태로 운영하는 것이 효율적인지 별도의 운영기관에서 운영

하는 것이 효율적인지에 대해서도 면밀한 분석이 필요할 것이다.

그러나 우리나라 도시철도 운영기관의 소유구조와 경량전철 또는 모노레일의 도입, 산출형태가 비용특성에 어떠한 영향을 미치는지를 실증적으로 분석한 사례가 없다. 그 이유는 다음과 같이 추론된다. 가장 먼저 우리나라 도시철도 운영기관 수가 적고, 이 중 민영운영기관의 수 또한 매우 제한적이기 때문이다. 이뿐만 아니라 우리나라의 민영 도시철도 운영기관은 자료를 공개하고 있지 않아 자료구득의 어려움으로 인하여 우리나라 도시철도 운영기관의 소유구조에 따른 비용특성 분석이 어려운 실정이다.

다음으로 차량형식과 산출형태의 경우는 앞서 언급한 바와 같이 우리나라 도시철도 운영기관은 중량전철만 운영하거나 중량전철과 경량전철 또는 모노레일 노선을 함께 운영하고 있어, 경량전철 또는 모노레일 형식의 도시철도 노선만 운영하는 도시철도 운영기관이 없다. 결과적으로 다양한 특성을 가지는 도시철도 운영기관의 표본이 제한적이기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 도시철도 운영기관의 소유구조, 차량형식 그리고 산출형태가 다양한 일본 도시철도 운영기관의 자료와 우리나라 도시철도 운영기관의 자료를 함께 이용하여 가변비용함수를 추정하고 도시철도 운송업의 비용특성을 분석하고자 한다.[2] 비용특성 분석결과를 바탕으로 우리나라 도시철도 운영기관의 경영효율성을 개선할 수 있는 정책적 시사점을 도출하고자 한다. 구체적으로는 범위의 경제, 밀도의 경제, 규모의 경제를 분석하여 도시철도 운영기관의 조직형태에 관한 정책제언을 도출하고, 소유구조별 평균가변비용을 분석하여 소유구조에 관한 정책제언을 도출하고자 한다. 또한 생산요소의 편대체탄력성과 요소수요의 가격탄력성 등 탄력성을 추정하여 생산요소별 투입의 효율성과 생산요소간 대체관계를 분석하여 생산요소의 투입에 관한 정책제언을 도출하고자 한다.

---

2) 특히, 일본의 경우 우리나라와 달리 도시철도 운영기관은 매년 영업이익이 발생하고 있기 때문에 일본 도시철도 운영기관과 비교를 통하여 우리나라 도시철도 운영기관이 벤치마킹 할 수 있는 의미있는 시사점을 도출할 수 있을 것으로 예상된다.

제 2 절 연구의 범위와 내용

1. 시간적 범위

본 연구의 시간적 범위는 2016년으로 설정하였다. 일본의 최신 철도통계가 2016년까지 제공되는 점과 서울특별시의 서울메트로와 서울도시철도공사의 통합이 2017년 이루어진 점을 고려하여 2016년을 횡단면 자료를 사용하였다. 다만, 일본과 한국의 회계연도 산정기준이 상이[3]하다는 점에서 일본의 자료는 2016 회계기준연도를 시간적 범위로 설정하였다.

2. 공간적 범위

본 연구에서는 한국과 일본의 도시철도 운영기관을 대상으로 운행비용특성을 분석하기 위하여 대도시와 대도시 주변의 도시를 연결하는 도시철도 노선의 운영기관으로 설정하였다. 한국의 경우 서울특별시와 도시철도 노선이 건설된 5개 광역시(부산, 대구, 인천, 대전, 광주)로 공간적 범위를 설정하였다. 일본의 경우 동경대도시권에 속하는 도시와 우리나라의 광역시와 유사한 개념인 정령지정도시(政令指定都市)와 중핵시(中核市) 그리고 그 주변도시 중 도시철도 노선이 건설된 도시를 공간적 범위로 설정하였다.

* 일본의 정령지정도시(政令指定都市)는 인구 70만 이상의 도시 중 행정부의 승인을 받아 지정된 도시로 인구규모면에서는 우리나라의 광역시와 유사한 특성을 가진다. 현재 일본은 20개의 정령지정도시가 지정되었다. 중핵시(中核市)는 인구 30만 이상의 도시로 도도부현의회의 승인으로 지정되는 도시이다. 중핵시의 경우 각 현의 중심도시로 한국의 일반시와 유사한 특성을 가진다. 현재 일본은 48개의 중핵시가 지정되어있다.

---

3) 한국의 회계연도는 1월1일부터 12월31일이지만, 일본의 회계연도는 4월1일부터 내년 3월31일로 회계연도가 실제 연도와 상이하다.

3. 내용적 범위

본 연구에서는 한국과 일본의 도시철도 운영기관의 2016년 횡단면 자료를 대상으로 확률적 프론티어 방법을 이용하여 한국과 일본 도시철도 운송업의 가변비용함수를 추정하여 비용특성을 분석하였다. 노동, 동력 그리고 유지보수를 가변생산요소로 고려하였고, 자본요소의 경우 단기간 투입량의 조정이 어려운 요소이므로 자본의 대리변수로 준 고정요소인 궤도연장을 고려하였다. 도시철도 운영기관은 상기 요소를 투입하여 전동차-km의 산출물을 생산하는 것으로 가정하였다. 도시철도 운영기관의 산출물은 중량전철 산출물과 모노레일 및 경량전철 산출물 두 가지로 구분하였다. 이에 더하여 도시철도 운영기관의 국가, 소유구조, 산출형태 특성을 고려하였다. 도시철도운영기관의 특성에 따른 비용구조를 살펴보기 위하여 국가를 나타내는 특성 변수와 도시철도 운영기관의 소유구조별 특성 변수를 추가하였다.

생산요소 변수, 산출물 변수와 운영기관의 특성변수를 독립변수로 하고 가변비용을 종속변수로 하여 트랜스로그 비용함수 형태의 도시철도 운영기관의 가변비용함수를 구축하였다. 비용함수의 계수추정은 트랜스로그 비용함수와 비용비중식을 연립방정식 형태로 추정하는 결합일반화 최소자승법을 사용하였다. 또한 비용변경접근법인 확률적 프론티어 방법으로 가변비용함수를 추정하였다. 확률적 프론티어 방법은 구축된 자료를 이용하여 가변비용함수를 먼저 추정하고, 추정결과를 바탕으로 오차항의 분포에 대한 적절한 가정을 통하여 가변비용에 존재하는 통제가능한 비효율이 제거된 가변비용을 도출하게 된다. 이렇게 통제가능한 비효율이 제거된 가변비용을 이용하여 가변비용함수를 다시한번 추정하기 때문에 비용특성 분석시 더 많은 정보를 제공하게 된다.

추정된 비용함수로부터 생산요소의 편대체탄력성과 생산요소 수요의 가격탄력성 그리고 도시철도 운영기관의 밀도의 경제성, 규모의 경제성, 범위의 경제성 등 비용특성을 분석하였다. 생산요소의 자기 편대체탄력성과 자기 가격탄력성을 통해 생산요소 투입의 효율성을 파악하였고, 교

차 편대체탄력성과 교차 가격탄력성을 분석하여 생산요소 간 보완 또는 대체관계를 파악하였다. 그리고 중량전철과 모노레일 또는 경량전철 형식의 도시철도 노선을 동시에 운영하는 경우 범위의 경제가 존재하는지 분석하였다. 또한 도시철도 운영기관의 밀도의 경제성과 규모의 경제성을 분석하여 운행빈도와 운영기관의 규모 등의 적정성을 분석하였다. 추정된 결과로부터 다음과 같은 문제에 대한 정책제언을 제시하였다.

첫 번째로 도시철도 운영기관의 조직형태에 대한 문제이다. 본 연구에서 추정한 가변비용함수를 이용하여 비용특성을 분석하고 도시철도 운영기관을 통합하거나 분리하는 것 중 어떠한 경우가 가변비용 측면에서 유리한지에 대한 정책제언을 도출하였다. 2017년 서울특별시의 두 도시철도 운영기관인 서울메트로(서울도시철도 1~4호선 운영)와 서울도시철도공사(서울도시철도 5~8호선 운영)가 서울교통공사로 통합되었다. 만약 중량전철 부문에서 규모의경제가 존재한다면 비용측면에서 두 도시철도 운영기관의 통합이 타당하다고 할 수 있다. 그러나 규모의 불경제가 존재한다면, 두 도시철도 운영기관의 통합은 오히려 비용의 증가를 야기하게 된다. 따라서 본 연구에서 도출된 결과로부터 2017년 이루어진 서울도시철도 운영기관의 통합이 비용측면에서 타당한지를 살펴보았다.

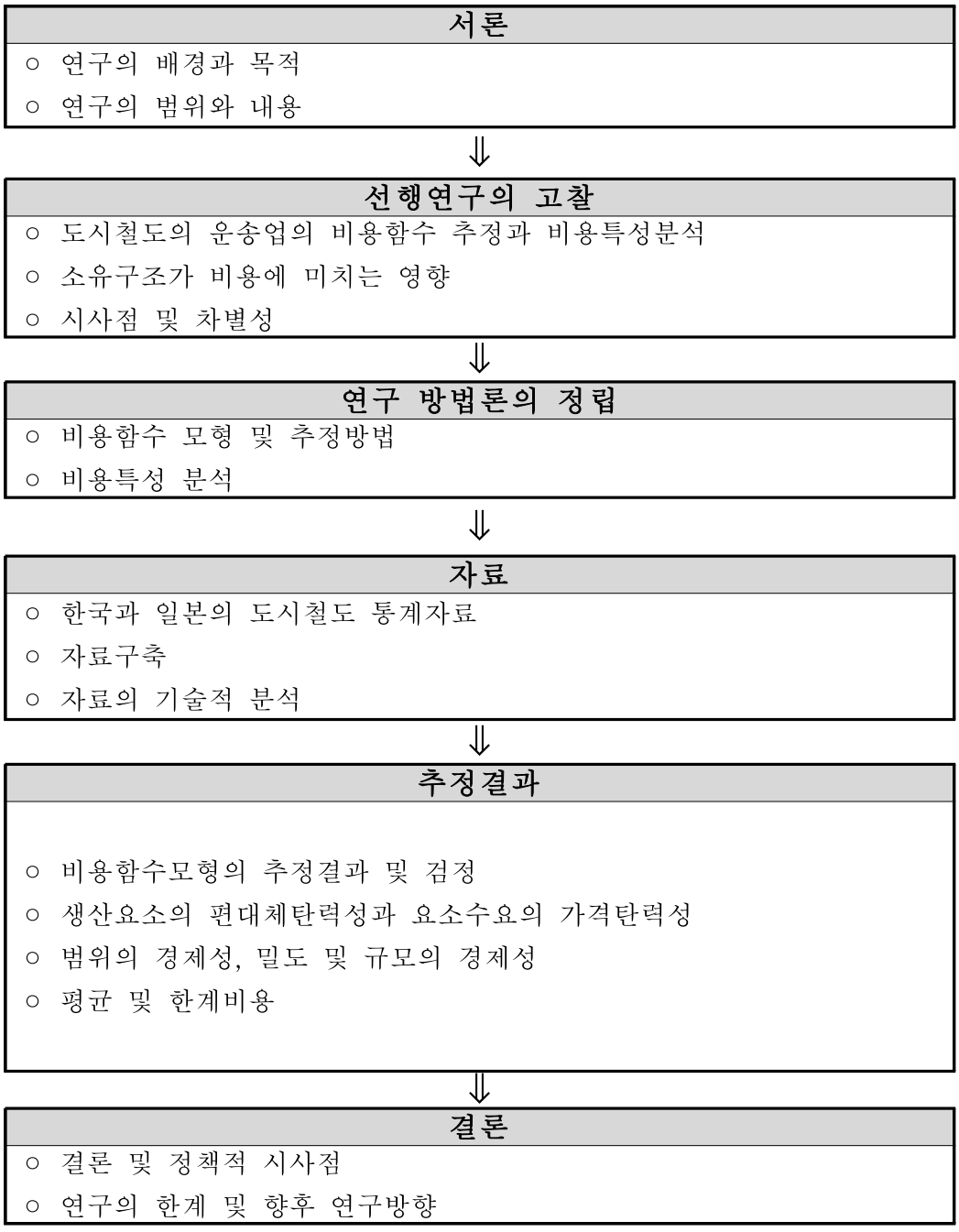
한편, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시의 경우 근래에 건설된 노선은 중량전철이 아닌 경량전철 또는 모노레일 방식으로 건설되었다. 이뿐만 아니라 광주광역시의 경우 광주 도시철도 2호선을 경량전철 형식으로 건설중이다. 이는 도시철도 노선의 높은 초기 건설비용에 대한 부담을 완화하기 위한 방안으로 장래 계획된 다수의 노선이 경량전철 또는 모노레일로 건설될 예정이다. 따라서 이러한 경우에도 마찬가지로 새로 건설되는 노선을 기존 도시철도 운영기관에서 운영하는것과 별도의 도시철도 운영기관을 설립하여 운영하는 것이 비용측면에서 타당한지를 살펴보았다.

두 번째로 도시철도 운영기관의 소유구조에 관한 문제이다. 근래 많은 도시에서 예산제약으로 인한 초기투자비용 부담을 완화하면서 도시철도 건설에 대한 요구에 대응하기 위하여 민간부문의 투자로 도시철도 노선

을 건설, 운영하는 사례가 증가하고 있다. 서울시의 경우 도시철도 1~8호선은 공공부문에서 건설, 운영하고 있고 도시철도 9호선 1단계와 우이신설 경전철 노선의 경우 민간부문의 투자로 건설, 운영되고 있다. 특히 BTO(Build-Tansfer-Operation)방식으로 추진된 민간투자사업의 경우 도시철도 노선의 건설과 동시에 정부에 시설의 소유권을 이전하고 일정기간동안 민간투자자가 관리운영권을 가지고 도시철도 노선을 운영한다. 이후 관리운영권이 만료되는 경우 일반적으로 공공부문으로 관리운영권이 이전된다. 그러나 비용관점에서 공공부문에서 운영하는 것이 타당한지, 다른 민간 운영기관 또는 기존 민영 운영기관에서 운영하는 것이 타당한지에 대해 살펴볼 필요성이 있다. 이뿐만 아니라 앞서 언급한 도시철도 운영기관의 조직형태에 관한 문제도 함께 고려해야 한다. 따라서 본 연구의 분석결과를 바탕으로 도시철도 운영기관의 소유구조에 관한 정책제언을 제공하였다.

앞서 제시한 두 가지 문제에 대한 정책제언을 도출하기 위해서는 다수산출물 가변비용함수 추정결과를 고려해야 한다. 경량전철 또는 모노레일의 경우 중량전철과 차량과 궤도의 특성이 다르기 때문에 별도의 산출물로 구분할 필요성이 있다. 서로 다른 차량형식의 도시철도 노선을 운영하는데 있어 생산요소의 많은 부분을 공유하여 사용할 수 있는 경우 범위의 경제가 존재 할 것이며, 그렇지 않은 경우 범위의 불경제가 존재할 것이다. 광주광역시 도시철도 2호선의 건설이 완료되는 경우 우리나라의 도시철도 노선이 건설된 우리나라의 모든 도시는 중량전철과 경량전철 또는 모노레일 차량형식이 존재하게 된다. 따라서 앞서 제시한 우리나라 도시철도 운영기관의 조직형태와 소유구조에 관한 문제에 대한 정책제언을 도출하기 위하여 범위의 경제 효과를 고려해야 한다. 만약 서로 다른 차량형식의 도시철도 노선을 한 운영기관에서 함께 운영하고자 할때 규모의 경제는 존재하지만 범위의 불경제가 존재한다면 어떤 효과가 더 크게 작용하는지 살펴보아야 한다. 그러므로 본 연구에서는 다수산출물 가변비용함수를 추정하여 도시철도 운송업의 범위의 경제를 포함한 비용특성 분석결과를 바탕으로 정책제언을 도출하였다.

4. 연구의 구성



<그림 1> 연구 흐름도

제 2 장 선행연구의 고찰

본 연구는 한국과 일본 도시철도 운송업의 다수산출물 가변비용함수를 비용변경접근법인 확률적 프론티어 방법을 이용하여 추정하고 비용특성을 분석하는 연구이다. 이로부터 얻어진 결과를 바탕으로 한국 도시철도 운영기관의 조직형태, 소유구조 등에 대한 정책제언을 도출하는 연구이다. 따라서 도시철도 운송업의 비용함수 추정과 비용특성분석에 관한 연구와 대중교통 운송업 분야의 소유구조가 비용에 미치는 영향에 관한 연구를 고찰하였다. 제1절에서는 도시철도 운송업의 비용함수를 구축하고 비용특성을 분석한 연구를 중심으로 고찰하여 비용함수의 형태, 사용자료, 추정방법, 비용특성 분석과 관련한 내용을 검토하였다. 제2절에서는 대중교통 운송업의 소유구조와 비용의 관계에 관한 내용을 검토하였다. 마지막으로 제3절에서는 제1절과 제2절에서 고찰한 선행연구가 시사하고 있는 내용을 종합하여 시사점을 도출하고, 본 연구의 차별성을 제시하였다.

제 1 절 도시철도 운송업의 비용특성 분석에 관한 선행연구

본 연구의 분석 대상은 도시철도 운영기관이며, 공간적으로는 도시철도가 건설된 한국과 일본의 주요 도시이다. 따라서 시공간적으로 동일하거나 중첩되는 분석 대상으로 수행된 연구가 본 연구와 연관성이 깊을 것으로 예상되는바 한국의 도시철도 운영기관을 대상으로 수행된 연구와 일본 도시철도 운영기관을 대상으로 수행된 연구를 중심으로 고찰하였다. 하지만 한국과 일본의 도시철도 운영기관의 비용함수 추정에 관한 연구사례가 많지 않아 한국과 일본 외의 국가에서 수행된 연구중 본 연구의 내용과 연관성이 있는 연구를 추가적으로 검토하였다.

김성수와 김민정(1999)은 서울시 지하철을 대상으로 비용함수를 추정

하고 비용구조를 분석한 연구이다. 이 연구에서는 콥-더글라스 함수형태의 가변비용함수를 구축하고, 서울지하철공사의 1976년부터 1995년까지 20년 시계열 자료를 이용하여 가변비용함수를 추정하였다. 가변비용함수의 설명변수는 전동차-km 산출물, 노동가격, 동력가격, 전동차가격, 궤도연장으로 구성되며, 종속변수는 가변비용으로 설정하였다. 이 연구에서는 결합일반화최소자승법을 이용하여 모형을 추정하였다. 이에 자본가격을 더하여 단기 총비용함수를 도출하여 밀도의 경제와 규모의 경제가 존재하는지를 분석하였다. 비용특성 분석결과 밀도의 경제(가변비용함수 : 0.611, 단기총비용함수 : 0.780)와 규모의 경제(가변비용함수 : 0.317, 단기총비용함수 : 0.137)가 존재한다는 점을 구명하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 서울시의 지하철을 운영하는 두 운영기관의 통합하는 것이 타당하다는 정책적 제언을 도출하였다.

김성수와 박진경(2003)은 서울시 지하철의 적정요금 수준을 추정하기 위하여 서울시 지하철과 부산시 지하철을 대상으로 트랜스로그 가변비용함수 모형을 추정한 연구이다. 설명변수는 앞에서 검토한 연구와 마찬가지로 전동차-km산출량과 요소의 단위가격, 궤도연장으로 설정하였으며 서울시와 부산시의 자료를 같이 사용하였으므로 서울시와 부산시를 구분하는 1차항 더미변수를 추가하였다. 가변비용 함수 추정에 사용된 자료는 불균형패널 자료로 서울시는 서울시 지하철공사의 1976년부터 2001년까지 자료를 사용하였으며, 부산시는 부산교통공단의 1989년부터 2001년까지 자료를 사용하였다. 이 연구에서는 서울지하철공사의 밀도의 경제성 지수만 제시하고 있으며, 밀도의 경제성 지수가 1985년까지 증가하다가 감소하는 것으로 분석되었다. 1976년 밀도의 경제성 지수는 0.087이며, 1985년 밀도의 경제성 지수는 0.520로 증가하다가 2001년 밀도의 경제성 지수는 0.216으로 낮아졌다. 따라서 전 연도에 대하여 밀도의 경제가 존재하는 것으로 나타났다.

김민정(2000)은 서울시 지하철을 대상으로 비용변경접근법으로 비용함수를 추정하고 비용구조를 분석한 연구이다. 이 연구에서는 트랜스로그 함수형태의 가변비용함수를 구축하고 이를 확률적 프론티어방법으로 추

정하였다. 가변비용함수의 설명변수는 김성수와 김민정(1999)과 유사하게 전동차-km 산출량, 생산요소의 단위가격, 궤도연장으로 설정하였다. 이 연구에서 가변비용함수추정에 사용한 자료는 1976년부터 1998년까지 23년 시계열 자료이다. 가변비용함수에 자본관련 변수를 추가하여 총비용함수를 구축하였다. 추정된 비용함수를 이용하여 밀도 및 규모의 경제성을 분석하였고, 편대체탄력성과 요소수요의 가격탄력성을 산정하여 생산요소 투입의 효율성과 생산요소 간 대체와 보완관계를 분석하였다.

총비용함수와 가변비용함수를 이용하여 추정한 결과 모두 밀도의 경제가 존재하고, 1976년부터 1985년까지 밀도의 경제성 지수는 김성수와 김민정(1999)에서 추정한 결과와 유사한 수준으로 나타났다. 이후 이 연구에서는 1998년까지 밀도의 경제성 지수가 감소하여 1998년 0.392로 추정되었다. 그러나 규모의 경제의 경우 동일한 대상으로 수행된 연구인 김성수와 김민정(1999)과 상이하게 나타났다. 가변비용함수에서는 시간의 흐름에 따라 규모의 불경제가 존재하다가 규모의 경제가 존재하는 것으로 변화하였으며, 총비용함수에서는 이와 반대로 나타났다.

또한 이 연구에서는 비용변경 전 모형과 비용변경모형의 밀도와 규모의 경제성 지수를 제시하고 있다. 가변비용함수의 비용변경에 따른 규모의 경제성 지수가 더 크게 추정되는 것으로 나타났고, 밀도의 경제성 지수는 1985년 이전에는 더 크게 나타났지만 이후에는 더 작게 추정되었다. 이 연구는 가변비용함수를 이용하여 규모의 경제성 지수를 추정하는 경우 규모의 경제가 존재하는 반면, 총비용함수의 경우 규모의 불경제가 존재하므로, 여객부문과 시설부문의 운영주체를 분리하는 수직적 분리를 전제로 서울시의 두 도시철도 운영기관의 통합이 비용관점에서 타당하다는 결론을 도출하였다.

한편, 확률적 프론티어 방법을 이용하여 측정된 가변비용의 생산비효율은 18.7%, 총비용함수의 생산비효율은 5.7%이며, 이를 개선하는 경우 1998년을 기준으로 약 1200억원의 비용을 줄일 수 있을 것이라는 결론을 도출하였다. 생산 비효율의 주된 원인으로 노동과 유지보수의 과다투입을 지적하였다.

김민정(2004)은 서울시와 부산시의 도시철도운영기관, 철도청을 대상으로 확률적 프론티어 방법과 자료포락분석을 사용하여 도시철도 운영기관의 효율성과 생산성을 분석한 연구이다. 서로 다른 두 가지 방법으로 도시철도 운영기관의 효율성과 생산성을 분석하여 비교하였다. 확률적 프론티어 방법은 트랜스로그 형태의 총비용함수를 구축하고 추정하였고, 동일한 자료에 대하여 자료포락분석을 수행하였다. 추정에 사용한 자료는 1976년부터 2000년까지 서울지하철공사와 부산교통공단, 철도청의 불균형 패널자료를 사용하였다.

확률적 프론티어 방법과 자료포락분석으로 추정된 규모의 경제성 지수가 다소 상이하게 추정되었다. 이 중 확률적 프론티어 방법을 이용하여 추정된 밀도의 경제성 지수는 서울시와 부산시의 경우 분석대상 기간 전체에 대하여 밀도의 경제가 존재하는 것으로 추정되었고, 철도청의 경우 시간이 흐름에 따라 밀도의 불경제가 존재하다 밀도의 경제가 존재하는 것으로 추정되었다. 규모의 경제성 지수는 서울시와 부산시의 경우 영업 개시 초기에는 규모의 불경제가 존재하다가 이후 규모의 경제가 존재하는 것으로 추정되었고, 철도청은 분석기간 전체에서 규모의 경제가 존재하는 것으로 추정되었다. 이러한 결과로부터 밀도의 경제가 존재하므로 비첨두시의 운행을 늘려 생산성을 향상시킬 수 있을 것이며, 규모의 경제가 존재하므로 수도권의 도시철도 운영기관의 통합이 비용관점에서는 타당하지만 조직의 유형에 따라 다를 것이라는 정책제언을 도출하였다. 이 연구에서는 조직의 유형을 정부부처형 공기업, 국가공단, 지방공기업으로 구분하였고, 지방공기업의 생산효율성이 가장 높게 나타났다. 이 차이의 원인을 경영자율성으로 지적하고 있다. 이에 따라 새로 건설되는 도시철도노선의 운영기관의 경영자율성을 확보할 수 있는 지방공기업으로 하는 것이 비용관점에서 유리할 것이라는 정책제언을 도출하였다. 중앙정부의 의견이 의사결정과정에 많이 반영되는 경우 효율성을 추구하기 보다는 정치적, 정책적 목표달성을 추구하기 때문이다. 실제로 이후 우리나라 도시철도 운영기관의 경영효율성 개선을 위하여 지방공기업 형태로 개편되었다. 이 연구에서는 비록 공공부문의 운영을 전제하였지

만 경영자율성과 생산효율성이 양의 상관관계를 가진다는 연구결과는 정치적, 정책적 의사결정의 영향을 가장 적게 받을 수 있는 민간 운영기관이 가장 효율적일 수 있다는 점을 시사한다.

김수현과 정헌영(2014)은 한국의 공영 도시철도 노선을 대상으로 확률적 프론티어 방법으로 가변비용함수를 추정하고 효율성과 생산성을 분석한 연구이다. 가변비용 함수는 트랜스로그 함수형태로 구축하였고, 2007년부터 2012년까지 6년의 공영 도시철도 운영기관의 자료를 이용하여 추정하였다. 설명변수로 요소가격과 산출물 외에도 개통연도, 지역, 노선수 등 각 운영기관의 특성을 나타내는 1차항 더미 변수를 추가하였다. 효율성 분석결과 17개 노선의 평균 비효율성은 5.42%로 추정되었고, 1개 또는 2개노선만 있는 지역의 노선의 비효율이 큰 것으로 나타났다. 이 연구는 개별 노선 단위의 분석을 수행했다는 점과 노선의 특성을 나타내는 더미 변수를 추가하여 노선특성과 비효율성의 관계를 분석했다는 점에서 앞서 수행된 연구와 다르다. 이 연구에서는 한국 도시철도 운영기관을 대상으로 수행된 연구와 마찬가지로 가변비용 중 노동과 유지보수비용의 과다투입이 비효율의 원인이라고 지적하고 있으며, 노동과 유지보수 두 요소는 대체관계에 있는 것으로 분석되었다. 이 연구결과는 실제 도시철도 운영기관에서 겪고 있는 인력의 증원과 감원에 관한 논쟁에 대한 실증적인 분석결과를 제공하고 있다.

이외에도 국내에서 도시철도의 운영비용을 추정한 연구가 존재한다. 이재명 외(2007), 박정수(2008), 정수영과 이원영(2013)에서는 선형모형으로 운영비용을 추정하는 모형을 구축하였으며, 이러한 연구에서는 모형의 적합도에 초점을 맞추어 수행되어 비용구조에 대한 분석은 수행되지 않았다. 다만 이러한 연구에서 도시철도 운영비용에 영향을 미치는 다양한 변수의 영향을 확인할 수 있었다. 이재명 외(2007)에서는 서울시 8개 노선의 2001년부터 2006까지의 패널자료를 이용하여 운영비용을 추정하였다. 이 연구에서는 차량보유대수, 차량소요대수, 노선연장, 예비율, 운행횟수 등이 운영비용에 영향을 미친다고 하였고, 박정수(2008)에서는 이재명 외(2007)과 동일한 자료를 활용하였으며, 해당 연구에서 제시한

변수에 추가적으로 정거장 수가 운영비용에 영향을 미친다고 하였다. 정수영과 이원영(2013)에서는 한국 5개 광역시의 불균형 패널자료를 이용하여 도시철도 운영비용함수를 추정하였다. 이 연구에서는 차량보유대수, 편성수, 정거장수, 영업연장이 운영비용에 영향을 미친다고 하였다. 운영비용을 추정한 연구들의 결과를 종합하면 준 고정요소인 노선(영업)연장, 정거장 수와 가변요소인 전동차 대수 및 운행횟수 등의 변수가 운영비용에 영향을 미친다고 할 수 있다.

<표 1> 국내 도시철도운송업의 비용함수를 추정한 선행연구

연구(연도)	연구대상 및 자료	추정방법	함수 형태	종속변수	산출물	생산요소
김성수·김민정 (1999)	서울 시계열	일반	콥-더글라스 비용함수	총비용	전동차-km	노동, 전력, 전동차(자본), 궤도연장
김성수·박진경 (2003)	서울, 부산 불균형 패널	일반	트랜스로그 비용함수	가변비용	전동차-km	노동, 동력, 유지보수
이재명·원제무·노정현 (2007)	서울 8개노선 균형패널	일반	선형	운영비용	-	차량보유대수, 차량소요대수, 노선연장, 예비율, 운행횟수
박정수 (2008)	서울 균형패널	일반	선형	운영비용	운행횟수	노선연장, 정거장 수, 차량보유대수, 차량소요대수, 예비율, 운행횟수
정수영·이원영 (2013)	한국 5개광역시 불균형패널	일반	선형	운영비용	-	차량보유대수, 편성수, 정거장수, 영업연장
김민정 (2000)	서울 시계열	SFA	트랜스로그 비용함수	가변 및 총비용	전동차-km	노동, 동력, 유지보수, 궤도연장, 자본
김민정 (2004)	서울, 부산, 철도청, 불균형패널	SFA, DEA	트랜스로그 비용함수	총비용	전동차-km	노동, 동력, 유지보수, 궤도(자본)
김수현·정헌영 (2014)	한국 6개도시, 불균형패널	SFA	트랜스로그 비용함수	가변비용	열차·km	노동, 동력, 유지보수, 궤도연장

국내 도시철도 운송업의 비용함수를 추정한 연구 외에도 외국의 도시철도운송업의 비용함수를 추정한 연구를 검토하였다. 비록 한국과 사회경제적 여건과 자료수집 시점의 차이가 존재하나, 본 연구와 유사한 분석 틀을 사용한 국외 연구를 검토하였다.

<표 2> 외국 도시철도운송업의 비용함수를 추정한 선행연구

연구(연도)	연구대상 및 자료	추정방법	함수 형태	종속변수	산출물	생산요소
Viton (1980)	미국, 캐나다 8개 도시, 불균형패널	일반	트랜스로그 비용함수	가변비용	전동차-mile	노동, 동력, 궤도연장
Viton(1993)	미국, 캐나다 9개 도시, 불균형패널	SFA	트랜스로그 비용함수	가변비용	전동차-mile	노동, 동력, 차량/궤도연장 비율
Mizutani (1996)	일본, 불균형패널	일반	콥더글라스, 트랜스로그 비용함수	가변비용, 총비용	인-km	노동, 동력, 유지관리, 차량, 궤도연장
Savage (1997)	미국, 불균형패널	일반	트랜스로그 비용함수	가변비용, 총비용	전동차-시간	노동, 동력, 유지관리, 궤도연장, 평균주행거리, 첨두율, 자동화더미, 차량별더미
Mizutani (2004)	일본, 불균형패널	일반	트랜스로그 비용함수	단기가변 비용, 장기총비용	전동차-km	노동, 동력, 유지관리, 노선평균연장, 평균역간거리, 노선수, 지하연장비율

Viton(1980)은 미국과 캐나다의 8개 도시를 대상으로 도시철도의 가변비용함수를 추정한 연구이다. 가변비용함수는 트랜스로그 함수형태로 구축하였다. 설명변수로 전동차-mile산출물, 노동, 동력, 궤도연장을 사용하였으며, 1960년부터 1970까지 8개도시의 불균형 패널자료를 이용하여 가변비용 함수를 추정하였다. 추정된 가변비용함수를 이용하여 평균비용,

한계비용, 편대체탄력성, 수요탄력성, 밀도의 경제성 지수 등을 추정하였다. 이 연구에서는 밀도의 경제성 지수와 도시의 규모의 관계를 분석하였다. 도시의 규모가 큰 대도시권 지역에서는 밀도의 불경제가 존재하고, 중소도시에서는 밀도의 경제가 존재한다고 하였다. 밀도의 경제성 지수는 최소 - 2.33에서 0.51까지 도시의 규모와 반비례하는 것으로 나타났다.

Viton(1993)은 Viton(1980)에서 연구대상으로 한 미국과 캐나다의 8개 도시에 1개의 도시를 더하여 9개 도시를 대상으로 도시철도 가변비용함수를 확률적 프론티어방법으로 추정한 연구이다. 추정에 사용한 자료는 Viton(1980)과 같은 자료에 추가된 도시의 1960년부터 1970년 사이 자료 더한 불균형 패널자료이다. 설명변수는 Viton(1980)과 동일하지만 궤도연장 변수를 차량/궤도연장의 비율을 사용하였고 각 도시의 더미변수를 추가하였다. 앞서 수행된 연구와 동일한 비용구조 지표를 산정하였는데, 이 연구에서는 모든 도시의 운영기관에 밀도의 불경제가 존재하는 것으로 분석되었다. 이는 Viton(1980)의 결과와 상이한 결과로 비용변경접근법으로 비용함수를 추정하는 경우 비용구조가 다르게 나타날 수 있음을 시사한다.

Mizutani(1996)은 일본 도시철도 운영기관 46개를 대상으로 가변비용함수와 총비용함수를 추정한 연구이다. 함수의 형태는 콥-더글라스 함수와 트랜스로그 함수 모두 추정하여 적합성이 높은 모형을 이용하였다. 추정에 사용한 자료는 1987년에서 1989년의 불균형 패널자료를 이용하였다. 설명변수로 요소가격과 산출량(승객-km) 외에 고정요소의 가격, 정거장 면적, 지하비율, 노선 수, 재차 인원, 소유구조 더미 변수 등 다양한 변수를 사용하였다. 설명변수는 기본 통계자료로부터 다양한 지표를 산정하고, 지표 간 통계적 분석을 수행하여 선정되었다. 규모의 경제성 지수와 밀도의 경제성지수 추정결과 밀도의 경제는 존재하나, 규모의 경제는 존재하지 않는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 비용함수의 추정 외에도 다양한 지표 사이의 영향과 이를 분석하는 틀을 제시하고 있으며, 본 연구의 분석 틀을 설정하고 추정결과를 해석하는데 많은 시사점을 제공하였다.

Savage(1997)는 미국의 도시철도 운영기관을 대상으로 가변비용함수와 총비용함수를 추정한 연구이다. 비용함수는 트랜스로그 함수형태를 사용하였으며, 1985년부터 1991년까지 13개 중량전철과 9개의 경량전철 및 노면전차 노선의 불균형 패널자료를 사용하였다. 이 연구에서는 산출물을 평균 탑승거리와 첨두시와 비첨두시의 소요차량수 비율로 산정된 첨두율 두 가지를 사용하였다. 설명변수로는 평균주행거리, 첨두율, 자동화, 차량형식별 더미변수 등의 변수를 추가하였다. 이 연구에서는 두 가지 산출물을 고려하고 있지만 이는 산출행태와 이용자 특성을 반영한 변수이며 본 연구의 다수 산출물 비용함수와는 다른 개념이다. 평균이용거리는 수요측면의 산출물이며, 첨두율의 경우 공급측면의 산출물이라고 할 수 있다. 앞서 살펴본 연구와는 다르게 공급과 수요 측면을 동시에 고려한 연구이다. 밀도의 경제성 지수와 규모의 경제성 지수 추정결과 모든 운영기관에 밀도의 경제가 존재하는 것으로 추정되었고, 대부분의 운영기관의 경우 규모의 경제 또는 불경제가 존재하지 않는 것으로 추정되었다. 이 연구에서는 밀도의 경제가 존재하기 때문에 자연독점 산업으로 자리잡고 있다고 지적하고 있다. 그러나 동일한 선로를 서로 다른 도시철도 운영기관이 동시에 운영하는 것은 한계가 존재하기 때문에 경쟁을 유도하기 위한 방법으로 계약기간을 짧게 설정하는 방안을 제시하고 있다. 또한 규모수익불변이 나타났으므로 대규모 도시철도 운영기관을 민영화하는 경우 작은 규모로 분할하는 것이 바람직 하다고 제언하고 있다.

Mizutani(2004)는 일본 민영 도시철도 운영기관을 대상으로 가변비용함수와 장기평균비용 함수를 추정한 연구이다. 비용함수는 트랜스로그 함수 형태로 구축하였다. 추정에 사용한 자료는 일본의 56개 민영 도시철도 운영기관의 1970년부터 2000년까지 5년 간격의 자료를 불균형 패널 자료로 구축하여 사용하였다. 이 연구에서는 비용특성인 밀도와 규모의 경제성 지수를 추정하였고, 민영운영기관의 최적 산출량과 최적 규모를 산정하였다. 이 연구에서 추정된 밀도의 경제성 지수와 규모의 경제성 지수는 각각 1.638과 1.102로 밀도의 경제와 규모의 경제가 모두 존재

하는 것으로 추정되었다. 민영운영기관의 최적 산출규모는 연간 231백만 전동차-km이며, 영업연장은 63.8km(노선 당 11km, 5.8개 노선)를 제시하고 있는데, 이는 비교적 짧은 노선을 다수 운영하는 것이 비용관점에서 가장 효율적이라는 것을 시사하고 있다.

제 2 절 소유구조가 대중교통 운영기관의 비용에 미치는 영향에 관한 선행연구

Mizutani(1993)는 일반적으로 연구자들이 민영운영기관이 공영운영기관보다 효율적이라고 간주하는데 실제로 소유구조별로 노동생산성과 노동의 사용에 어떠한 차이가 존재하는지 분석한 연구이다. 일본 도시철도 운영기관을 대상으로 도시철도 운영에 필요한 각 활동을 기반으로 노동생산성을 로그-로그 모형을 구축하여 추정하였다. 운영에 필요한 활동은 운행, 역무, 궤도 유지보수, 전동차 유지보수, 일반관리로 구분하였다. 설명변수로 승객-km, 영업연장, 노선수, 노선당 영업연장, 정거장수, 지하연장 비율, 지하정거장 비율, 차내혼잡도를 사용하였다. 노동생산성 추정결과 공영운영기관의 노동생산성은 모든 부문에서 민영운영보다 낮은 것으로 나타났고, 이 중 특히 역무와 전동차 유지보수부문에서 가장 큰 차이가 있는 것으로 추정되었다. 운행부문은 소유구조별 노동생산성은 유사한 수준으로 나타났다. 역무부문의 노동생산성이 차이가 발생한 나타난 원인으로 지하정거장의 비율과 정거장 수의 차이를 지적하였다.

한편, 공영운영기관의 역무 자동화 시설의 도입비율이 높은데도 불구하고 노동생산성이 낮게 나타난 결과는 역무 자동화 시설이 역무부문의 노동생산성을 개선하는 효과가 적다는 점을 시사하고 있다. 유지보수 부문에서 민간운영기관의 노동생산성이 높은 이유로 외부 위탁 계약을 통하여 비용을 절감하였기 때문이라고 지적하고 있다. 이 연구의 결과는 역무와 유지보수부문에서 절감할 수 있음을 시사한다. 역무의 경우 일부 업무가 자동화 됨에 따라 인력투입을 절감하여 노동생산성을 향상시킬 수 있을 것이다. 유지보수의 경우 자체적인 생산성 향상 노력을 하는 것이 바람직하지만 이러한 노력이 없다면 외부위탁을 통해 생산성을 향상시킬 수 있을 것이다. 외부에 위탁한다는 것은 수탁자 간 경쟁을 통해 효율성을 극대화 한다는 의미이다. 이를 바꾸어 말한다면 유지보수를 내부적으로 수행하는 경우 경쟁이 존재하지 않기 때문에 효율성을 극대화하려는 유인이 없어 생산성이 저하될 수 밖에 없다는 것이다. 이 연구에

서 낮은 노동생산성의 원인으로 지적한 사항은 우리나라 도시철도 운영기관에도 동일하게 존재할 것으로 판단되는바 우리나라 도시철도 운영기관의 노동생산성 개선에 있어 시사하는 내용이 많다.

이와 비슷한 시기에 일본의 일반철도를 대상으로 철도 민영화의 효과를 분석한 연구인 Mizutani와 Nakamura(1996)은 일본 국영 철도(JNR)의 민영화 이전과 이후(JR)의 노동생산성을 비교하였고, 민영화된 이후 JR의 생산성을 일본 대형 민영 철도 운영기관과 비교하여 효율성을 평가하였다. Mizutani(1993)에서 사용한 활동기반 노동생산성 분석방법을 적용하였다. 일본 국영 철도(JNR)의 민영화는 인력을 22% 감축하여 노동생산성을 약 29% 향상시켰다. JR은 인력감축을 통해 노동생산성을 향상시켰음에도 불구하고 유사한 규모의 대형 민영 철도보다 종업원수가 약 20% 더 많았다. 주로 역무와 유지보수 부문에서 노동생산성이 낮게 나타났다. 이는 Mizutani(1993)에서 공영운영기관과 민영운영기관에서 제시한 결과와 같은 맥락의 결과이다. 따라서 JR은 민영화 되었음에도 불구하고 일부 부문에서는 과거 공영운영기관의 행태를 유지하고 있음을 의미한다. 또한 이 연구에서는 노동생산성 향상을 위한 인원감축이 안전을 저해할 수 있다는 의문에 대하여 JR의 사례에서는 인력을 감축과 사고는 연관성이 없다는 결과를 제시하였다.

이 연구는 공공에서 민간부문으로 소유구조가 변화하는 경우 노동생산성을 크게 향상시킬 수 있다는 시사점을 제공하고 있다. 도시철도와 일반철도는 서비스 특성, 시설특성의 차이가 존재하지만 두 철도산업에서 모두 민영운영기관이 공영운영기관에 비하여 더효율적인 것으로 나타났다. 이러한 효율성 차이의 주된원인을 노동생산성의 차이로 지적하고 있다.

Mizutani(2004)에서는 10개의 일본 공영 지하철 운영기관의 평균값을 이용하여 일본 민영운영기관과 공영운영기관의 비용차이를 분석하였다. 공영운영기관이 민영화 되어 가장 효율적인 민영운영기관이 되는 경우 공영 대비 총비용은 약 52%수준으로 절감되고, 가장 비효율적인 경우 약 88%, 평균적으로 68% 수준으로 절감되는 것으로 추정되었다. 이는

공영운영기관의 과대자본화를 시사하고 있다. 가변비용의 경우 평균적으로는 공영 대비 93%수준으로 소유구조가 효율성의 차이의 주된 원인은 아니라는 결과를 제시하고 있다. 이러한 결과가 나타난 원인으로 중소규모 민영운영기관의 경우 지역적으로 독점의 위치에 있고 운임규제가 이들의 영업권을 보장하고 있어 효율적이지 않기 때문으로 지적하고 있다. 이에 더하여 공영운영기관의 경우 비교적 최근에 건설된 노선이 많아 기술적으로 진보된 시스템이 도입되어 비용이 절감되었고, 정부의 예산제약으로 인한 운영비용의 저감 노력 역시 이러한 결과가 나타난 원인으로 제시하고 있다.

한편, 도시철도와 더불어 대표적인 대중교통 수단인 버스산업을 사례로 소유구조와 비용의 관계를 분석한 연구인 Roy와 Yvrande-Billon(2007)는 프랑스 시내버스의 소유구조 및 계약방식과 기술효율성의 관계를 분석한 연구이다. 버스 운영기관의 지분구성에 따라 소유구조는 공영, 준공영, 민영 으로 구분하였으며, 계약방식은 순비용 계약, 총 비용 계약, 관리 계약으로 구분하였다. 1995년부터 2002년까지 135개 운영기관의 패널자료를 이용하여 확률적 프론티어 방법으로 트랜스로그 생산함수를 추정하였다. 소유구조별 기술효율성 추정결과 민영운영기관이 가장 높고, 이어서 공영, 준공영의 순으로 나타났다.

Karlaftis(2010)는 유럽 15개 도시의 버스시스템의 트랜스로그 가변비용함수를 확률적 프론티어 방법으로 추정하여 소유구조별 생산효율성을 비교한 연구이다. 추정에는 1990년부터 2000년까지 패널자료를 이용하였다. 추정결과 공영운영기관의 생산 비효율성은 31%로 추정되었으며, 민영운영기관의 경우 이보다 낮은 6.3%~12%로 추정되었다. 민영운영기관의 효율성이 높게 나타난 이유는 민간운영기관은 입찰과정에 경쟁이 존재하기 때문이라고 지적하고 있다.

이외에도 15개 도시철도 운영기관을 대상으로 DEA방법을 적용하여 효율성을 분석한 연구인 Jain 외(2008)에서는 소유구조는 크게 공영, 민영, 공영법인으로 구분하였다. 그 결과 민영운영기관의 효율성이 가장 높고, 공영법인, 공영의 순으로 나타났다. 그리고 Boitani 외(2013)의 연구

는 유럽 9개국의 대중교통 운영기관을 대상으로 총요소생산성(TFP)를 추정한 결과 민영운영기관의 생산성이 공영운영기관보다 높았다.

앞서 살펴본 연구들과는 상반되는 의견을 제시한 연구도 존재하였다. Chang과 Phang(2017)에서는 동아시아 주요 도시의 도시철도 산업을 살펴보았다. 그 결과 민영운영기관이 비용관점에서는 효율적일수 있지만 동아시아 주요 대도시는 도시철도망이 매우 복잡하고 열차밀도가 매우 높기 때문에 대형 운영기관에 적합한 운영기관의 조직형태는 수직적으로 통합된 공영운영기관이라고 제시하였다. Phang(2007)에서도 이와 같은 맥락의 결론을 제시하고 있다. 동아시아의 많은 대도시에서 공공-민간 파트너쉽(PPP)을 통하여 많은 도시철도 노선이 건설되어 왔는데, 생산비용의 절감이라는 측면에서는 민간부문과 합작 또는 민영운영 방식을 도입하는 것이 유리하지만 거래비용과 거버넌스 비용 등의 추가적인 비용이 많이 발생하는 경우 생산비용의 절감효과를 상쇄하거나 결과적으로 더 많은 비용이 발생하게 되는 결과를 초래하게 된다고 지적하고 있다. 또한 Hong(2016)은 한국의 공영과 민영 도시철도 운영기관의 효율성을 비교하였다. 그 결과 서울 9호선을 운영하는 민영운영기관의 효율성이 서울의 공영운영기관보다 낮게 나타났다. 그 이유로 최소수입보장(MRG)가 존재하고 재정투명성이 낮기 때문에 비용을 절감하려는 노력을 소홀히 하기 때문이라고 지적하였다.

한편, Roy와 Yvrande-Billon(2007)는 공공과 민간부문의 합작형태인 준공영 운영기관의 효율성이 낮은 원인으로 공공과 민간 부문이 서로 기회주의적 행태를 보이기 때문이라고 지적하고 있다. 그 이유는 준공영 운영기관읜 책임의 주체가 명확하지 않고, 효율성 개선에 대한 유인이 낮기 때문이다. 또한, 공영 운영기관의 형태로 운영되는 경우 지방정부가 대중교통 부문에 대한 관심이 높기 때문에 직접 운영하기 때문에 더 효율적인 운영성과가 도출된 반면, 관심도가 낮은 지방정부는 이를 민간부문에 전부 또는 일부를 위탁한 것이므로 효율성이 낮을것이라고 지방정부의 대중교통 서비스에 대한 적극성을 그 원인으로 지적하였다.

제 3 절 시사점 및 본 연구의 차별성

본 연구에서는 앞서 수행된 도시철도 운송업의 비용특성을 분석한 연구와 소유구조가 대중교통 운영비용에 미치는 영향을 분석한 연구를 살펴보았다. 먼저 앞서 수행된 도시철도 운송업의 비용특성을 분석한 연구를 고찰하여 도시철도 운송업에 밀도 및 규모의 경제가 존재하는지, 도시철도 운영기관의 특성과 비용은 어떤 관계를 가지는지를 살펴보았다. 주요 연구의 비용특성 분석결과는 <표 3>과 같다.

우리나라 도시철도 운영기관의 비용특성을 분석한 연구에서는 연구별로 상이한 결과를 제시하고 있다. 김성수와 김민정(1999)에 따르면 서울지하철 공사에 밀도와 규모의 경제가 존재하고, 김성수와 박진경(2003), 김민정(2004)에서는 서울과 부산 모두 밀도의 경제가 존재하였다. 반면, 김민정(2000)에서는 상이한 결과를 제시하고 있다. 서울 지하철 공사에 밀도의 경제는 존재하지만, 가변비용 함수를 이용하여 분석한 결과 규모의 경제가 존재하지만 총비용함수를 이용하여 분석하는 경우 규모의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 이들 연구결과는 우리나라 일부 운영기관을 대상으로 하였지만 대체로 밀도의 경제는 존재하지만, 규모의 경제의 존재여부는 불명확하다는 내용을 시사하고 있다.

한편, 외국 도시철도운송업의 비용특성을 분석한 연구결과에서도 상이한 결과가 나타났다. 일본 도시철도를 대상으로 한 연구인 Mizutani (1996)에서는 밀도의 경제가 존재하고, 규모의 불경제가 존재하였다. Mizutani(2004)는 일본 민영 도시철도 운영기관을 대상으로 하였는데, Mizutani (1996)는 다르게 밀도의 경제와 규모의 경제가 모두 존재하였다. 미국과 캐나다의 도시철도를 대상으로한 Viton(1980)은 대도시의 도시철도 운영기관은 밀도의 불경제가 존재하고, 중소규모의 도시는 밀도의 경제가 존재했다. Viton(1993)의 결과는 미국과 캐나다의 도시철도 운영기관 전체에 밀도의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 미국 도시철도 운영기관을 대상으로 한 Savage(1997)에서는 밀도의 경제는 존재하나 규모의 경제 또는 규모의 불경제가 존재하지 않았다.

<표 3> 선행연구의 비용특성 분석결과

연구(연도)	연구대상 및 자료	추정방법	종속변수	산출물	밀도 및 규모의경제
김성수· 김민정 (1999)	서울 시계열	일반	총비용	전동차-km	밀도의 경제, 규모의 경제
김성수· 박진경 (2003)	서울, 부산 불균형 패널	일반	가변비용	전동차-km	밀도의 경제(서울)
김민정 (2000)	서울 시계열	SFA	가변 및 총비용	전동차-km	밀도의 경제 (가변 및 총비용), 규모의 경제(가변), 규모의 불경제(총비용),
김민정 (2004)	서울, 부산, 철도청, 불균형패널	SFA, DEA	총비용	전동차-km	밀도의 경제, 규모의 경제
Viton (1980)	미국, 캐나다 8개 도시, 불균형패널	일반	가변비용	전동차-mile	밀도의 경제(대도시), 밀도의 불경제 (중소도시)
Viton(1993)	미국, 캐나다 9개 도시, 불균형패널	SFA	가변비용	전동차-mile	밀도의 불경제
Mizutani (1996)	일본, 불균형패널	일반	가변비용, 총비용	인-km	밀도의 경제 규모의 불경제
Mizutani (2004)	일본 민영, 불균형패널	일반	가변 비용, 총비용	전동차-km	밀도의 경제 규모의 경제
Savage (1997)	미국, 불균형패널	일반	가변비용, 총비용	전동차-시간	밀도의 경제 규모의 경제효과 없음

앞서 수행된 연구의 결과를 정리하면 대부분 도시철도 운송업 또는 운영기관의 경우 밀도의 경제가 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 규모의 경제는 서로 다른 결과가 나타났다. 그러나 Viton(1993)은 Viton(1980)과 거의 동일한 자료를 사용하였음에도 상반된 결과가 나타났다. 이는 비용함수 추정 방법의 차이에서 기인한다. Viton(1993)은 Viton(1980)과는 다르게 비용변경접근법인 확률적 프론티어 접근법(SFA)을 이용하였다. 경제적인 비용함수의 경우 생산주체가 생산기술과 생산요소를 이용하여 원하는 생산량하는데 있어 비용을 최소화한다는 가정을 수반하게 된다. 그러나 실제로 생산주체는 다양한 이유로 인하여 비용을 최소화 하지 못하기 때문에 관측된 비용에 비효율로부터 야기된 비용이 포함되어 있게 된다. 따라서 모수적 비용변경접근법인 확률적 프

론티어 방법을 이용하는 경우 비용에 포함된 비효율을 제거한 비용을 종속변수를 사용하기 때문에 비용구조를 파악하는데 더 적합하다고 알려져 있다. Viton(1980)과 Viton(1993)의 차이는 이를 보여주는 사례이다. 본 연구도 이러한 이유로 확률적 프론티어 방법을 사용하였다.

한편, 앞서 수행된 연구에서는 차량의 형식을 고려하지 않고 단일산출물로 가정하였다. 그러나 도시철도 노선의 차량형식별로 비용특성이 상이할 것이다. 예를 들면, 중량전철과 경량전철의 경우 차량의 크기가 다르고, 운전방식, 궤도 형식도 상이할 것이다. 이러한 차이가 존재하기 때문에 이들을 단일산출물로 가정하는 것은 다소 무리가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 도시철도 운송업을 다수산출물 산업으로 가정하고 다수산출물 가변비용함수를 구축하였기 때문에 앞서 수행된 연구와 차별성을 가지게 된다. 그리고 다수산출물을 가정하였기 때문에 도시철도 운송업의 범위의 경제를 분석할 수 있고, 이로부터 다양화 되고 있는 도시철도 시스템에 의미있는 정책제언을 제공할 수 있다는 점에서 의의를 가진다.

다음으로 대중교통 운영기관의 소유구조가 비용에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 도시철도 외에도 버스, 노면전차 등 다양한 대중교통 서비스를 대상으로 수행된 연구를 살펴보았다. 먼저 공공부문보다 민영운영기관이 대중교통 서비스를 운영하는 경우 효율성이 더 높았다. Hong(2016)을 제외한 대부분의 연구에서 대중교통 서비스의 운영주체가 민간인 경우 공공부문보다 효율성이 더 높다는 결과를 제시하고 있다. 그 원인으로 Mizutani(1993)와 Mizutani와 Nakamura(1996)는 공영운영기관의 낮은 노동생산성을 지적하였다. Karlaftis(2010), Roy와 Yvrande-Billon(2007), Jain 외(2008), Boitani 외(2013)등은 생산비용절감에 대한 유인의 차이를 지적하였다. 민영운영기관이 경쟁입찰을 통해 운영권을 확보하기 때문에 생산비용 절감에 대한 유인이 크지만, 공영 운영기관은 그렇지 않기 때문이다. 민간부문에서 대중교통 서비스를 운영하는 것이 생산비용관점에서는 타당하다고 할 수 있다. 하지만 이러한 결과로부터 도출된 정책적 제언은 서로 달랐다.

Roy와 Yvrande-Billon(2007)에서는 공공과 민간 부문의 합작인 준공영 형태의 소유구조를 다루었는데, 준공영 형태의 효율성이 가장 낮았다. 그 원인으로 합작으로 인하여 책임주체가 불명확해지기 때문에 오히려 효율성 개선에 대한 유인이 낮아지기 때문이라고 지적하였다. Hong(2016)은 민간 운영기관인 서울 9호선 운영기관과 서울 공영운영기관의 효율성을 비교하였는데, 그 결과 민영운영기관의 효율성이 더 낮았다. 그 이유로 최소수입보장(MRG) 계약을 지적하였다. Phang(2007), Chang과 Phang(2017)은 생산비용의 절감 측면에서 민간부문에서 도시철도 서비스를 운영하는 것이 효율적일 수 있지만, 동아시아의 대도시의 경우 운행밀도가 높고 철도망이 복잡하기 때문에 이들을 조정하고 관리하는과정에서 발생하는 거래비용이 과도하게 발생하기 때문에 오히려 단일 공영운영기관에서 모두 운영하는 것이 더 적합할 것이라고 주장하였다.

앞서 수행된 연구는 대중교통 서비스를 민간부문에서 공급하는 경우 생산비용관점에서 공공부문에서 공급하는 것보다 유리하다는 시사점을 제공한다. 한편으로는 대중교통 서비스 운영기관의 소유구조를 결정하는데 있어 다양한 점을 고려해야 한다는 점도 시사한다. 만일 민간부문에서 대중교통 서비스의 운영을 담당하더라도 비용절감에 대한 유인이 존재하지 않는다면 오히려 효율성이 저하될 수 있다는 것이다. 이를 바꾸어 말하면, 공영 운영기관의 비효율적인 이유는 비용절감에 대한 유인이 적기 때문이며 평가나 규제를 통해 이를 개선할 수 있을 것이라는 점을 시사하고 있다고 할 수 있다.

우리나라 도시철도 운송업에도 민간부문의 참여가 증가하고 있기 때문에 소유구조별로 어떠한 차이가 존재하는지 알아보고, 만일 공영 운영기관의 경영효율성이 낮다면 규제나 평가를 도입할 필요성이 있을 것이다. 이를 위해서는 소유구조 별로 경영효율성이 얼마나 차이나는지, 그 원인은 무엇인지 파악할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 한국과 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 비용 특성을 고려할 수 있도록 소유구조에 대한 특성변수를 가변비용함수의 설명변수로 추가하였다. 또한 소유구조를 단순히 공영과 민영이 아닌 공영, 준공영, 민영으로 구분하였

다는 점에서 차별성을 가진다. 이로부터 다양한 소유구조에 대한 정책제언을 제공할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

제 3 장 연구방법론의 정립

제 1 절 비용함수 모형 및 추정방법

1. 비용함수 설정

본 연구에서는 한국과 일본의 도시철도 운영기관의 비용특성을 분석하기 위하여 가변비용함수를 적절하게 설정할 필요성이 있다. 생산요소와 산출물의 관계가 비선형관계에 있기 때문에 일반적으로 비용함수의 경우 비선형함수이다. 그러나 비선형 함수는 계량적인 추정이 어려워 비용함수를 특정 함수형태로 가정하여 추정한다. 널리 사용되는 형태는 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 함수, 트랜스로그(Translog) 함수 등이다. 콥-더글라스함수의 경우 생산요소와 산출물 관의 관계에 대한 직관적 이해가 쉽고 추정이 간단하다는 점에서 이점이 있지만 규모에 대한 수익 불변을 가정하게 되므로 본 연구의 목적과 부합하지 않는다. 트랜스로그 함수는 각 변수에 자연로그를 취하고, 독립변수의 특정한 점에 대하여 테일러급수로 2차 항까지 전개한 함수형태이다. 트랜스로그함수는 다양한 분야에서 비용함수 추정에 널리 사용되는 함수형태이다. 트랜스로그 함수의 경우 콥-더글라스 함수에 비하여 비교적 유연한 함수형태로 비용특성이 다양한 한국과 일본의 다양한 도시철도 운영기관의 비용함수 추정에 적합한 함수형태라고 할 수 있다. 그러나 트랜스로그함수는 특정한 점(일반적으로 평균)에서 테일러급수로 전개된 함수로 해당 점 근처에서는 본래의 함수형태를 잘 근사하지만, 전개를 수행한 점으로부터 멀어지는 경우 근사한 값의 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 일반적으로 평균점에서 근사하므로 규모의 차이가 매우 큰 경우(자료 간 편차가 큰 경우) 평균으로부터 먼 거리에 있는 자료의 경우 오차가 크게 발생한다는 단점이 존재한다.

비용함수는 다음과 같은 과정으로 도출하였다.

가변비용함수의 일반적 형태를 식(1)과 같다고 하고, 변수의 변동을 지수적 변동으로 가정하여 자연로그를 취하면 식(1)은 식(2)와 같은 형태가 된다.

$$VC = C(P_i, Y_p) \tag{1}$$

여기서, VC = 가변비용
P_i = 생산요소 i의 가격
Y_p = 산출물 p의 산출량

$$\ln VC = C(\ln P_i, \ln Y_p) \tag{2}$$

생산요소와 산출물 간의 관계를 나타내는 가변비용함수 C의 형태를 알 수 없으므로 특정한 점에 대하여 테일러급수를 이용하여 2차항까지 전개하여 함수C를 2차 다항함수로 변환하게 되면 식(3)이 도출된다.

$$\begin{aligned} \ln VC = \; & \alpha + \sum_i \beta_i \ln P_i + \frac{1}{2}\sum_i\sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \\ & + \sum_p \beta_{Y_p} \ln Y_p + \frac{1}{2}\sum_p\sum_q \beta_{Y_pY_q} \ln Y_p \ln Y_q \\ & + \sum_i\sum_p \beta_{iY_p} \ln P_i \ln Y_p \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, VC = 가변비용
P_i = 생산요소 i의 가격
Y_p = 산출물 p의 산출량
D_k = 운영기관의 특성 k에 대한 변수
i, j = 생산요소
p, q = 산출물

트랜스로그 비용함수 추정 시, 추정의 효율성을 높이고 자료의 한계를 극복하기 위하여 결합일반화최소자승법(Iterative Seemingly Unrelated Regression, ITSUR)을 이용하는 경우, 비용함수로부터 도출된 비용비중식과 비용함수를 연립방정식 형태로 구성하여 동시에 추정하게 된다. 이러한 추정방법을 사용하는 경우 비용비중식이 추가되어 자유도가 증가하는 효과를 얻을 수 있기 때문이다.

비용비중식은 비용함수의 성질로부터 얻을 수 있다. 비용함수를 임의의 생산요소의 가격에 대하여 편미분한 값이 생산요소의 투입량과 동일하다는 Shephard정리에 따라 다음 식(4)와 같이 비용비중식이 도출된다.

$$S_i = \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln P_i}, \ \sum_i S_i = 1 \qquad (4)$$

여기서, S_i = 생산요소 i의 비용비중
VC = 가변비용
P_i = 생산요소 i의 가격
i, j = 생산요소

비용비중식은 생산요소의 개수만큼 도출되는데, 비용함수 추정시 비용비중의 합이 1이라는 선형종속관계가 발생하게 되므로 생산요소의 비용비중식 중 한 개를 제외해야 한다. 여기서 비용비중의 합이 1이라는 제약이 수반되므로 어떤 비용비중식을 제외하더라도 결과는 동일하게 나타난다.

한편, 비용함수는 헤시안 행렬의 대칭성 조건과 1차 동차성 조건을 만족해야 한다. 헤시안 행렬의 대칭성 조건은 아래의 식(5)와 같다. 비용함수의 2차항의 계수가 서로 대칭이어야 한다는 조건이다.

$$\frac{\partial \ln TC}{\partial P_i \partial Pj} = \frac{\partial \ln TC}{\partial P_j \partial P_i} \rightarrow \beta_{ij} = \beta_{ji} \qquad (5)$$

1차 동차성 조건을 만족하기 위해서는 다음과 같은 등식이 성립해야 한다.

$$\sum_i \alpha_i = 1$$
$$\sum_j \beta_{ij} = 0 \qquad (6)$$
$$\sum_i \beta_{iY} = 0$$

본 연구에서는 식(3)의 함수형태에 궤도연장과 운영기관의 특성변수를 추가하여 최종적으로 구축한 비용함수는 식(7-1)과 식(7-2)와 같다. 궤도연장(T)의 1차항과 중량전철 산출물(Y_1)과 생산요소 가격(P_i)의 교차항, 궤도연장(T)과 산출물(Y_p)의 교차항은 통계적 유의도가 낮아 제외하였다.

식(7-1)은 도시철도 운영기관의 소유구조를 나타내는 특성변수를 포함한 모형이며, 식(7-2)는 도시철도 운영기관의 국가의 특성변수를 포함한 모형이다. 식(7-1)과 식(7-2)은 각각 모형 1과 모형 2로 설정하였다. 모형 1은 소유구조 특성에 따라 공영, 준공영, 민영 운영기관으로 구분하였고, 모형2는 한국과 일본의 운영기관 특성변수를 포함하여 국가를 구분하였다.

$$\begin{aligned}
\ln VC = {} & \alpha + \beta_L \times (\ln P_L) + \beta_E \times (\ln P_E) + \beta_M \times (\ln P_M) + \beta_{Y_1} \times (\ln Y_1) + \beta_{Y_2} \times (\ln Y_2) \\
& + \frac{1}{2} \times \beta_{LL} \times (\ln P_L)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{EE} \times (\ln P_E)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{MM} \times (\ln P_M)^2 \\
& + \frac{1}{2} \times \beta_{Y_1Y_1} \times (\ln Y_1)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{Y_2Y_2} \times (\ln Y_2)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{TT} \times (\ln T)^2 \\
& + \beta_{Y_1Y_2} \times (\ln Y_1)(\ln Y_2) \\
& + \beta_{LE} \times (\ln P_L)(\ln P_E) + \beta_{LM} \times (\ln P_L)(\ln P_M) + \beta_{EM} \times (\ln P_E)(\ln P_M) \\
& + \beta_{Y_2L} \times (\ln Y_2)(\ln P_L) + \beta_{Y_2E} \times (\ln Y_2)(\ln P_E) + \beta_{Y_2M} \times (\ln Y_2)(\ln P_M) \\
& + \beta_{TL} \times (\ln T)(\ln P_L) + \beta_{TE} \times (\ln T)(\ln P_E) + \beta_{TM} \times (\ln T)(\ln P_M) \\
& + \beta_{LD_2} \times (\ln P_L) \times (D_2) + \beta_{ED_2} \times (\ln P_E) \times (D_2) + \beta_{MD_2} \times (\ln P_M) \times (D_2) \\
& + \beta_{Y_2D_2} \times (\ln Y_2) \times (D_2) \\
& + \beta_{D_2} \times (D_2) + \beta_{D_3} \times (D_3)
\end{aligned} \qquad (7\text{-}1)$$

$$
\begin{aligned}
\ln VC = {} & \alpha + \beta_L \times (\ln P_L) + \beta_E \times (\ln P_E) + \beta_M \times (\ln P_M) + \beta_{Y_1} \times (\ln Y_1) + \beta_{Y_2} \times (\ln Y_2) \\
& + \frac{1}{2} \times \beta_{LL} \times (\ln P_L)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{EE} \times (\ln P_E)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{MM} \times (\ln P_M)^2 \\
& + \frac{1}{2} \times \beta_{Y_1 Y_1} \times (\ln Y_1)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{Y_2 Y_2} \times (\ln Y_2)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{TT} \times (\ln T)^2 \\
& + \beta_{Y_1 Y_2} \times (\ln Y_1)(\ln Y_2) \\
& + \beta_{LE} \times (\ln P_L)(\ln P_E) + \beta_{LM} \times (\ln P_L)(\ln P_M) + \beta_{EM} \times (\ln P_E)(\ln P_M) \\
& + \beta_{Y_2 L} \times (\ln Y_2)(\ln P_L) + \beta_{Y_2 E} \times (\ln Y_2)(\ln P_E) + \beta_{Y_2 M} \times (\ln Y_2)(\ln P_M) \\
& + \beta_{TL} \times (\ln T)(\ln P_L) + \beta_{TE} \times (\ln T)(\ln P_E) + \beta_{TM} \times (\ln T)(\ln P_M) \\
& + \beta_{LD_1} \times (\ln P_L) \times (D_1) + \beta_{ED_1} \times (\ln P_E) \times (D_1) + \beta_{MD_1} \times (\ln P_M) \times (D_1) \\
& + \beta_{D_1} \times (D_1)
\end{aligned}
\qquad (7\text{-}2)
$$

여기서, VC = 가변비용
P_L = 노동의 단위 가격
P_E = 동력의 단위 가격
P_M = 유지보수의 단위 가격
Y_1 = 중량전철 산출량
Y_2 = 모노레일과 경량전철 산출량
T = 궤도연장
D_1 = 국가 특성 변수(한국 : 1, 일본 : 0)
D_2 = 소유구조 특성 변수(준공영 : 1, 그 외 : 0)
D_3 = 소유구조 특성 변수(민영 : 1, 그 외 : 0)

2. 확률적 프론티어 방법

확률적 프론티어접근방법은 자료포락분석기법과 더불어 생산효율성을 추정하기 위한 방법으로 사용된다. 자료포락분석 기법은 비용함수의 형태를 설정하지 않는 비모수적 접근방법으로 관찰점이 적은 경우에도 사용이 가능한 접근방법이다. 또한 통계적 오차를 인정하지 않아 오차항의 분포에 대한 가정이 필요 없다. 반면, 확률적 프론티어접근방법은 비용함수의 형태를 설정하고 분석대상자료를 이용하여 계수를 추정하여 구축된 비용변경을 기준으로 각 관찰점의 상대적 효율성을 측정하는 모수적 접근방법이다. 이 방법은 통계적 방법으로 선험적으로 비효율성과 오차항의 분포에 대한 가정을 수반한다. 확률적 프론티어접근방법은 비용변경선 도출시 통계적 오차를 인정하므로 측정오차와 이상점의 영향을 완화할 수 있다는 장점이 있다. 또한 추정된 계수에 대한 통계적 검정을 수행할 수 있다는 점도 장점이다.

확률적 프론티어 방법의 추정은 최대우도추정법을 이용하여 직접 프론티어 모형을 추정하는 방법과 최소자승법으로 추정한 비용함수를 이용하여 개별 관찰점의 비용변경을 산정하여 변경된 비용을 새로운 종속변수로 하여 최소자승법으로 재차 추정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 트랜스로그 비용함수와 비용비중식을 연립방정식 형태로 동시에 추정하는 결합일반화최소자승법을 적용하므로, 후자의 방법을 적용하여 추정하였다.

확률적 프론티어 접근방법을 적용하기 위하여 비용함수에 오차항을 포함해야 한다. 이 경우 식(1)의 비용함수는 식(8)과 같은 형태로 설정할 수 있다.

$$VC = VC^{*}(P, Y_p) + \epsilon_i \qquad (8)$$

여기서, VC^{*} = 효율적인 비용함수
ϵ_i = 비용함수의 오차항

앞서 언급한 바와 같이 오차항의 분포를 가정해야 한다. 오차항은 비효율을 의미하며, 비효율성은 비용을 증가시키는 요인이므로 비음의 단방향분포로 가정한다. 일반적으로 반정규(half-normal)분포, 지수(exponential)분포, 감마(gamma)분포를 사용한다. 오차항에 대한 가정은 사용 자료의 특성을 감안하여 선험적으로 결정한다. 일반적으로 반정규분포와 지수분포를 가정한다. Jorgensen et al.(1997)의 연구에서는 오차항의 가정에 대하여 반정규 분포의 경우 모든 관찰점의 비효율이 평균적인 비효율과 큰 차이가 존재하지 않는 경우 적합하고, 지수분포의 경우 비효율이 매우 작은 관찰점과 매우 큰 관찰점이 동시에 존재하는 경우에 적합하다고 언급하고 있다. 본 연구에서는 관찰점의 비효율의 편차가 크지 않을 것으로 판단되어 오차항을 반정규 분포를 가정하였다.

오차항은 비효율 의미하며, 비효율은 통제가능한 비효율과 통제 불가능한 비효율로 구분할 수 있다. 통제가능한 비효율은 다시 기술적 비효율과 배분적 비효율로 구분할 수 있다. 기술적 비효율은 생산요소의 과다사용에 의하여 발생하는 비효율로, 과다투입되는 생산요소의 투입을 줄이는 방법으로 해소가능한 비효율이다. 배분적 비효율은 생산요소의 투입비율이 적절하지 않아 발생하는 비효율이다. 이는 생산요소의 투입비율의 조정으로 해소가능한 비효율이다. 따라서 위의 오차항은 다음 식(9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_i = u_i + v_i = (u_{ti} + u_{ai}) + v_i \qquad (9)$$

여기서, ϵ_i = 비용함수의 오차항
u_i = 통제가능한 비효율(생산 비효율)
v_i = 통제 불가능한 비효율
u_{ti} = 기술적 비효율
u_{ai} = 배분적 비효율

한편, 비용함수와 비용비중식을 연립방정식 형태로 추정하므로 비용비중식에도 식(10)과 같이 오차항을 포함하고, 오차항의 분포를 가정해야

한다. 이 오차항은 실제 비용비중과 효율적인 비용비중의 차이를 나타낸다. 비용비중의 경우 효율적인 비용비중보다 크거나 작을수 있으므로 정규분포로 가정할 수 있다.

$$S_i = S_i^* + \delta_i \tag{10}$$

여기서, S_i^* = 생산요소 i의 효율적인 비용비중
δ_i = 생산요소 i의 비용비중의 오차항

결합일반화최소자승법으로 추정한 비용함수로부터 개별적인 비용변경을 산정하는 방법은 다음과 같다.

첫 번째로 추정한 비용함수의 잔차의 2차와 3차 중심적률을 이용하여 u_i와 v_i의 분산을 산정한다. Weinstein(1964)에서는 통제 가능한 비효율인 u_i와 통제 불가능한 비효율인 v_i의 분산과 결합일반화최소자승법으로 추정한 비용함수의 추정결과로부터 얻어지는 잔차의 2차와 3차 중심적률의 관계식을 식(11)과 같이 제시하고 있다.

$$\sigma_u^2 = (\sqrt{\frac{\pi}{2}}(\frac{\pi}{4-\pi})\mu_3)^{\frac{2}{3}},\ \sigma_v^2 = \mu_2 - (\frac{\pi-2}{\pi})\sigma_u^2$$
$$\mu_r = E(\epsilon_i^r) \tag{11}$$

여기서, μ_r = 비용함수로부터 산정한 잔차의 r차 중심적률
σ_u^2, σ_v^2 = 비효율의 분산

σ_u^2와 σ_v^2는 다음 식(12)의 관계를 가진다.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$$
$$\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v} \qquad (12)$$

여기서 λ는 통제가능한 비효율과 통제불가능한 비효율의 변동비율로 λ가 1보다 큰 경우 비효율이 통제가능한 요인에서 기인한다고 할 수 있으며, 1보다 작은 경우 통제 불가능한 요인에서 기인한 비효율이 더 크다고 할 수 있다.

한편, $\mu_3 < 0$인 경우 $\sigma_u^2 < 0$이 되어 σ_u^2이 정의되지 않을 수 있으며, $\mu_2 < (\frac{\pi-2}{\pi})\sigma_u^2$인 경우 $\sigma_v^2 < 0$이 되어 σ_v^2이 정의되지 않는다. $\sigma_u^2 < 0$인 경우 제1종 실패(type Ⅰ failure)이며, $\sigma_v^2 < 0$인 경우 제2종 실패(type Ⅱ failure)이다.

제1종 실패는 μ_3이 0에 가까워 σ_u^2이 작아져 λ가 작을 때 발생할 확률이 높으며, 제2종 실패는 이와 반대로 λ가 클 때 발생할 확률이 높다. 즉, 제1종 실패가 발생하는 경우 비효율이 작은 경우 발생할 확률이 높으며, 제2종 실패가 발생하는 경우 비효율이 매우 큰 경우 발생할 확률이 높다.

다음으로 앞서 산정한 비효율성의 분산(σ_u^2, σ_v^2)과 λ를 이용하여 개별 관찰점의 통제 가능한 비효율인 u_i을 산정한다. 비효율성 추정치 u_i는 Jondrow et al.(1982)에서 제시하는 식(13)의 오차항에 대한 조건부 확률분포의 기댓값 또는 최빈값을 이용하여 산정할 수 있다. 만약 제2종 실패가 발생하는 경우 $\lambda = \infty$이므로 기댓값을 산정할 수 없으므로 최빈값을 이용하여 비효율을 산정하며, 그렇지 않은경우 기댓값을 이용하여 비효율을 산정한다.

$$E(u_i|\epsilon_i) = \frac{\sigma_u^2\sigma_v^2}{\sigma^2}[\frac{\phi(\epsilon_i\lambda/\sigma)}{1-\Phi(\epsilon_i\lambda/\sigma)} - (\frac{\epsilon_i\lambda}{\sigma})]$$

$$M(u_i|\epsilon_i) = \epsilon_i(\frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}) \qquad \text{if} \quad \epsilon_i \geq 0 \tag{13}$$

$$= 0 \qquad\qquad \text{if} \quad \epsilon_i < 0$$

여기서,

$\phi(\,)$ = 표준정규분포의 확률밀도함수(PDF)
$\Phi(\,)$ = 표준정규분포의 확률누적함수(CDF)

마지막으로 개별 관찰점에 대하여 식(14)와 같이 식(13)으로 산정한 통제 가능한 비효율(u_i)을 종속변수인 비용에서 제외하고 비용함수와 비용비중을 결합일반화최소자승법으로 다시 추정한다.

$$\ln VC_i - u_i = \ln VC^*(P, Y_p) + v_i \tag{14}$$

여기서,

VC^* = 효율적인 비용함수
u_i = 통제가능한 비효율(생산 비효율)
v_i = 통제 불가능한 비효율

제 2 절 비용특성 분석

1. 생산요소의 편대체탄력성과 가격탄력성

1.1 생산요소의 편대체탄력성

생산요소의 대체탄력성은 특정 생산요소의 상대가격 변동에 대한 생산요소의 투입비율 변화를 의미한다. 본 연구에서는 Allen의 편대체탄력성 산정식을 이용하였다. 편대체탄력성 산정식은 아래의 식(15)와 같다.

$$\sigma_{ij} = VC \bullet (\frac{\partial^2 VC}{\partial P_i \partial P_j})/(\frac{\partial VC}{\partial P_i} \bullet \frac{\partial VC}{\partial P_j}) \qquad (15)$$

여기서, σ_{ij} = 편대체탄력성
VC = 가변비용
P_i, P_j = 생산요소 i와 j의 가격

이에 비용함수를 대입하는 경우 식(16)과 같이 간단하게 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\sigma_{ii} = \frac{\alpha_{ii} + S_i(S_i - 1)}{S_i^2}$$
$$\sigma_{ij} = \frac{\alpha_{ij} + S_i S_j}{S_i S_j} \qquad (i \neq j) \qquad (16)$$

여기서, σ_{ii} = 자기 편대체탄력성
σ_{ij} = 교차편대체탄력성
S_i, S_j = 가변생산요소의 비용비중

자기편대체탄력성의 부호는 오목성조건을 만족해야 하므로 양이 아닌 값(-)으로 산정되어야 한다. 만일 자기편대체탄력성의 부호가 양(+)으로 산정되는 경우 요소가격이 인상되었음에도 불구하고 해당요소를 추가적으로 투입한다는 의미를 가지기 때문이다. 교차편대체탄력성의 부호는 두 재화간의 대체와 보완의 관계를 나타낸다. 교차편대체탄력성이 양(+)의 부호를 가지는 경우 두 재화는 대체재이며, 교차편대체탄력성이 음(-)의 부호를 가지는 경우 두 재화는 보완재 관계라고 할 수 있다.

1.2 생산요소의 가격탄력성

요소수요의 가격탄력성은 요소가격이 1% 변화하는 경우 요소수요의 변화율을 나타내는 전통적 개념의 가격탄력성이다. 이는 다음의 식(170)을 이용하여 산정한다.

$$\varepsilon_{ij} = \frac{(\frac{\partial X_i}{X_i})}{(\frac{\partial P_j}{P_j})} \qquad (17)$$

여기서, ε_{ij} = 가격탄력성
X_i = 생산요소 i의 투입량
P_j = 생산요소 j의 가격

요소수요의 가격탄력성은 편대체탄력성에 생산요소의 비용비중을 곱하여 식(18)을 이용하여 산정할 수 있다.

$$\varepsilon_{ii} = S_i \times \sigma_{ii} = \frac{\alpha_{ii} + S_i(S_i - 1)}{S_i}$$
$$\varepsilon_{ij} = S_j \times \sigma_{ij} = \frac{\alpha_{ij} + S_i S_j}{S_i} \quad (18)$$

여기서, ε_{ii} = 자기가격탄력성
ε_{ij} = 교차가격탄력성
S_i, S_j = 가변생산요소의 비용비중

요소수요의 자기가격탄력성은의 부호 역시 편대체탄력성과 마찬가지로 양이아닌 값(-)을 가져야한다. 교차가격탄력성의 부호는 편대체탄력성과 마찬가지로 두 재화간의 대체와 보완의 관계를 나타낸다. 교차가격탄력성이 양(+)의 부호를 가지는 경우 두 재화는 대체재이며, 교차가격탄력성이 음(-)의 부호를 가지는 경우 두 재화는 보완재 관계라고 할 수 있다.

2. 범위의 경제성과 밀도 및 규모의 경제성

2.1 범위의 경제성

범위의 경제성은 다수의 산출물을 생산하는 기업의 비용특성으로 해당 산업에 다양한 산출물이 존재하는 경우 기업이 한가지 산출물만 생산하는 것과 다수의 산출물을 동시에 생산하는 것 중 어떠한 것이 유리한지 파악할 수 있는 지표이다. 만약 하나의 기업이 다수의 산출물을 동시에 생산하는 경우 하나의 기업이 한가지 산출물만 생산하는 것보다 비용이 적게 든다면 범위의 경제가 존재한다고 할 수 있다. 본 연구에서는 도시철도 운영기관의 경우 차량의 형식에 따라 산출물을 중량전철 산출물과 모노레일 및 경량전철 산출물로 구분하였다. 따라서 하나의 운영기관에서 중량전철 노선만 운영하는 것과 모노레일 또는 경량전철 노선을 동시에 운영하는 것이 좋은지를 판단하는 지표이다.

범위의 경제성 지수는 아래의 식(19)를 이용하여 산정한다. 만약 두 산출물에 대하여 범위의 경제가 존재하는 경우 SCP가 양의 값을 가지게 되며, 범위의 불경제가 존재하는 경우 SCP가 음의 값을 가지게 된다. 범위의 경제와 불경제 모두 존재하지 않는 경우 SCP는 0의 값을 가지게 된다.

$$SCP = \frac{VC(Y_1,0) + VC(0,Y_2) - VC(Y_1,Y_2)}{VC(Y_1,Y_2)} \qquad (19)$$

여기서, SCP = 범위의 경제성 지수
$VC(\,)$ = 가변비용 함수
Y_1 = 중량전철 산출량
Y_2 = 모노레일 및 경량전철 산출량

2.2 밀도 및 규모의 경제성

밀도의 경제성은 궤도연장이 변화하지 않는다고 가정하고 산출량 변화율에 대한 비용의 변화율을 나타내는 지표이다. 예를 들면 궤도연장의 변화가 없는 상태에서 전동차를 더 자주 운행하여 전동차-km의 산출량이 1% 증가 하는 경우 비용의 변화율이다. 산출물의 생산량이 1% 증가하였는데, 비용이 1%보다 적게 증가하는 경우 밀도의 경제성이 존재하고, 그 반대의 경우 밀도의 불경제성이 존재한다.

밀도의 경제성 지수는 아래의 식(20)를 이용하여 산정한다. 밀도의 경제성 지수는 산출물의 비용탄력성의 합의 역수로 산정하는데, 이는 도시철도 운영기관의 전반적인 밀도의 경제성을 의미한다.

$$EOD = \frac{1}{\sum_i \varepsilon_{Y_i}},\ \varepsilon_{Y_i} = \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Y_i} \qquad (20)$$

여기서, EOD = 밀도의 경제성 지수
ε_{Y_i} = 산출물의 비용탄력성
VC = 가변비용
Y_i = 산출량

밀도의 경제성 지수(EOD)는 밀도의 경제성 지수가 1보다 큰 경우 밀도의 경제가 존재하고, 1보다 작은 경우 밀도의 불경제가 존재한다. 밀도의 경제성 지수가 1인 경우 밀도의 경제성 혹은 불경제가 존재하지 않는다. 밀도의 경제성 지수는 현재 상태에서 생산물의 추가적인 생산여부를 결정하는 중요한 참고지표로 활용될 수 있다. 산출물이 수요와 직접적으로 대응된다고 가정하면, 밀도의 경제가 존재하는 경우 추가적인 생산을 통하여 산출물의 평균비용을 낮출 수 있으며, 그 반대의 경우 생산량을 줄이는 것이 평균비용을 낮추기 때문이다.

규모의 경제성은 고정요소를 가정하지 않고 생산자가 모든 투입요소를 유연하게 조정하여 산출물과 궤도연장을 모두 변화시킬 수 있는 경우 생산요소의 변화율에 따른 비용의 변화율을 나타낸다. 규모의 경제성 지표는 비용에 대한 산출량의 탄력성과 궤도연장의 탄력성의 합의 역수로 계산되며, 아래의 식(21)을 이용하여 산정한다.

$$EOS = \frac{1}{\sum_i \varepsilon_{Y_i} + \varepsilon_T}, \quad \varepsilon_T = \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln T} \tag{21}$$

여기서, EOS = 규모의 경제성 지수
ε_{Y_i} = 산출물의 비용탄력성
ε_T = 궤도연장의 비용탄력성
VC = 가변비용
T = 궤도연장

규모의 경제성 지수는 밀도의 경제성 지수와 마찬가지로 1보다 큰 값을 가지는 경우 규모의 경제가 존재하고, 1보다 작은 값을 가지는 경우 규모의 불경제가 존재한다. 1인 경우 규모의 경제 혹은 규모의 불경제가 존재하지 않는다. 규모의 경제성 지수는 도시철도 운영기관의 규모에 관한 문제에서 참고할 수 있는 지표이다. 만일 규모의 경제가 존재한다면 특정 지역의 도시철도운영기관을 통합하여 운영하는 것이 평균비용을 낮출 수 있어 생산성을 제고할 수 있고, 규모의 불경제가 존재하는 경우 현재의 운영기관을 분리하거나 노선을 폐지하는 등 운영기관의 규모를 줄이는 것이 평균비용을 낮추는 방안이기 때문이다.

3. 평균비용과 한계비용

다수의 산출물을 생산하는 경우 평균비용은 산출량과 산출물의 구성비율에 따라 비용구조가 달라지기 때문에 평균비용을 명확하게 정의하기 어렵다. 방사 평균비용(ray average cost)은 산출물의 비율을 고정하므로 각 산출물의 산출량 변화에 따른 총비용의 변화를 고려하지 못하는 한계점이 있지만, 표본 전체의 평균비용과 한계비용을 도출하는 데는 적합한 방법이다. 따라서 본 연구에서는 도시철도 운송업 전반의 평균비용과 한계비용을 산정할때 중량전철 산출물과 모노레일 및 경량전철 산출물의 구성비율을 일정하게 고정한 상태에서 산정한 방사평균비용을 이용하여 산정하였다.

방사평균비용은 식(22)를 이용하여 산정한다. 각 산출물을 총산출량으로 나누어 총산출물에 대한 비율로 환산하고, 이를 비용함수에 대입하여 구한 총비용을 총산출물로 나누어 산정한다.

$$RAC(Y) = \frac{VC(\lambda_1 Y, \lambda_2 Y)}{Y}$$
$$\lambda_1 = \frac{Y_1}{Y},\ \lambda_2 = \frac{Y_2}{Y} \quad (\lambda_1 + \lambda_2 = 1) \tag{22}$$

여기서, RAC = 방사평균비용
Y = 총산출량($Y_1 + Y_2$)

한편, 한계비용은 산출량 한 단위가 증가할 때 비용의 증가분을 의미하므로 운임에 관한 정책에 많은 정보를 제공하게 된다. 한계비용은 방사평균비용을 이용하여 산정할 수 있다.

한계비용은 식(23)을 이용하여 산정한다. 한계비용은 산출물의 비용탄력성의 합과 평균비용의 곱으로 산정한다.

$$MC = \frac{\partial VC}{\partial Y} = \frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Y}\frac{VC}{Y} = (\sum_i \varepsilon_{Y_i}) \cdot RAC \quad (23)$$

여기서, MC = 한계비용
VC = 가변비용
Y = 총산출량($Y_1 + Y_2$)
ε_{Y_i} = 산출물의 비용탄력성

제 4 장 자료

제 1 절 사용 자료

1. 사용 자료의 특징

1.1 한국 도시철도 통계자료

한국철도공사에서 철도 수송 및 시설물에 관한 주요 통계를 담은 철도통계연보를 매년 제공하고 있다. 그러나 철도통계연보에는 영업비용 관련 자료가 수록되어있지 않아 운영원가 자료는 행정안전부의「지방공기업 결산 및 경영분석」자료의 손익계산서 항목을 활용하여 구득하였다. 또한 전동차-km자료가 제공되지 않아 이는 각 운영기관의 내부자료를 별도로 구득하였다.

철도통계연보에 수록된 자료 중 본 연구의 자료구축에 사용한 자료는 다음 <표 4>와 같다. 철도통계연보 자료에서 노선수, 역수, 영업연장, 궤도연장, 수송인원, 수송·km, 전동차 대수, 전력사용량, 동력비용, 운수수입 실적을 구득하였다. 동력사용량과 동력비용의 경우 전동차 운전용 전력인 전철 전력사용량과 전력비용을 사용하였다.

<표 4> 한국 철도통계연보의 주요 통계 지표 및 사용 자료

통계표	수록내용	사용 자료	집계 단위
총괄지표	도시철도 운영기관 별 주요 지표(노선수, 역수, 영업연장, 선로연장, 차량수, 승차인원, 수송인원, 승차실적, 수송실적)	노선수, 역수, 영업연장	운영기관
도시광역 철도현황	구간별 개통현황, 운영현황, 운영기관 현황, 운행시간		운영기관 및 노선
수송실적	승차/수송인원, 승차/수송km, 여객승차/수송실적(연,월,요일,시간대 별), 승차권종 별 승차실적, 통행거리 별 여객 승차실적, 철도노선간 여객 환승실적, 타 교통수단과 여객환승실적, 연도별 최대혼잡도, 수송분담률	수송인원, 수송-km	
시설	이동편의시설 설치현황, 1동선 미확보 역사현황, 스크린도어 설치현황 및 규격, 교통약자 및 편의시설 설치현황, 내진설계 현황(교량,터널,역사), 역별 타 교통수단과 연계시설현황, 영업선로별 철도킬로, 레일중량별 궤도연장, 장대 및 장척레일 부설현황, 선로시설물 현황, 건물 경과연수별 동수와 면적, 층별 건물현황, 기계설비 시설물현황, 시군구별 시설현황, 시설유지보수 실적	궤도연장	
도시광역 철도차량	차령별 차량보유현황, 전동차현황, 차량검수 실적	전동차 현황	
전기	전철화 현황, 전차선 가선현황, 전차선로 시설물현황, 변전/전력/통신 시설물현황, 전철 전력사용량 현황, 일반전력사용량 현황, 신호제어 설비 현황	전철 및 일반 전력사용량, 전력비용	
영업손익 및 운임	운영기관 별 손익계산서, 무임승차 및 무임비용 비율, 무임승차 대상별 현황, 승객 1인당 운임손실 현황, 도시광역철도 운임, 연도별 운수수입 실적		

각 운영기관의 손익계산서 자료는 운영비용과 가변비용, 인건비, 유지보수비를 산정하기 위하여 사용하였다. 각 운영기관의 손익계산서에 수록된 항목은 다음과 같다. 영업비용은 매출액 원가 자료와 판매관리비의 합으로 산정하였으며, 여기서 감가상각비와 무형자산상각비, 세금과 공과금을 제한 금액을 가변비용으로 산정하였다. 인건비는 매출액 원가와 판매비와 관리비의 인건비항목의 합으로 산정하였다.

<표 5> 한국 지하철 운영기관 손익계산서의 통계 지표 및 사용 자료

통계표	수록내용	사용 자료	집계 단위
손익계산서	· 매출액 - 운수사업수익, 부대사업수익, 대행사업수익, 기타사업수익 · 매출액 원가 - 인건비, 경비 · 매출총이익 · 판매비와 관리비 - 인건비, 경비 · 영업 외 수익 · 영업 외 비용 · 법인세차감 전 순손익 · 법인세 등 · 당기순이익	운수사업 수익, 매출액 원가, 판매와 관리비, 매출액 원가 및 판매와 관리비 중 감가상각비, 매출액 원가 및 판매와 관리비 중 무형자산상각비, 매출액 원가 및 판매와 관리비 중 인건비, 매출액 원가 및 판매와 관리비 중 경비항목 내 세금과 공과금	운영기관

1.2 일본 도시철도 통계자료

일본 국토교통성(國土交通省)에서 매년 철도통계연보를 제공하고 있다. 일본 철도통계연보는 일반철도, 화물철도 그리고 도시철도의 수송실적, 운행실적, 시설물, 재무상태표, 사고통계, 운영기관 현황, 철궤도 허가 및 특허 목록 등의 다양한 자료를 수록하고 있다. 또한 통계작성의 대상 차량형식은 고속철도, 일반철도, 화물철도, 중량전철, 노면전차, 경량전철, 모노레일, 강삭(케이블카) 등 정해진 궤도를 이용하여 운송하는 모든 수단의 통계 내용을 포함하고 있다. 또한 재무상태표를 포함하고 있어 영업비용에 관한 세부적인 내용을 구득할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 사용한 일본 도시철도의 모든 자료는 일본 철도통계연보에서 구득하였다. 다만, 일본의 경우 한국과 다르게 회계연도를 4월 1일을 기초로 하므로 한국과 3개월의 자료수집의 시점 차이가 존재 한다. 일본철도통계연보의 주요 통계표와 수록된 통계지표의 내용은 <표 6>과 같다.

일본철도통계연보의 경우 수송실적과 관련된 자료인 운수수입, 여객수송인원, 수송킬로미터, 열차영업킬로 및 전동차-km의 경우 개별 노선단위의 통계를 제공하고 있다. 시설물과 관련된 자료인 궤도연장, 궤도 상 시설물 현황(터널, 교량, 건널목), 중량별 궤도연장, 정거장 전기설비 등의 자료와 차량대수, 전력소비량, 직원수 및 임금과 관련된 자료는 운영기관 단위로 집계되어 제공된다. 만약 운영기관이 다양한 차량형식의 노선을 운영하는 경우 이를 철도와 궤도로 분리하여 제공하고 있다. 일본의 경우 철도는 도로가 아닌 별도의 공간에 건설된 선로를 이용하는 수단을 의미하며, 도로에 부설된 선로를 이용하는 노면전차의 경우 궤도로 분류한다. 따라서 부문별로 집계된 자료의 경우 철도로 분류된 자료만 사용하였다. 예외적으로 오사카시의 경우 운영하는 모든 노선이 철도 노선을 궤도로 표기하여, 궤도 값을 사용하였다. 이외에도 경량전철과 모노레일의 경우 일부 운영기관의 궤도연장이 표기되지 않아, 운영기관 홈페이지를 통해 단선/복선 여부를 확인하여 영업연장을 기준으로 궤도연장을 산정하였다.

<표 6> 일본 철도통계연보의 주요 통계 지표 및 사용 자료

통계표	수록내용	사용 자료	집계 단위
운수성적표 (수량)	수송인원(정기-통근 및 통학, 정기 외), 수송톤수(정기, 정기 외)	수송인원	노선
운수성적표 (수입)	여객 운수수입 (정기-통근 및 통학, 정기 외, 수하물), 화물 운수수입(품목별), 운수잡수		노선
운수성적표 (연일킬로,인킬로)	여객 인킬로(정기-통근 및 통학, 정기 외), 수송 인킬로(품목별), 평균통과수량, 평균운임(여객/화물)	여객인-km	노선
영업킬로 및 주행킬로	영업킬로 열차 종류별 사용연료별 전동차-km 자기차량 자선주행, 자기차량 타선주행, 타철도 자선주행	영업연장, 전동차의 전동차-km	노선
정거장 및 선로건축물, 입체교차, 침목수량 및 도상연장	터널 수, 터널 연장, 교량 종류별 수량 및 연장, 침목부설연장, 도상연장, 병용궤도의 포장연장	터널 연장, 교량 연장	운영기관 (철·궤도 부문 분리)
건널목 및 중량별 궤도연장	건널목 종별 개소 수, 중량별 본선 궤도연장	본선 궤도연장	
정거장 전기설비표	역 수, 지하역 수, 냉방설비, 환기설비, 배연성비, 엘리베이터, 에스컬레이터, 자동매표기, 인쇄발행기, 자동집개표기, 방송안내설비, 자동방송설비, CCTV, 구내통로 시설물	역수, 지하역 수, 자동매표기, 자동집개표기	
차량 현재 대수	차종별(여객차, 기관차, 화물차, 특수차), 사용연료별(전기, 내연, 증기) 차량대수	전동차의 차량대수	
운전용 전력, 연료 및 유류소비액	전력사용량, 전력 사용금액, 경유사용량, 경유 사용금액, 기타연료 사용금액	전력사용량, 전력사용금액	
직원수 및 연간급여액	부문(본사, 현업)별 임원 및 직원수, 연간급여액(통상급여, 임시급여)	임원 및 직원수, 연간급여액	

일본철도통계연보는 재무상태표를 제공하고 있다. 일본의 철도운영기관의 경우 철도노선 운영 이외에도 부동산 개발업, 버스, 렌터카, 임대업 등 다양한 사업을 영위하고 있어 모든사업부문을 포함하는 손익계산서와 주 사업인 철궤도업의 손익계산서를 별도로 제공하고 있다. 본 연구에서는 철궤도업의 손익계산서를 활용하여 비용자료를 구축하였다. 손익계산서의 경우 도시철도 운영기관의 철도와 궤도 사업부문별로 분리되어 작성되어있으며, 본 연구에서는 철도부문의 비용자료를 사용하였다. 손익계산서의 계정 항목이 한국의 손익계산서와 다소 차이가 존재하지만, 기본적으로 영업비용에서 감가상각비와 제세 및 공과금을 제외한 비용을 가변비용으로 산정하였다. 유지보수비는 인건비와 동력비를 제외한 금액으로 산정하였다. 인건비의 경우 일본통계연보의 직원수 및 급여액 통계에서 통상임금과 임시임금의 합으로 산정하였으며, 직원 수의 경우 종업원의 총 투입개월 수가 제공되어 이 값을 12로 나누어 사용하였다. 동력비용의 경우 운전용 전력, 연료 및 유류소비액 통계에서 전력사용량과 전력비용을 구득하였다. 일본의 통계자료는 엔화를 기준으로 작성되어있으므로 2016년 환율인 100엔당 1069.31원을 적용하여 원화로 환산하였다.

<표 7> 일본 철도통계연보 손익계산서의 통계 지표 및 사용 자료

통계표	수록내용	사용 자료	집계 단위
철궤도업 영업손익	· 철궤도업 영업수익 - 정기/정기 외/수하물 여객수입, 화물수입, 철도선로수입,운수잡수 · 철궤도업 영업비 - 선로보존비, 전로보존비, 차량보존비, 운전비, 운수비, 보수관리비, 수송관리비, 안내선전비, 후생복리시설비, 일반관리비, 제세, 감가상각비(유형, 무형), 후생복리시설수입, 철궤도업 영업손실, 영업계수	여객영업수입, 철도선로수입, 철궤도 영업비, 철궤도 영업비 중 제세, 철궤도 영업비 중 감가상각비	운영기관 (철·궤도 부문 분리)

2. 도시철도 운영기관별 자료의 구축

2.1 표본추출기준

본 연구에서는 도시철도 노선의 차량형식, 노선의 기종점 등을 고려하여 분석대상 표본을 추출하였다. 한국의 경우 철도 운영기관의 수가 많지 않지만, 일본의 경우 일본 철도통계에 수록된 운영기관이 200개 이상이므로 적절한 기준에 따라 표본을 추출할 필요성이 있다.

본 연구에서는 도시지역의 도로가 아닌 별도의 장소에 설치된 궤도를 이용하여 전동차량을 운행하는 노선을 도시철도 노선으로 정의한다. 따라서 차량형식의 경우 정의에 따라 도로상에 병용궤도 형태로 운영되는 노면전차(트램)의 경우 도시철도에서 제외하였다. 하지만 모노레일이나 경량전철의 경우 별도로 부설된 궤도를 이용하므로 도시철도로 포함하였다. 실제로 일본의 경우 건설비용 및 점유공간 절감을 위하여 모노레일이 다수 운영되고 있으며, 한국에서도 대구 도시철도 3호선이 모노레일로 건설되었다. 또한 인천도시철도 2호선과 부산산도시철도 4호선은 경량전철로 건설되었다. 따라서 중량전철과 경량전철, 모노레일을 도시철도 수단으로 정의하며, 이 수단을 이용하는 노선을 운영하는 운영기관을 분석의 대상으로 설정하였다.

노선의 기종점은 연구의 공간적 범위에서 정한 바와 같이 한국의 경우 서울특별시와 도시철도 노선이 건설된 5개 광역시(부산, 대구, 인천, 대전, 광주)의 도시철도 운영기관 7개로 선정하였다. 한국의 경우 수도권을 제외한 광역시의 도시철도 노선의 경우 도시 내로 노선의 공간적 분포가 한정되어있다. 반면, 서울특별시를 중심으로 하는 수도권의 경우 서울의 도시철도 노선이 인접한 도시까지 연결되어 있다. 이러한 광역노선의 경우 이용자의 관점에서 본다면, 서울특별시와 인접한 도시로 연결되는 도시철도 노선을 동일한 노선으로 인지할 수 있다. 그러나 서울특별시의 도시철도 운영기관은 서울특별시 시계 내 구간만 운영하고 이외의 구간은 한국철도공사에서 광역전철 형태로 운행하고 있다. 한국철도공사

의 광역전철의 경우 서울특별시와 인접한 도시와 서울특별시를 잇는 광역철도 노선을 운행한다. 이러한 광역철도노선 역시 도시철도로 간주할 수 있다. 하지만 한국철도공사의 경우 분석에 사용할 자료구득의 어려움으로 인하여 본 연구에서는 서울특별시 내에서 운영중인 도시철도 운영기관으로 한정하였다.

일본의 경우 정령지정도시와 중핵시를 기종점으로 하는 도시철도 노선을 운영하는 운영기관 중 산악지형을 운행하는 노선이나 열차운행 빈도가 매우 낮은 노선을 운영하는 운영기관을 제외하고 총 57개 도시철도 운영기관을 분석 대상으로 선정하였다.

2.2 도시철도 운영기관의 분류

본 연구에서는 도시철도 운영기관을 국가, 소유구조로 구분하였으며, 각 도시철도 운영기관의 산출물은 차량형식별로 구분하였다. 국가의 경우 한국과 일본으로 구분하였으며, 소유구조는 공영, 준공영 그리고 민영으로 구분하였다. 산출물은 중량전철 산출물과 그 외의 산출물인 경량전철 및 모노레일 산출물 두 가지로 구분하였다. 따라서 도시철도 운영기관의 산출형태는 중량전철 산출물만 생산하는 경우, 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 그리고 두 산출물을 모두 생산하는 경우로 구분하였다.

소유구조의 구분은 운영기관의 지분구조를 기준으로 구분된다. 한국의 경우 모두 공공부문에서 운영하므로 공영으로 분류되며, 일본의 경우 다양한 소유구조를 가진 도시철도 운영기관이 존재하여 이를 적절하게 분류할 필요성이 있다. 공공부문의 지분이 100%인 도시철도 운영기관은 공영으로 분류하였으며, 민간회사의 지분이 100%인 도시철도 운영기관은 민영으로 분류하였다. 그러나 수익성 저하, 국유노선의 전환, 건설비용의 절감 등의 다양한 이유로 지방정부와 민간이 합작한 제3섹터 라는 운영기관의 형태가 존재하므로 이러한 운영기관은 준공영으로 분류하였다.

이러한 분류기준에 따라 총 64개(한국 7개, 일본 57개) 도시철도 운영기관을 표본으로 선정하였다. 도시철도 운영기관의 소유구조 및 산출형태 별 표본수는 <표 8>과 같다. 소유구조별로 살펴보면, 한국은 7개의 도시철도 운영기관 모두 공영이며, 일본은 57개 운영기관 중 공영 11개, 준공영 15개, 민영 31개이다. 산출형태별로 살펴보면, 총 64개 도시철도 운영기관 중 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관은 48개로 가장 많았고, 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관은 10개, 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관은 6개로 가장 적었다.

<표 8> 도시철도 운영기관의 소유구조 및 산출형태별 표본수

구분		계	중량전철	경량전철 및 모노레일	모두 생산
한국	공영	7	4	0	3
일본		57	44	10	3
	공영	11	8	1	2
	준공영	15	7	8	0
	민영	31	29	1	1
전체표본		64	48	10	6

<표 9> 한국 도시철도 운영기관 표본

국가	운영기관명	소유 구조	산출형태	비고
한국	서울메트로	공영	중량전철	
	서울도시철도공사	공영	중량전철	
	부산교통공사	공영	모두생산	경량전철 1개 노선
	대구도시철도공사	공영	모두생산	모노레일 1개 노선
	인천교통공사	공영	모두생산	경량전철 1개 노선
	대전광역시 도시철도공사	공영	중량전철	
	광주광역시 도시철도공사	공영	중량전철	

<표 10> 일본 도시철도 운영기관 표본

국가	운영기관명	소유 구조	산출형태	비고
일본	도쿄 지하철	공영	중량	
	도쿄도	공영	모두생산	경량전철 1개노선, 모노레일 1개노선
	요코하마시	공영	중량	
	나고야시	공영	중량	
	오사카시	공영	모두생산	경량전철 1개노선
	도부 철도	민영	중량	
	세이부 철도	민영	모두생산	경량전철 1개노선
	게이세이 전철	민영	중량	
	게이오 전철	민영	중량	
	오다큐 전철	민영	중량	
	토쿄 급행 전철	민영	중량	
	게이힌 급행 전철	민영	중량	
	사가미 철도	민영	중량	
	나고야 철도	민영	중량	
	킨키 일본 철도	민영	중량	
	난카이전기철도	민영	중량	
	케이한 전기철도	민영	중량	
	한큐 전철	민영	중량	
	한신 전기철도	민영	중량	
	서일본 철도	민영	중량	

<표 계속> 일본 도시철도 운영기관 표본

국가	운영기관명	소유 구조	산출형태	비고
일본	삿포로시	공영	중량	
	센다이 시	공영	중량	
	교토시	공영	중량	
	고베 시	공영	중량	
	후쿠오카 시	공영	중량	
	나가노 전철	민영	중량	
	신케이세이 전철	민영	중량	
	호쿠소 철도	준공영	중량	
	이즈하코네 철도	민영	중량	
	시즈오카 철도	민영	중량	
	토요하시 철도	민영	중량	
	토야마지방철도	민영	중량	
	아이치 환상 철도	준공영	중량	
	키타오사카 급행 전철	준공영	중량	
	오사카 고속 철도	준공영	경량 및 모노	
	고베 전철	민영	중량	
	산요전기철도	민영	중량	
	호쿠신 급행 전철	민영	중량	
	다카마쓰코토히라 전기철도	민영	중량	
	이요 철도	민영	중량	
	지쿠호 전기 철도	민영	중량	
	엔슈 철도	민영	중량	
	쿠마모토 전기철도	민영	중량	
	기타큐슈 고속 철도	공영	경량 및 모노	
	사이타마 고속 철도	준공영	중량	
	사이타마 신도시 교통	준공영	경량 및 모노	
	치바 도시 모노레일	준공영	경량 및 모노	
	요코하마 고속 철도	준공영	중량	
	요코하마 시사이드라인	준공영	경량 및 모노	
	나고야 임해 고속 철도	준공영	중량	
	센보쿠 고속 철도	민영	중량	
	고베 신교통	준공영	경량 및 모노	
	히로시마 고속 교통	준공영	경량 및 모노	
	유리카모메	준공영	경량 및 모노	
	토쿄 모노레일	민영	경량 및 모노	
	타마 도시 모노레일	준공영	경량 및 모노	
	도요 고속 철도	준공영	중량	

제 2 절 자료의 기술적 분석

1. 영업비용

도시철도 운영기관의 영업비용은 도시철도 운송부문에서 발생하는 비용을 의미한다. 다수의 도시철도 운영기관은 도시철도 운송업 외에도 부동산 개발업, 임대업, 버스, 렌터카, 대행사업 등의 부대사업을 동시에 하고 있다. 따라서 손익계산서를 검토하여 도시철도 운송부분에서 발생한 비용을 분리하고, 이를 영업비용으로 정의하였다. 영업비용은 가변비용, 감가상각비, 제세 및 기타비용으로 구분된다.

가변비용은 영업비용에서 감가상각비와 제세 및 기타비용을 제외한 비용이다. 가변비용은 인건비, 동력비 그리고 유지보수비로 구성된다. 인건비와 동력비는 각 생산요소의 비용이며, 유지보수비는 가변비용에서 인건비와 동력비를 제외한 금액으로 산정하였다. 가변비용은 영업비용 중 조정이 가능한 비용이다. 따라서 가변비용의 비율이 높으면 조정가능한 비용이 많다는 의미이며, 가변비용의 조정은 생산요소의 가격이 외생적이라고 가정하면, 생산요소 투입의 조정으로 통하여 달성 가능하다.

감가상각비는 과거에 자본이 투입되어 현재 자산으로 인식된 유형 또는 무형자산의 내구연한 경과에 따라 발생하는 비용으로 완전하지는 않지만 자본비용의 의미를 가지게 되고, 유형자산과 무형자산에 대한 감가상각비로 구성된다. 제세 및 기타비용은 도시철도 운영기관에서 정부에 납부하는 세금과 그 외로 발생하는 기타 비용이다. 도시철도 운영기관별로 과세여부가 상이하므로 특히 소유구조별로 차이가 나타날 것이다[4].

본 연구에서 비용함수 추정 시 종속변수로 가변비용을 사용하는데, 이는 되는 비용이다. 영업비용이 아닌 가변비용함수를 추정하는 이유는 생산요소 중 자본비용을 산정하는데 있어 많은 한계점이 존재하기 때문이다. 자본비용의 대리변수로 감가상각비를 고려할 수 있다. 그러나 자산의

4) 한국과 일본 공영운영기관의 경우 법인세가 부과되지 않는다.

상각방법과 내용연한의 설정에 따라 감가상각비용이 도시철도 운영기관별로 다르므로 자본비용을 대신하는 변수로 활용하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 도시철도 운영기관에 대하여 비교적 동일한 기준으로 자료를 구축할 수 있는 가변비용만 다루었다.

도시철도 운영기관의 생산형태 및 소유구조 별 평균비용과 구성비율은 <표 11>,<표 12>과 같다. 먼저 영업비용 중 가변비용, 감가상각비, 제세 및 기타비용의 비율을 살펴보았다. 구성비율을 검토하는 이유는 앞서 언급한 바와 같이 영업비용과 가변비용의 총액은 산출물, 생산요소의 투입량과 비례관계에 있고, 이외에도 운행특성의 영향을 받기 때문에 이 값을 비교 분석하여 의미있는 시사점을 도출하기에는 많은 한계가 존재하기 때문이다.

영업비용 중 가변비용의 비율을 살펴보면 전체표본의 경우 70.39%로 나타났다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 가변비용 비율은 70.93%로 가장 높고, 경량전철 및 모노레일 산출물의 경우 64.71%, 두 산출물을 모두 생산[5]하는 경우 67.90%이다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 평균 가변비용 비율은 78.79%, 일본의 경우 68.91%로 한국의 평균 영업비용 중 가변비용 비율이 일본보다 높다. 공영 64.21%, 준공영 62.58%, 민영 72.53%로 민영운영기관의 가변비용 비율이 가장 높고 공영, 준공영의 순으로 높다. 한국 도시철도 운영기관의 가변비용 비율이 높은 이유는 가변비용을 구성하는 인건비, 동력비 유지보수비 중 인건비가 일본에 비하여 많기 때문인 것으로 추론할 수 있다. 가변비용 중 동력비와 유지보수비는 유사한 수준이며, 감가상각비와 제세 및 기타비용의 차이도 크지 않지만 인건비는 한국이 일본에 비하여 약 2.5배 이상 많다. 이는 노동의 단위가격과 총산출량이 유사한 수준이라면 노동생산성이 낮기 때문일 것으로 추론할 수 있다.

5) 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였다.

<표 11> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균비용

(단위: 백만원)

구분		가변비용				감가상각비			제세 및 기타	영업비용
		인건비	동력비	유지보수비	소계	유형자산	무형자산	소계		
중량전철	유형 평균	113,369	19,764	157,898	291,031 (70.93%)	98,481	5,148	103,629 (25.26%)	16,778 (4.09%)	410,294
	한국 평균	306,579	27,441	170,233	504,253 (80.68%)	117,573	652	118,225 (18.92%)	2,522 (0.40%)	624,999
	서울 메트로	670,505	64,325	374,623	1,109,453 (85.33%)	185,999	1,478	187,477 (14.42%)	3,294 (0.25%)	1,300,224
	서울도시철도공사	479,699	40,874	260,671	781,245 (78.00%)	213,639	743	214,382 (21.40%)	6,016 (0.60%)	1,001,643
	대전도시철도공사	35,842	2,184	27,629	65,655 (63.75%)	36,696	267	36,963 (35.89%)	363 (0.35%)	102,981
	광주도시철도공사	40,269	2,379	18,009	60,657 (63.75%)	33,960	118	34,078 (35.82%)	413 (0.43%)	95,149
	일본 평균	95,804	19,066	156,776	271,647 (69.51%)	96,745	5,557	102,302 (26.18%)	18,074 (4.63%)	390,776
경량전철 및 모노레일 평균		12,170	2,435	23,718	38,323 (64.71%)	17,874	553	18,426 (31.11%)	2,483 (4.19%)	59,226
모두생산	유형 평균	252,366	25,577	228,174	506,117 (67.90%)	236,478	1,765	238,243 (31.96%)	1,024 (0.14%)	745,385
	한국 평균	177,872	14,760	112,506	305,138 (74.93%)	99,338	1,039	100,377 (24.65%)	1,702 (0.42%)	407,218
	부산 교통공사	278,751	23,351	154,653	456,755 (79.63%)	113,854	965	114,819 (20.02%)	1,998 (0.35%)	573,572
	대구도시철도공사	151,388	12,168	102,450	266,005 (67.19%)	126,850	1,975	128,824 (32.54%)	1,078 (0.27%)	395,908
	인천 교통공사	103,477	8,760	80,416	192,653 (76.40%)	57,311	177	57,488 (22.80%)	2,031 (0.81%)	252,173
	일본 평균	364,108	41,802	401,677	807,586 (64.47%)	442,187	2,855	445,042 (35.53%)	7 (0.00%)	1,252,636
	도쿄도	289,304	40,714	498,497	828,515 (64.14%)	460,792	2,447	463,239 (35.86%)	6 (0.00%)	1,291,760
	오사카시	438,911	42,890	304,857	786,658 (64.82%)	423,583	3,263	426,845 (35.17%)	9 (0.00%)	1,213,512
전체표본		110,488	18,097	144,454	273,039 (70.39%)	97,699	4,183	101,883 (26.26%)	13,863 (3.57%)	387,904

주: ( )안은 영업비용 중 구성비율임. 구성비율은 평균값을 이용하여 계산함.

<표 12> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균비용

(단위: 백만원)

구분		가변비용				감가상각비			제세 및 기타	영업비용
		인건비	동력비	유지보수비	소계	유형자산	무형자산	소계		
한국	공영	251,419	22,006	145,493	418,918 (78.79%)	109,758	818	110,576 (20.80%)	2,170 (0.41%)	531,664
일본		93,181	17,617	144,326	255,124 (68.91%)	96,219	4,597	100,815 (27.23%)	15,299 (4.13%)	370,250
	공영	177,901	22,996	268,051	468,948 (64.21%)	244,352	6,317	250,669 (34.33%)	11,064 (1.51%)	730,278
	준공영	11,938	2,440	26,162	40,539 (62.58%)	18,141	2,799	20,940 (32.32%)	3,303 (5.10%)	64,782
	민영	102,430	23,051	157,600	283,082 (72.53%)	81,435	4,856	86,291 (22.11%)	22,607 (5.79%)	390,304
전체표본		110,488	18,097	144,454	273,039 (70.39%)	97,699	4,183	101,883 (26.26%)	13,863 (3.57%)	387,904

주: ( )안은 영업비용 중 구성비율임. 구성비율은 평균값을 이용하여 계산함.

감가상각비는 대부분 유형자산 상각비로 도시철도 운송업의 경우 궤도, 차량, 역사 및 기타 시설물 등의 유형자산의 구성비율이 소프트웨어, 보험 등의 무형자산에 비하여 높기 때문이다. 전체표본의 평균 감가상각비는 영업비용 중 26.26%를 차지한다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 가변비용 비율은 25.26%로 가장 낮고, 경량전철 및 모노레일 산출물의 경우 31.11%, 두 산출물을 모두 생산하는 경우 31.96%이다. 한국의 경우 영업비용의 20.80%, 일본의 경우 영업비용의 27.23%로 한국보다 감가상각비의 비율이 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 감가상각비 비율은 공영 34.33%, 준공영 32.32%, 민영 22.11%로 공영, 준공영, 민영의 순으로 나타났다. 감가상각비는 앞서 언급한 바와 같이 자본비용과 유사한 의미를 가진다. 하지만 상각방법의 차이가 존재하기 때문에 자본비용에 대한 완전한 설명력을 가지지는 못하는 한계점이 있다. 이러한 한계점을 감안하더라도 감가상각비의 비율은 생산에 있어 자본비용과 어느정도 상관관계를 가질것으로 추론된다. 일본 도시철도 운영기관이 한국 도시철도 운영기관에 비하여

감가상각비 비율이 높은데, 이는 영업비용 중 자본비용의 비중이 한국보다 많다는 의미를 가진다고 할 수 있다.

한편, 영업비용은 가변비용과 영업비용 그리고 제세 및 기타비용의 합으로 구성되므로 한국의 가변비용의 비율이 높기 때문에 감가상각비의 비율이 낮게 나타난 것으로도 볼 수 있다. 일반적으로 자본의 투입은 노동, 동력, 유지보수비용을 대체하는 효과가 있다. 예를 들면 무인운전 시스템을 도입하는 경우 차량, 궤도, 통신, 신호시스템 등이 유인운전 시스템보다 많은 비용이 투입된다. 그러나 무인운전 시스템을 도입하는 경우 동일한 산출량을 산출하는데 있어 인건비가 적게 소요하게 된다. 따라서 감가상각비와 가변비용은 대체관계에 있다고 할 수 있다. 하지만 가변생산요소의 투입이 효율적이지 않은 경우 이러한 대체효과가 약해지게 된다. 따라서 이를 앞서 언급한 바와 같이 한국 도시철도 운영기관의 비효율적인 가변생산요소 투입에서 기인한 것으로도 추론할 수 있다.

제세 및 기타비용은 법인세, 기타 공과금등으로 구성되며 전체표본에서 영업비용의 평균 3.57%이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 경우 4.09%, 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 4.19%이며, 두 생산물을 모두 생산하는 경우는 대부분 공영운영기관으로 구성되어 0.14%로 가장 낮았다. 국가별로는 한국은 평균 0.41%, 일본은 평균 4.13%로 한국이 낮게 나타났는데, 이는 한국의 경우 7개의 운영기관 모두 영공영운영기관이기 때문에 법인세가 부과되지 않았기 때문이다. 일본의 소유구조 별 제세 및 기타비용 비율은 공영 1.51%, 준공영 5.10%, 민영 5.79%로 공영운영기관의 경우 세금이 부과되지 않기 때문에 공영운영기관의 제세 및 기타비용의 비율이 낮다.

영업비용을 살펴본 결과 전체 평균 영업비용 중 가변비용의 비율이 가장 높았고, 감가상각비 제세 및 기타비용의 순으로 높은 것으로 나타났다. 한국과 일본 도시철도 운영기관의 영업비용의 구성은 다소 차이가 존재한다. 한국 도시철도 운영기관의 가변비용 비율이 일본보다 약 10%p 높았다. 반면, 일본 도시철도 운영기관의 감가상각비율은 한국보다 약 6%p 높았다. 또한 도시철도 운영기관의 소유구조별로도 영업비용의

구성에 차이가 존재한다. 일본 민영 도시철도 운영기관의 가변비용 비율이 가장 높았고, 감가상각비의 비율은 공영운영기관이 가장 높았다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 자본비용의 투입에서 기인하거나 가변생산요소의 생산성에서 기인한다. 그러나 감가상각비가 자본비용을 완전히 설명하는데 한계점이 존재하기 때문에 가변비용과 가변생산요소의 생산성을 상세하게 살펴고자 한다.

영업비용 또는 가변비용은 도시철도 운영기관의 궤도연장, 운영노선수, 전동차 대수, 열차편성, 운행횟수 등의 변수의 영향을 받으며, 최종적으로는 산출물과 비례하기 때문에 영업비용과 가변비용을 총산출물로 나누어 단위산출물당 영업비용과 가변비용을 산출하여 검토하였다. 이는 <표 13>, <표 14>와 같다.

<표 13> 도시철도 운영기관의 산출형태별 산출물당 영업비용과 가변비용

구분		총산출물(천전동차-km)			산출물당 영업비용 (원/전동차-km)			산출물당 가변비용 (원/전동차-km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	60,712	320,854	733	7,894	21,361	4,081	5,158	9,409	3,175
	한국 평균	93,724	208,865	6,447	10,541	14,759	6,225	7,290	9,409	5,122
	서울 메트로	208,865			6,225			5,312		
	서울도시 철도공사	152,538			6,567			5,122		
	대전도시 철도공사	7,046			14,615			9,318		
	광주도시 철도공사	6,447			14,759			9,409		
	일본 평균	57,711	320,854	733	7,654	21,361	4,081	4,964	8,056	3,175
경량전철 및 모노레일 평균		8,839	20,125	2,375	7,684	13,942	4,341	4,959	9,215	2,475
모두생산	유형 평균	80,229	125,383	29,403	8,944	10,303	6,996	6,230	6,652	5,571
	한국 평균	52,501	81,990	29,403	8,053	8,586	6,996	5,964	6,552	5,571
	부산 교통공사	81,990			6,996			5,571		
	대구도시 철도공사	46,109			8,586			5,769		
	인천 교통공사	29,403			8,576			6,552		
	일본 평균	121,821	125,383	118,259	10,282	10,303	10,261	6,630	6,652	6,608
	도쿄도	125,383			10,303			6,608		
	오사카시	118,259			10,261			6,652		
전체표본		55,878	320,854	733	7,894	21,361	4,081	5,183	9,409	2,475

주: "평균"은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 14> 도시철도 운영기관의 소유구조별 산출물당 영업비용과 가변비용

구분		총산출물(천전동차-km)			산출물당 영업비용 (원/전동차-km)			산출물당 가변비용 (원/전동차-km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	76,057	208,865	6,447	9,475	14,759	6,225	6,722	9,409	5,122
일본		53,400	320,854	733	7,700	21,361	4,081	4,994	9,215	2,475
	공영	70,295	320,854	2,690	12,156	21,361	9,408	6,664	8,056	5,020
	준공영	8,290	14,488	2,375	8,405	18,172	4,341	5,238	9,215	2,475
	민영	69,233	286,543	733	5,777	9,931	4,081	4,284	6,963	3,175
전체표본		55,878	320,854	733	7,894	21,361	4,081	5,183	9,409	2,475

주: “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

가변생산요소의 생산성은 가변비용을 총산출량으로 나누어 살펴볼 수 있다. 전체표본의 평균 산출물당 가변비용은 전동차-km당 5,183원이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 경우 전동차-km당 5,158원, 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 4,959원으로 가장 낮다. 그리고 두 산출물을 모두 생산하는 경우 전동차-km당 6,230원으로 가장 높다. 두 산출물을 모두 생산하는 경우 각각의 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관보다 산출물당 가변비용이 높다는 점으로 부터 범위의 불경제가 존재할 것이라는 점을 추론할 수 있다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 평균 산출물당 가변비용은 전동차-km당 6,772원으로 일본 4,994원보다 높다. 일본의 소유구조별로 평균 산출물당 가변비용은 공영 6,664원, 준공영 5,238원, 민영 4,284원으로 공영운영기관이 가장 높다. 한국과 일본 도시철도 운영기관의 평균 산출물당 가변비용은 앞서 지적한 바와 같이 한국 도시철도 운영기관의 인건비가 일본에 비하여 많았기 때문으로 추론된다. 이외에도 한국 도시철도 노선은 대부분 지하철로 건설되었기 때문에 전반적으로 비용이 높게 나타난 것으로 판단된다. 한편, 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 산출물당 가변비용은 민영운영기관의 생산성이 가장 높고, 공영운영기관의 생산성이 가장 낮을 것이라는 직관과 일치하는 결과가 도출되었다.

본 연구의 종속변수로 사용되는 가변비용을 구성하는 생산요소별 구성비율을 분석한 결과는 <표 15>, <표 16>과 같다. 특히 생산요소별 구

성비율은 비용함수와 함께 추정하는 비용비중식의 종속변수가 된다.

가변비용을 구성하는 생산요소 비용은 인건비, 동력비, 유지보수비로 먼저 인건비비율을 살펴보면, 전체표본의 평균 인건비는 39.15%를 차지한다. 산출형태별로는 중량전철 38.87%, 경량전철 및 모노레일 33.62%로 유사한 수준이지만 두 산출물을 모두생산하는 경우 52.47%로 높다. 그 이유는 표본 내 5개 운영기관 중 한국 도시철도 운영기관 3개 운영기관의 인건비 비율이 높기 때문이다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 경우 평균 인건비는 가변비용 중 59.21%, 일본의 경우 36.69%를 차지한다. 일본의 소유구조별 가변비용 중 인건비 비율은 공영 36.91%, 준공영 31.51%, 민영 39.12%로 민영이 가장 높고 공영, 준공영의 순으로 높다. 한국 도시철도 운영기관의 가변비용 중 인건비의 구성비율이 약 22.5%p 높게 나타났다. 한국 평균 산출물당 가변비용이 일본보다 높았고, 이 중 인건비의 비율이 높기 때문에 한국 도시철도 운영기관의 노동생산성이 일본보다 낮을 것이라는 앞의 추론을 지지하는 결과이다. 또한 인건비의 경우 1인당 임금이 높거나 노동투입량이 많은 경우 높다. 따라서 뒤의 소절에서 1인당 평균 임금과 노동생산성의 분석을 통하여 인건비의 비중이 높은 이유를 살펴보고자 한다.

다음으로 동력비는 가변비용 중 구성비율이 가장 낮다. 평균 동력비는 차이가 존재하지만, 가변비용 중 동력비의 비율은 대체로 유사한 수준이다. 전체표본의 평균 동력비는 가변비용의 7.36%를 차지한다. 한국 도시철도운영기관의 경우 가변비용 중 동력비가 4.64%를 차지하며, 일본의 경우 가변비용 중 동력비 비율은 7.70%이다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 가변비용 중 동력비비율은 공영 5.98%, 준공영 6.15%, 민영 9.06%로 민영운영기관의 동력비 비율이 가장 높다. 동력비는 열차운행을 위한 동력비로 차량 형식별로 차이는 존재하나 대체로 산출량과 비례관계에 있다. 하지만 가변비용 중 동력비가 차지하는 금액이 적기 때문에 도시철도 운영기관의 가변비용 중 동력비의 비율의 차이가 크지 않다.

<표 15> 도시철도 운영기관의 산출형태별 가변비용 중 생산요소별 평균 비율

구분		가변비용 중 인건비 비율			가변비용 중 동력비 비율			가변비용 중 유지보수비 비율		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	38.87%	66.39%	13.86%	7.82%	16.56%	3.33%	53.31%	80.11%	17.30%
	한국 평균	60.70%	66.39%	54.59%	4.57%	5.80%	3.33%	34.73%	42.08%	29.69%
	서울 메트로	60.44%			5.80%			33.77%		
	서울도시 철도공사	61.40%			5.23%			33.37%		
	대전도시 철도공사	54.59%			3.33%			42.08%		
	광주도시 철도공사	66.39%			3.92%			29.69%		
	일본 평균	36.88%	66.14%	13.86%	8.12%	16.56%	3.51%	55.00%	80.11%	17.30%
경량전철 및 모노레일 평균		33.62%	47.04%	27.64%	6.15%	8.35%	3.60%	60.24%	67.05%	47.32%
모두생산	유형 평균	52.47%	61.03%	34.92%	4.92%	5.45%	4.55%	42.61%	60.17%	33.86%
	한국 평균	57.22%	61.03%	53.71%	4.74%	5.11%	4.55%	38.04%	41.74%	33.86%
	부산 교통공사	61.03%			5.11%			33.86%		
	대구도시 철도공사	56.91%			4.57%			38.51%		
	인천 교통공사	53.71%			4.55%			41.74%		
	일본 평균	45.36%	55.79%	34.92%	5.18%	5.45%	4.91%	49.46%	60.17%	38.75%
	도쿄도	34.92%			4.91%			60.17%		
	오사카시	55.79%			5.45%			38.75%		
전체표본		39.15%	66.39%	13.86%	7.36%	16.56%	3.33%	53.48%	80.11%	17.30%

주: “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 16> 도시철도 운영기관의 소유구조별 가변비용 중 생산요소별 평균 비율

구분		가변비용 중 인건비 비율			가변비용 중 동력비 비율			가변비용 중 유지보수비 비율		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	59.21%	66.39%	53.71%	4.64%	5.80%	3.33%	36.15%	42.08%	29.69%
일본		36.69%	66.14%	13.86%	7.70%	16.56%	3.51%	55.61%	80.11%	17.30%
	공영	36.91%	55.79%	21.81%	5.98%	12.86%	3.51%	57.12%	65.33%	38.75%
	준공영	31.51%	47.04%	15.10%	6.15%	9.22%	3.60%	62.34%	80.11%	47.32%
	민영	39.12%	66.14%	13.86%	9.06%	16.56%	4.56%	51.82%	77.75%	17.30%
전체표본		39.15%	66.39%	13.86%	7.36%	16.56%	3.33%	53.48%	80.11%	17.30%

주: “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

마지막으로 유지보수비를 살펴보면 전체표본의 평균 유지보수비비율은 53.48%이다. 산출형태별로는 중량전철과 경량전철 및 모노레일 운영기관의 평균 유지보수비비율은 각각 53.31%, 60.24%이며, 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관은 42.61%로 가장 낮다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 가변비용 중 유지보수비 비율은 36.15%, 일본은 56.61%로 일본 도시철도 운영기관의 평균 유지보수비 비율이 한국보다 약 20%p높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 가변비용 중 유지보수비 비율은 공영 57.12%, 준공영 62.34%, 민영 51.82%로 준공영 운영기관의 유지보수 비율이 가장 높다. 일본 도시철도 운영기관의 유지보수비 비율이 한국 도시철도 운영기관보다 높은 이유는 일본 도시철도 시설이 한국 도시철도 시설보다 노후화 되어있기 때문으로 추론할 수 있다. 한국 도시철도의 경우 최초의 지하철인 서울 도시철도 1호선이 1974년 건설되었고, 대부분 노선이 1980년 이후에 건설되었다. 반면, 일본 도시철도 노선의 경우 최근에 건설된 노선도 존재하지만 대부분의 노선이 한국도시철도 노선보다 이전에 건설되었기 때문에 유지보수비가 많이 발생한 것으로 추론할 수 있다.

도시철도 운영기관의 영업비용을 살펴본 결과 영업비용 중 제세 및 기타 비용의 비율은 전반적으로 낮다. 감가상각비의 비율은 일본 도시철도 운영기관의 비율이 높았고, 가변비용의 비율은 한국이 높다. 가변비용 중 동력비의 비율은 대체로 유사하였지만, 인건비 비율은 한국 도시철도 운영기관이 높았고 유지보수비 비율은 일본 도시철도 운영기관이 높았다. 산출물당 영업비용과 가변비용은 한국도시철도 운영기관이 일본 도시철도 운영기관보다 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별로는 공영 운영기관이 가장 높고 민영 운영기관이 낮다. 이는 생산요소의 생산성이 국가별로, 소유구조 별로 차이가 존재함을 의미한다. 이러한 결과로부터 한국 도시철도 운영기관의 가변비용의 비율이 높고, 이 중 인건비의 비율이 일본보다 높은 이유는 낮은 노동생산성에서 기인한 것으로 추론할 수 있다. 또한 일본 도시철도 운영기관의 가변비용 중 유지보수비 비율이 한국 도시철도 운영기관보다 높은 이유는 시설의 노후화때문

인 것으로 추론된다. 한편, 소유구조별로는 민영운영기관의 산출물당 가변비용과 영업비용이 공영과 준공영 운영기관보다 적다. 따라서 민영 운영기관의 효율성이 높을 것이라고 추론할 수 있다. 도시철도 운영기관별 영업비용을 통해 살펴본 비용구조의 차이와 이로부터 추론한 내용을 명확하게 확인하기 위하여 이후 소절에서 도시철도 운영기관별 산출물, 생산요소 가격, 생산요소별 생산성, 시설물 특성 등을 분석하였다.

2. 산출량, 생산요소 가격 및 궤도연장

2.1 산출량

본 연구에서는 비용함수를 추정하기 때문에 공급 측면의 산출량 지표를 사용하였다. 공급측면의 산출량 지표는 열차-km와 전동차-km를 사용할 수 있다. 도시철도 노선별 전동차 편성이 상이하므로 열차-km가 아닌 전동차-km를 사용하였다. 하지만 전동차-km 단위를 사용하더라도 차량형식이나 규격에 따라 좌석수와 용량이 상이하다. 또한 1편성 당 전동차 량수가 많은 경우 인건비와 같이 열차단위로 발생하는 비용이 적게 산정된다[6]. 그러나 이에 대한 자료를 구득하는데 한계가 존재하여 전동차를 최소 분석단위로 하였다.

한편, 도시철도 운영기관의 산출량은 영업연장, 표정속도 등의 영향을 받게 된다. 산출량은 영업연장과 표정속도와 비례한다. 영업연장이 긴 경우 1회 운행시 전동차의 주행거리가 길어지게 되며, 표정속도가 높은 경우 1회 운행소요시간이 짧아져 산출량이 증가한다. 그러나 이러한 노선별 특성은 가변비용에 반영되고, 운영기관의 생산기술로 간주할 수 있다. 따라서 전동차-km지표를 별도로 보정하지 않고 도시철도 운영기관의 산출량 지표로 사용하였다. 산출물은 중량전철 산출물과 경량전철 및 모노레일 산출물 두 가지로 구분하였다. 도시철도 운영기관의 산출형태, 국가 및 소유구조별 평균 산출량은 <표 17>, <표 18>과 같다.

전체표본의 평균 총산출량은 55,878 천전동차-km이며, 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 경우 평균 60,712 천전동차-km, 경량전철 및 모노레일의 경우 8,839 천전동차-km로 산출량이 상대적으로 적다. 두 산출물을 모두 생산하는 경우 평균 80,229 천전동차-km로 산출량이 가장 많다. 한국 도시철도 운영기관의 경우 평균 총산출량은 76,057 천전동차-km, 일본은 53,400 천전동차-km로 한국의

6) 승무인원의 인건비의 경우 열차의 전동차 편성수와 무관하게 운행횟수와 비례하여 발생한다. 또한 동력비의 경우 동력분산식 전동차량이 아닌 노선에서는 열차편성에 의하여 동력비의 차이가 존재할 수 있다.

산출량이 더 많다. 일본의 소유구조별 평균 총산출량을 살펴보면 공영 70,295 천전동차-km, 준공영 8,290 천전동차-km, 민영 69,233 천전동차-km로 공영 운영기관의 산출량이 가장 많고, 민영 운영기관의 산출량이 가장 적다.

<표 17> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 산출량

(단위: 천전동차-km)

구분		중량전철 산출량			경량전철 및 모노레일 산출량			총산출량		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	60,712 (100%)	320,854	733	0 (0.00%)	0	0	60,712 (100%)	320,854	733
	한국 평균	93,724 (100%)	208,865	6,447	0 (0.00%)	0	0	93,724 (100%)	208,865	6,447
	서울 메트로	208,865 (100%)			0 (0.00%)			208,865 (100%)		
	서울도시 철도공사	152,538 (100%)			0 (0.00%)			152,538 (100%)		
	대전도시 철도공사	7,046 (100%)			0 (0.00%)			7,046 (100%)		
	광주도시 철도공사	6,447 (100%)			0 (0.00%)			6,447 (100%)		
	일본 평균	57,711 (100%)	320,854	733	0 (0.00%)	0	0	57,711 (100%)	320,854	733
경량전철 및 모노레일 평균		0 (0.00%)	0	0	8,839 (100%)	20,125	2,375	8,839 (100%)	20,125	2,375
모두생산	유형 평균	73,729 (91.90%)	117,631	25,534	6,500 (8.10%)	7,961	3,869	80,229 (100%)	125,383	29,403
	한국 평균	45,983 (87.58%)	74,028	25,534	6,518 (12.42%)	7,961	3,869	52,501 (100%)	81,990	29,403
	부산 교통공사	74,028 (90.29%)			7,961 (9.71%)			81,990 (100%)		
	대구도시 철도공사	38,385 (83.25%)			7,724 (16.75%)			46,109 (100%)		
	인천 교통공사	25,534 (86.84%)			3,869 (13.16%)			29,403 (100%)		
	일본 평균	115,349 (94.69%)	117,631	113,066	6,473 (5.31%)	7,752	5,193	121,821 (100%)	125,383	118,259
	도쿄도	117,631 (93.82%)			7,752 (6.18%)			125,383 (100%)		
	오사카시	113,066 (95.61%)			5,193 (4.39%)			118,259 (100%)		
전체표본		53,983 (96.61%)	320,854	0	1,895 (3.39%)	20,125	0	55,878 (100%)	320,854	733

주: 구성비율은 평균값을 기준으로 산정함.

<표 18> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 산출량

(단위: 천전동차-km)

구분		중량전철 산출량			경량전철 및 모노레일 산출량			총산출량		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	73,263 (96.33%)	208,865	6,447	2,793 (3.67%)	7,961	0	76,057 (100%)	208,865	6,447
일본		51,615 (96.66%)	320,854	0	1,785 (3.34%)	20,125	0	53,400 (100%)	320,854	733
	공영	68,874 (97.98%)	320,854	0	1,421 (2.02%)	7,752	0	70,295 (100%)	320,854	2,690
	준공영	3,918 (47.27%)	13,695	0	4,371 (52.73%)	14,488	0	8,290 (100%)	14,488	2,375
	민영	68,571 (99.04%)	286,543	0	662 (0.96%)	20,125	0	69,233 (100%)	286,543	733
전체표본		53,983 (96.61%)	320,854	0	1,895 (3.39%)	20,125	0	55,878 (100%)	320,854	733

주: 구성비율은 평균값을 기준으로 산정함.

산출물별 생산량을 살펴보면 전반적으로 중량전철 산출물의 비율이 높고, 경량전철과 모노레일의 산출물의 비율이 낮다.

먼저 중량전철 산출물의 전체표본의 평균 산출량은 53,983 천전동차-km로 총산출량의 96.61%를 차지한다. 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 중량전철 산출물 비율도 평균 91.90%로 대부분의 산출물이 중량전철 산출물이다.

국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 평균 중량전철 산출량은 73,263 천전동차-km이며, 총산출물의 96.33%이다. 일본 도시철도 운영기관의 경우 평균 중량전철 산출량은 51,615 천전동차-km이며, 총산출물의 96.66%로 한국 도시철도 운영기관에 비하여 평균 중량전철 산출물은 적고 구성비율은 약간 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 중량전철 산출량은 공영 운영기관 68,874 천전동차-km로 가장 많고, 준공영 운영기관은 3,918 천전동차-km로 가장 적다. 준공영 운영기관의 평균 중량전철 산출량의 경우 68,571 천전동차-km로 공영 운영기관과 유사한 수준이다. 총산출량 중 중량전철 산출량의 비율은 공영운영기관

97.98%, 준공영 운영기관 47.27%, 민영 운영기관 99.04%로 공영과 민영 운영기관은 총산출물 중 대부분의 산출물이 중량전철인 반면 준공영 운영기관의 경우 중량전철 산출물의 비율이 50%이하로 상대적으로 낮다.

경량전철 및 모노레일 산출물의 경우 전체표본의 평균 산출량은 1,895 천전동차-km로 총산출물의 3.39%를 차지한다. 한국 도시철도 운영기관의 평균 경량전철 및 모노레일 산출량은 2,793 천전동차-km로 총산출물의 3.67%이며, 일본 도시철도운영기관의 경우 평균 경량전철 및 모노레일 산출량은 1,785 천전동차-km로 총산출량의 3.34%이다. 한국의 평균 경량전철 및 모노레일 산출량이 일본보다 많고 총산출물 중 구성비율은 유사한 수준이다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 경량전철 및 모노레일 산출량을 살펴보면 공영 운영기관은 1,421 천전동차-km, 준공영 운영기관은 4,371 천전동차-km, 민영 운영기관은 662 천전동차-km로 준공영 운영기관이 가장 많다. 총산출물 중 평균 경량전철 및 모노레일 산출물의 구성비율은 준공영 운영기관이 52.73%로 가장 높고 공영 운영기관이 2.02%, 민영 운영기관이 0.96%로 가장 낮다.

한국 도시철도 운영기관은 중량전철 또는 두 산출물을 모두생산하는 운영기관으로 구성되고, 두 산출물을 모두 생산하는 운영기관에서 경량전철 및 모노레일 노선을 각각 1개씩 운영하고 있기 때문에 한국 도시철도 운영기관의 중량전철 산출물의 구성비율이 높다. 일본 도시철도 운영기관의 경우 한국과 마찬가지로 중량전철 운영기관이 많기 때문에 중량전철 산출물 비율이 높다. 한편, 일본 준공영 운영기관의 경우 대체로 운영기관의 총산출물 양이 적고, 중량전철 운영기관 7개와 경량전철 및 모노레일 운영기관 8개가 포함되기 때문에 두 산출물의 구성비율이 유사한 수준으로 나타났다.

2.2 생산요소 가격

생산요소의 가격은 가변비용 함수의 생산요소인 노동, 동력 그리고 유지보수비용의 단위가격을 의미한다. 각 생산요소의 단위가격은 각 생산요소 비용을 투입량으로 나누어 산정한다. 노동의 단위비용은 인건비 총액을 종업원 수로 나누어 산정하고, 동력의 단위비용은 동력비를 동력사용량으로 나누어 산정한다. 유지보수의 단위비용은 유지보수비용을 전동차 대수로 나누어 산정한다. 도시철도 운영기관의 산출형태, 소유구조별 노동의 단위가격은 <표 19>와 <표 20>, 동력의 단위가격은 <표 21>과 <표 22> 그리고 유지보수의 단위가격은 <표 23>과 <표 24>와 같다.

<표 19> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 1인당 인건비

구분		인건비(백만원)			종업원수(인)			1인당 인건비(만원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	113,369	726,923	1,233	1,567	9,448	36	6,423	8,779	3,472
	한국 평균	306,579	670,505	35,842	4,274	9,448	542	6,962	7,430	5,944
	서울 메트로	670,505			9,448			7,097		
	서울도시 철도공사	479,699			6,501			7,379		
	대전도시 철도공사	35,842			603			5,944		
	광주도시 철도공사	40,269			542			7,430		
	일본 평균	95,804	726,923	1,233	1,321	9,356	36	6,374	8,779	3,472
경량전철 및 모노레일 평균		12,170	24,365	5,688	190	368	110	6,267	7,613	4,666
모두생산	유형 평균	252,366	438,911	103,477	3,316	5,282	1,469	7,392	8,310	6,227
	한국 평균	177,872	278,751	103,477	2,566	3,797	1,469	6,871	7,341	6,227
	부산 교통공사	278,751			3,797			7,341		
	대구도시 철도공사	151,388			2,431			6,227		
	인천 교통공사	103,477			1,469			7,044		
	일본 평균	364,108	438,911	289,304	4,440	5,282	3,599	8,174	8,310	8,039
	도쿄도	289,304			3,599			8,039		
	오사카시	438,911			5,282			8,310		
전체표본		110,488	726,923	1,233	1,518	9,448	36	6,485	8,779	3,472

주 : 1인당 인건비는 개별관찰점에서 산정한 값임.

<표 20> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 1인당 인건비

구분		인건비(백만원)			종업원수(인)			1인당 인건비(만원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	251,419	670,505	35,842	3,542	9,448	542	6,923	7,430	5,944
일본		93,181	726,923	1,233	1,269	9,356	36	6,432	8,779	3,472
	공영	177,901	726,923	5,688	2,255	9,356	122	7,533	8,310	4,666
	준공영	11,938	19,771	6,187	187	305	102	6,359	8,366	4,857
	민영	102,430	487,216	1,233	1,443	7,257	36	6,076	8,779	3,472
전체표본		110,488	726,923	1,233	1,518	9,448	36	6,485	8,779	3,472

주: 1인당 인건비는 개별관찰점에서 산정한 값임.

노동의 단위가격인 1인당 연간 인건비를 살펴보면 전체표본의 평균은 6,485 만원이며 최댓값은 8,779 만원, 최솟값은 3,472 만원으로 운영기관별 차이가 크다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 경우 6,423 만원, 경량전철 및 모노레일의 경우 6,267 만원으로 가장 낮고 그리고 두 산출물을 모두 생산하는 경우 7,392 만원으로 가장 높다. 국가별로는 한국과 일본의 도시철도 운영기관의 평균 1인당 인건비는 한국 6,923만 원, 일본 6,432만 원으로 한국이 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 1인당 인건비는 공영 운영기관 7,533만 원, 준공영 운영기관 6,359만 원, 민영 6,076만 원으로 공영 운영기관이 가장 높고 준공영, 민영 운영기관의 순으로 높다. 한국과 일본의 공영운영기관의 1인당 인건비를 비교하면 일본 공영운영기관이 평균 1인당 인건비가 높지만, 일본 공영운영기관의 경우 최댓값과 최솟값의 차이가 한국 공영운영기관보다 크다.

한국과 일본 도시철도 운영기관의 1인당 인건비 차이는 인건비 항목에 포함되는 계정과목의 차이에서 기인한 부분도 일부 존재한다. 한국 도시철도 운영기관의 경우 인건비항목 책정시 복리후생비의 일부가 인건비성 복리후생비로 인건비에 포함된다. 반면, 일본의 경우 복리후생비의 계정과목이 별도로 존재하지만, 일부 도시철도 운영기관은 복리후생비가 0원으로 기입되어있다. 한국의 경우 인건비로 명시한 인건비성 복리후생비는 인건비에 포함하였으며, 일본의 경우 복리후생비를 인건비에 포함하지 않았다. 이러한 차이로 인하여 한국 도시철도 운영기관의 인건비가 일본도시철도 운영기관보다 높게 산정되었을 개연성이 존재[7]한다.

한편 앞에서 도시철도 운영기관별 평균비용을 살펴본 결과 한국 도시철도 운영기관의 인건비 비율이 높게 나타났다. 이는 한국 도시철도 운영기관의 1인당 인건비가 높다는 점도 그 원인의 하나라고 추론된다.

<표 21> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 1kWh당 동력비

구분		동력비(백만원)			전력사용량(천kWh)			1kWh당 동력비(원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	19,764	109,067	330	132,818	746,237	1,965	156	190	126
	한국 평균	27,441	64,325	2,184	213,892	496,073	17,155	128	130	126
	서울 메트로	64,325			496,073			130		
	서울도시 철도공사	40,874			323,607			126		
	대전도시 철도공사	2,184			17,155			127		
	광주도시 철도공사	2,379			18,732			127		
	일본 평균	19,066	109,067	330	125,448	746,237	1,965	158	190	134
경량전철 및 모노레일 평균		2,435	6,406	818	15,332	41,950	5,205	160	183	136
모두생산	유형 평균	25,577	42,890	8,760	170,114	255,966	70,808	143	169	124
	한국 평균	14,760	23,351	8,760	117,814	187,723	70,808	125	128	124
	부산 교통공사	23,351			187,723			124		
	대구도시 철도공사	12,168			94,911			128		
	인천 교통공사	8,760			70,808			124		
	일본 평균	41,802	42,890	40,714	248,566	255,966	241,165	168	169	168
	도쿄도	40,714			241,165			169		
	오사카시	42,890			255,966			168		
전체표본		18,097	109,067	330	121,366	746,237	1,965	155	190	124

주 : 1kWh당 동력비는 개별관찰점에서 산정한 값임.

7) 한국의 경우 인건비성복리후생비 외에도 복리후생비가 일본 보다 많다. 만약 복리후생비 전체를 인건비에 포함하는 경우 한국 도시철도 운영기관의 인건비가 일본보다 더 많이 증가하여 한국과 일본의 인건비 차이는 더 크게 나타난다.

<표 22> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 1kWh당 동력비

구분		동력비(백만원)			전력사용량(천kWh)			1kWh당 동력비(원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	22,006	64,325	2,184	172,716	496,073	17,155	127	130	124
일본		17,617	109,067	330	115,060	746,237	1,965	159	190	134
	공영	22,996	76,786	977	146,854	556,797	7,179	163	190	136
	준공영	2,440	4,914	818	15,173	30,572	5,205	162	183	140
	민영	23,051	109,067	330	152,110	746,237	1,965	156	183	134
전체표본		18,097	109,067	330	121,366	746,237	1,965	155	190	124

주 : 1kWh당 동력비는 개별관찰점에서 산정한 값임.

동력의 단위가격인 1kWh당 동력비는 동력비를 전동차 운전용 동력사용량으로 나누어 산정하였다. 동력의 경우 다른 생산요소와는 다르게 전력회사로부터 전력을 공급받기 때문에 1kWh당 전력요금과 동일한 값을 가지게 된다. 전체표본의 1kWh당 동력비는 평균 155원이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 경우 1kWh당 평균 156원, 경량전철 및 모노레일의 경우 1kWh당 평균 160원 그리고 두 산출물을 모두생산하는 경우 1kWh당 평균 143원이다. 국가별로는 한국은 127원, 일본은 159원으로 일본의 평균 1kWh당 동력비가 한국보다 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 1kWh당 동력비는 공영과 준공영 운영기관은 163원과 162원으로 유사하고, 민영 운영기관은 156원으로 약간 낮다. 특히 일본의 경우 1kWh당 동력비가 최소 134원에서 최대 190원까지 차이가 비교적 큰 것으로 나타났다. 반면, 한국은 최소 124원에서 최대 130원까지 그 차이가 크지 않다. 이는 한국의 경우 하나의 전력회사로부터 전력을 공급받지만, 일본은 지역별로 전력을 공급하는 전력회사가 다르기 때문이다.

<표 23> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 전동차 1대당 유지보수비

구분		유지보수비(백만원)			전동차 대수(대)			전동차 1대당 유지보수비(백만원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	157,898	1,386,487	1,439	488	2,766	16	307	763	61
	한국 평균	170,233	374,623	18,009	937	1,954	84	219	329	161
	서울 메트로	374,623			1,954			192		
	서울도시 철도공사	260,671			1,617			161		
	대전도시 철도공사	27,629			84			329		
	광주도시 철도공사	18,009			92			196		
	일본 평균	156,776	1,386,487	1,439	447	2,766	16	315	763	61
경량전철 및 모노레일 평균		23,718	57,382	8,740	98	168	32	266	457	109
모두생산	유형 평균	228,174	498,497	80,416	842	1,332	346	257	439	167
	한국 평균	112,506	154,653	80,416	580	926	346	206	232	167
	부산 교통공사	154,653			926			167		
	대구도시 철도공사	102,450			468			219		
	인천 교통공사	80,416			346			232		
	일본 평균	401,677	498,497	304,857	1,234	1,332	1,136	334	439	229
	도쿄도	498,497			1,136			439		
	오사카시	304,857			1,332			229		
전체표본		144,454	1,386,487	1,439	466	2,766	16	296	763	61

주 : 전동차 1대당 유지보수비는 개별관찰점에서 산정한 값임.

<표 24> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 전동차 1대당 유지보수비

구분		유지보수비(백만원)			전동차 대수(대)			전동차 1대당 유지보수비(백만원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	145,493	374,623	18,009	784	1,954	84	214	329	161
일본		144,326	1,386,487	1,439	427	2,766	16	306	763	61
	공영	268,051	1,386,487	9,676	682	2,766	36	357	501	229
	준공영	26,162	73,281	8,740	85	168	32	358	763	109
	민영	157,600	620,149	1,439	503	1,898	16	262	522	61
전체표본		144,454	1,386,487	1,439	466	2,766	16	296	763	61

주 : 전동차 1대당 유지보수비는 개별관찰점에서 산정한 값임.

유지보수의 단위가격인 전동차 1대당 유지보수비는 유지보수비를 전동 대수로 나누어 산정한다. 먼저 전동차 대수를 살펴보면 전체표본의 평균 전동차 대수는 466대이며, 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관은 평균 307대로 가장 많고, 경량전철 및 모노레일의 경우 평균 266대, 두 산출물을 모두 생산하는 경우 평균 257대이다. 국가별로는 한국은 784대, 일본은 427대로 한국의 평균 전동차 대수가 많다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 전동차 대수는 공영 운영기관 682대, 준공영 운영기관 85대, 민영 운영기관 503대로 공영운영기관의 평균 전동차 대수가 가장 많고 준공영 운영기관의 전동차 대수가 가장 적다.

평균 전동차 1대당 유지보수비를 살펴보면 전체표본은 평균 296 백만원으로 나타났다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관은 평균 307 백만원으로 가장 높고, 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 평균 266 백만원 그리고 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관은 평균 257 백만원으로 가장 낮다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관은 평균 214 백만원, 일본 도시철도 운영기관은 평균 306 백만원으로 일본의 평균 전동차 1대당 유지보수비가 한국보다 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 전동차 1대당 유지보수비는 공영 운영기관 357 백만원, 준공영 운영기관 358 백만원, 민영 운영기관 262 백만원으로 공영과 준공영 운영기관은 유사한 수준인 반면 민영 운영기관이 가장 낮다. 전반적으로 일본 도시철도 운영기관의 전동차 1대당 유지보수비가 높게 나타났다. 이는 시설물의 노후도에서 기인한 것으로 추론할 수 있다. 다수의 일본의 도시철도 시설물이 한국에 비하여 과거에 건설되었기 때문이다.

2.3 궤도연장

궤도연장 또는 영업연장은 준고정요소로 네트워크 효과와 밀도 및 규모의 경제를 파악하는데 필수적인 요소이므로 가변비용함수에 설명변수로 포함하였다. 도시철도 운영기관의 궤도의 형태가 단선 또는 복선 등으로 동질적인 경우 궤도연장과 영업연장을 모두 사용할 수 있지만, 본 연구에서는 분석대상 도시철도 운영기관의 궤도 형태가 단선과 복선이 혼재되어있어 궤도연장을 사용하였다. 또한 회차, 대피 등을 위한 본선 외의 궤도시설역시 도시철도 운영에 필수적으로 사용되기 때문에 궤도연장을 사용하였다. 다만, 일본 도시철도 운영기관 중 일부 경량전철, 모노레일 노선의 궤도연장 자료가 존재하지 않아 이 경우 단선/복선 여부를 확인하여 영업연장을 궤도연장으로 환산하였다.

한편, 운행밀도의 경우 전동차를 얼마나 자주 운행하는지를 나타내는 지표로 배차간격, 열차운행시간, 운행횟수 등을 이용하여 산정할 수 있다. 본 연구에서는 구득가능한 자료 중 산출물과 궤도연장을 이용하여 산정하였다. 총산출물을 궤도연장으로 나누어 산정한 운행밀도는 궤도 1km당 전동차의 운행횟수를 의미한다. 운행밀도는 가변비용함수의 설명변수로 직접적으로 사용되지 않지만, 밀도의 경제성을 분석하는데 있어 활용되므로 운행밀도를 검토하였다. 도시철도 운영기관의 산출형태, 소유구조별 평균 궤도연장과 운행밀도는 각각 <표 25>와 <표 26>과 같다.

도시철도 운영기관별 궤도연장을 살펴보면 전체표본의 평균 궤도연장은 148.51km이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 평균 궤도연장은 862.18km, 경량전철 및 모노레일 운영기관의 경우 평균 781.77km로 가장 짧고, 두 산출물을 모두생산하는 경우 평균 939.17km로 가장 길다.

<표 25> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 궤도연장과 운행밀도

구분		궤도연장(km)			총산출물(천전동차-km)			1일 운행밀도 (전동차-km/궤도 km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	160.94	1,032.60	11.90	60,712	320,854	733	862.18	2,136.21	142.36
	한국 평균	241.11	438.42	53.64	93,724	208,865	6,447	745.43	1,413.98	285.25
	서울 메트로	404.70			208,865			1,413.98		
	서울도시 철도공사	438.42			152,538			953.22		
	대전도시 철도공사	67.68			7,046			285.25		
	광주도시 철도공사	53.64			6,447			329.29		
	일본 평균	153.65	1,032.60	11.90	57,711	320,854	733	872.79	2,136.21	142.36
경량전철 및 모노레일 평균		31.10	56.00	17.60	8,839	20,125	2,375	781.77	1,548.79	214.04
모두생산	유형 평균	227.86	301.65	115.17	80,229	125,383	29,403	939.17	1,445.16	563.73
	한국 평균	213.63	301.65	115.17	52,501	81,990	29,403	669.29	744.67	563.73
	부산 교통공사	301.65			81,990			744.67		
	대구도시 철도공사	224.09			46,109			563.73		
	인천 교통공사	115.17			29,403			699.48		
	일본 평균	249.20	260.70	237.70	121,821	125,383	118,259	1,343.98	1,445.16	1,242.80
	도쿄도	237.70			125,383			1,445.16		
	오사카시	260.70			118,259			1,242.80		
전체표본		148.51	1,032.60	11.90	55,878	320,854	733	864.55	2,136.21	142.36

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 26> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 궤도연장과 운행밀도

구분		궤도연장(km)			총산출물(천전동차-km)			1일 운행밀도 (전동차-km/궤도 km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	229.33	438.42	53.64	76,057	208,865	6,447	712.80	1,413.98	285.25
일본		138.59	1,032.60	11.90	53,400	320,854	733	883.19	2,136.21	142.36
	공영	143.04	411.50	17.60	70,295	320,854	2,690	1,003.39	2,136.21	418.74
	준공영	32.55	68.20	11.90	8,290	14,488	2,375	805.09	1,503.20	214.04
	민영	188.32	1,032.60	13.10	69,233	286,543	733	878.33	1,846.89	142.36
전체표본		148.51	1,032.60	11.90	55,878	320,854	733	864.55	2,136.21	142.36

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 평균 궤도연장은 229.33km, 일본 도시철도 운영기관의 평균 궤도연장은 138.59km로 한국 도시철도운영기관의 평균 궤도연장이 일본보다 길다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 궤도연장은 공영 운영기관 143.04km, 준공영 운영기관 32.55km, 민영 운영기관 188.32km로 민영운영기관의 평균 궤도연장이 가장 길고 준공영 운영기관의 궤도연장이 가장 짧다.

도시철도 운영기관의 1일 평균 운행밀도를 살펴보면 전체표본의 1일 평균 운행밀도는 864.55 전동차-km/궤도 km이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관은 862.18 전동차-km/궤도 km, 경량전철 및 모노레일의 경우 781.77 전동차-km/궤도 km로 가장 낮다. 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 1일 평균 운행밀도는 939.17 전동차-km/궤도 km로 가장 높다.

국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 1일 평균 운행밀도는 712.80 전동차-km/궤도 km, 일본의 경우 883.19 전동차-km/궤도 km로 일본 도시철도 운영기관의 1일 평균 운행밀도가 한국보다 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조 별 1일 평균 운행밀도는 공영 운영기관 1,003.39 전동차-km/궤도 km, 준공영 운영기관 805.09 전동차-km/궤도 km, 민영 운영기관 878.33 전동차-km/궤도 km로 공영 운영기관의 평균 운행밀도가 가장 높고, 준공영 운영기관의 평균 운행밀도가 가장 낮다.

운행밀도의 경우 운행횟수가 많거나, 운행횟수가 동일할 때 열차 1편성당 전동차 대수가 많은 경우 높아진다. 특히, 첨두시간대 배차간격을 줄이는데에는 한계가 존재[8]하기 때문에 비첨두시 운행횟수와 운행밀도는 비례하게 된다. 따라서 도시철도 운영기관에서 운행밀도를 늘린다는 것은 비첨두시 운행횟수를 늘리는 것이라고 할 수 있다. 결국 위의 결과로부터 일본 도시철도 운영기관의 비첨두시 운행횟수 또는 1편성당 차량수가 많다는 점을 추론할 수 있다.

8) 기술적 한계와 안전확보의 이유로 배차간격을 줄이는 것에는 한계가 존재한다.

3. 생산요소의 부분생산성

도시철도 운영기관의 생산요소의 부분생산성은 생산요소 1단위 당 산출량을 이용하여 분석하며, 총산출량을 각 생산요소의 투입량으로 나누어 산정한다. 다른 도시철도 운영기관에 비하여 특정 생산요소의 생산성이 낮은 경우 생산요소 1단위 당 산출량이 낮다. 생산요소의 부문생산성은 비용함수의 설명변수인 노동, 동력, 전동차에 대하여 분석하였다. 도시철도 운영기관의 산출형태와 소유구조별 생산요소의 부분생산성은 각각 <표 27>과 <표 28>과 같다.

<표 27> 도시철도 운영기관의 산출형태별 생산요소의 부분생산성

구분		노동 (천전동차-km/인)			동력 (전동차-km/kWh)			전동차 (천전동차-km/대)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	37.76	76.99	11.69	0.44	0.62	0.25	110.74	176.64	45.81
	한국 평균	17.29	23.46	11.69	0.41	0.47	0.34	88.80	106.89	70.08
	서울 메트로	22.11			0.42			106.89		
	서울도시 철도공사	23.46			0.47			94.33		
	대전도시 철도공사	11.69			0.41			83.88		
	광주도시 철도공사	11.89			0.34			70.08		
	일본 평균	39.62	76.99	13.96	0.44	0.62	0.25	112.73	176.64	45.81
경량전철 및 모노레일 평균		44.90	66.99	14.40	0.64	1.19	0.31	88.87	159.72	68.94
모두생산	유형 평균	23.56	34.84	18.97	0.46	0.52	0.42	94.24	110.37	84.98
	한국 평균	20.19	21.59	18.97	0.45	0.49	0.42	90.68	98.52	84.98
	부산 교통공사	21.59			0.44			88.54		
	대구도시 철도공사	18.97			0.49			98.52		
	인천 교통공사	20.02			0.42			84.98		
	일본 평균	28.61	34.84	22.39	0.49	0.52	0.46	99.58	110.37	88.78
	도쿄도	34.84			0.52			110.37		
	오사카시	22.39			0.46			88.78		
전체표본		37.96	76.99	11.69	0.47	1.19	0.25	106.43	176.64	45.81

주 : "평균"은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 28> 도시철도 운영기관의 소유구조별 생산요소의 부분생산성

구분		노동 (천전동차-km/인)			동력 (전동차-km/kWh)			전동차 (천전동차-km/대)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	18.53	23.46	11.69	0.43	0.49	0.34	89.60	106.89	70.08
일본		40.35	76.99	13.96	0.48	1.19	0.25	108.50	176.64	45.81
	공영	32.79	62.85	22.06	0.44	0.58	0.27	94.19	119.10	74.72
	준공영	44.80	66.99	14.40	0.59	1.19	0.31	103.89	160.50	68.94
	민영	40.88	76.99	13.96	0.43	0.61	0.25	115.81	176.64	45.81
전체표본		37.96	76.99	11.69	0.47	1.19	0.25	106.43	176.64	45.81

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

노동생산성을 살펴보면 전체표본은 평균 37.96 천전동차-km/인이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관은 평균 37.76 천전동차-km/인, 경량전철 및 모노레일만 생산하는 도시철도 운영기관은 평균 44.90 천전동차-km/인로 가장 높다. 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 노동생산성은 평균 23.56 천전동차-km/인으로 가장 낮다. 이는 두 산출물을 모두생산하는 도시철도 운영기관의 경우 한국 도시철도 운영기관의 구성비율이 높기 때문으로, 전반적으로 한국 도시철도 운영기관의 노동생산성이 낮아 평균 노동생산성이 낮게 나타났다.

국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 경우 평균 18.53 천전동차-km/인, 일본 도시철도 운영기관은 평균 40.35 천전동차-km/인으로 일본 도시철도 운영기관의 노동생산성이 한국보다 약 2배 가량 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 노동생산성은 공영 운영기관 32.79천 전동차-km/인, 준공영 운영기관 44.80 천전동차-km/인, 민영 40.88 천전동차-km/인으로 준공영 운영기관의 노동생산성이 가장 높고, 공영 운영기관이 가장 낮다.

운전부문을 살펴보면 한국 도시철도 운영기관은 서울메트로는 2인승무로 운영되지만 그 외 모든 운영기관은 1인승무로 운영된다. 일본의 경우 운전과 관련된 종업원수는 총 인원의 약30%이며, 역무원은 약 23%이다. 승무형태는 2인승무가 약 50%를 차지하며 1인승무 또는 무인운전

인 도시철도 운영기관이 나머지 50%를 차지한다.[9] 따라서 승무인원의 경우 한국과 일본 도시철도 운영기관 간 큰 차이가 존재하지 않거나 한국 도시철도 운영기관의 승무인원이 더 적을 것으로 예상되나 한국 도시철도 운영기관의 노동생산성이 낮게 나타났다. 이는 도시철도 서비스 특성과도 밀접한 관계가 있다. 첨두시에는 짧은시간동안 집중적으로 서비스를 제공해야 하므로 이를 위한 인력과 전동차가 많이 필요하다. 그러나 비첨두시에는 운행횟수가 줄어듦에 따라 산출량은 줄어들지만 투입된 인력과 전동차가 유휴상태가 된다. 따라서 높은 첨두율[10]은 노동 뿐만 아니라 전동차 생산성을 낮추는 원인이 될 수 있다. 또한 앞서 언급한 바와 같이 열차 1편성당 전동차 수가 많은 경우 노동생산성은 높게 나타날 수 있다. 이외에도 역무인력, 유지보수인력 등의 생산성도 노동생산성에 영향을 미치게 된다.[11]

하지만 한국 도시철도 노선은 비교적 최근에 건설되었고, 역무 자동화, 1인승무 등의 노동생산성이 높을 것으로 예상되는 특성을 가지지만 일본 도시철도 운영기관의 절반에 못미치는 낮은 노동생산성이 나타나는 원인은 노동조합의 압력과 공영운영기관의 낮은 경영효율성 개선의지에서 기인하는 것으로 판단된다.

동력생산성의 경우 전체표본은 평균 0.47 전동차-km/kWh이며 산출형태별로는 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 동력생산성이 평균 0.46 전동차-km/kWh로 가장 높았고, 중량전철과 모두생산의 경우 각각 0.44 전동차-km/kWh와 0.46전동차-km/kWh로 유사하다. 이는 차량형식에서 기인한 차이로 경량전철 및 모노레일의 경우 중량전철에 비하여 차량의 크기가 작기 때문에 동력효율이 높기 때문이

9) 일본 도시철도 노선별 승무 형태에 대한 통계자료는 존재하지 않으나, 부문별 종업원수를 상세하게 제공하고 있어 이를 통해 개략적인 산정이 가능하다. 운수부문의 경우 운전수, 차장, 역직원, 기타인원 등으로 구분하고 있다. 한국 도시철도 운영기관의 경우 부문별 종업원 수에 대한 자료를 제공하지 않는다.

10) 첨두시 전동차 운행대수(운행횟수)/비첨두시 전동차 운행대수(운행횟수)로 정의할 수 있다.

11) Mizutani(1993)에서는 공영운영기관의 노동생산성이 낮은 원인으로 역무와 유지보수활동의 비효율에서 기인한다고 지적하고 있다. 우리나라도 이와 유사한 이유로 노동생산성이 낮을 것으로 판단된다.

다. 그리고 두 산출물을 모두 운영하는 도시철도 운영기관의 경우 중량전철 산출물의 비율이 높기 때문에 중량전철 운영기관과 유사한 수준으로 나타났다.

국가별로는 한국 도시철도 운영기관은 평균 0.43 전동차-km/kWh, 일본 도시철도 운영기관은 0.48 전동차-km/kWh로 일본이 한국보다 약간 높은 것으로 나타났다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 동력생산성은 공영 운영기관 0.44 전동차-km/kWh, 준공영 운영기관 0.59 전동차-km/kWh, 민영 운영기관 0.43 전동차-km/kWh로 공영과 민영 운영기관의 동력생산성은 유사하지만 준공영 운영기관의 동력생산성은 높다. 일본 준공영 운영기관은 15개 운영기관 중 중량전철에 비하여 상대적으로 차량의 크기가 작은 차량형식인 경량전철 또는 모노레일만 운영하는 도시철도 운영기관이 8개 기관이기 때문에 동력생산성이 상대적으로 높은 것으로 추론할 수 있다.

전동차생산성은 전체표본의 경우 평균 106.43 천전동차-km/대이다. 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 경우 평균 110.74 천전동차-km/대로 가장 높고, 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관은 평균 88.87 천전동차-km/대로 가장 낮았다. 이는 중량전철 노선의 궤도연장이 경량전철 및 모노레일노선보다 길기 때문인 것으로 추론된다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관은 평균 89.60 천전동차-km/대, 일본 도시철도 운영기관은 평균 108.50 천전동차-km/대로 일본의 전동차생산성이 한국보다 높다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 전동차생산성은 공영 운영기관 평균 94.19 천전동차-km/대, 준공영 운영기관 평균 103.89 천전동차-km/대, 민영 운영기관 115.81 천전동차-km/대로 민영 운영기관이 가장 높고, 공영 운영기관이 가장 낮다.

전동차 생산성 지표는 전동차 1대당 평균운행거리를 의미하므로 궤도연장이 길거나, 운행횟수가 많은 경우 높은 값을 가지게 된다. 또한 전동차 생산성 지표인 전동차 1대당 평균운행거리는 첨두율과 반비례 관계를 가진다. 전동차 대수는 첨두시를 기준으로 보유하기 때문에 첨두율이 높은 경우 전동차 보유대수는 많고, 비첨두시 운행횟수는 적다. 따라서 전

동차 1대당 평균 운행거리는 짧아지게 된다.

앞서 살펴본 바와 같이 일본 도시철도 운영기관의 운행밀도가 한국보다 높기 때문에 일본의 전동차 생산성이 한국보다 높게 나타났다. 또한 일본의 민영 운영기관의 경우는 평균 궤도연장이 공영, 준공영 운영기관보다 길고 운행밀도가 높기 때문에 전동차 생산성 지표가 높다. 한국 도시철도 운영기관은 평균 궤도연장이 길지만 운행밀도가 낮아 전동차 생산성 지표가 낮다. 또한 한국 도시철도 운영기관의 첨두율이 높을것으로 추론할 수 있다.

4. 수송인원, 운임수입 및 수익성

4.1 수송인원

도시철도 운영기관별 수송인원과 수송킬로미터를 분석하고, 이를 이용하여 평균탑승거리와 재차인원을 산정하였다. 평균 탑승거리는 수송킬로미터를 수송인원으로 나누어 산정하며, 재차인원은 수송킬로미터를 총산출량으로 나누어 산정한다.[12)]

한국 철도통계연보에서는 승차와 수송을 구분하고 있는데, 승차인원의 경우 해당 운영기관에서 운영하는 역의 개찰구를 통해 승차하고 최종 하차한 인원만 집계되며, 타 운영기관에서 승차하여 해당 운영기관이 운영하는 노선으로 환승하여 이용하고 최종 하차는 경우 유입인원으로 집계된다. 수송실적은 승차인원과 유입인원의 합이다. 서울특별시와 인천광역시가 속한 수도권의 경우 다수의 도시철도 운영기관이 존재하고, 복수의 철도노선을 환승하여 통행하는 승객이 많으므로 서울특별시와 인천광역시의 경우 유입인원이 포함된 수송실적을 사용하였다. 부산광역시의 경우 부산도시철도 외에도 동해전 광역전철과 부산김해경전철의 경우 별도의 개찰구가 존재하므로 승차인원과 수송인원이 동일하다. 그 외 도시의 경우 단일운영기관만 존재하므로 승차인원과 수송인원이 동일하다. 도시철도 운영기관의 산출형태 및 소유구조별 수송인원, 수송킬로미터 그리고 평균탑승거리는 <표 29>와 <표 30> 그리고 재차인원은 <표 31>과 <표 32>와 같다.

도시철도 운영기관의 평균 수송인원을 살펴보면 전체표본은 평균 306,495 천인이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 경우 평균 331,440 천인, 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 31,781 천인으로 가장 적다. 두 산출물을 모두생산하는 경우 평균 530,3116 천인으로 가장 많다. 이는 두 산출물을 모두생산하는 도시철도 운영기관의 규모가 크기 때문이다. 국가별로는 한국 도시철도 운영

12) Mizutani, F.(1996)에서 본 연구와 동일한 산정방법을 적용하였다.

기관은 평균 451,579 천인, 일본 도시철도 운영기관은 평균 288,677 천인으로 한국 도시철도 운영기관의 평균 수송인원이 일본보다 많다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 수송인원은 공영 운영기관 655,786 천인, 준공영 운영기관 36,867 천인, 민영 운영기관 280,257 천인으로 공영운영기관의 평균 수송인원이 가장 많고 준공영 운영기관이 적다.

<표 29> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 수송인원과 평균탑승거리

구분		수송인원(천인)			수송킬로미(천인-km)			평균탑승거리(km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	331,440	3,466,397	2,286	3,377,244	21,383,000	11,803	9.08	18.58	2.69
	한국 평균	636,235	1,518,258	18,651	8,728,643	21,383,000	133,890	10.36	14.08	6.60
	서울 메트로	1,518,258			21,383,000			14.08		
	서울도시 철도공사	968,083			13,134,000			13.57		
	대전도시 철도공사	39,947			263,680			6.60		
	광주도시 철도공사	18,651			133,890			7.18		
	일본 평균	303,731	3,466,397	2,286	2,890,753	21,195,432	11,803	8.97	18.58	2.69
경량전철 및 모노레일 평균		31,781	51,548	12,043	197,028	523,209	54,539	5.88	11.59	3.88
모두생산	유형 평균	530,316	1,138,634	122,044	3,702,598	6,935,900	1,341,099	9.20	16.97	5.84
	한국 평균	205,371	330,992	122,044	2,113,911	2,929,085	1,341,099	11.35	16.97	8.22
	부산 교통공사	330,992			2,929,085			8.85		
	대구도시 철도공사	163,077			1,341,099			8.22		
	인천 교통공사	122,044			2,071,550			16.97		
	일본 평균	1,017,733	1,138,634	896,831	6,085,628	6,935,900	5,235,356	5.96	6.09	5.84
	도쿄도	1,138,634			6,935,900			6.09		
	오사카시	896,831			5,235,356			5.84		
전체표본		306,495	3,466,397	2,286	2,990,068	21,383,000	11,803	8.64	18.58	2.69

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 30> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 수송인원과 평균탑승거리

구분		수송인원(천인)			수송킬로미터(천인-km)			평균탑승거리(km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	451,579	1,518,258	18,651	5,893,758	21,383,000	133,890	10.78	16.97	6.60
일본		288,677	3,466,397	2,286	2,633,475	21,195,432	11,803	8.37	18.58	2.69
	공영	655,786	3,466,397	12,043	3,864,272	21,195,432	54,539	5.69	8.34	4.49
	준공영	36,867	73,700	13,121	224,636	495,678	70,617	6.40	13.10	2.69
	민영	280,257	1,367,018	2,286	3,362,307	12,577,411	11,803	10.28	18.58	5.16
전체표본		306,495	3,466,397	2,286	2,990,068	21,383,000	11,803	8.64	18.58	2.69

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

평균 탑승거리는 전체표본의 경우 평균 8.64km이다. 산출형태별로는 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 5.88km로 가장 짧다. 중량전철 산출물만 생산하는 경우 평균 탑승거리는 9.08km이며, 두 산출물을 모두생산하는 경우 평균 탑승거리는 9.20km로 상대적으로 길다. 이는 노선의 영업연장과 관련이 있으며, 경량전철 및 모노레일의 영업연장이 상대적으로 짧기 때문이다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 평균 탑승거리는 10.78km, 일본 도시철도 운영기관은 8.37km으로 한국 도시철도 운영기관의 평균 탑승거리가 일본보다 더 길다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 탑승거리는 공영 운영기관 5.67km, 준공영 운영기관 6.40km, 민영운영기관 10.28km로 준공영 운영기관의 평균 탑승거리가 가장 높고 공영 운영기관의 평균 탑승거리가 가장 짧다.

<표 31> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 재차인원

구분		수송킬로미터(천인-km)			총산출량(천전동차-km)			재차인원(인/전동차)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	3,377,244	21,383,000	11,803	60,712	320,854	733	40	102	12
	한국 평균	8,728,643	21,383,000	133,890	93,724	208,865	6,447	62	102	21
	서울 메트로	21,383,000			208,865			102		
	서울도시 철도공사	13,134,000			152,538			86		
	대전도시 철도공사	263,680			7,046			37		
	광주도시 철도공사	133,890			6,447			21		
	일본 평균	2,890,753	21,195,432	11,803	57,711	320,854	733	38	80	12
경량전철 및 모노레일 평균		197,028	523,209	54,539	8,839	20,125	2,375	23	48	13
모두생산	유형 평균	3,702,598	6,935,900	1,341,099	80,229	125,383	29,403	47	70	29
	한국 평균	2,113,911	2,929,085	1,341,099	52,501	81,990	29,403	45	70	29
	부산 교통공사	2,929,085			81,990			36		
	대구도시 철도공사	1,341,099			46,109			29		
	인천 교통공사	2,071,550			29,403			70		
	일본 평균	6,085,628	6,935,900	5,235,356	121,821	125,383	118,259	50	55	44
	도쿄도	6,935,900			125,383			55		
	오사카시	5,235,356			118,259			44		
전체표본		2,990,068	21,383,000	11,803	55,878	320,854	733	38	102	12

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

도시철도 운영기관별 평균 재차인원을 살펴보면 전체표본의 평균 재차인원은 38 인/전동차이다. 산출형태별로는 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 평균 재차인원은 23 인/전동차로 가장 적고, 두 산출물을 모두 생산하는 경우 47 인/전동차로 가장 많다. 중량전철 산출물

만 생산하는 경우 이보다 약간 낮은 40 인/전동차로 나타났다. 경량전철 및 모노레일의 경우 차량의 크기가 작기 때문에 재차인원이 적게 나타났다.

국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 평균 재차인원은 55 인/전동차, 일본 도시철도 운영기관의 평균 재차인원은 36 인/전동차으로 한국 도시철도 운영기관의 평균 재차인원이 일본보다 많다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 재차인원은 공영 운영기관 45 인/전동차, 준공영 운영기관 28 인/전동차, 민영 운영기관 37 인/전동차로 공영 운영기관의 재차인원이 가장 많고, 준공영 운영기관의 평균 재차인원이 가장 적다. 일본 준공영 운영기관의 평균 재차인원이 적은 이유는 상대적으로 차량의 크기가 작은 경량전철 또는 모노레일 운영기관의 비율이 높기 때문이다.

<표 32> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 재차인원

구분		수송킬로미터(천인-km)			총산출량(천전동차-km)			재차인원(인/전동차)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	5,893,758	21,383,000	133,890	76,057	208,865	6,447	55	102	21
일본		2,633,475	21,195,432	11,803	53,400	320,854	733	36	80	12
	공영	3,864,272	21,195,432	54,539	70,295	320,854	2,690	45	66	20
	준공영	224,636	495,678	70,617	8,290	14,488	2,375	28	48	13
	민영	3,362,307	12,577,411	11,803	69,233	286,543	733	37	80	12
전체표본		2,990,068	21,383,000	11,803	55,878	320,854	733	38	102	12

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

4.2 운임수입 및 수익성

도시철도 운영기관별 운임수입은 운임수준과 밀접한 연관성이 있으며 한국과 일본의 도시철도 운임수준과 요금제도 차이가 존재하지만, 가변비용과의 비교를 통하여 수익성을 살펴볼 수 있기 때문에 이를 검토하였다. 도시철도 운영기관의 산출형태 및 소유구조별 평균 운임수입은 <표 33>,<표 34>와 같고, 수익성을 살펴볼 수 있는 지표인 운임수입/가변비용은 <표 35>, <표 36>과 같다.

도시철도 운영기관별 평균 운임수입은 전체표본의 경우 415,354 백만원이다. 산출형태별로는 중량전철 산출물만 생산하는 경우 442,964 백만원, 경량전철 및 모노레일만 생산하는 경우 69,602 백만원 그리고 두 산출물을 모두생산하는 경우 715,953 백만원으로 나타났다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관은 318,878 백만원, 일본 도시철도 운영기관은 427,202 백만원으로 일본 도시철도 운영기관의 평균 운임수입이 한국보다 많다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 운임수입은 공영운영기관 836,816 백만원, 준공영 운영기관 75,990 백만원, 민영운영기관 451,796 백만원으로 공영운영기관의 평균 운임수입이 가장 높다. 한국의 경우는 정기와 정기외 수입이 구분되어 있지 않았다. 반면, 일본 도시철도 운영기관의 경우 대체로 정기수입의 비율이 높게 나타났다.

<표 33> 도시철도 운영기관의 산출형태별 평균 운임수입

구분		정기수입(백만원)			정기외 수입(백만원)			운임수입(백만원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	165,351 (37.75%)	1,558,336 (60.27%)	0 (0.00%)	241,746 (53.92%)	2,007,732 (75.18%)	0 (0.00%)	442,964 (100%)	3,566,068 (100%)	3,502 (100%)
	한국 평균	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	430,412 (100%)	1,042,285 (100%)	21,999 (100%)
	서울 메트로	N/A N/A			N/A N/A			1,042,285 (100%)		
	서울도시 철도공사	N/A N/A			N/A N/A			608,238 (100%)		
	대전도시 철도공사	N/A N/A			N/A N/A			49,125 (100%)		
	광주도시 철도공사	N/A N/A			N/A N/A			21,999 (100%)		
	일본 평균	180,382 (41.18%)	1,558,336 (60.27%)	1,486 (24.82%)	263,723 (58.82%)	2,007,732 (75.18%)	2,017 (39.73%)	444,105 (100%)	3,566,068 (100%)	3,502 (100%)
경량전철 및 모노레일 평균		21,276 (35.02%)	37,688 (50.17%)	8,022 (18.90%)	48,326 (64.98%)	112,404 (81.10%)	14,135 (49.83%)	69,602 (100%)	138,593 (100%)	22,157 (100%)
모두생산	유형 평균	213,762 (14.13%)	695,937 (47.35%)	0 (0.00%)	400,090 (25.87%)	1,226,694 (76.69%)	0 (0.00%)	715,953 (100%)	1,599,569 (100%)	91,266 (100%)
	한국 평균	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	170,167 (100%)	252,272 (100%)	91,266 (100%)
	부산 교통공사	N/A N/A			N/A N/A			252,272 (100%)		
	대구도시 철도공사	N/A N/A			N/A N/A			166,963 (100%)		
	인천 교통공사	N/A N/A			N/A N/A			91,266 (100%)		
	일본 평균	534,406 (35.33%)	695,937 (47.35%)	372,875 (23.31%)	1,000,225 (64.67%)	1,226,694 (76.69%)	773,756 (52.65%)	1,534,631 (100%)	1,599,569 (100%)	1,469,693 (100%)
	도쿄도	695,937 (47.35%)			773,756 (52.65%)			1,469,693 (100%)		
	오사카시	372,875 (23.31%)			1,226,694 (76.69%)			1,599,569 (100%)		
전체표본		170,043 (35.6%)	1,558,336 (60.27%)	1,486 (0.00%)	257,159 (53.46%)	2,007,732 (81.1%)	2,017 (0.00%)	415,354 (100%)	3,566,068 (100%)	3,502 (100%)

주 : ( )안의 비율은 개별관찰점의 비율을 이용하여 산정함.

<표 34> 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 운임수입

구분		정기수입(백만원)			정기외 수입(백만원)			운임수입(백만원)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	N/A N/A	318,878 (100%)	1,042,285 (100%)	21,999 (100%)
일본		170,043 (39.97%)	1,558,336 (60.27%)	1,486 (18.9%)	257,159 (60.03%)	2,007,732 (81.1%)	2,017 (39.73%)	427,202 (100%)	3,566,068 (100%)	3,502 (100%)
	공영	327,136 (37.56%)	1,558,336 (49.22%)	8,022 (23.31%)	509,680 (62.44%)	2,007,732 (76.69%)	14,135 (50.78%)	836,816 (100%)	3,566,068 (100%)	22,157 (100%)
	준공영	31,989 (40.7%)	96,952 (60.27%)	7,171 (19.46%)	44,001 (59.3%)	86,564 (80.54%)	17,061 (39.73%)	75,990 (100%)	163,341 (100%)	25,191 (100%)
	민영	181,101 (40.47%)	706,072 (49.68%)	1,486 (18.9%)	270,695 (59.53%)	1,083,008 (81.1%)	2,017 (50.32%)	451,796 (100%)	1,589,022 (100%)	3,502 (100%)
전체표본		170,043 (35.6%)	1,558,336 (60.27%)	1,486 (0.00%)	257,159 (53.46%)	2,007,732 (81.1%)	2,017 (0.00%)	415,354 (100%)	3,566,068 (100%)	3,502 (100%)

주 : ( )안의 비율은 개별관찰점의 비율을 이용하여 산정함.

<표 35> 도시철도 운영기관의 산출형태별 수익성

구분		1인-km당 운임수입 (원/인-km)			1인-km당 가변비용 (원/인-km)			운임수입/가변비용		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	221	553	46	155	453	52	1.52	3.07	0.36
	한국 평균	111	186	46	203	453	52	0.71	0.94	0.36
	서울 메트로	49			52			0.94		
	서울도시 철도공사	46			59			0.78		
	대전도시 철도공사	186			249			0.75		
	광주도시 철도공사	164			453			0.36		
	일본 평균	231	553	107	151	269	58	1.59	3.07	0.97
경량전철 및 모노레일 평균		383	482	265	218	310	167	1.8	2.46	1.36
모두생산	유형 평균	154	306	44	143	198	93	1.09	2.03	0.47
	한국 평균	85	124	44	149	198	93	0.55	0.63	0.47
	부산 교통공사	86			156			0.55		
	대구도시 철도공사	124			198			0.63		
	인천 교통공사	44			93			0.47		
	일본 평균	259	306	212	135	150	119	1.9	2.03	1.77
	도쿄도	212			119			1.77		
	오사카시	306			150			2.03		
전체표본		239	553	44	162	453	52	1.53	3.07	0.36

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 36> 도시철도 운영기관의 소유구조별 수익성

구분		1인-km당 운임수입 (원/인-km)			1인-km당 가변비용 (원/인-km)			운임수입/가변비용		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	100	186	44	180	453	52	0.64	0.94	0.36
일본		257	553	107	160	310	58	1.64	3.07	0.97
	공영	290	406	168	162	300	98	1.84	2.39	1.36
	준공영	357	553	185	197	310	107	1.86	3.07	1.14
	민영	196	328	107	142	269	58	1.47	1.85	0.97
전체표본		239	553	44	162	453	52	1.53	3.07	0.36

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

도시철도 운영기관별 수익성 지표는 1인-km당 운임수입을 1인-km당 가변비용으로 나누어 산정하였다. 전체표본의 평균 운임수입/가변비용 비율을 살펴보면 1.53이다. 산출형태별로는 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 1.8로 가장 높고, 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관은 1.09로 가장 낮다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관은 0.64, 일본 도시철도 운영기관은 1.64으로 일본 도시철도 운영기관이 한국보다 높다. 일본 도시철도 운영기관의 운임수입/가변비용의 최솟값은 0.97로 한국 도시철도 운영기관의 최댓값 0.94보다 높다. 따라서 모든 한국 도시철도 운영기관의 수익성이 일본 도시철도 운영기관보다 수익성이 낮은 것으로 나타났다. 이는 운임수입은 적고, 가변비용은 높기 때문이다. 특히 한국의 경우 대중교통 간 환승할인이 적용되기 때문에 실제 운임수준은 고시된 요금보다 낮다고 할 수 있다.

5. 궤도 및 정거장 시설물

도시철도 운영기관의 주요 시설물인 궤도와 정거장 시설물 관련 지표 중 가변비용에 영향을 미칠 수 있는 지표인 노선수, 정거장 수, 평균 선로수, 노선당 궤도연장, 평균 역간거리, 지하정거장 수와 비율, 역무 자동화시설 수와 비율을 살펴보았다. 도시철도 운영기관의 산출형태 및 소유구조별 영업연장과 노선수 정거장 수는 <표 37>, <표 38>과 같고, 평균 선로수, 노선당 궤도연장, 평균 역간거리는 <표 39>, <표 40>과 같다. 그리고 지하역 수와 역무 자동화 시설물 지표는 <표 41>, <표 42>와 같다.

도시철도 운영기관의 평균 노선수는 전체표본의 경우 2.77개이다. 산출형태별로는 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 평균 노선수가 4.80개로 가장 많고, 경량전철 및 모노레일 노선만 운영하는 도시철도 운영기관의 평균 노선수가 1.10개로 가장 적다. 중량전철 노선만 운영하는 도시철도운영기관의 평균 노선수는 표본평균과 유사한 2.85개이다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 경우 2.71개, 일본 도시철도 운영기관의 경우 2.77개로 일본 도시철도 운영기관이 한국 도시철도 운영기관보다 평균적으로 많은 노선을 운영하는 것으로 나타났다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 노선수는 공영 운영기관 4개, 준공영 운영기관 1.07개, 민영 운영기관 3.16개로 공영 운영기관의 노선수가 가장 많고, 준공영 운영기관이 가장 적다. 특히 일본 민영 운영기관 중 19개 노선을 운영하는 도시철도 운영기관도 존재한 반면, 준공영 운영기관의 최댓값은 2개 노선으로 준공영 운영기관은 대부분 1개 또는 2개의 노선을 운영한다.

<표 38> 도시철도 운영기관의 산출형태별 궤도 및 정거장 시설물

구분		영업연장(km)			노선수			정거장수(개소)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	83.94	497.80	4.10	2.85	19.00	1.00	60	318	1
	한국 평균	85.28	162.20	20.50	2.50	4.00	1.00	80	157	20
	서울 메트로	137.90			4.00			120		
	서울도시 철도공사	162.20			4.00			157		
	대전도시 철도공사	20.50			1.00			22		
	광주도시 철도공사	20.50			1.00			20		
	일본 평균	83.82	497.80	4.10	2.89	19.00	1.00	58	318	1
경량전철 및 모노레일 평균		15.75	28.00	8.80	1.10	2.00	1.00	16	22	11
모두생산	유형 평균	101.20	137.80	58.50	4.80	9.00	2.00	100	133	56
	한국 평균	83.07	107.80	58.50	3.00	4.00	2.00	87	114	56
	부산 교통공사	107.80			4.00			114		
	대구도시 철도공사	82.90			3.00			91		
	인천 교통공사	58.50			2.00			56		
	일본 평균	128.40	137.80	119.00	7.50	9.00	6.00	121	133	108
	도쿄도	119.00			6.00			108		
	오사카시	137.80			9.00			133		
전체표본		76.08	497.80	4.10	2.77	19.00	1.00	57	318	1

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 37> 도시철도 운영기관의 소유구조별 궤도 및 정거장 시설물

구분		영업연장(km)			노선수			정거장수(개소)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	84.33	162.20	20.50	2.71	4.00	1.00	83	157	20
일본		75.07	497.80	4.10	2.77	19.00	1.00	53	318	1
	공영	70.52	195.10	8.80	4.00	9.00	1.00	66	179	13
	준공영	17.63	45.30	4.10	1.07	2.00	1.00	14	23	4
	민영	104.48	497.80	7.50	3.16	19.00	1.00	68	318	1
전체표본		76.08	497.80	4.10	2.77	19.00	1.00	57	318	1

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

도시철도 운영기관의 평균 정거장수는 전체표본의 경우 57개소이며 산출형태별로는 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관이 평균 100개로 가장 많고, 경량전철 및 모노레일 노선만 운영하는 도시철도 운영기관이 평균 16개로 가장 적다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 경우 83개소, 일본 도시철도 운영기관의 경우 53개소로 한국 도시철도 운영기관의 평균 정거장 수가 일본보다 많다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 정거장 수는 공영 운영기관 66개소, 준공영 운영기관 14개소, 민영 운영기관 68개소로 민영운영기관이 가장 많고, 준공영 운영기관이 가장 적다.

<표 39> 도시철도 운영기관의 산출형태별 궤도 시설물 특성

구분		평균 선로수			노선당 궤도연장(km)			평균 역간거리(km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	1.90	3.30	1.00	56.23	344.20	11.90	1.49	7.50	0.46
	한국 평균	2.89	3.30	2.62	83.02	109.61	53.64	1.03	1.15	0.93
	서울 메트로	2.93			101.17			1.15		
	서울도시 철도공사	2.70			109.61			1.03		
	대전도시 철도공사	3.30			67.68			0.93		
	광주도시 철도공사	2.62			53.64			1.03		
	일본 평균	1.81	2.90	1.00	53.79	344.20	11.90	1.53	7.50	0.46
경량전철 및 모노레일 평균		1.97	2.00	1.76	29.62	56.00	14.85	0.99	1.62	0.68
모두생산	유형 평균	2.27	2.80	1.89	55.26	75.41	28.97	1.01	1.10	0.91
	한국 평균	2.49	2.80	1.97	69.23	75.41	57.58	0.97	1.04	0.91
	부산 교통공사	2.80			75.41			0.95		
	대구도시 철도공사	2.70			74.70			0.91		
	인천 교통공사	1.97			57.58			1.04		
	일본 평균	1.94	2.00	1.89	34.29	39.62	28.97	1.07	1.10	1.04
	도쿄도	2.00			39.62			1.10		
	오사카시	1.89			28.97			1.04		
전체표본		1.94	3.30	1.00	52.14	344.20	11.90	1.38	7.50	0.46

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

<표 40> 도시철도 운영기관의 소유구조별 궤도 시설물 특성

구분		평균 선로수			노선당 궤도연장(km)			평균 역간거리(km)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	2.72	3.30	1.97	77.11	109.61	53.64	1.01	1.15	0.91
일본		1.85	2.90	1.00	49.08	344.20	11.90	1.42	7.50	0.46
	공영	2.04	2.18	1.89	33.75	53.85	17.60	1.03	1.27	0.68
	준공영	1.98	2.90	1.34	31.56	68.20	11.90	1.33	2.94	0.46
	민영	1.71	2.31	1.00	62.99	344.20	13.10	1.61	7.50	0.73
전체표본		1.94	3.30	1.00	52.14	344.20	11.90	1.38	7.50	0.46

주 : “평균”은 개별관찰점의 값을 평균하여 산정함.

평균 선로수는 궤도연장을 영업연장으로 나누어 산정하였다. 궤도연장은 본선 외의 선로의 연장을 포함한다. 전체 표본의 평균 선로수는 1.94이며 산출형태별로는 중량전철 노선만 운영하는 경우 1.90으로 가장 적고, 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 경우 2.27로 가장 많다. 중량전철 노선의 경우 단선으로 운영되는 노선이 많고, 경량전철과 모노레일의 경우 대부분 복선으로 운영되기 때문이다.

국가별로는 한국 도시철도 운영기관은 2.72, 일본 도시철도 운영기관은 1.85로 한국 도시철도 운영기관의 평균 선로수가 많다. 한국의 경우 모든 노선을 복선으로 건설하였기 때문에 전반적으로 일본보다 많은 것으로 나타났다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 선로수는 공영 운영기관 2.04, 준공영 운영기관 1.98, 민영 운영기관 1.71로 민영운영기관의 평균 선로수가 가장 적고 공영 운영기관의 선로수가 가장 많다. 이는 일본 민영 운영기관의 운영노선 중 일부 노선은 단선 또는 부분 복선으로 운영되고 있기 때문이다.

노선당 궤도연장은 궤도연장을 노선수로 나누어 산정한다. 전체표본의 평균 노선당 궤도연장은 52.14km이며, 한국 도시철도 운영기관의 평균 노선당 궤도연장이 일본보다 길다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균 노선당 궤도연장은 민영 운영기관이 공영과 준공영 운영기관에 비하여 약 2배 가량 긴 것으로 나타났다. 앞서 분석한 전동차 생산성 지표를 고려한다면 민영운영기관의 높은 전동차 생산성 지표는 긴 노선당 궤도연장에서 기인하고, 공영과 준공영 운영기관은 노선당 궤도연장이

상대적으로 짧음에도 불구하고 전동차 생산성 지표의 차이가 크지 않은 것은 운행횟수가 많거나 열차 1량당 전동차 대수가 많다는 것을 추론할 수 있다.

평균 역간거리는 영업연장을 정거장 수로 나누어 산정한다. 전체표본의 평균 역간거리는 1.38 km이다. 산출형태별로는 중량전철 노선만 운영하는 경우 평균 1.49 km로 가장 길고, 경량전철 및 모노레일 노선만 운영하는 경우 평균 0.99 km로 가장 짧다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 평균 역간거리는 1.01 km, 일본 도시철도 운영기관의 평균 역간거리는 1.42 km로 한국 도시철도 운영기관의 평균 역간거리가 일본보다 더 짧다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 평균역간거리는 공영 운영기관 1.03 km, 준공영 운영기관 1.33 km, 민영 운영기관 1.61 km로 민영운영기관의 평균 역간거리가 더 긴 것으로 나타났다. 영업연장 1km당 정거장 수가 많다는 것을 의미하므로 정거장 운영비용 증가로 인하여 가변비용이 증가할 수 있다. 실제로 전동차-km당 평균 가변비용과 역간거리의 관계를 살펴보면 비례관계가 나타난다.

<표 41> 도시철도 운영기관의 산출형태별 정거장 시설물

(단위: 개소)

구분		지하정거장수			자동매표			자동집개표		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
중량전철	유형 평균	17 (29.87%)	158 (100%)	0 (0.00%)	54 (89.45%)	274 (100%)	0 (0.00%)	52 (82.64%)	259 (100%)	0 (0.00%)
	한국 평균	73 (92.65%)	154 (100%)	18 (82.50%)	80 (100%)	157 (100%)	20 (100%)	80 (100%)	157 (100%)	20 (100%)
	서울 메트로	99 (82.50%)			120 (100%)			120 (100%)		
	서울도시 철도공사	154 (98.09%)			157 (100%)			157 (100%)		
	대전도시 철도공사	22 (100%)			22 (100%)			22 (100%)		
	광주도시 철도공사	18 (90.00%)			20 (100%)			20 (100%)		
	일본 평균	12 (24.16%)	158 (96.77%)	0 (0.00%)	52 (88.49%)	274 (100%)	0 (0.00%)	49 (81.07%)	259 (100%)	0 (0.00%)
경량전철 및 모노레일 평균		1 (5.45%)	4 (36.36%)	0 (0.00%)	16 (100%)	22 (100%)	11 (100%)	15 (91.54%)	22 (100%)	2 (15.38%)
모두생산	유형 평균	82 (81.74%)	115 (90.74%)	48 (65.93%)	100 (100%)	133 (100%)	56 (100%)	99 (98.70%)	133 (100%)	56 (93.52%)
	한국 평균	66 (77.16%)	91 (85.71%)	48 (65.93%)	87 (100%)	114 (100%)	56 (100%)	87 (100%)	114 (100%)	56 (100%)
	부산 교통공사	91 (79.82%)			114 (100%)			114 (100%)		
	대구도시 철도공사	60 (65.93%)			91 (100%)			91 (100%)		
	인천 교통공사	48 (85.71%)			56 (100%)			56 (100%)		
	일본 평균	107 (88.60%)	115 (90.74%)	98 (86.47%)	121 (100%)	133 (100%)	108 (100%)	117 (96.76%)	133 (100%)	101 (93.52%)
	도쿄도	98 (90.74%)			108 (100%)			101 (93.52%)		
	오사카시	115 (86.47%)			133 (100%)			133 (100%)		
전체표본		19 (29.65%)	158 (100%)	0 (0.00%)	52 (92.09%)	274 (100%)	0 (0.00%)	50 (85.35%)	259 (100%)	0 (0.00%)

주 : ( )안의 비율은 개별관찰점의 비율을 이용하여 계산함.

<표 42> 도시철도 운영기관의 소유구조별 정거장 시설물

(단위: 개소)

구분		지하정거장수			자동매표			자동집개표		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
한국	공영	70 (86.01%)	154 (100%)	18 (65.93%)	83 (100%)	157 (100%)	20 (100%)	83 (100%)	157 (100%)	20 (100%)
일본		13 (22.73%)	158 (96.77%)	0 (0.00%)	49 (91.12%)	274 (100%)	0 (0.00%)	46 (83.55%)	259 (100%)	0 (0.00%)
	공영	58 (80.35%)	158 (96.77%)	0 (0.00%)	66 (99.31%)	174 (100%)	13 (95.24%)	64 (98.06%)	163 (100%)	13 (91.06%)
	준공영	1 (16.98%)	6 (85.71%)	0 (0.00%)	14 (98.39%)	22 (100%)	4 (86.96%)	12 (88.98%)	22 (100%)	2 (15.38%)
	민영	3 (5.07%)	19 (36.36%)	0 (0.00%)	60 (84.69%)	274 (100%)	0 (0.00%)	56 (75.78%)	259 (100%)	0 (0.00%)
전체표본		19 (29.65%)	158 (100%)	0 (0.00%)	52 (92.09%)	274 (100%)	0 (0.00%)	50 (85.35%)	259 (100%)	0 (0.00%)

주 : ( )안의 비율은 개별관찰점의 비율을 이용하여 계산함.

도시철도 정거장 중 지하에 위치한 정거장의 경우 동일한 규모의 지상 정거장에 비하여 더 많은 운영비용이 발생한다. 따라서 지하정거장 수가 가변비용에 영향을 미치기 때문에 지하역 수와 비율을 분석하였다. 전체표본의 평균 지하정거장 비율은 29.65%이다. 산출형태별로는 두 산출물을 모두생산하는 도시철도 운영기관의 평균 지하정거장 비율이 81.74%로 가장 높고, 경량전철 및 모노레일 노선만 운영하는 경우 5.45%로 가장 낮다. 국가별로는 한국 도시철도 운영기관의 경우 평균 86.01%, 일본의 경우 평균 22.73%로 한국의 평균 지하정거장 비율이 일본보다 현저하게 높았다. 일본 도시철도 운영기관의 소유구조별 지하정거장 비율을 살펴보면 소유구조별로 상이하다. 일본 공영 운영기관은 80.35%, 준공영 운영기관은 16.98%, 민영 운영기관은 5.07%로 공영 운영기관은 한국과 마찬가지로 지하정거장의 비율이 높다. 반면, 일본 준공영 운영기관과 민영운영기관은 지하정거장의 비율이 상대적으로 낮다.

역무 자동화 시설인 자동매표시설과 자동집개표시설은 정거장의 운영비용을 절감하기 때문에 다른 조건이 같을 때 역무 자동화 비율이 높은 경우 가변비용이 감소할 것다. 따라서 역무 자동화 시설이 설치된 정거

장 비율을 검토하였다. 전체표본의 평균 자동매표와 자동집개표 비율은 각각 92.09%, 85.35%로 나타났다. 이는 대다수의 정거장이 역무 자동화 시설을 갖추었다고 할 수 있다. 산출형태별로는 중량전철 노선만 운영하는 도시철도 운영기관의 경우 자동매표와 자동집개표 비율은 각각 89.45%, 82.64%이며, 경량전철 및 모노레일 노선만 운영하는 경우 자동매표와 자동집개표 비율은 각각 100%, 91.54%이다. 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 자동매표와 자동집개표 비율은 각각 100%, 98.70%로 역무 자동화비율이 가장 높다. 국가별로는 한국의 도시철도 운영기관은 자동매표와 자동집개표 비율은 모두 100%로 매표와 집개표 업무는 모두 자동화 되어있고, 일본의 도시철도 운영기관의 자동매표와 자동집개표 비율은 각각 91.12%, 83.55%로 자동집개표의 비율이 상대적으로 낮다. 도시철도 운영기관의 소유구조별 역무 자동화 시설의 설치비율을 살펴보면 공영운영기관의 경우 자동매표 99.31%, 자동집개표 98.06%로 한국과 마찬가지로 대부분의 정거장에서 매표와 집개표가 자동화 된 것으로 나타났다. 한편, 일본 준공영 운영기관의 경우 자동매표 98.39%, 자동집개표 88.98%로 자동집개표 시설의 설치비율이 상대적으로 낮다. 일본 민영 운영 기관의 경우 자동매표 84.69%, 자동집개표 75.78%로 역무 자동화 비율이 가장 낮다. 교통카드와 같은 역무자동화의 경우 공공부문의 주도로 도입되는 경우가 많기 때문에 공영 운영기관의 역무 자동화 비율이 높을 것으로 추론할 수 있다.

역무 자동화 시설은 가변비용은 절감할 수 있지만, 초기 시설 투자비용이 많이 발생하기 때문에 일본 민영 운영기관의 역무 자동화 비율이 낮은 것으로 판단된다. 하지만 한국과 일본 모두 공영 운영기관의 역무 자동화비율이 높음에도 불구하고 노동생산성이 준공영, 민영운영기관보다 낮게 나타났다. 이는 앞서 지적한 바와같이 노동생산성이 낮은 원인이 공영운영기관의 낮은 경영효율성 개선의지에서 기인한다는 추론을 지지하는 결과이다.

6. 소결

한국과 일본 도시철도운영기관의 특성을 분석하기 위하여 영업비용, 산출물, 생산요소 가격, 궤도연장 등 가변비용함수의 변수로 사용되는 지표의 기술통계를 살펴보았다. 또한 생산요소별 부분생산성과 수송인원, 운임수입, 수익성지표 등 생산성, 수익성과 그리고 궤도와 정거장 시설물 특성을 살펴보았다.

한국과 일본 도시철도 운영기관의 영업비용을 살펴본 결과 한국 도시철도 운영기관의 영업비용 중 가변비용 비율이 일본보다 높았다. 한국 도시철도 운영기관은 가변비용 중 인건비 비율이 가장 높고, 일본의 경우 유지보수비 비율이 가장 높다. 운영기관의 산출물당 가변비용은 한국 도시철도 운영기관이 일본보다 약 26%높았다. 이는 한국 도시철도 운영기관의 인건비에서 기인하는 것으로 추론된다. 실제로 한국 도시철도 운영기관의 평균 1인당 인건비가 일본보다 높고, 노동생산성이 약 절반수준으로 낮은 것으로 나타났다. 따라서 한국 도시철도 운영기관의 생산효율성을 높이기 위해서는 노동생산성을 제고해야 할 것이다.

산출물의 경우 한국과 일본 모두 중량전철 산출물의 비율은 약 96% 수준으로 높게 나타났다. 한편, 소유구조별로는 산출물 구성비율이 다르게 나타났다. 일본 준공영 운영기관의 경우 경량전철 및 모노레일 산출물의 구성비율이 약 53%로 높게 나타났는데, 이는 표본에 포함된 준공영 운영기관 중 경량전철 및 모노레일 노선만 운영하는 도시철도 운영기관의 수와 중량전철 노선만 운영하는 도시철도 운영기관의 수보다 많기 때문이다.

도시철도 운영기관의 평균 궤도연장은 한국이 일본보다 전반적으로 길고, 운행밀도는 일본이 한국보다 높다. 전동차 당 연간 주행거리의 의미를 가지는 전동차 당 생산성 지표도 일본 도시철도 운영기관이 한국보다 높게 나타났기 때문에 일본 도시철도 운영기관의 평균 운행횟수가 많다는 것을 추론할 수 있다. 그러나 도시철도 운송업의 특성상 첨두시에 운행이 집중되는 점을 감안하면 첨두율을 살펴보아야 하는데, 일본 도시

철도 운영기관의 첨두율에 관한 자료를 구득할 수 없어 이를 검토하지 못하였다.

그밖에 수익성을 검토하기 위하여 수요측면의 지표도 살펴보았다. 한국 도시철도 운영기관의 평균 탑승거리는 일본보다 약 2.5km 긴 것으로 나타났고, 평균 재차인원도 일본보다 높게 나타났다. 재차인원의 경우 차량의 크기가 반영되기 때문에 경량전철 및 모노레일 산출물 비율이 높은 일본 준공영 운영기관의 평균 재차인원은 28인/전동차로 가장 낮았다. 1인-km당 운임수입은 한국 도시철도 운영기관의 경우 일본의 절반수준으로 나타났다. 한국의 경우 대중교통간 환승할인으로 인하여 운임수입이 적기 때문이다. 1인-km당 운임수입과 가변비용의 비율은 수익성을 의미하는데, 한국은 평균 0.64로 일본의 평균값이 1.64보다 절반 이하로 낮은 것으로 나타났다. 이는 수익성 개선의 필요성을 시사한다.

이외에도 한국도시철도 운영기관의 대다수의 노선이 지하철로 건설되었기 때문에 전반적으로 비용이 높게 나타났을 것으로 추론되며, 평균 역간거리도 짧기 때문에 이 또한 비용증가요인으로 작용했을 것이다. 한편, 한국의 경우 역무 자동화시설인 자동매표기와 자동집개표기가 모든 운영기관에 설치되어있음에도 불구하고 노동생산성이 낮게 산정[13]되었기 때문에 인력감축의 필요성이 높다.

13) Mizutani(1993)에서도 역무자동화시설이 역무의 노동생산성을 높이지 못한다고 지적하고 있는데, 우리나라 도시철도 운영기관도 이와 유사한 현상이 발생한 것으로 판단된다. 역무자동화 시설을 도입하였음에도 불구하고 역무부분의 종업원 수를 줄이지 않았을 것으로 추론된다.

제 5 장 한국과 일본 도시철도 운영기관의 비용특성 분석결과

제 1 절 가변비용함수의 추정결과

1. 계수추정결과

본 연구에서는 트랜스로그 가변비용 함수와 생산요소의 비용비중식을 연립방정식 형태로 구축하고 결합일반화최소자승법을 이용하여 한국과 일본 도시철도 운영기관의 가변비용 함수를 추정하였다. 이렇게 추정된 가변비용함수를 이용하여 비용변경접근법인 확률적 프론티어 방법으로 비용변경을 도출하여 통제가능한 비효율을 제외하고 가변비용함수 모형을 추정하였다.

비용함수모형은 3장의 식(7-1)과 식(7-2)과 같으며 각각은 모형 1과 모형 2이다. 모형 1은 도시철도 운영기관의 소유구조별 특성변수를 포함한 모형이며, 모형 2는 국가 특성변수를 포함한 모형이다. 모형 1은 도시철도 운영기관의 소유구조(공영, 준공영, 민영)가 가변비용에 미치는 영향을 살펴보기 위한 모형이다. 일반적으로 도시철도 운영기관의 소유에 있어 민간부문의 지분과 효율성은 비례관계에 있을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 도시철도 운영기관의 소유구조의 특성변수를 포함한 모형을 구축하였다. 모형 2는 도시철도 운영기관이 한국의 운영기관인지 일본의 운영기관인지에 따라 가변비용에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보기 위한 모형이다. 한국과 일본의 사회경제적 여건이 상이하므로 이를 고려하기 위하여 국가 특성변수를 포함한 모형을 구축하였다. 도시철도 운영기관의 소유구조 특성변수를 포함한 모형 1을 기본모형으로 하며, 국가 별 차이를 살펴보기 위한 모형 2를 추가로 추정하였다.

1차항의 계수추정치는 산출물과 요소가격의 변화에 대한 가변비용과 비용비중의 변화를 의미한다. 따라서 가변비용함수와 비용비중식이 잘

추정된 경우 1차항 계수추정치는 양(+)의 부호를 가질 것이다. 2차항의 계수추정치는 동조성, 동차성, 생산기술에 관한 정보를 제공한다. 동조성은 생산요소가격과 산출량을 분리할 수 있어 두 변수가 독립적임을 의미한다. 만약 비용함수가 동조성 조건을 만족하는 경우 β_{iY_p}가 0이 된다. 동차성은 산출량에 대한 비용탄력성이 상수가 되어 산출량이 변하더라도 규모의 경제성이 변하지 않는 조건이다. 만약 비용함수가 동차성 조건을 만족하는 경우 β_{iY_p}와 $\beta_{Y_pY_q}$가 0이 된다. 마지막으로 콥-더글라스 생산기술을 가지는 경우 β_{iY_p}와 $\beta_{Y_pY_q}$ 그리고 $\beta_{P_iP_j}$가 모두 0이 된다. 따라서 본 연구에서 추정한 가변비용함수가 동차성이지 않고, 동조적이지 않으며 생산기술은 콥-더글라스 생산기술을 가지지 않아야 하므로 2차항의 계수가 0이 아니어야 한다[14]. 본 연구에서는 중량전철 산출량(Y_1)과 생산요소가격에 대한 교차항이 제외되었기 때문에[15] 중량전철 산출량에 대하여 동조적인 가변비용함수라고 할 수 있다.

14) 동조함수, 동차함수, 콥-더글라스 생산함수에 대하여 추정하여 동조성, 동차성, 생산기술에 대한 가정을 통계적 기법을 이용하여 검정하여 적절한 함수형태를 채택해야한다. 그러나 이 연구에서는 2차항 계수의 유의도가 높게 추정되어 동조성, 동차성, 생산기술에 대한 가정을 기각할 수 있기 때문에 통계적검정을 수행하지 않았다.

15) 3장에서 언급한 바와 같이 중량전철 산출량과 생산요소가격의 교차항의 통계적 유의도가 낮게 추정되었기 때문에 제외하였다.

1.1 도시철도 운영기관의 소유구조 특성을 고려한 모형(모형 1)

모형 1의 비용변경 및 비용변경 전 가변비용함수의 계수추정치는 각각 <표 43>, <표 44>와 같다. 모형 1의 비용변경 가변비용함수의 수정결정계수는 비용변경 모형의 경우 0.995, 비용변경 전 모형은 0.985로 모두 높게 추정되었다. 노동과 동력의 비용비중식의 수정결정계수는 비용변경 모형의 경우 각각 0.492, 0.551로 추정되었고, 비용변경 전 모형은 각각 0.470, 0.549로 추정되었다. 가변비용함수의 통계적 적합도는 높게 나타났고, 비용비중식의 통계적 적합도는 상대적으로 낮게 나타났다. 비용변경 모형의 결정계수가 비용변경 전 모형보다 높게 추정되었다. 이는 종속변수에서 통제 가능한 비효율에 의한 오차가 제거되었기 때문이다.

비용변경 모형은 전체 28개 변수 중 22개 변수의 계수추정치의 유의도가 90% 이상으로 추정되었고, 비용변경 전 모형은 전체 28개 변수 중 21개 변수의 계수 추정치의 유의도가 90% 이상으로 추정되었다. 비용변경 모형의 계수추정치의 전반적인 통계적 유의도가 향상되었다.

두 모형에서 생산요소의 가격, 중량전철 산출물, 경량전철과 모노레일 산출물의 1차 항 계수는 모두 양(+)의 부호를 가지며 유의도가 99% 이상으로 높게 추정되었다. 2차항의 계수 중 생산요소의 가격과 중량전철 산출물의 계수추정치의 유의도는 99% 이상으로 높게 나타났으며, 비용변경 모형의 경우 경량전철과 모노레일 산출물의 2차항 계수의 유의도는 99% 이상으로 높게 추정되지만, 비용변경 전 모형은 95%이상으로 다른 변수의 2차항 계수보다 유의도가 약간 낮게 추정되었다. 한편, 준고정요소인 궤도연장 2차항 계수는 두 모형에서 모두 음(-)의 부호를 가지며, 10% 유의수준에서 유의하지 않은 것으로 나타났다. 교차항은 두 모형에서 생산요소 간 교차항과 경량전철과 모노레일 산출물*준공영 특성변수, 중량전철 산출물*경량전철과 모노레일 산출물, 경량전철과 모노레일 산출물*동력의 단위가격의 계수의 유의도는 99%이상으로 높게 추정되었다. 이외의 교차항의 유의도는 다소 낮게 나타났다. 동조성, 동차성, 콥-더글라스 생산기술에 관한 2차 항 계수의 경우 통계적으로 유의하고, 0

이 아닌 값으로 추정되었기 때문에 추정된 가변비용함수는 동조성, 동차성, 콥-더글라스 생산기술을 가지지 않는다.

운영기관의 소유구조를 나타내는 준공영 특성변수와 민영특성변수의 계수의 부호는 비용변경모형과 비용변경 전 모형 모두 음(-)으로 추정되었다. 민영 특성변수의 유의도는 두 모형에서 모두 99% 이상으로 높게 추정되었다. 준공영 특성변수는 비용변경모형에서는 5% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났지만, 비용변경 전 모형에서는 10% 유의수준에서 유의하지 않은 것으로 나타났다. 소유구조 특성변수의 계수추정 결과는 다른조건이 동일하다면 민영운영기관의 가변비용이 가장 적고, 준공영, 공영 순으로 높아지는 것을 의미한다. 이는 직관과도 일치하는 추정결과로 소유구조 특성변수의 계수는 합리적으로 추정되었다고 할 수 있다.

한편, 모형 1의 오차항에 관한 추정치를 살펴보면, σ_v가 0.119로 양(+)의 값을 가지는 것으로 추정되었기 때문에 1종실패가 발생하지 않았으며, λ도 1.508로 적절한 값을 가지므로 2종실패도 발생하지 않았다. 따라서 본 연구에서 비용변경 전 자료로 추정한 비용함수를 이용하여 비용변경을 계산하는데 무리가 없으며, 계산된 비용변경은 통계적 오류가 존재하지 않는 것으로 간주할 수 있다.

<표 43> 비용변경 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 1)

모수	변수	추정치	표준오차	t-통계량
α	상수항	17.090	0.062	275.05***
β_L	노동	0.389	0.022	17.96***
β_E	동력	0.066	0.005	13.56***
β_M	유지보수	0.545	0.021	26.57***
β_{Y_1}	중량전철 산출량	0.650	0.033	19.56***
β_{Y_2}	경량전철과 모노레일 산출량	0.152	0.029	5.27***
β_{LL}	노동 * 노동	0.204	0.030	6.81***
β_{EE}	동력 * 동력	0.069	0.011	6.12***
β_{MM}	유지보수 * 유지보수	0.182	0.024	7.73***
$\beta_{Y_1Y_1}$	중량전철 산출량 * 중량전철 산출량	0.066	0.013	5.07***
$\beta_{Y_1Y_2}$	중량전철 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	-0.072	0.006	-11.24***
$\beta_{Y_2Y_2}$	경량전철과 모노레일 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	0.070	0.020	3.45***
β_{TT}	궤도연장*궤도연장	-0.024	0.023	-1.04
β_{LE}	노동 * 동력(=β_{EL})	-0.045	0.013	-3.45***
β_{LM}	노동 * 유지보수(=β_{ML})	-0.158	0.025	-6.39***
β_{EM}	동력 * 유지보수(=β_{ME})	-0.024	0.006	-4.25***
β_{Y_2L}	경량전철과 모노레일 산출량 * 노동	0.000	0.005	-0.04
β_{Y_2E}	경량전철과 모노레일 산출량 * 동력	-0.003	0.001	-2.72***
β_{Y_2M}	경량전철과 모노레일 산출량 * 유지보수	0.003	0.005	0.69
β_{TL}	궤도연장 * 노동	-0.002	0.011	-0.19
β_{TE}	궤도연장 * 동력	0.008	0.003	2.69***
β_{TM}	궤도연장 * 유지보수	-0.006	0.010	-0.59
β_{LD_2}	노동 * 준공영 특성변수	-0.072	0.031	-2.36**
β_{ED_2}	동력 * 준공영 특성변수	0.001	0.007	0.11
β_{MD_2}	유지보수 * 준공영 특성변수	0.071	0.029	2.46**
$\beta_{Y_2D_2}$	경량전철과 모노레일 산출량 * 준공영 특성변수	0.079	0.019	4.13***
β_{D_2}	준공영 특성변수(준공영 : 1, 그 외 : 0)	-0.171	0.067	-2.57**
β_{D_3}	민영 특성변수(민영 : 1, 그 외 : 0)	-0.238	0.035	-6.82***

구분	R^2	$adj.R^2$
가변비용함수	0.996	0.995
노동의 비용비중식	0.499	0.492
동력의 비용비중식	0.557	0.551

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10%의 유의수준을 나타냄, N=64

<표 44> 비용변경전 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 1)

모수	변수	추정치	표준오차	t-통계량
α	상수항	17.257	0.086	200.27***
β_L	노동	0.401	0.022	18.62***
β_E	동력	0.066	0.005	13.45***
β_M	유지보수	0.533	0.020	26.12***
β_{Y_1}	중량전철 산출량	0.672	0.048	14.16***
β_{Y_2}	경량전철과 모노레일 산출량	0.142	0.040	3.56***
β_{LL}	노동 * 노동	0.172	0.027	6.34***
β_{EE}	동력 * 동력	0.069	0.011	6.15***
β_{MM}	유지보수 * 유지보수	0.154	0.021	7.50***
$\beta_{Y_1Y_1}$	중량전철 산출량 * 중량전철 산출량	0.074	0.018	4.02***
$\beta_{Y_1Y_2}$	중량전철 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	-0.067	0.009	-7.60***
$\beta_{Y_2Y_2}$	경량전철과 모노레일 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	0.069	0.028	2.50**
β_{TT}	궤도연장 * 궤도연장	-0.042	0.033	-1.26
β_{LE}	노동 * 동력(=β_{EL})	-0.044	0.013	-3.33***
β_{LM}	노동 * 유지보수(=β_{ML})	-0.129	0.022	-5.92***
β_{EM}	동력 * 유지보수(=β_{ME})	-0.026	0.006	-4.64***
β_{Y_2L}	경량전철과 모노레일 산출량 * 노동	0.000	0.005	-0.02
β_{Y_2E}	경량전철과 모노레일 산출량 * 동력	-0.003	0.001	-2.75***
β_{Y_2M}	경량전철과 모노레일 산출량 * 유지보수	0.003	0.005	0.65
β_{TL}	궤도연장 * 노동	0.004	0.011	0.41
β_{TE}	궤도연장 * 동력	0.008	0.003	2.65**
β_{TM}	궤도연장 * 유지보수	-0.012	0.010	-1.20
β_{LD_2}	노동 * 준공영 특성변수	-0.060	0.031	-1.92*
β_{ED_2}	동력 * 준공영 특성변수	0.001	0.007	0.09
β_{MD_2}	유지보수 * 준공영 특성변수	0.059	0.030	2.00*
$\beta_{Y_2D_2}$	경량전철과 모노레일 산출량 * 준공영 특성변수	0.100	0.027	3.71***
β_{D_2}	준공영 특성변수(준공영 : 1, 그 외 : 0)	-0.145	0.104	-1.40
β_{D_3}	민영 특성변수(민영 : 1, 그 외 : 0)	-0.250	0.048	-5.22***

구분	R^2	$adj.R^2$	σ_u	0.179
가변비용함수	0.989	0.985	σ_v	0.119
노동의 비용비중식	0.477	0.470	$\sigma(=\sqrt{\sigma_u^2+\sigma_v^2})$	0.215
동력의 비용비중식	0.555	0.549	$\lambda(=\sigma_u/\sigma_v)$	1.508

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10%의 유의수준을 나타냄, N=64

1.2 도시철도 운영기관의 국가특성을 고려한 모형(모형 2)

도시철도 운영기관의 국가특성변수를 포함한 모형인 모형 2의 가변비용함수의 비용변경 및 비용변경 전 가변비용함수의 계수추정치는 각각 <표 45>, <표 46>과 같다. 수정결정계수는 비용변경모형 0.995, 비용변경 전 모형 0.983으로 높게 추정되었다. 노동과 동력의 비용비중식의 수정결정계수는 비용변경 모형의 경우 각각 0.642, 0.619로 추정되었고, 비용변경 전 모형은 각각 0.640, 0.611로 추정되었다. 모형 1의 결과와 유사하게 가변비용함수의 통계적 적합도는 높게 나타났고, 비용비중식의 통계적 적합도는 상대적으로 낮게 나타났다.

비용변경 모형은 전체 26개 변수 중 23개 변수의 계수추정치의 유의도가 90% 이상으로 추정되었고, 비용변경 전 모형은 전체 26개 변수 중 23개 변수의 계수추정치의 유의도가 90% 이상으로 추정되었다. 모형 2도 모형 1과 마찬가지로 비용변경 모형의 계수추정치의 전반적인 통계적 유의도가 향상되었다.

모형 1과 마찬가지로 비용변경 모형과 비용변경 전 모형에서 모두 생산요소의 가격, 중량전철 산출물, 경량전철과 모노레일 산출물의 1차 항 계수는 모두 양(+)의 부호를 가지며 유의도가 99% 이상으로 높게 추정되었다. 2차 항은 생산요소의 가격과 중량전철 산출물의 계수추정치의 유의도는 99% 이상으로 높게 나타났다. 한편, 준고정요소인 궤도연장 2차항 계수는 모형2에서도 모형 1과 마찬가지로 모두 음(-)의 부호로 추정되었고, 10% 유의수준에서 유의하지 않은 것으로 나타났다. 교차항은 두 모형에서 생산요소 간 교차항과 경량전철과 모노레일 산출물과 생산요소의 단위가격간 교차항 계수 추정치의 유의도는 99%이상으로 높게 추정되었다. 이외의 교차항의 유의도는 다소 낮게 나타났다. 모형 2도 동조성, 동차성, 콥-더글라스 생산기술에 관한 2차 항 계수의 경우 통계적으로 유의하고, 0이 아닌 값으로 추정되었기 때문에 추정된 가변비용함수는 동조성, 동차성, 콥-더글라스 생산기술을 가지지 않는다.

운영기관의 국가특성변수의 계수의 부호는 비용변경모형과 비용변경

전 모형에서 모두 통계적 유의도가 높게 추정되어 1%유의수준에서 유의한 것으로 추정되었다. 국가특성변수는 한국의 경우 1의 값을 가지며, 일본은 0의 값을 갖는다. 비용변경 전 자료로 추정된 모형과 비용변경 자료로 추정된 모형에서 모두 국가특성변수의 계수가 양(+)으로 추정되었고, 비용변경 자료를 이용하여 추정한 모형의 계수추정치가 비용변경 전 자료를 이용하여 추정한 모형의 계수추정치 보다 크게 추정되었다. 국가특성변수의 계수추정치가 양(+)의 부호를 가지는 경우 다른 조건이 동이일할 때 한국 도시철도 운영기관의 가변비용이 일본보다 더 높다는 의미이므로 이는 앞서 살펴본 기술통계분석결과와도 일치하는 추정결과이다. 따라서 국가 특성변수의 계수는 합리적으로 추정된 것으로 판단된다.

한편, 모형 2의 오차항에 관한 추정치를 살펴보면, σ_v가 0.149로 양(+)의 값을 가지는 것으로 추정되었기 때문에 1종실패가 발생하지 않았으며, λ도 1.089로 적절한 값을 가지므로 2종실패도 발생하지 않았다. 따라서 본 연구에서 비용변경 전 자료로 추정한 비용함수를 이용하여 비용변경을 계산하는데 무리가 없으며, 계산된 비용변경은 통계적 오류가 존재하지 않는 것으로 간주할 수 있다.

<표 45> 비용변경 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 2)

모수	변수	추정치	표준오차	t-통계량
α	상수항	16.949	0.063	271.16***
β_L	노동	0.343	0.017	20.69***
β_E	동력	0.069	0.004	16.63***
β_M	유지보수	0.588	0.017	35.26***
β_{Y_1}	중량전철 산출량	0.696	0.031	22.78***
β_{Y_2}	경량전철과 모노레일 산출량	0.134	0.028	4.82***
β_{LL}	노동 * 노동	0.160	0.025	6.29***
β_{EE}	동력 * 동력	0.050	0.011	4.71***
β_{MM}	유지보수 * 유지보수	0.172	0.021	8.17***
$\beta_{Y_1Y_1}$	중량전철 산출량 * 중량전철 산출량	0.094	0.012	7.77***
$\beta_{Y_1Y_2}$	중량전철 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	-0.062	0.006	-10.45***
$\beta_{Y_2Y_2}$	경량전철과 모노레일 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	0.058	0.019	2.98***
β_{TT}	궤도연장 * 궤도연장	-0.110	0.021	-5.22***
β_{LE}	노동 * 동력(=β_{EL})	-0.019	0.013	-1.5
β_{LM}	노동 * 유지보수(=β_{ML})	-0.140	0.021	-6.73***
β_{EM}	동력 * 유지보수(=β_{ME})	-0.031	0.005	-6.13***
β_{Y_2L}	경량전철과 모노레일 산출량 * 노동	-0.009	0.004	-2.22**
β_{Y_2E}	경량전철과 모노레일 산출량 * 동력	-0.003	0.001	-3.14***
β_{Y_2M}	경량전철과 모노레일 산출량 * 유지보수	0.012	0.004	2.98***
β_{TL}	궤도연장 * 노동	0.000	0.008	0.01
β_{TE}	궤도연장 * 동력	0.007	0.002	2.87***
β_{TM}	궤도연장 * 유지보수	-0.007	0.008	-0.84
β_{LD_1}	노동 * 국가 특성변수	0.172	0.030	5.68***
β_{ED_1}	동력 * 국가 특성변수	-0.029	0.008	-3.77***
β_{MD_1}	유지보수 * 국가 특성변수	-0.143	0.030	-4.71***
β_{D_1}	국가 특성변수(한국 : 1, 일본 : 0)	0.335	0.046	7.23***

구분	R^2	$adj.R^2$
가변비용함수	0.997	0.995
노동의 비용비중식	0.647	0.642
동력의 비용비중식	0.624	0.619

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10%의 유의수준을 나타냄, N=64

<표 46> 비용변경전 가변비용함수 모형의 계수추정치(모형 2)

모수	변수	추정치	표준오차	t-통계량
α	상수항	17.112	0.111	154.89***
β_L	노동	0.345	0.017	20.49***
β_E	동력	0.068	0.004	16.38***
β_M	유지보수	0.586	0.017	34.61***
β_{Y_1}	중량전철 산출량	0.671	0.054	12.34***
β_{Y_2}	경량전철과 모노레일 산출량	0.141	0.049	2.88***
β_{LL}	노동 * 노동	0.140	0.024	5.94***
β_{EE}	동력 * 동력	0.048	0.010	4.63***
β_{MM}	유지보수 * 유지보수	0.160	0.020	8.01***
$\beta_{Y_1Y_1}$	중량전철 산출량 * 중량전철 산출량	0.082	0.021	3.85***
$\beta_{Y_1Y_2}$	중량전철 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	-0.066	0.011	-6.30***
$\beta_{Y_2Y_2}$	경량전철과 모노레일 산출량 * 경량전철과 모노레일 산출량	0.059	0.034	1.74*
β_{TT}	궤도연장 * 궤도연장	-0.114	0.037	-3.07***
β_{LE}	노동 * 동력(=β_{EL})	-0.014	0.012	-1.12
β_{LM}	노동 * 유지보수(=β_{ML})	-0.126	0.019	-6.48***
β_{EM}	동력 * 유지보수(=β_{ME})	-0.034	0.005	-6.89***
β_{Y_2L}	경량전철과 모노레일 산출량 * 노동	-0.008	0.004	-1.87*
β_{Y_2E}	경량전철과 모노레일 산출량 * 동력	-0.003	0.001	-3.24***
β_{Y_2M}	경량전철과 모노레일 산출량 * 유지보수	0.011	0.004	2.65**
β_{TL}	궤도연장 * 노동	0.003	0.008	0.36
β_{TE}	궤도연장 * 동력	0.007	0.002	2.78***
β_{TM}	궤도연장 * 유지보수	-0.009	0.008	-1.14
β_{LD_1}	노동 * 국가 특성변수	0.178	0.031	5.81***
β_{ED_1}	동력 * 국가 특성변수	-0.030	0.008	-3.92***
β_{MD_1}	유지보수 * 국가 특성변수	-0.148	0.031	-4.81***
β_{D_1}	국가 특성변수(한국 : 1, 일본 : 0)	0.304	0.086	3.53***

구분	R^2	$adj.R^2$	σ_u	0.162
가변비용함수	0.987	0.983	σ_v	0.149
노동의 비용비중식	0.645	0.640	$\sigma(=\sqrt{\sigma_u^2+\sigma_v^2})$	0.220
동력의 비용비중식	0.616	0.611	$\lambda(=\sigma_u/\sigma_v)$	1.089

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10%의 유의수준을 나타냄, N=64

2. 추정결과의 경제적 조건 분석

본 연구에서 추정한 도시철도 운영기관의 비용함수의 경제적 조건을 검토하였다. 비용함수는 요소가격에 대한 1차 동차성, 비감소성, 오목성 조건과 산출량에 대한 단조성 조건 등의 경제적 조건을 만족해야 한다. 요소가격에 대한 1차 동차성 조건의 경우 가변비용함수와 비용비중식을 결합일반화최소자승법으로 추정하는 과정에서 제약식으로 설정되어 이미 조건을 만족하므로 경제적 조건은 요소가격에 대한 비감소성, 요소가격에 대한 오목성 조건, 산출량에 대한 단조성 조건을 검토하였다.

2.1 요소가격에 대한 비감소성 조건

요소가격에 대한 비감소성 조건은 요소가격이 상승함에 따른 가변비용의 증가 여부를 검토하여 판단한다. 비용비중(생산요소의 투입비율의 추정치)의 부호로 요소가격에 대한 비감소성 조건을 검토할 수 있다. 비용비중의 추정치가 양(+)으로 산정된 경우 비감소성 조건을 만족한다고 할 수 있다. 추정된 비용비중식을 검토한 결과는 <표 47>과 같다. 비용비중의 부호를 검토한 결과 본 연구에서 추정한 모형 전체에 대하여 모든 관찰점에서 비용비중의 부호가 양수로 추정되어 요소가격에 대한비감소성 조건을 모두 만족하는 것으로 분석되었다.

<표 47> 가변비용함수의 요소가격에 대한 비감소성 검토 결과

생산요소	모형 1		모형 2	
	비용변경	비용변경 전	비용변경	비용변경 전
노동	64/64(100%)	64/64(100%)	64/64(100%)	64/64(100%)
동력	64/64(100%)	64/64(100%)	64/64(100%)	64/64(100%)
유지보수	64/64(100%)	64/64(100%)	64/64(100%)	64/64(100%)

2.2 요소가격에 대한 오목성 조건

요소가격에 대한 오목성 조건은 생산요소 간에 대체관계가 존재하므로 요소가격의 변화율보다 가변비용의 변화율이 낮음을 의미한다. 따라서 비용함수를 생산요소가격으로 2계 미분하여 도출한 값이 음(-)의 값을 가져야 한다. 생산 요소가격에 대한 오목성 조건 검토 결과는 <표 48>과 같다. 모형 1의 경우 비용변경모형은 75%, 비용변경 전 모형은 78%의 관찰점에서 오목성 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 모형 2의 경우 비용변경모형은 94%, 비용변경 전 모형은 95%의 관찰점에서 오목성 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 전반적으로 오목성 조건은 높게 나타났지만, 동력가격에 대한 오목성 조건의 경우 다른 생산요소에 비하여 다소 낮게 추정되었다. 모형 2의 오목성조건의 만족도가 모형 1보다 높게 추정되었다.

<표 48> 가변비용함수의 요소가격에 대한 오목성 검토 결과

생산요소	모형 1		모형 2	
	비용변경	비용변경 전	비용변경	비용변경 전
노동	57/64(89%)	62/64(97%)	64/64(100%)	64/64(95%)
동력	25/64(39%)	24/64(38%)	53/64(83%)	54/64(84%)
유지보수	62/64(97%)	64/64(100%)	64/64(100%)	64/64(100%)
전체	144/192(75%)	150/192(78%)	181/192(94%)	182/192(95%)

2.3 산출량에 대한 단조성 조건

산출물의 산출량에 대하여 가변비용함수는 단조증가(monotonically increasing) 해야 한다. 따라서 산출량에 대한 단조증가 조건을 만족하려면 산출물에 대한 비용 탄력성이 양(+)의 값을 가져야 한다. 요소가격에 대한 단조성 검토결과는 <표 49>와 같다. 모형 1의 경우 비용변경 모형과 비용변경 전 모형 모두 중량전철 산출물에 대하여 단조성은 100% 만족하며, 경량전철 및 모노레일 산출물에 대한 단조성 만족율은 55%로 다소 낮았다. 모형 2의 경우 비용변경 모형과 비용변경 전 모형에서 중량전철 산출물에 대하여 단조성은 각각 91%, 97% 만족하며, 경량전철 및 모노레일 산출물에 대한 단조성 만족율은 각각 56%, 58%로 다소 낮았다.

본 연구에서는 한국과 일본의 도시철도 운영기관의 산출물을 중량전철 산출물과 경량전철 및 모노레일 산출물로 구분하여 가변비용함수를 추정하였다. 한 가지 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 경우 생산하지 않는 산출물의 산출량이 없다. 그러나 본 연구의 가변비용함수의 형태는 트랜스로그 함수로 설정하였기 때문에 로그값이 정의되지 않는 0의 값은 로그변환이 되지 않는 문제점이 있다. 따라서 일반적으로 사용하는 해당 산출물의 값이 0인 경우 해당산출물 최소값의 10%를 대체하여 적용하였다. 이로 인하여 대다수의 도시철도 운영기관이 중량전철 산출물만 생산하므로 경량전철 및 모노레일 산출물의 단조성 조건이 다소 낮게 나타난 것으로 판단된다.

<표 49> 산출물에 대한 단조성 검토 결과

산출물	모형 1		모형 2	
	비용변경	비용변경 전	비용변경	비용변경 전
중량전철 산출물	64/64(100%)	64/64(100%)	58/64(91%)	62/64(97%)
경량전철 및 모노레일 산출물	35/64(55%)	35/64(55%)	36/64(56%)	37/64(58%)

제 2 절 비용특성의 분석결과

본 절의 비용특성은 도시철도 운영기관의 소유구조별 특성변수를 포함한 기본모형인 모형 1을 비용변경 방법으로 추정한 결과를 이용하여 우리나라 도시철도 운영기관을 중심으로 분석하였다. 추정된 모형을 이용하여 밀도 및 규모의 경제성, 범위의 경제성, 편대체탄력성과 요소수요의 가격탄력성, 평균비용과 한계비용을 분석하였다.

<표 50>은 비용특성 분석을 위한 운영기관의 주요 변수의 평균값이다. 전체평균과 산출형태별/국가별 평균값은 도시철도 운송업 전반의 비용특성 분석에 사용된다.

<표 50> 비용특성 분석 대상 운영기관의 주요변수

산출형태	구분	총산출량 (천 전동차-km)	산출량 구성비율(%)		생산요소가격			궤도 연장 (km)	표본수
			중량	경량 및 모노	노동 (만원/인)	동력 (원/kWh)	유지보수 (만원/대)		
중량전철	유형 평균	60,712	100.00	0.00	6,423	156	30,754	160.94	48
	한국평균	93,724	100.00	0.00	6,962	128	21,940	241.11	4
	서울메트로	208,865	100.00	0.00	7,097	130	19,172	404.70	-
	서울도시철도공사	152,538	100.00	0.00	7,379	126	16,121	438.42	-
	대전도시철도공사	7,046	100.00	0.00	5,944	127	32,892	67.68	-
	광주도시철도공사	6,447	100.00	0.00	7,430	127	19,575	53.64	-
	일본평균	57,711	100.00	0.00	6,374	158	31,555	153.65	44
경량전철 및 모노레일	유형 평균	8,839	0.00	100.00	6,267	160	26,566	31.10	10
모두생산	유형 평균	80,229	91.90	8.10	7,392	143	26,293	227.86	5
	한국평균	52,501	87.58	12.42	6,871	125	20,611	213.63	3
	부산교통공사	81,990	90.29	9.71	7,341	124	16,701	301.65	-
	대구도시철도공사	46,109	83.25	16.75	6,227	128	21,891	224.09	-
	인천교통공사	29,403	86.84	13.16	7,044	124	23,242	115.17	-
	일본평균	121,821	94.69	5.31	8,174	168	34,815	249.20	2
	도쿄도	125,383	93.82	6.18	8,039	169	43,963	237.70	-
	오사카시	118,259	95.61	4.39	8,310	168	25,666	260.70	-
표본평균		55,878	96.61	3.39	6,485	155	29,624	148.51	64

주 : 세이부철도는 두 산출물을 모두생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음

1. 밀도 및 규모의 경제성

밀도의 경제성과 규모의 경제성은 도시철도 운영기관의 생산행태를 평가하는 지표이다. 밀도의 경제성이 있는 경우 현재의 시설 규모를 유지하면서 운행횟수를 늘리면 평균비용이 감소하므로 추가적인 생산을 하는 것이 비용 측면에서 유리하다. 규모의 경제가 있는 경우 복수의 도시철도운영기관을 통합하여 운영하는 것이 평균비용을 낮출 수 있고, 반대의 경우 도시철도 운영기관을 분리하는 것이 비용 측면에서 유리하다. 따라서 밀도의 경제성 지수와 규모의 경제성 지수는 운영기관의 생산전략을 수립하는 데 중요한 단서를 제공하는 지표이다. 밀도 및 규모의 경제성지수가 1 이상인 경우 밀도 및 규모의 경제가 존재하고, 1 이하인 경우 밀도 및 규모의 불경제가 존재한다. 1인 경우 밀도 및 규모의 경제 또는 불경제가 존재하지 않는다.

중량전철 산출물 또는 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 산출물별 밀도 및 규모의 경제성 지수를 이용하여 산정하며, 두 산출물을 모두 생산하는 경우 두 산출물의 구성비율에 따라 밀도의 경제성 지수가 달라지게 되므로 두 산출물의 비율을 고정하여 방사형 밀도 및 규모의 경제성 지수를 산정하였다. 단일산출물의 경우 산출물별 밀도의 경제성 지수로 산정되기 때문에 밀도의 변화에 따라 해당 산출물의 산출량만 변화하지만, 두 산출물을 모두 생산하는 경우 밀도의 변화에 따라 두 산출물의 생산량이 동시에 변화하게 되므로 비율을 고정하는 것이다.

도시철도 운영기관의 소유구조별 밀도의 경제성 지수와 규모의 경제성 지수는 <표 51>과 같다. 운행밀도와 밀도의 경제성 지수의 관계를 살펴보기 위하여 궤도연장과 산출물별 비율을 평균값으로 고정하고, 총산출량을 변화시켜 운행밀도별 밀도의 경제성 지수를 추정하여 두 지표의 관계를 도식화하였다. 이는 <그림 2>와 같다.

밀도의 경제성 지수를 살펴보면 표본평균 자료에서 1.220으로 밀도의 경제가 존재하는 것으로 추정되었다. 이는 한국과 일본 도시철도 운송업 전반에 밀도의 경제가 존재한다는 의미이다. 산출형태로 도시철도 운송

업 시장을 구분하여 살펴보면 중량전철 운송업과 경량전철 및 모노레일 운송업 그리고 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운송업의 밀도의 경제성 지수는 각각 1.067, 1.253, 1.255으로 추정되어 모두 밀도의 경제가 존재하는 것으로 나타났다.

우리나라 도시철도 운영기관의 밀도의 경제성 지수를 살펴보면, 중량전철 운송업은 1.035, 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운송업은 1.251로 모두 밀도의 경제가 존재한다. 우리나라 도시철도 운영기관의 밀도의 경제성 지수는 대부분 1 이상으로 추정되어 밀도의 경제가 존재하는 것으로 나타났지만, 서울메트로의 경우 밀도의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 이는 서울메트로의 운행밀도가 높기 때문[16]인 것으로 추론된다. 서울도시철도공사도 다른 도시에 비하여 비첨두시 배차간격이 상대적으로 짧기 때문에 평균 운행밀도가 높아 밀도의 경제성지수가 낮게 추정된 것으로 판단된다.

일본 도시철도 운송업도 세 가지 산출형태 모두 밀도의 경제성이 존재하는 것으로 나타났다. 두 산출물을 모두 생산하는 형태의 밀도의 경제성 지수가 가장 높고, 중량전철만 생산하는 경우 밀도의 경제성 지수가 낮다.

본 연구에서 추정한 밀도의 경제성 지수 추정결과를 선행연구의 결과와 비교해보면, 서울메트로의 경우 선행연구 결과와 상반되는 결과가 나타났다. 김성수와 김민정(1999), 김성수와 박진경(2003), 김민정(2000), 김민정(2004)에서는 밀도의 경제가 존재하는 것으로 추정되었지만 본 연구에서는 밀도의 불경제가 존재하는 것으로 추정되었다. 이는 비교적 과거에 수행된 선행연구의 분석시점보다 현재 운행밀도가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 부산시의 경우 본 연구에서 추정된 밀도의 경제성 지수는 김민정(2004)의 연구결과와 동일하게 밀도의 경제가 존재하는 것으로 분석되었다. 일본 도시철도 운송업도 마찬가지로 Mizutani(1996), Mizutani(2004)의 결과와 동일하게 밀도의 경제가 존재하는 것으로 추정되었다.

16) 서울메트로에서 운영하는 서울 도시철도 1~4호선의 경우 비첨두시 배차간격이 서울의 다른 도시철도 노선에 비하여 짧기 때문에 운행밀도가 높다.

<표 51> 도시철도 운영기관별 밀도 및 규모의 경제성 지수

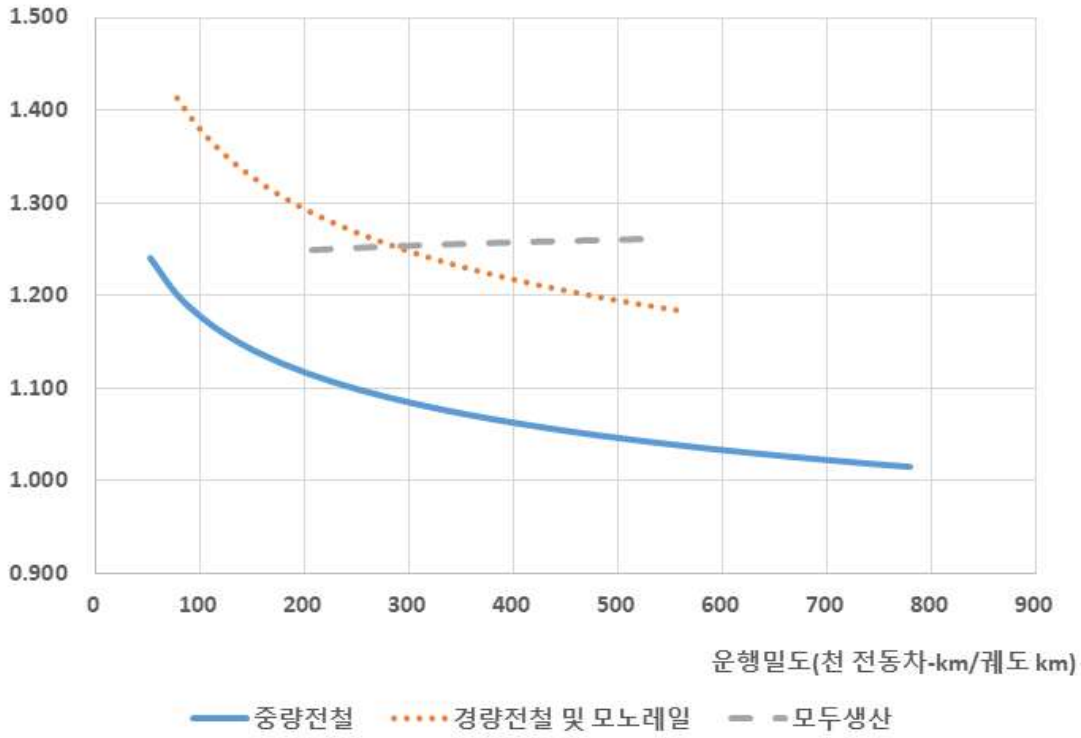
산출형태	구분	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수	총산출량 (천 전동차-km)	궤도연장 (km)	운행밀도 (천 전동차-km /궤도 km)
중량전철	유형 평균	1.067	1.069	60,712	160.94	377.24
	한국평균	1.035	1.048	93,724	241.11	388.72
	서울메트로	0.981	1.004	208,865	404.70	516.10
	서울도시철도공사	1.002	1.027	152,538	438.42	347.92
	대전도시철도공사	1.259	1.232	7,046	67.68	104.12
	광주도시철도공사	1.268	1.229	6,447	53.64	120.19
	일본평균	1.071	1.072	57,711	153.65	375.61
경량전철 및 모노레일	유형 평균	1.253	1.195	8,839	31.10	284.20
모두생산	유형 평균	1.255	1.272	80,229	227.86	352.10
	한국평균	1.251	1.265	52,501	213.63	245.75
	부산교통공사	1.258	1.283	81,990	301.65	271.81
	대구도시철도공사	1.250	1.265	46,109	224.09	205.76
	인천교통공사	1.244	1.235	29,403	115.17	255.31
	일본평균	1.259	1.280	121,821	249.20	488.85
	도쿄도	1.258	1.280	125,383	237.70	527.48
	오사카시	1.259	1.280	118,259	260.70	453.62
표본평균		1.220	1.220	55,878	148.51	376.25

주 1 : 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음
주 2 : 운행밀도는 총산출량을 궤도연장으로 나누어 산정하였음

우리나라 도시철도 운영기관은 대체로 밀도의 경제가 존재하기 때문에 운행횟수를 늘리는 경우 평균 가변비용을 감소시킬 수 있을 것이다. 그러나 우리나라 도시철도 노선의 첨두시 배차간격은 서울을 기준으로 3분 내외로 매우 짧기 때문에 첨두시에 열차를 추가적으로 투입하는 것은 어려운 실정이다. 또한 차량 보유대수가 첨두시의 최대운행횟수를 기준으로 산정되었기 때문에 전동차 대수를 늘리지 않는다면 첨두시에 전동차를 추가로 투입할 수 없다. 따라서 운행횟수를 늘린다는 것은 비첨두시 운행횟수를 늘린다는 것이라고 할 수 있다. 하지만 수익성의 관점에서는 비첨두시 이용수요가 충분하지 않은 경우 비첨두시 운행횟수를 늘

리는 것은 바람직하지 않기 때문에 운행횟수를 늘릴지 여부는 이용수요를 고려하여 결정해야 할 것이다.

도시철도 운영기관의 산출형태별 운행밀도와 밀도의 경제성 지수의 관계는 <그림 2>와 같다. 시설의 규모를 유지한 채로 운행밀도만 변화하도록 산출량을 변화시켜 곡선을 도출하였다. 표본 중 최대 운행 밀도가 779.72천 전동차-km/km임을 감안하면 실제 운행밀도 내에서 밀도의 경제가 존재하는 것으로 나타났다. 중량전철 또는 경량전철과 모노레일 산출물만 생산하는 단일산출 운영기관의 경우 운행밀도와 밀도의 경제성 지수가 반비례하는 것으로 추정되었다. 그러나 두 가지 산출물을 모두생산하는 도시철도 운영기관의 경우 운행밀도와 밀도의 경제성 지수가 비례하는 것으로 나타났다.



<그림 2> 도시철도 운영기관의 산출형태별 밀도의 경제성 지수

규모의 경제성 지수를 살펴보면 표본평균에서 1.220으로 규모의 경제가 존재하는 것으로 분석되었다. 이는 밀도의 경제와 마찬가지로 한국과 일본 도시철도운송업에서 규모의 경제가 존재한다는 의미이다.

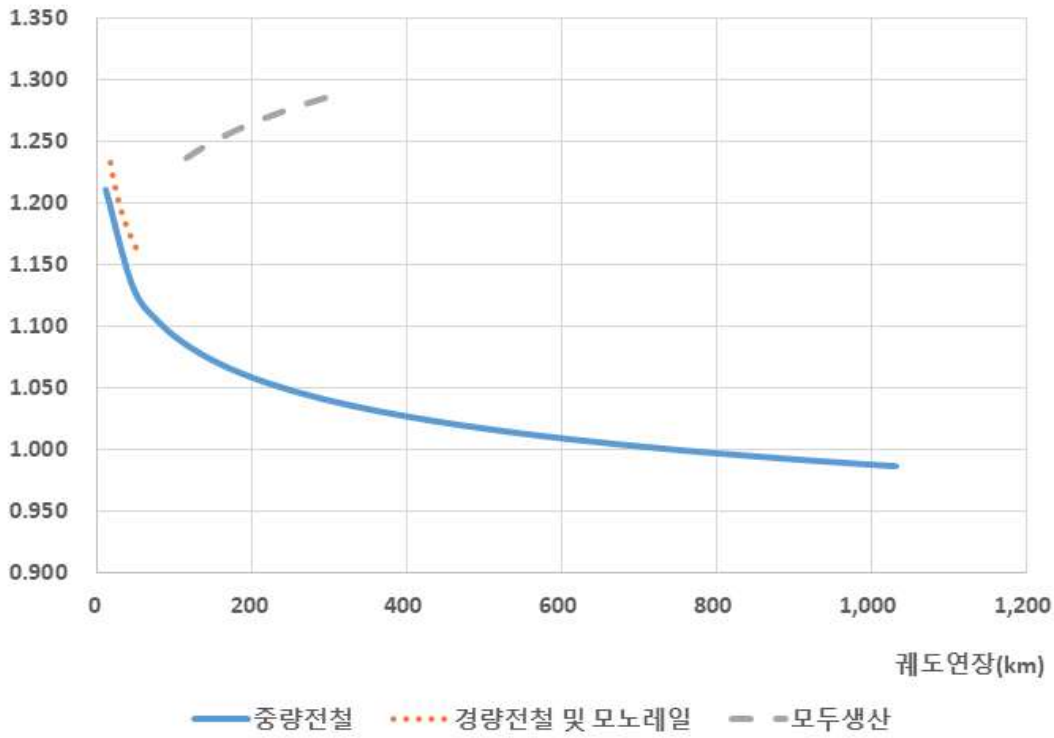
산출형태에 따른 규모의 경제성 지수는 두 산출물을 모두 생산하는 경우 방사형 규모의 경제성 지수는 1.272으로 가장 높고, 산출물별 규모의 경제성 지수는 경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 경우 1.195, 중량전철 산출물만 생산하는 경우 1.069로 가장 낮게 추정되었다.

우리나라 도시철도 운영기관의 규모의 경제성 지수를 살펴보면, 중량전철 운송업은 1.048, 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운송업은 1.265로 모두 규모의 경제가 존재한다. 또한 개별 운영기관의 규모의 경제성 지수가 1 이상으로 추정되어 모두 규모의 경제가 존재한다고 할 수 있다. 일본 도시철도 운송업의 경우도 모든 산출형태에서 규모의 경제성 지수가 1 이상으로 추정되어 규모의 경제가 존재한다.

본 연구에서 추정한 규모의 경제성 지수 추정결과를 선행연구의 결과와 비교해보면, 서울메트로의 경우 김성수와 김민정(1999), 김민정(2000), 김민정(2004)과 동일하게 규모의 경제가 존재하는 것으로 나타났다. 부산도시철도공사의 경우도 김민정(2000)의 결과와 동일하게 규모의 경제가 존재하는 것으로 추정되었다. 이들 연구가 수행된 시점으로부터 상당한 시간이 지났음에도 불구하고 규모의 경제성 지수는 크게 변화하지 않았다. 서울메트로의 경우 운영하는 노선의 수가 동일하고 궤도연장도 크게 변하지 않았기 때문이다. 반면, 부산도시철도공사의 경우 도시철도 노선 3개가 추가로 건설되었음에도 불구하고 규모의 경제가 존재한다는 점은 변화하지 않았다. 이는 궤도연장이 최적 규모에 도달하지 않았기 때문이라고 추론된다. 일본의 경우 Mizutani(1996)에서 규모의 불경제가 존재한다고 하였으나, 본 연구는 이와 상반되게 규모의 경제가 존재하는 것으로 추정되었다. 일본 민영 도시철도 운영기관을 대상으로한 연구인 Mizutani(2004)에서는 규모의 경제가 존재한다고 하였다. 이 연구의 표본 중 중량전철 운영기관이 많다는 점을 고려하면 본 연구의 추정결과와 동일한 결과라고 할 수 있다.

규모의 경제가 존재하는 경우 도시철도 운영기관을 통합하거나 새로운 노선을 건설하여 규모를 증가시키는 경우 평균비용을 줄일 수 있다는 의미이므로 이러한 추정결과는 우리나라 도시철도 운영기관의 통합에 대한 실증적 근거가 될 수 있다. 그러나 도시철도 운영기관의 통합은 현재 비용 관점에서 타당할 수 있지만, 통합으로 인하여 최적 규모를 넘어서는 경우 규모에 대한 수확체감이 발생하여 오히려 비용을 증가시킬 수도 있을 것이다.

도시철도 운영기관별 궤도연장과 규모의 경제성 지수의 관계를 도식화한 그림은 <그림 3>과 같다. 운행밀도를 고정하고 궤도연장과 산출량을 조정하여 곡선을 도출하였다.



<그림 3> 도시철도 운영기관의 산출형태별 규모의 경제성 지수

밀도의 경제성 지수와 유사하게 단일산출물만 생산하는 경우 궤도연장과 규모의 경제성 지수가 반비례하였다. 단일산출물만 생산하는 경우

궤도연장이 증가함에 따라 규모의 경제성 지수는 감소하였다. 중량전철 산출물만 생산하는 도시철도 운영기관의 경우 궤도연장이 약 800km를 넘는 경우 규모의 경제성 지수가 1이하로 감소하여 규모의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다.

반면, 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 규모의 경제성 지수가 밀도의 경제성과 유사하게 궤도연장에 비례하는 것으로 나타났다. 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 산출물의 비용탄력성이 단일산출물 운영기관에 비하여 낮게 산정되었기 때문에 밀도와 규모의 경제성 지수가 높게 추정되었다. 산출물의 비용탄력성은 산출물 1% 변화에 대한 가변비용의 변화율로 식 (20)과 같이 산정한다. 두 산출물을 모두생산하는 경우 $\beta_{Y_1Y_2}$의 부호가 음(-)의 값을 가지는 것으로 추정[17]되었기 때문에 두 산출물을 동시에 생산하는 경우 비용탄력성이 낮게 산정되었다.

또한 산출물에 대한 설명변수로 열차-km단위의 산출량을 사용한다면 결과가 다르게 나타날 것으로 판단된다. 열차-km단위의 산출량은 <표 52>와 같다. 중량전철의 경우 열차당 전동차 편성이 많고, 경량전철 및 모노레일의 경우 전동차 편성이 적기 때문에 두 산출물의 차이가 줄어들게 된다. 따라서 경량전철 및 모노레일 산출물의 구성비율이 높아지게 되고, 산출물에 대한 비용탄력성도 다르게 추정될 것이다. 그러나 본 연구에서는 일본 도시철도 운영기관의 열차-km 자료를 구득하지 못하여 전동차-km자료를 이용하여 추정하였다.

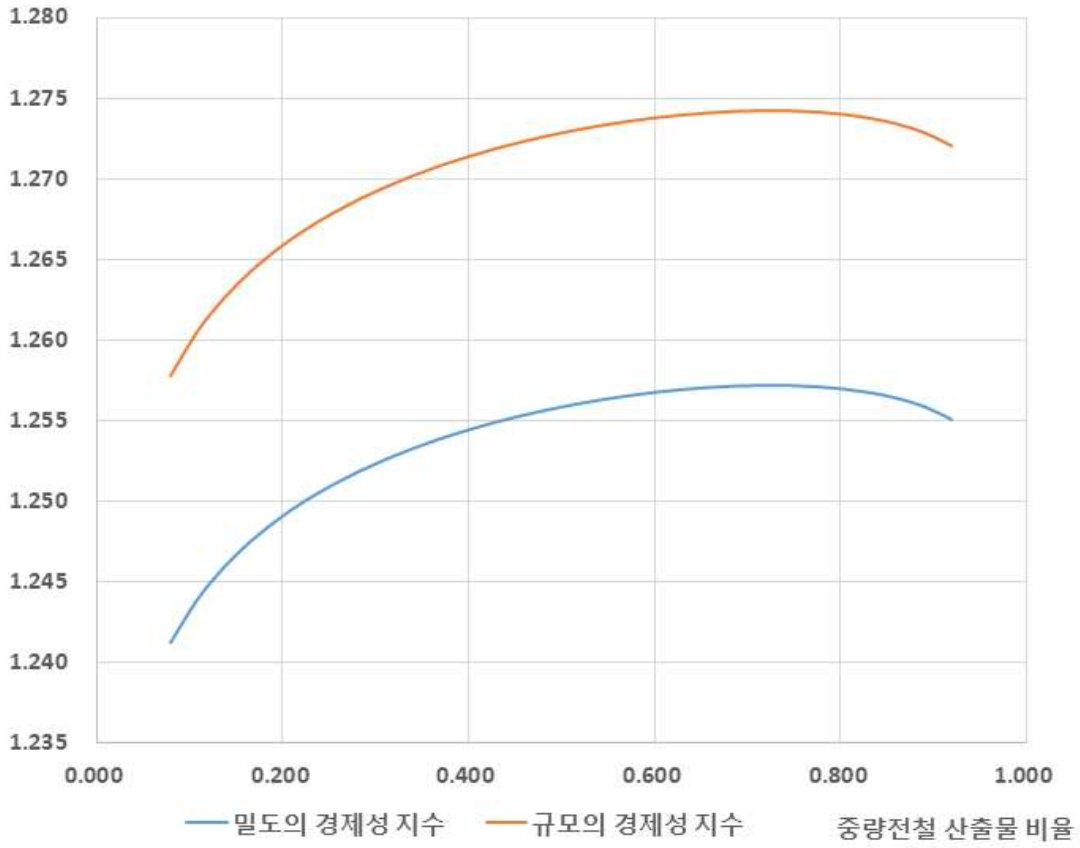
17) 두 산출물의 교차항의 계수($\beta_{Y_1Y_2}$)를 제외하고 밀도 및 규모의 경제성 지수를 산정하면 단일산출물과 동일한 형태로 밀도 및 규모의 경제성 지수가 밀도와 궤도연장에 반비례하는 것으로 나타났다.

<표 52> 한국 도시철도 운영기관의 산출물별 산출량

구분		중량전철 산출량		경량전철 및 모노레일 산출량		총산출량	
		천전동차-km	천열차-km	천전동차-km	천열차-km	천전동차-km	천열차-km
중량전철	유형 평균	93,724 (100%)	10,948 (100%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	93,724 (100%)	10,948 (100%)
	서울 메트로	208,865 (100%)	20,887 (100%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	208,865 (100%)	20,887 (100%)
	서울도시 철도공사	152,538 (100%)	19,533 (100%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	152,538 (100%)	19,533 (100%)
	대전도시 철도공사	7,046 (100%)	1,762 (100%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	7,046 (100%)	1,762 (100%)
	광주도시 철도공사	6,447 (100%)	1,612 (100%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	6,447 (100%)	1,612 (100%)
모두생산	유형 평균	45,982 (86.79%)	7,071 (74.44%	6,518 (13.21%)	1,945 (25.56%)	52,501 (100%)	9,016 (100%)
	부산 교통공사	74,028 (90.29%)	11,623 (89.75%)	7,961 (9.71%)	1,327 (10.25%)	81,990 (100%)	12,950 (100%)
	대구도시 철도공사	38,385 (83.25%)	6,398 (71.30%)	7,724 (16.75%)	2,575 (28.70%)	46,109 (100%)	8,972 (100%)
	인천 교통공사	25,534 (86.84%)	3,192 (62.26%)	3,869 (13.16%)	1,935 (37.74%)	29,403 (100%)	5,126 (100%)
한국평균		73,263 (94.34%)	9,286 (89.05%)	2,793 (5.66%)	834 (10.95%)	76,057 (100%)	10,120 (100%)

주: ( )안의 값은 총산출량에 대한 비율임.

산출물의 구성비율이 밀도 및 규모의 경제성 지수에 어떠한 영향을 미치는 지 살펴보기 위하여 총산출량을 모두생산 평균값으로 고정하고, 중량전철 비율과 방사형 밀도 및 규모의 경제성 지수의 관계를 <그림 4>와 같이 도식화하였다. 중량전철 산출량과 경량전철 및 모노레일 산출량을 제외한 모든 변수는 모두생산 유형평균값으로 고정하였다. 중량전철 산출물의 비율이 약 70% 이상인 경우 방사형 밀도의 경제성 지수와 규모의 경제성 지수가 우하향한다. 이는 중량전철 산출물 비율이 증가하는 경우 밀도 및 규모의 경제 효과가 줄어드는 것을 의미한다. 만약 두 산출물간 범위의 불경제가 존재하고 그 효과가 매우 커 밀도와 규모의 경제 효과를 상쇄할수 있을 정도라면 이러한 결과가 도출될 수 있다. 따라서 범위의 경제를 살펴보아야 할 것이다. 이는 뒤에서 자세히 살펴본다.



<그림 4> 모두생산 유형의 방사형 밀도 및 규모의 경제성 지수

2. 범위의 경제성

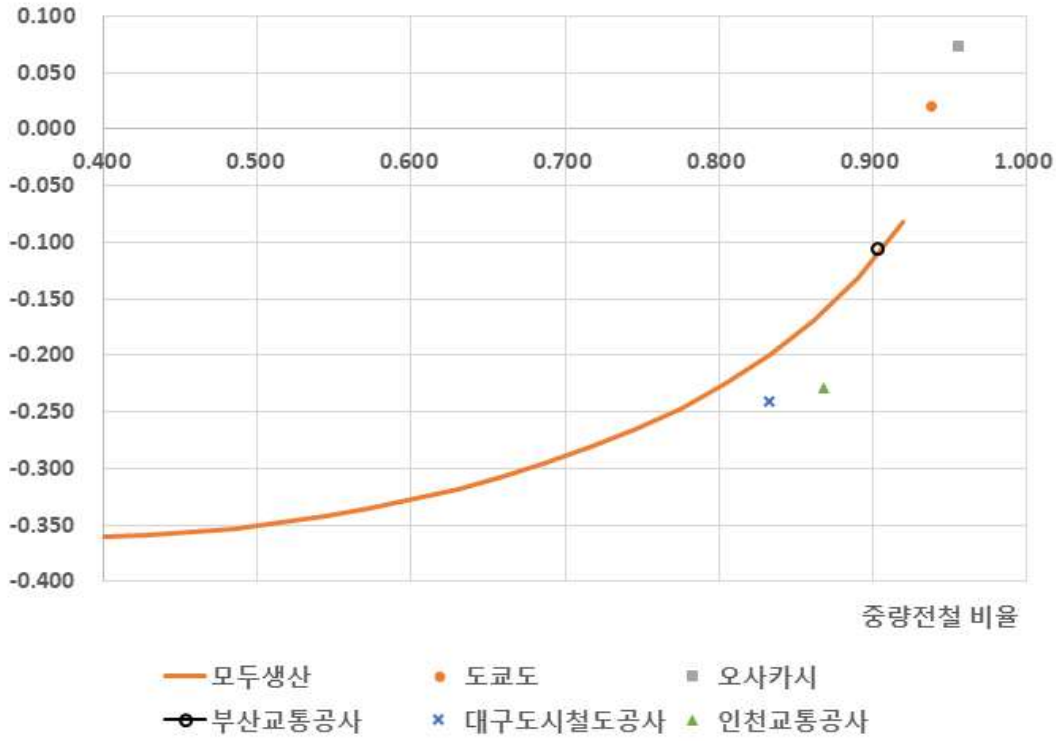
범위의 경제성 지수는 두 산출물을 한 운영기관에서 동시에 생산하는 것과 두 산출물을 각각의 운영기관에서 생산하는 것 중 어떠한 것이 비용 측면에서 유리한 지를 분석할 수 있는 지표이다. 만약 범위의 경제가 존재하는 경우 두 산출물을 한 운영기관에서 동시에 산출하는 경우 각각의 산출물을 별도의 기관에서 산출하는 경우보다 총가변비용이 적기 때문에 두 산출물을 한 기관에서 같이 생산하는 것이 좋다고 할 수 있다.

두 산출물을 모두 생산하는 운영기관 5개의 범위의 경제성 지수는 <표 53>과 같고, 중량전철 산출물 비율과 범위의 경제성 지수를 도식화하면 <그림 5>와 같다. 실선은 각각 총산출량이 동일할 때 중량전철 산출물의 비율에 따른 범위의 경제성 지수를 의미한다.

<표 53> 도시철도 운영기관별 범위의 경제성 지수

산출형태	구분	범위의 경제성 지수	총산출량 (천 전동차-km)	산출물비율(%)		소유구조
				중량전철	경량전철 모노레일	
모두생산	유형 평균	-0.083	80,229	91.90	8.10	공영
	한국평균	-0.188	52,501	87.58	12.42	공영
	부산교통공사	-0.105	81,990	90.29	9.71	공영
	대구도시철도공사	-0.241	46,109	83.25	16.75	공영
	인천교통공사	-0.228	29,403	86.84	13.16	공영
	일본평균	0.043	121,821	94.69	5.31	공영
	도쿄도	0.020	125,383	93.82	6.18	공영
	오사카시	0.073	118,259	95.61	4.39	공영
표본평균		-0.068	55,878	96.61	3.39	-

주 : 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음



<그림 5> 도시철도 운영기관별 범위의 경제성 지수

표본평균의 범위의 경제성 지수는 -0.068로 추정되어 한국과 일본 도시철도운송업은 전반적으로 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 두 산출물을 모두 생산하는 경우 범위의 경제성 지수는 -0.083으로 표본평균과 마찬가지로 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 한편, 개별 운영기관의 범위의 경제성 지수를 살펴보면 일본의 도시철도 운영기관인 도쿄도, 오사카시의 경우 범위의 경제성 지수가 양(+)의 값으로 산정되어 범위의 경제가 존재하는 것으로 나타났지만, 한국의 도시철도 운영기관인 부산교통공사, 대구도시철도공사, 인천교통공사의 범위의 경제성 지수는 음(-)으로 산정되어 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다.

두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운송업의 중량전철 비율과 범위의 경제성 지수의 관계(실선)는 비례관계로 나타났다. 또한 범위의 경제가 존재하는 일본의 2개 운영기관의 두 산출물의 비율을 살펴보면, 한국

의 3개 운영기관보다 중량전철 산출량의 비율이 높고, 총산출량도 한국 도시철도 운영기관보다 많다. 따라서 중량전철 산출량의 비율이 높은 경우 범위의 경제가 존재하고, 경량전철 및 모노레일 산출량의 비율이 높은 경우 범위의 불경제가 존재한다고 추론할 수 있다.

도시철도 노선의 경우 노선별로 전용궤도를 사용하는 것이 일반적이기 때문에 사실상 도시철도 각 노선이 별개의 사업이라고 할 수 있다. 특히 차량형식이 다른 경우 공유할 수 있는 요소는 더욱 적어지게 된다. 중량전철과 경량전철 및 모노레일의 경우 차량, 궤도, 정거장, 운행방식 등이 상이하기 때문에 생산요소를 공동 사용 할 수 있는 부분이 매우 적어 경량전철 및 모노레일 산출량의 비율이 높은 경우 범위의 불경제가 존재하는 것이다. <그림 5>를 보면 중량전철 비율에 대하여 아래로 볼록한 곡선이 나타났다. 이는 서로 다른 산출물의 구성비율이 대등해지는 경우 범위의 불경제가 더 크게 나타난다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 결과는 서로 다른 차량형식을 한 운영기관이 운행하는 것이 비용 관점에서 타당하지 못하다는 점을 시사한다.

3. 편대체탄력성과 요소수요의 가격탄력성

3.1 편대체탄력성

편대체탄력성은 생산요소의 상대가격 변화에 대하여 조건부 요소수요의 투입비율의 변화를 나타내는 지표이다. 생산요소의 자기편대체탄력성은 생산요소 투입비율의 효율성에 관한 정보를 제공한다. 생산요소의 교차편대체탄력성은 생산요소 간 대체 또는 보완 관계에 관한 정보를 제공한다. 생산요소의 자기편대체탄력성 추정결과는 <표 54>와 같고, 생산요소의 교차편대체탄력성 추정결과는 <표 55>에서 제시하는 바와 같다.

본 연구에서는 생산적 비효율이 존재하는 것으로 나타났으므로 비용변경 전 생산요소의 자기편대체탄력성 추정치와 비용변경 자료를 이용한 추정치를 비교하여 분석하였다. 자기편대체탄력성의 부호가 양(+)의 값을 가지는 경우 요소의 가격이 가격이 상승했음에도 불구하고 투입비율을 높이는 것을 의미하므로 해당 생산요소의 투입비율이 비효율적이라는 의미를 가진다. 교차편대체탄력성은 어떤 생산요소의 가격변동에 대한 다른 생산요소의 투입비율의 변화를 의미하므로 양(+)의 값을 가지는 경우 대체재이며, 음(-)의 값을 가지는 경우 보완재라고 할 수 있다.

먼저 비용변경 전 편대체탄력성을 살펴보면 한국과 일본 도시철도 운송업 전반의 노동과 유지보수의 자기편대체탄력성은 음(-)의 부호로 추정되어 투입비율의 비효율이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 동력의 자기편대체탄력성은 양(+)의 부호를 가져 비효율이 존재하는 것으로 나타났다. 산출형태별로는 중량전철 운송업의 경우 세 가지 생산요소 모두 음(-)의 값으로 추정되었고, 경량전철 및 모노레일 운송업과 두 산출물을 모두 생산하는 경우 동력의 자기편대체탄력성이 양(+)의 가지는 것으로 나타났다.

우리나라 도시철도 운영기관의 자기편대체탄력성을 살펴보면, 서울메트로와 서울도시철도공사는 세 생산요소 모두 음(-)의 값으로 추정되어 생산요소의 투입비율이 모두 효율적인 것으로 나타났다. 반면, 그 외의

우리나라 도시철도 운영기관의 경우 동력의 자기편대체탄력성이 양(+)의 값으로 추정되어 동력의 투입비율이 효율적이지 않은 것으로 나타났다.

일본 도시철도 운영기관의 경우 노동과 유지보수의 자기편대체탄력성은 음(-)의 값으로 추정되었고, 동력의 경우 양(+)의 값으로 추정되었다.

한편, 비용변경을 도출하여 재추정한 모형에서 추정된 자기편대체탄력성을 살펴보면, 편대체탄력성의 부호는 비용변경 전 모형과 유사한 형태로 나타났으나, 크기는 대체적으로 감소하였다. 이러한 결과는 도시철도 운영기관은 대체로 노동과 유지보수는 효율적인 투입비율을 가지지만, 동력의 투입비율은 효율적이지 못하다는 것을 의미한다.

<표 54> 생산요소의 자기편대체탄력성

산출형태	구분	비용변경			비용변경 전		
		노동	동력	유지보수	노동	동력	유지보수
중량전철	유형 평균	-0.216	-0.656	-0.217	-0.434	-0.546	-0.331
	한국평균	-0.212	0.256	-0.307	-0.356	0.274	-0.440
	서울메트로	-0.197	-0.767	-0.337	-0.329	-0.774	-0.486
	서울도시철도공사	-0.170	-0.887	-0.364	-0.291	-0.933	-0.534
	대전도시철도공사	-0.212	3.291	-0.191	-0.440	3.633	-0.292
	광주도시철도공사	-0.190	3.257	-0.329	-0.333	3.084	-0.452
	일본평균	-0.210	-0.716	-0.210	-0.439	-0.602	-0.323
경량전철 및 모노레일	유형 평균	-0.184	5.129	-0.160	-0.451	5.405	-0.251
모두생산	유형 평균	-0.222	4.829	-0.266	-0.378	5.015	-0.385
	한국평균	-0.208	4.952	-0.297	-0.350	4.986	-0.422
	부산교통공사	-0.175	3.566	-0.345	-0.300	3.425	-0.491
	대구도시철도공사	-0.222	3.216	-0.269	-0.380	3.355	-0.389
	인천교통공사	-0.214	9.804	-0.276	-0.365	9.916	-0.389
	일본평균	-0.227	4.418	-0.232	-0.406	4.751	-0.347
	도쿄도	-0.211	7.156	-0.180	-0.435	7.938	-0.290
	오사카시	-0.213	1.979	-0.296	-0.358	2.026	-0.424
표본평균		-0.216	1.548	-0.204	-0.434	1.761	-0.313

주 : 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음

표본평균에서 추정된 생산요소 간 교차편대체탄력성을 살펴보면 노동과 동력은 보완재 관계로 나타났으며 노동과 유지보수, 동력과 유지보수

는 대체재 관계로 나타났다. 표본평균뿐만 아니라 모든 도시철도 운영기관에서 생산요소 간 대체 및 보완관계가 동일하게 추정되었다. 노동과 동력은 도시철도 차량의 운행을 위하여 동력과 운전인력이 필요하므로 둘은 보완재로 나타난 것으로 추론할 수 있다. 운전인력을 추가적으로 투입하여 차량을 운행하는 경우 동력 사용량의 증가가 수반되므로 둘의 관계는 보완재 관계로 추정되는 것이 타당하다. 한편, 노동과 유지보수, 동력과 유지보수는 대체관계를 가지는 것으로 추정되었는데 전반적으로 탄력성의 크기가 크지 않아 약한 대체관계를 가지는 것으로 볼 수 있다.

<표 55> 생산요소의 교차편대체탄력성

산출형태	구분	노동/동력	노동/유지보수	동력/유지보수
중량전철	유형 평균	-0.544	0.224	0.461
	한국평균	-0.357	0.263	0.310
	서울메트로	-0.171	0.250	0.330
	서울도시철도공사	-0.074	0.237	0.277
	대전도시철도공사	-1.052	0.246	0.323
	광주도시철도공사	-0.517	0.281	0.130
	일본평균	-0.564	0.218	0.471
경량전철 및 모노레일	유형 평균	-1.368	0.232	0.302
모두생산	유형 평균	-0.835	0.285	0.181
	한국평균	-0.727	0.289	0.126
	부산교통공사	-0.482	0.278	0.080
	대구도시철도공사	-0.716	0.279	0.231
	인천교통공사	-1.067	0.300	0.022
	일본평균	-0.946	0.273	0.240
	도쿄도	-1.386	0.256	0.227
	오사카시	-0.533	0.276	0.242
표본평균		-0.837	0.242	0.371

주1 : 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음
주2 : 비용변경 자료를 이용한 추정치이며, 교차편대체탄력성은 서로 대칭임 (노동/동력=동력/노동)

3.2 요소수요의 가격탄력성

요소수요의 가격탄력성은 생산요소의 가격변화에 대하여 생산요소 수요의 변화율을 나타내는 지표이다. 편대체탄력성과 마찬가지로 자기가격탄력성은 생산요소 투입의 효율성에 관한 정보를 제공하며, 교차가격탄력성은 생산요소 간 대체와 보완 관계에 관한 정보를 제공한다. 추정치의 의미는 편대체탄력성과 유사하다. 자기가격탄력성이 양(+)의 값을 가지는 경우 생산요소의 가격이 인상되었음에도 불구하고 해당 생산요소의 투입을 오히려 늘린다는 의미이므로 해당 생산요소의 투입양이 비효율적이라고 할 수 있다. 교차가격탄력성은 한 생산요소의 가격변동에 대한 다른 생산요소의 수요변화율을 의미하므로 양(+)의 값을 가지는 경우 두 재화는 대체재, 음(-)의 값을 가지는 경우 두 재화는 보완재라고 할 수 있다. 요소수요의 가격탄력성은 편대체탄력성과는 다르게 대칭성이 존재하지 않는다. 요소수요의 자기가격탄력성 추정결과는 <표 56>과 같고, 요소수요의 교차가격탄력성 추정결과는 <표 57>에서 제시하는 바와 같다. 요소수요의 가격탄력성도 편대체탄력성와 마찬가지로 비용변경 전 모형의 추정치와 비용변경 모형의 추정치를 비교하여 분석하였다.

전반적으로 노동과 유지보수의 자기가격탄력성은 음(-)의 부호로 추정되어 투입비율의 비효율이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 동력의 자기가격탄력성은 양(+)의 부호를 가져 비효율이 존재하는 것으로 나타났다. 산출형태별로는 중량전철 운송업의 경우 세 생산요소 모두 음(-)의 값으로 추정되어 모든 생산요소의 투입이 효율적이라고 할 수 있다. 반면, 경량전철 및 모노레일 운송업과 두 산출물을 모두생산하는 경우 동력의 자기가격탄력성이 양(+)으로 추정되어 비효율이 존재하는 것으로 나타났다. 이는 동력의 가격변화에 대하여 동력의 사용량을 효율적으로 조정하지 못하고 있음을 의미한다. 비용변경을 도출하여 재추정한 모형을 이용하여 추정된 자기가격탄력성을 살펴보면, 부호는 비용변경 전 모형과 유사한 형태로 나타났으나, 탄력성의 크기는 대체적으로 감소하였다.

<표 56> 생산요소의 자기가격탄력성

산출형태	구분	비용변경			비용변경 전		
		노동	동력	유지보수	노동	동력	유지보수
중량전철	유형 평균	-0.080	-0.052	-0.120	-0.168	-0.043	-0.177
	한국평균	-0.097	0.019	-0.144	-0.165	0.020	-0.204
	서울메트로	-0.095	-0.062	-0.147	-0.160	-0.062	-0.211
	서울도시철도공사	-0.088	-0.072	-0.145	-0.150	-0.077	-0.215
	대전도시철도공사	-0.077	0.199	-0.109	-0.166	0.217	-0.164
	광주도시철도공사	-0.094	0.197	-0.146	-0.161	0.189	-0.206
	일본평균	-0.076	-0.057	-0.117	-0.167	-0.048	-0.174
경량전철 및 모노레일	유형 평균	-0.063	0.287	-0.096	-0.159	0.300	-0.148
모두생산	유형 평균	-0.097	0.273	-0.135	-0.168	0.283	-0.192
	한국평균	-0.097	0.279	-0.142	-0.164	0.282	-0.201
	부산교통공사	-0.090	0.213	-0.147	-0.153	0.207	-0.212
	대구도시철도공사	-0.097	0.195	-0.135	-0.168	0.203	-0.193
	인천교통공사	-0.097	0.474	-0.137	-0.166	0.479	-0.193
	일본평균	-0.092	0.254	-0.124	-0.170	0.271	-0.182
	도쿄도	-0.077	0.373	-0.105	-0.168	0.406	-0.163
	오사카시	-0.097	0.128	-0.142	-0.165	0.131	-0.201
표본평균		-0.080	0.103	-0.115	-0.168	0.116	-0.171

주 : 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음

요소수요의 교차가격탄력성은 편대체탄력성과 마찬가지로 전반적으로 노동과 동력은 서로 보완재의 관계라고 할 수 있다. 동력가격에 대한 노동수요의 가격탄력성보다 노동가격에 대한 동력가격의 탄력성의 크기가 더 큰 것으로 추정되었다. 이는 동력가격 인상에 따른 노동수요 감소효과는 미미한 반면, 노동가격 인상에 따른 동력수요의 감소효과가 더 크다는 의미이다. 앞서 언급한 바와 같이 전동차의 운행을 위하여 운전인력과 동력은 필수적이다. 인건비가 인상되어 인력을 줄이는 경우 동력을 사용하지 않게 될 개연성이 그 반대보다 훨씬 높을 것이다. 따라서 추정된 결과는 타당하다고 판단된다.

<표 57> 생산요소의 교차가격탄력성

산출형태	구분	노동	노동	동력	동력	유지보수	유지보수
		동력	유지보수	노동	유지보수	노동	동력
중량전철	유형 평균	-0.043	0.123	-0.202	0.254	0.083	0.037
	한국평균	-0.026	0.123	-0.164	0.145	0.121	0.023
	서울메트로	-0.014	0.109	-0.083	0.144	0.121	0.026
	서울도시철도공사	-0.006	0.095	-0.038	0.111	0.123	0.023
	대전도시철도공사	-0.064	0.141	-0.385	0.185	0.090	0.020
	광주도시철도공사	-0.031	0.125	-0.255	0.058	0.139	0.008
	일본평균	-0.045	0.121	-0.205	0.262	0.079	0.038
경량전철 및 모노레일	유형 평균	-0.077	0.139	-0.469	0.182	0.079	0.017
모두생산	유형 평균	-0.047	0.144	-0.365	0.091	0.124	0.010
	한국평균	-0.041	0.138	-0.339	0.060	0.135	0.007
	부산교통공사	-0.029	0.119	-0.247	0.034	0.143	0.005
	대구도시철도공사	-0.043	0.140	-0.312	0.117	0.121	0.014
	인천교통공사	-0.052	0.149	-0.485	0.011	0.136	0.001
	일본평균	-0.054	0.147	-0.383	0.129	0.111	0.014
	도쿄도	-0.072	0.149	-0.506	0.132	0.093	0.012
	오사카시	-0.035	0.132	-0.244	0.116	0.126	0.016
표본평균		-0.056	0.136	-0.311	0.208	0.090	0.025

주1 : 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음
주2 : 비용변경 자료를 이용한 추정치이며, 생산요소 A와 B에 대하여 A/B는 B가격 변화에 대한 A의 수요변화율을 의미함

한편, 노동과 유지보수는 서로 대체관계로 나타났다. 노동가격 1%가 상승하면 유지보수 수요 0.09%가 증가하고, 유지보수 가격이 1% 증가하면 노동수요가 0.136% 증가하는 것으로 추정되어 유지보수 가격에 대한 노동수요의 탄력성이 더 큰 것으로 나타났다. 유지보수 가격이 상승하여 유지보수활동을 덜 하게 된다면, 고장, 사고 등을 유발하게 되므로 이를 예방하거나 해소하기 위하여 더 많은 인력을 투입해야 하므로 추정결과는 타당하다고 할 수 있다. 동력과 유지보수의 관계도 대체관계로 나타났는데, 이는 노동과 유지보수의 관계와 마찬가지로 해석할 수 있다. 따라서 교차가격탄력성은 합리적으로 추정된 것으로 판단된다.

4. 평균가변비용과 한계비용

평균가변비용과 한계비용은 단일산출물만 산출하는 운영기관의 경우 일반적으로 사용하는 평균비용과 한계비용 식을 이용하여 산정하였으며, 두 가지 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운영기관의 경우 산출물의 구성비율을 고정하여 방사평균가변비용을 산정하고 이를 이용하여 한계비용을 산정하였다. 한계비용은 산출물 한 단위를 추가적으로 생산할 때 발생하는 비용으로 평균가변비용보다 낮게 산정된 경우 산출물을 더 생산하더라도 평균가변비용은 증가하지 않는다는 의미이여, 한계비용이 평균가변비용보다 높게 산정된 경우 그 반대이다.

비용변경 접근법을 적용하여 생산비효율이 제거되는 경우 평균가변비용과 한계비용이 어떻게 변화하는지 살펴보기 위하여 비용변경 전 모형과 비용변경 모형의 산정결과를 비교하였다. 도시철도 운영기관별 평균가변비용과 한계비용은 <표 58>과 같다. 그리고 우리나라 도시철도 운영기관의 비용효율적인 조직형태에 관한 시사점을 얻기 위하여 평균가변비용 곡선을 도출하였다. 산출량에 대한 평균가변비용 곡선은 <그림 6>, <그림 7>과 같다. 또한 우리나라 도시철도 운영기관의 통합 또는 분리에 관한 시사점을 얻을 수 있도록 규모(궤도연장)에 따른 평균가변비용 곡선을 <그림 8>과 같이 도출하였다.

먼저 도시철도 운영기관별 평균가변비용과 한계비용을 살펴보면, 비용변경 모형을 이용하여 산정한 평균가변비용과 한계비용은 비용변경 전에 비하여 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 비용변경을 도출하는 과정에서 가변비용에 존재하는 생산비효율이 제거되었기 때문이다.

표본평균의 평균가변비용은 비용변경 전 5,217원/전동차-km[18]로 추정되었고, 비용변경을 통해 생산비효율을 제거하는 경우 4,402원/전동차-km로 15.62% 감소하는 것으로 나타났다. 한계비용은 3,718원/전동차-km로 평균가변비용보다 낮게 추정되었다. 따라서 도시철도 운송업 전

18) 산출물당 가변비용의 산술평균값은 5,183원/전동차-km로 비용변경 전 자료로 추정한 평균가변비용과 유사한 수준으로 나타났다.

반에 대해 산출물을 추가로 생산하는 경우 평균가변비용이 감소할 것이다. 이는 도시철도 운송업 전반에 밀도의 경제가 존재하기 때문이다.

산출형태별 평균가변비용과 한계비용을 살펴보면 중량전철 운송업의 평균가변비용은 4,372원/전동차-km, 한계비용은 3,784원/전동차-km로 추정되었고, 경량전철 및 모노레일 운송업의 평균가변비용은 전동차-km당 4,403원, 한계비용은 3,408원으로 추정되었다. 두 산출물을 모두생산하는 경우 평균가변비용은 5,104원/전동차-km, 한계비용은 4,073원/전동차-km로 추정되어 세 가지 산출형태 중 평균 가변비용이 가장 높았다. 이는 범위의 불경제가 존재하기 때문이다.

<표 58> 평균가변비용과 한계비용

산출형태	구분	평균가변비용 (원/전동차-km)			한계비용 (원/전동차-km)		
		비용변경	비용변경 전	변화율	비용변경	비용변경 전	변화율
중량전철	유형 평균	4,372	5,214	-16.16%	3,784	4,500	-15.91%
	한국평균	4,607	5,643	-18.34%	4,032	4,924	-18.12%
	서울메트로	3,644	4,487	-18.79%	3,713	4,632	-19.84%
	서울도시철도공사	3,433	4,206	-18.39%	3,427	4,245	-19.27%
	대전도시철도공사	6,116	7,484	-18.28%	4,859	5,858	-17.05%
	광주도시철도공사	5,237	6,393	-18.08%	4,130	4,962	-16.77%
	일본평균	4,350	5,175	-15.94%	3,762	4,462	-15.69%
경량전철 및 모노레일	유형 평균	4,403	5,080	-13.32%	3,408	3,802	-10.36%
모두생산	유형 평균	5,104	5,991	-14.81%	4,073	4,900	-16.88%
	한국평균	5,077	5,895	-13.86%	4,064	4,801	-15.35%
	부산교통공사	4,025	4,737	-15.02%	3,201	3,878	-17.46%
	대구도시철도공사	5,234	6,050	-13.49%	4,187	4,931	-15.09%
	인천교통공사	5,973	6,897	-13.40%	4,803	5,595	-14.16%
	일본평균	5,144	6,136	-16.17%	4,087	5,047	-19.02%
	도쿄도	5,941	7,064	-15.91%	4,721	5,819	-18.87%
	오사카시	4,348	5,209	-16.53%	3,452	4,275	-19.25%
전체평균		4,402	5,217	-15.62%	3,718	4,388	-15.27%

주1 : 세이부철도는 두 산출물을 모두 생산하지만 총산출량 중 경량전철 및 모노레일 산출량의 구성비율이 0.23%로 매우적기 때문에 모두생산 평균값 산정시 제외하였음
주2 : 유형별 평균값은 개별관찰점에서 산정된 값을 평균하여 산정하였음

국가별로는 한국 중량전철 운송업의 평균 가변비용이 일본 중량전철 운송업보다 높고, 두 산출물을 모두 생산하는 경우 일본이 한국보다 높다. 특히 한국 중량전철 운송업의 경우 일본에 비하여 비용변경에 따른 평균가변비용 감소율이 높았다. 이는 비효율[19]로 인해 추가적으로 발생한 비용이 많다는 의미이다.

우리나라 도시철도 운영기관 중 서울메트로와 서울도시철도공사의 평균가변비용이 상대적으로 낮다. 이는 규모의 경제가 존재하기 때문이다. 따라서 상대적으로 규모가 큰 서울메트로와 서울도시철도공사의 평균가변비용이 낮은 것이다[20]. 특히 서울메트로의 경우 한계비용이 평균가변비용보다 높게 추정되어 산출물을 추가적으로 생산하는 경우 평균가변비용이 증가한다. 이는 서울메트로의 비용구조에는 밀도의 불경제가 존재하고, 현재 운행밀도가 높기 때문이다. 한편, 서울의 도시철도 운영기관을 제외한 나머지 도시철도 운영기관의 평균가변비용은 기초자료를 이용하여 산정한 값보다 낮게 추정되었음에도 불구하고 다른 도시철도 운영기관보다 높게 나타났다. 한국 도시철도 운영기관의 대부분은 지하철노선을 운영하기 때문에 전반적으로 비용이 높게 나타난 것으로 판단된다.

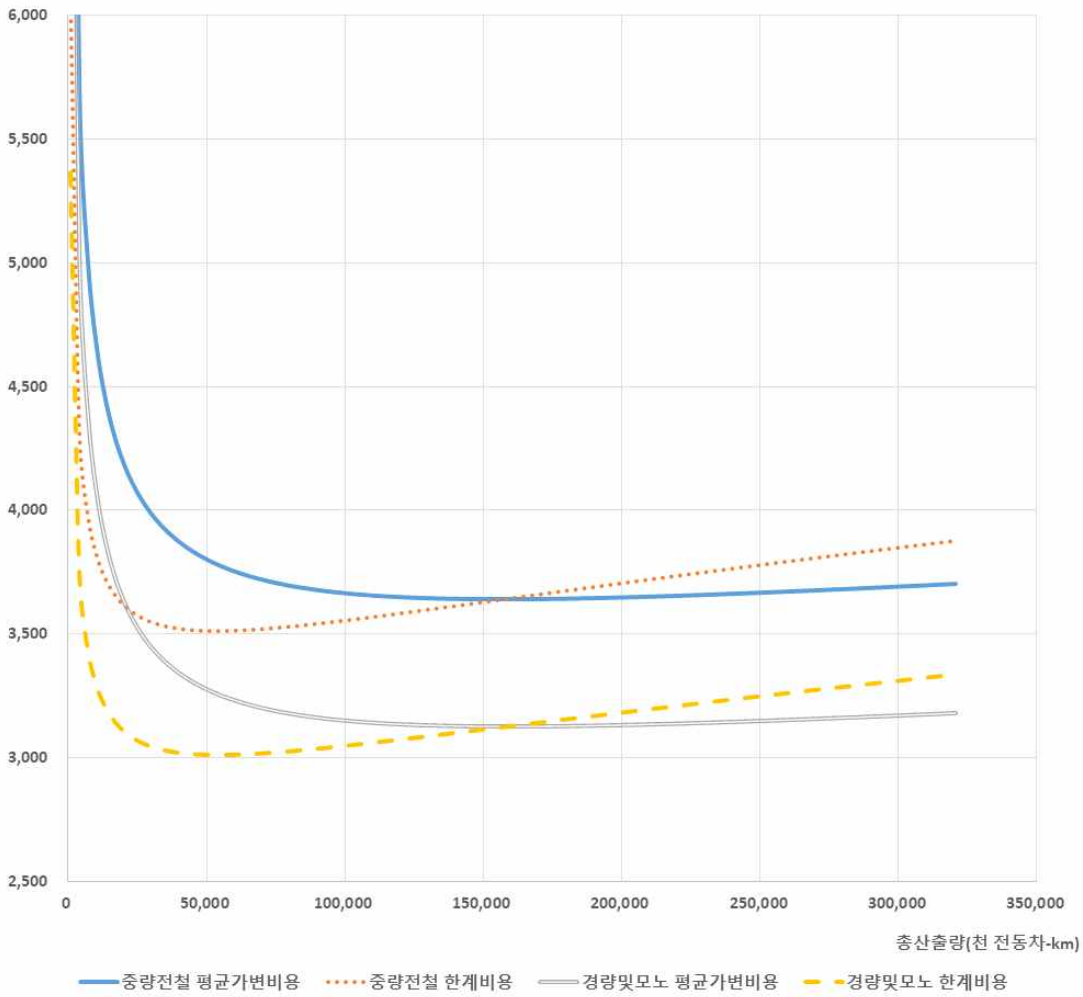
이들 도시철도 운영기관은 밀도의 경제가 존재하기 때문에 운행횟수를 늘려 평균가변비용을 줄일 수 있을 것이다. 그러나 이들 도시철도 운영기관이 운행밀도를 늘리더라도 수요가 충분하지 않다면, 수익성은 더욱 악화될 것이다. 따라서 도시철도 운영기관의 운행횟수를 늘리는 것은 신중하게 결정해야 할 것이다.

도시철도 운송업의 평균가변비용과 한계비용 곡선인 <그림 6>과 <그림 7>은 궤도연장과 산출물 구성비율, 생산요소 가격을 고정하고 총산출물을 변수로 하여 도출하였다. 이는 평균가변비용의 최소값을 가지는 점의 총산출량을 파악할 수 있어, 도시철도 운영기관이 산출물을 늘리거나 줄이는 것에 대한 의사결정에 필요한 정보를 제공한다. 중량전철 또는

19) 확률적 프론티어 방법을 이용하는 경우 관찰된 비용에 존재하는 통제가능한 비효율을 제거하여 변경된 비용을 도출하기 때문에 일반적으로 비용이 감소하게 된다.

20) 기초자료를 이용하여 산정한 서울메트로와 서울도시철도공사의 평균가변비용도 각각 전동차-km당 5,312원, 5,122원으로 상대적으로 낮았다.

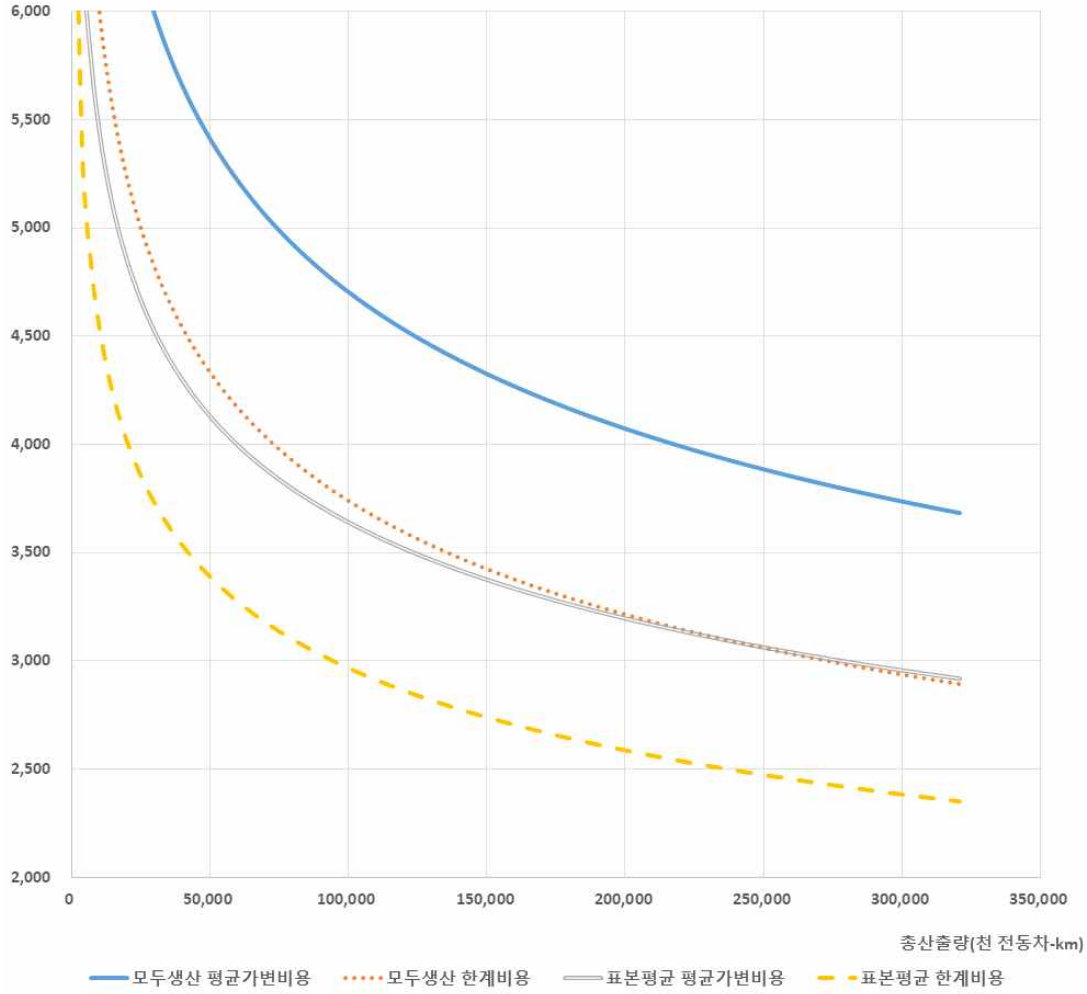
경량전철 및 모노레일 산출물만 생산하는 단일산출물 도시철도 운송업의 평균가변비용과 한계비용 곡선은 <그림 6>과 같고, 두 산출물을 동시에 생산하는 다수산출물 도시철도 운송업의 비용곡선은 <그림 8>이다.



<그림 6> 단일산출물 도시철도 운송업의 평균가변비용과 한계비용 곡선

단일 산출물 도시철도 운송업의 평균가변비용곡선과 한계비용곡선을 살펴보면 중량전철의 경우 총산출량 155,943 천 전동차-km에서 평균 가변비용곡선과 한계비용 곡선이 교차하고, 경량전철 및 모노레일의 경우 총산출량 159,177 천 전동차-km에서 두 곡선이 교차한다. 두 곡선의 교차점은 평균가변비용이 최소값을 가지는 점이다. 이 점에서 평균가변비

용은 중량전철의 경우 3,639원/전동차-km, 경량전철 및 모노레일의 경우 3,125원/전동차-km이다.



<그림 7> 다수산출물 도시철도 운송업의 평균가변비용과 한계비용 곡선

중량전철 운송업의 평균 산출물이 60,712 천 전동차-km, 경량전철 및 모노레일의 경우 8,839 천 전동차-km인 것을 고려하면 평균가변비용을 극소화 하기 위해서는 현재보다 산출량을 상당히 많이 늘려야 한다는 것을 의미한다. 밀도의 경제가 존재하기 때문에 산출량을 늘리는 경우 평균비용이 감소하게 된다. 한편, 이점에서 운행밀도는 중량전철의 경우 969 천 전동차-km/궤도 km, 경량전철 및 모노레일의 경우 5,118 천 전

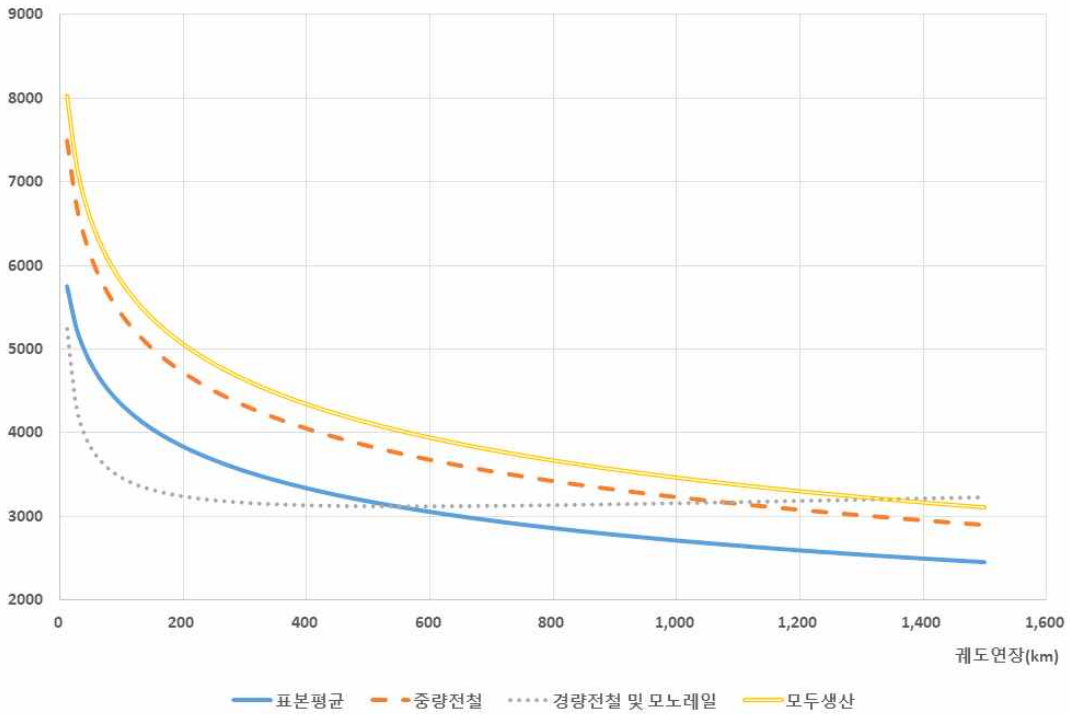
동차-km/궤도 km로 다소 비현실적인 값이 나타났다[21]. 이러한 결과가 나타난 이유는 궤도연장을 고정하였기 때문이다. 중량전철 운송업의 평균 궤도연장은 160.94km, 경량전철 및 모노레일 운송업은 31.10km로 궤도 연장이 짧아 산출물을 평균 궤도연장으로 나누면 운행밀도가 높게 산정된다. 실제로 산출물을 늘리고자 한다면 궤도를 추가로 건설해야 할 것이다. 다수산출물 도시철도 운송업인 모두생산하는 경우와 도시철도 운송업 전체의 방사평균가변비용곡선과 한계비용곡선은 표본 내 최대산출량까지 교점이 없다. 또한 한계비용곡선은 방사평균가변비용곡선의 아래에 위치하고 있어 산출량을 늘리는 경우 평균가변비용이 감소한다. 이는 표본의 최대산출량까지 밀도의 경제가 존재한다는 의미이다. 이는 운행밀도와 밀도의 경제성지수의 관계를 나타낸 <그림 2>와 같은 맥락의 결과이다.

마지막으로 <그림 8>은 운행밀도와 산출물의 구성비율을 고정하고 궤도연장에 대하여 도출된 평균가변비용곡선이다. 궤도연장은 도시철도 운영기관의 규모를 나타내는 변수로 만약 도시철도 운영기관의 궤도연장이 평균가변비용곡선의 우상향 하는 구간에 위치하는 경우 도시철도 운영기관의 규모를 늘리면 평균가변비용이 증가하게 된다. 반대로 우하향하는 구간에 위치한다면 신규노선을 건설하거나 도시철도 운영기관을 통합하여 규모를 확장하면 평균가변용이 감소하게 된다. 따라서 도시철도 운영기관의 규모에 따른 평균가변비용곡선은 도시철도 운영기관의 적정규모에 대한 시사점을 제공한다.

표본평균에서 도출한 도시철도 운송업 전반의 평균가변비용곡선은 우하향한다. 또한 중량전철 운송업과 두 산출물을 모두생산하는 경우도 평균가변비용곡선이 우하향한다. 이는 도시철도 운영기관의 규모가 커질수록 평균가변비용이 감소하는 것을 의미한다. 반면, 경량전철 및 모노레일 운송업의 평균가변비용곡선은 우하향하다가 궤도연장 553km이후 우상향한다. 따라서 경량전철 및 모노레일 운송업의 경우 도시철도 운영기관의 궤도연장이 553km보다 긴 경우 규모의 불경제가 존재하여 궤도연장을

21) 현재 평균 운행밀도는 중량전철 운송업의 경우 377 천 전동차-km/궤도 km, 경량전철 및 모노레일의 경우 284 천 전동차-km/궤도 km이다.

증가시키는 경우 평균 가변비용이 증가한다. 이러한 결과는 경량전철 및 모노레일 노선의 경우 대체로 궤도연장이 짧고, 경량전철 및 모노레일 운영기관은 1개 또는 2개의 노선만 운영하기 때문인 것으로 추론할 수 있다.



<그림 8> 도시철도 운송업의 평균가변비용곡선

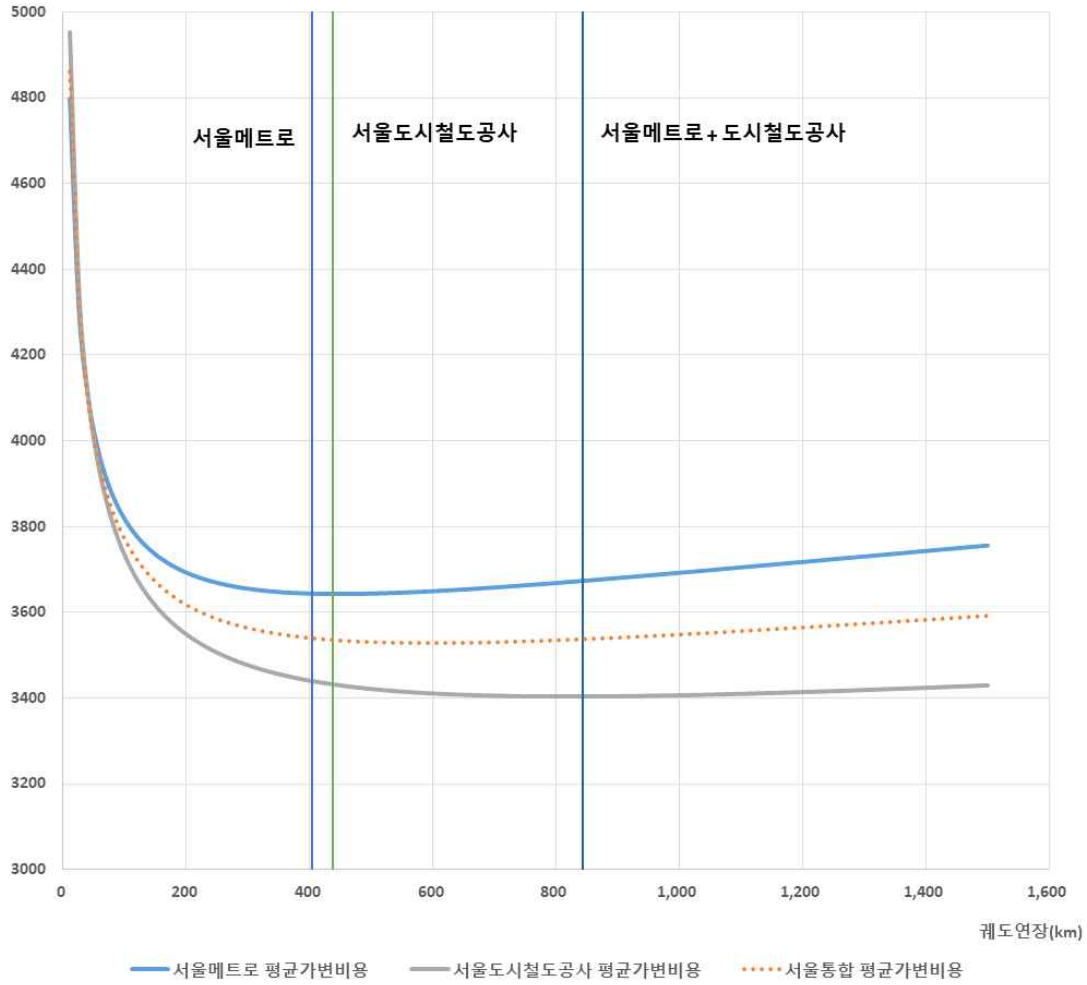
총산출량과 궤도연장에 대한 가변비용함수 곡선은 우리나라 도시철도 운영기관의 조직형태와 운행계획 수립에 대한 많은 시사점을 제공한다. 먼저 총산출량에 따른 평균비용 곡선을 이용하여 현재 우리나라 도시철도 운영기관의 생산량이 적절한지 파악할 수 있다. 중량전철 운송업의 총산출량에 따른 평균비용 곡선과 한계비용 곡선은 155,943 천 전동차-km에서 교차한다. 이는 평균가변비용을 최소화 할 수 있는 산출량 규모로 서울메트로의 산출량은 이보다 많고, 서울도시철도 공사의 총산출량은 이와 유사한 수준이다. 서울메트로의 경우 최적산출량보다 더 많은 산출물을 생산하고 있어 산출량을 줄이는 것이 평균가변비용을 줄일 수

있고, 서울도시철도공사의 경우 최적산출량과 유사한 수준의 산출물을 생산하고 있기 때문에 산출량을 변화하지 않는 것이 비용관점에서 가장 바람직할 것이다. 실제로 밀도의 경제성 지수를 살펴보면 서울메트로는 밀도의 불경제가 존재하며, 서울도시철도공사의 경우 밀도의 경제가 존재하지만 밀도의 경제성 지수의 크기가 작다. 서울의 두 도시철도 운영기관의 통합 문제는 총산출량 관점에서는 현재의 상태를 유지하는 것이 바람직 하지만 규모의 경제가 존재하기 때문에 규모별 평균가변비용 곡선을 살펴보아야 할것이다. 중량전철 운송업의 경우 궤도연장 1500km까지 계속 우하향 하기 때문에 규모를 확장하는 것이 가변비용을 줄이는 방안이 될 것이다. 서울메트로와 서울도시철도공사의 궤도연장의 합은 843.12km로 두 도시철도 운영기관을 통합하더라도 여전히 평균 가변비용을 줄일 수 있게 된다. 따라서 규모의 관점에서는 두 운영기관의 통합이 바람직 하다고 할 수 있다. 이렇게 두 가지 관점에서 서로 다른 방안을 시사하고 있기 때문에 서울의 두 도시철도 운영기관이 통합하는 경우를 가정하여 본 연구에서 추정한 모형을 이용하여 평균가변비용과 한계비용 그리고 밀도 및 규모의 경제성 지수를 산정하여 살펴보았다. 두 도시철도 운영기관을 통합하는 경우 산출량과 궤도연장을 그대로 유지한다고 가정하였다. 서울메트로와 서울도시철도공사의 궤도연장에 따른 평균가변비용곡선은 <그림 9>와 같고, 가변비용 분석결과는 <표 59>와 같다.

<표 59> 서울 도시철도 운영기관의 통합에 따른 비용특성

구분	가변비용 (백만 원)	평균 가변비용 (원/전동차-km)	한계비용 (원/전동차-km)	밀도의 경제성 지수	규모의 경제성 지수	총산출량 (천 전동차-km)	궤도연장 (km)	운행밀도 (천 전동차-km /궤도 km)
서울메트로 +서울도시철도공사	761,090	3,537	3,732	0.948	0.986	361,403	843.12	428.65
서울메트로	523,638	3,644	3,713	0.981	1.004	208,865	404.70	516.10
서울도시철도공사	1,278,154	3,433	3,427	1.002	1.027	152,538	438.42	347.92

주 : 비용변경 모형을 이용하여 산정함



<그림 9> 서울메트로와 서울도시철도공사의 평균가변비용곡선

현재 서울메트로와 서울도시철도공사의 현재 궤도연장에서 평균가변비용을 살펴보면, 서울메트로의 경우 최저점 부근에 위치하고 있고, 서울도시철도공사의 궤도연장은 현재 평균가변비용이 우하향하는 위치에 있다. 따라서 서울메트로의 경우 규모를 확장하여 궤도연장이 늘어나는 경우 평균가변비용이 증가하고, 서울도시철도공사는 궤도연장을 늘리면 평균가변비용이 감소하게된다. 서울의 두 도시철도 운영기관을 통합하는 경우의 궤도연장은 843km으로 증가하게 되는데 서울메트로의 가변곡선 비용곡선을 따르는 경우 평균가변비용이 서울메트로 보다 증가하고, 서울도시철도공사의 경우 평균가변비용이 감소한다. 서울의 두 도시철도

운영기관을 통합하는 경우 평균가변비용이 최소가 되는 점의 궤도연장은 600km로 두 도시철도 운영기관을 통합하게 되면 평균가변비용은 이보다 더 높아지게 된다. 두 도시철도 운영기관을 통합하는 경우 통합된 운영기관의 규모는 최적규모보다 크다고 할 수 있다.

서울메트로와 서울도시철도공사를 통합하는 경우 가변비용은 연간 6,575백만 원 감소하고, 평균 가변비용은 서울메트로보다 낮아지고 서울도시철도공사보다 높아진다. 한계비용의 경우 평균가변비용보다 더 높게 추정되었다. 이는 산출물을 추가로 생산하는 경우 평균가변비용이 증가함을 의미한다. 두 도시철도 운영기관을 통합하는 경우 밀도의 경제성 지수는 0.986으로 통합 전에 비하여 감소하여 밀도의 불경제가 존재하는 것으로 추정되었다. 규모의 경제성 지수도 통합 전에 비하여 감소하여 규모의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다.

이러한 결과로부터 서울도시철도 운영기관의 통합은 비용관점에서 타당하지 못하다는 결론을 도출할 수 있다. 그러나 이는 현재 서울메트로와 서울도시철도공사의 고용수준, 근로조건, 임금, 산출량 등 현재의 체계를 그대로 유지한 상태를 가정하였을 때 도출된 결과로 실제 두 도시철도 운영기관을 통합하는 경우 산출량은 그대로 유지될 수 있으나 근로조건, 고용수준, 임금 등은 변화할 수 있기 때문에 두 도시철도 운영기관의 통합문제는 이러한 요소를 고려하여 결정해야 할 것이다.[22)]

한편, 서론에서 언급한 바와 같이 도시철도 운영기관의 소유구조와 차량형식이 다양해 지고 있다. 우리나라의 도시철도 운영기관 중 부산, 대구, 인천은 중량전철 외에도 경량전철과 모노레일형식의 도시철도 노선을 함께 운영하고 있다. 하지만 범위의 경제를 살펴본 결과 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 이는 가변비용의 증가요인이 된다. 한편, 두 산출물을 모두 생산하는 경우 규모의 경제가 존재하는 것으로 추정되었는데 이는 가변비용의 절감요인이다. 만약 이들 도시철도운영기관

22) 두 도시철도 운영기관을 통합하는 경우 관제, 일반사무관리 등의 두 도시철도 운영기관에 공통적으로 존재하는 부문의 고용변화, 근로조건, 임금의 변화가 발생할 것으로 예상된다.

이 차량형식별로 중량전철과 경량전철 및 모노레일 노선을 별개의 운영기관으로 분리하여 운영하는 경우 규모의 경제효과와 범위의 경제 효과 중 어떤 효과가 더 크게 나타나는지 살펴볼 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 부산, 대구, 인천 도시철도 운영기관이 각각 중량전철 부문과 경량전철 및 모노레일 부문으로 나누어 운영하는 경우 가변비용에 어떠한 차이가 나타나는지 분석하였다. 부산, 대구, 인천 도시철도 운영기관의 산출물 특성은 <표 60>과 같다. 부산, 대구, 인천 도시철도 운영기관을 산출물별로 분리하는 것을 가정하여 분석한 가변비용, 평균가변비용, 비용특성은 <표 61>과 같다.

<표 60> 부산, 대구, 인천 도시철도 운영기관의 산출물 특성

구분	총산출량 (천 전동차-km)	구성비율(%)		궤도연장 (km)	운행밀도 (천 전동차-km /궤도 km)
		중량전철	경량전철 및 모노레일		
부산교통공사	81,990	90.29	9.71	301.65	271.81
중량전철	74,028	100	0	272.98	271.18
경량 및 모노	7,961	0	100	28.67	277.68
대구도시철도공사	46,109	83.25	16.75	224.09	205.76
중량전철	38,385	100	0	171.01	224.46
경량 및 모노	7,724	0	100	53.08	145.52
인천교통공사	29,403	86.84	13.16	115.17	255.31
중량전철	25,534	100	0	55.67	458.67
경량 및 모노	3,869	0	100	59.50	65.03

우리나라 도시철도 운영기관 중 중량전철 산출물과 경량전철 및 모노레일 산출물을 함께 운영하는 부산교통공사, 대구도시철도공사, 인천교통공사의 산출물 특성을 살펴보면 총산출물은 부산교통공사가 가장 많고, 경량전철 및 모노레일 비율은 대구도시철도공사가 가장 높다. 총 궤도연장은 부산교통공사가 가장 길지만, 경량전철 및 모노레일 노선의 궤도연장은 인천교통공사가 가장 길다. 이 세 운영기관을 산출물별로 분리하는 경우 부산교통공사의 운행밀도는 거의 변하지 않지만, 대구도시철도공사와 인천교통공사의 중량전철 부문의 운행밀도가 높아지고 경량전철 및

모노레일 부문의 밀도는 낮아진다. 특히 인천교통공사 중량전철부문의 운행밀도가 매우 높아진다.

산출물별로 도시철도 운영기관을 분리하여 운영하는 경우 부산교통공사의 가변비용은 10.65% 감소, 대구도시철도공사의 가변비용은 24.10% 감소, 인천교통공사의 가변비용은 23.61% 감소한다. 평균가변비용도 전체적으로 감소한다. 부산교통공사의 경우 중량전철 부문을 분리하여 운영하는 경우 11.40% 감소하고, 경량전철 및 모노레일 부문은 3.55%감소하는 것으로 나타났다. 대구도시철도공사는 세 운영기관 중 평균가변비용의 감소율이 가장 높다. 대구도시철도공사의 중량전철 부문을 분리하여 별도의 운영기관에서 운영하는 경우 평균가변비용은 24.99% 감소하고, 경량전철 및 모노레일 부문의 평균가변비용은 19.62% 감소한다. 인천교통공사는 중량전철 부문에서 26.34%, 경량전철 및 모노레일 부문에서 5.61% 평균가변비용이 절감될 수 있는 것으로 분석되었다.

<표 61> 부산, 대구, 인천의 산출물별 분리에 따른 가변비용

구분	가변비용 (백만 원)	평균가변비용 (원/전동차-km)	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수	범위의 경제성지수
부산교통공사	330,041	4,025	1.258	1.283	-0.105
중량전철	263,989	3,566	1.052	1.067	-
경량 및 모노	30,904	3,882	1.376	1.302	-
합계	294,893	-	-	-	-
대구도시철도공사	241,340	5,234	1.25	1.265	-0.241
중량전철	150,682	3,926	1.103	1.107	-
경량 및 모노	32,495	4,207	1.378	1.332	-
합계	183,177	-	-	-	-
인천교통공사	175,620	5,973	1.244	1.235	-0.228
중량전철	112,339	4,400	1.137	1.107	-
경량 및 모노	21,813	5,638	1.476	1.43	-
합계	134,152	-	-	-	-

주 : 비용변경 모형을 이용하여 산정하였고, 가변비용은 모형 추정치임.

두 산출물을 함께 생산하는 경우 범위의 불경제가 존재하기 때문에

이들을 산출물 별로 분리하여 별도의 운영기관에서 생산하는 경우 가변비용이 크게 감소하기 때문에 평균 가변비용도 감소하여 생산효율성이 개선될 것이다. 밀도 및 규모의 경제성은 두 부문을 분리하기 전 세 도시철도 운영기관 모두 밀도의 경제와 규모의 경제가 존재한다. 두 부문을 분리하더라도 밀도 및 규모의 경제성 지수는 모두 1 이상으로 추정되어 밀도와 규모의 경제효과는 그 크기만 약간 변동될 것이다. 중량전철 부문의 밀도와 규모의 경제성 지수의 크기가 약간 감소하고 경량전철 및 모노레일 부문의 밀도와 규모의 경제성 지수는 약간 증가한다.

정리하면 두 산출물을 동시에 생산하는 경우 규모의 경제의 효과보다 범위의 불경제효과가 더 크게 존재한다. 따라서 두 산출물을 각각 별도의 운영기관으로 분리하여 생산하는 것이 비용관점에서 더 바람직 할 것이다. 범위의 불경제가 발생한 원인은 두 산출물을 생산하는데 있어 공유할 수 있는 부분이 적기 때문이다. 그러나 이 또한 서울 도시철도 운영기관의 통합문제와 마찬가지로 현재의 도시철도 운영기관의 근로조건, 임금, 산출량 등을 그대로 유지하는 것으로 가정한 결과이다. 실제 현재 도시철도 운영기관을 차량형식별로 분리하는 경우 관제, 일반사무관리 부분 등의 추가적인 인력투입이 발생할 것이며, 근로조건과 임금수준, 산출량이 변화할 수 있기 때문에 이러한 요소의 변화에 따른 비용관점의 영향을 면밀하게 검토하여야 할 것이다.

마지막으로 도시철도 운영기관을 민간부문에서 운영하는 경우 비용을 얼마나 절감할 수 있는지 살펴보고자 한다. 최근 몇 년 간 도시철도 노선을 민간투자로 건설하고 민간부문에서 직접 운영하는 사례가 늘고 있다. 민간부문의 투자는 도시철도 건설에 대한 정부재정 부담을 완화하고 효율적인 운영을 통하여 비용을 절감할 수 있을 것이라고 인식되고 있다. 그러나 선행연구에서 지적한 바와 같이 민간부문에서 도시철도 노선을 운영하는 경우 재정투명성이 낮고, 계약방식에 따라 보조금이 존재하는 경우 오히려 생산효율성이 공영운영기관보다도 낮아질 수 있다. 이뿐만 아니라 위험회피비용, 거래비용 등의 거버넌스비용이 추가적으로 발생하여 오히려 더 많인 비용이 소요될 가능성도 존재한다. 따라서 합리

적인 의사결정을 위하여 소유구조별로 절감할 수 있는 비용이 얼마나 되는지에 대한 실증적인 분석이 필요하다. 소유구조별로 비용을 얼마나 절감할 수 있는지 살펴보기 위하여 우리나라 도시철도 운영기관 중 서울메트로와 광주도시철도공사가 민영으로 운영되는 경우 가변비용을 얼마나 절감할 수 있는지 살펴보았다. 결과는 <표 62>와 같다.

<표 62> 우리나라 도시철도 운영기관의 민영화에 따른 가변비용

구분	가변비용 (백만 원)	평균 가변비용 (원/전동차-km)	한계비용 (원/전동차-km)
서울메트로(공영)	761,090	3,644	3,713
서울메트로(민영)	600,037	2,873	2,927
광주도시철도공사(공영)	33,763	5,237	4,130
광주도시철도공사(민영)	26,618	4,129	3,256

주 : 비용변경 모형을 이용하여 산정함.

서울메트로와 광주도시철도공사를 민간이 운영한다면 현재보다 가변비용이 약 21% 감소하는 것으로 나타났다. 서울메트로를 현재와 같이 공공부문에서 운영하는 경우 가변비용은 연간 76,1090백만 원 발생하지만 민간에서 운영하는 경우 가변비용은 600,037백만 원으로 감소하여 연간 약 1,600억원 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 광주도시철도공사의 경우 민간에서 운영하는 경우 가변비용이 연간 약 71억원 감소한다. 산출량과 궤도연장, 요소가격과 투입량을 그대로 유지하는 것으로 가정하였기 때문에 평균가변비용과 한계비용도 모두 동일한 비율로 21% 감소[23]하였다. 이와 같은 결과에 따르면 공영 도시철도 운영기관을 민간에서 운영하는 경우 비용을 21% 절감할 수 있기 때문에 비용관점에서는 도시철도 운영을 민간에서 하는 편이 타당하다. 그러나 앞서 언급한 추가적으로 발생할 수 있는 비용을 고려해야할 것이다.

23) 본 연구에서 추정한 가변비용함수에서 소유구조의 효과는 1차항 특성변수로 반영하였기 때문에 공영운영기관을 민영화하는 경우 가변비용의 $1-e^{\beta_{D_3}}$에 해당하는 금액을 절감할 수 있다.

제 6 장 결론

제 1 절 연구결과의 요약 및 정책적 시사점

본 연구에서는 한국과 일본의 도시철도 운영기관을 대상으로 도시철도 운송업의 가변비용 함수를 추정하고 비용특성을 분석하였다. 생산요소로 노동, 동력, 유지보수를 고려하였고, 네트워크 효과와 밀도 및 규모의 경제성 지수 분석을 위하여 궤도연장을 설명변수로 추가하였다. 이외에도 국가 특성변수, 도시철도 운영기관의 소유구조별 특성변수(공영, 준공영, 민영)를 추가하여 도시철도 운영기관의 특성을 고려하였다. 도시철도 운영기관의 산출물은 다수산출물을 생산하는 것으로 가정하고, 산출물을 중량전철 산출물과 경량전철 및 모노레일 산출물로 구분하였다. 비용함수는 트랜스로그 함수형태로 구축하였으며, 비용변경접근법인 확률적 프론티어 방법을 적용하여 추정하였다. 가변비용함수 추정결과 계수추정치는 합리적으로 추정되었으며 특히 2차항 계수추정치의 유의도가 높게 추정되어 동조성, 동차성, 콥-더글라스 생산기술에 대한 가정을 모두 기각할 수 있었다. 도시철도 운영기관의 특성을 나타내는 소유구조특성변수와 국가별특성변수도 통계적으로 유의하게 추정되었다. 또한 요소가격에 대한 비감소성, 오목성, 산출량에 대한 단조성 조건도 만족시키며 제1종실패와 제2종실패가 발생하지 않아 이론적으로 효율적인 프론티어를 도출할 수 있었다. 추정된 가변비용함수로부터 분석한 비용특성에 관한 주요 연구결과와 이로부터 얻을 수 있는 정책적 시사점은 다음과 같다.

한국과 일본의 도시철도 운송업 전체에는 밀도의 경제와 규모의 경제가 존재하는 것으로 나타났다. 산출형태별로는 중량전철 운송업과 경량전철 및 모노레일운송업 그리고 두 산출물을 모두 생산하는 도시철도 운송업의 밀도의 경제성 지수는 각각 1.067, 1.253, 1.255으로 추정되어 모두 밀도의 경제가 존재하고, 규모의 경제성 지수는 각각 1.069, 1.195,

1.272로 규모의 경제도 모두 존재한다.

우리나라 도시철도 운영기관의 밀도와 규모의 경제성 지수 추정결과 서울메트로에 밀도의 불경제가 존재하는 것을 제외하면 모든 도시철도 운영기관에 밀도와 규모의경제가 존재하는 것으로 나타났다. 규모가 큰 서울의 두 도시철도 운영기관보다 규모가 작은 도시철도운영기관의 밀도와 규모의 경제성 지수가 더 높게 추정되었다. 밀도의 경제성 지수는 도시철도 운영기관의 운행횟수에 대한 시사점을 제공하고, 규모의 경제성 지수는 도시철도 운영기관의 통합과 분리 등의 조직형태에 대한 시사점을 제공한다.

먼저 본 연구에서 추정한 밀도와 규모의 경제성 지수를 바탕으로 서울 두 도시철도 운영기관의 통합의 타당성을 살펴본 결과 통합된 운영기관은 밀도와 규모의 불경제가 존재하고, 규모가 최적규모보다 크기 때문에 평균가변비용이 극소화된다고 할 수 없어 두 도시철도 운영기관의 통합은 비용관점에서 타당하지 않다는 점을 시사하고 있다. 비록 본 연구에서는 두 도시철도 운영기관의 통합에 따른 산출량, 임금, 근로조건 등의 변화가 발생하지 않는 것으로 가정하였지만, 이러한 추정결과와 분석틀은 의미있는 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

한국과 일본의 도시철도 운송업 전체에는 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 범위의 경제성 지수는 중량전철 산출물 비율과 비례하며, 두 가지 산출물을 모두 생산하면서 중량전철 산출물의 비율이 96% 이상(경량전철 및 모노레일 산출물의 비율이 4%이하)인 경우 범위의 경제가 존재하지만, 중량전철 산출물의 비율이 낮은 경우 범위의 불경제가 존재하는 것으로 나타났다. 실제로 두 산출물을 동시에 생산하는 우리나라 도시철도 운영기관 세 곳을 대상으로 두 부문의 분리에 따른 가변비용변화를 살펴본 결과 가변비용이 10.65%~24.10% 감소하는 것으로 추정되었다. 밀도와 규모의 경제 효과보다 범위의 불경제 효과가 더 크게 존재하기 때문에 두 산출물을 한 운영기관에서 동시에 생산하는 것보다 산출물별로 운영기관을 나누어 운영하는 것이 비용관점에서 타당하다고 할 수 있다. 도시철도 운영기관의 분리문제 역시 도시철도 운영기관의

통합문제와 마찬가지로 도시철도 운영기관을 차량형식별로 분리하는 경우 산출량, 임금, 근로조건 등의 변화가 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 그러나 실제로 두 도시철도 운영기관을 산출물별로 분리하는 경우 추가적으로 발생하는 비용이 존재하기 때문에 실제 절감되는 비용은 분석결과보다 적을 것으로 판단된다. 따라서 운영기관을 분리함에따라 추가로 발생하는 비용을 면밀히 검토해야 할 것이다.

다음으로 평균가변비용과 한계비용을 살펴본 결과 대부분의 도시철도 운영기관은 한계비용이 평균가변비용보다 작게 나타나 현재보다 산출량을 늘리는 경우 평균가변비용이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 밀도의 경제성지수 추정결과와도 일치하는 결과이다. 그러나 도시철도 운영기관의 차량보유대수, 운전인력 등의 생산요소는 첨두시의 최대운행횟수를 기준으로 산정되기 때문에 현재상태를 유지하면서 도시철도 운영기관의 운행횟수를 늘린다는 것은 비첨두시 운행횟수를 늘린다는 것이라고 할 수 있다. 하지만 수익성의 관점에서는 비첨두시 이용수요가 충분하지 않은 경우 비첨두시 운행횟수를 늘리는 것은 바람직하지 않기 때문에 운행횟수를 늘릴지 여부는 이용수요를 고려하여 결정해야 할 것이다.

확률적 프론티어 방법을 이용하여 비용변경을 도출하는 경우 도시철도운송업 전반의 평균가변비용이 15.62%감소하는 것으로 나타났다. 비용변경에 따른 평균가변비용 감소율은 중량전철 운송업에서 가장 크게 나타났다. 국가별로는 한국 도시철도운영기관의 감소율이 일본보다 높게 나타났다. 이는 한국 도시철도 운영기관에 더 많은 비효율이 존재한다는 의미이므로 한국 도시철도 운영기관의 생산효율성을 개선해야 할 필요성이 있음을 시사한다. 한국 도시철도 운영기관의 경우 노동생산성이 일본에 비하여 매우 낮은 것으로 나타났기 때문에 생산효율성을 개선하기 위해서는 인력을 감축할 필요성이 있다. 특히 역무와 유지보수부문의 구조조정을 통해 노동생산성을 제고해야 할 것이다. 역무의 경우 우리나라도시철도의 역무자동화시설이 100% 설치되어있음에도 불구하고 노동생산성이 낮게 나타났기 때문에 인력감축의 필요성이 매우 높다고 할 수 있다[24].

한편, 소유구조가 가변비용에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 서울메트로와 광주교통공사의 민영화를 가정하여 가변비용 변화를 분석한 결과 두 운영기관을 민간에서 운영하면 서울메트로의 경우 연간 1600억원, 광주도시철도공사는 연간 71억의 가변비용을 절감할 수 있는 것으로 추정되었다. 이는 현재 가변비용의 약 21%로 민영화를 통해 상당한 비용절감을 달성할 수 있음을 시사한다. 그러나 민간부문에서 도시철도 노선을 운영하는 경우 재정투명성이 낮고, 계약방식에 따라 보조금이 존재하는 경우 오히려 생산효율성이 공영운영기관보다도 낮아질 수 있기 때문에 민영화에 대한 신중한 검토가 필요할 것이다. 이뿐만 아니라 위험회피비용, 거래비용 등의 거버넌스비용이 추가적으로 발생하여 오히려 더 많은 비용이 소요될 가능성도 존재하기 때문에 절감되는 비용이 이보다 큰 경우에만 민영화를 검토해야 할 것이다.

24) Mizutani(1993)에서도 역무자동화시설이 역무의 노동생산성을 높이지 못한다고 지적하고 있다.

제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구에서는 확률적 프론티어 방법을 이용하여 한국과 일본 도시철도운송업의 다수산출물 가변비용함수를 추정하였다. 그 결과 우리나라 도시철도 운영기관의 경영효율성을 개선할 수 있는 의미있는 시사점을 도출할 수 있었다. 하지만 다음과 같은 몇 가지 한계점이 존재하고 이에 대한 향후 연구방향은 다음과 같다.

첫 번째로 가변비용함수 추정에 사용한 자료의 한계이다. 비용함수 추정을 위한 한국과 일본의 자료를 수집하는 데 있어 통계작성방법의 차이와 회계항목의 차이가 존재한다. 이러한 차이에서 기인하는 오차를 완전하게 통제하지 못하였다. 특히 회계항목의 차이로부터 기인한 오차는 비용특성을 왜곡할 수 있기 때문에 본 연구와 다른 기준으로 비용에 대한 자료를 구축하는 경우 결과가 다르게 나타날 수 있을 것이다. 대표적인 예로 인건비 항목이다. 한국의 경우 인건비성 복리후생비라는 계정과목이 존재하여 복리후생비의 일부가 인건비로 계상된다. 반면에 일본의 경우 인건비성 복리후생비라는 계정과목은 존재하지 않기 때문에 이러한 비용이 실제 복리후생비에 포함되어있는지 확인할 수 없었다. 이외에도 한국의 도시철도 운영기관은 철도운송업의 분리회계가 작성되어있지 않아 다른 사업영역과 공유되는 비용을 분리하는데 한계가 존재하였다. 반면, 일본의 경우 우리나라보다 다양한 사업을 영위하고 있지만 철도운송업의 분리회계를 제공하고 있기 때문에 한국 도시철도 운영기관의 비용이 약간 높게 나타났을 개연성이 있다. 이러한 한계점은 향후연구에서도 개선하는데 여전히 한계가 존재할 것으로 판단된다.

이외에도 국가별로 제공되는 통계항목의 차이가 존재하기 때문에 가변비용함수의 설명변수로 사용할 수 있는 변수가 제한적이었다. 다양한 특성변수를 추가하는 경우 모형의 설명력이 향상되고 다양한 관점의 해석이 가능하다. 그러나 사용할 수 있는 변수가 제한적이어서 다양한 특성변수를 고려하지 못하였다. 본 연구에서 고려하지 못한 특성변수를 비용함수에 추가한다면 결과에 대한 다양한 관점에서 해석이 가능하여 더

많은 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

두 번째로 비용함수의 형태이다. 본 연구에서는 비교적 유연한 트랜스로그 비용함수를 구축하였다. 트랜스로그 비용함수는 평균점에서 테일러 시리즈로 전개하여 근사하기 때문에 사용한 자료의 왜도가 높거나 첨도가 낮은 경우 근사할 수 있는 영역이 줄어들게 된다. 본 연구의 대상인 도시철도 운영기관의 규모의 차이가 크기 때문에 평균에서 멀어지는 경우 오차가 증가하게 된다. 실제로 가변비용과 산출량의 분포를 살펴보면 분포가 왼쪽으로 약간 치우치는 형태의 분포가 나타났다. 만약 전역근사가 가능한 푸리에함수 등의 함수형태를 사용하여 추정한다면 보다 나은 추정결과가 나타날 수 있을 것이다.

또한 변수를 로그변환하기 때문에 변수가 0의 값을 가지는 경우 변수를 정의 할 수 없어 0의 값을 대신하는 값을 사용하였다. 본 연구의 경우 다수산출물 산업을 가정하였지만, 대다수의 표본이 단일산출물만 생산하기 때문에 각 산출물이 0값을 가지는 관찰점의 수가 많았다. 이러한 문제로 인하여 0의 값을 대신할 수 있는 다양한 값에 대하여 검토하였고, 그 차이가 크지 않아 본 연구에서는 0의 값을 가지는 설명변수의 최소값의 10%를 0의 값을 대신하는 값으로 사용하였다. 그러나 이는 왜곡을 가져올 수 있는 요인이 될 수 있기 때문에, 0이 되는 것에 대한 문제가 발생하지 않는 함수의 형태나 변수의 변환을 적용하는 경우 보다 나은 추정결과가 나타날 수 있을 것으로 판단된다.

그밖에 본 연구에서 구축한 가변비용함수의 설명변수 중 중량전철산출물과 생산요소의 교차항이 제외되어 중량전철산출량에 대하여 동조성을 갖는다는 점이다. 해당 변수는 통계적 유의성이 낮아 제외되었지만 도시철도 운영기관의 대다수가 중량전철 시스템을 이용한다는 점에서 중량전철산출물에 대한 동조성은 비용특성을 왜곡할 수 있는 요인이 될 수 있을 것이다.

다음으로 도시철도 운영기관의 통합과 분리 문제에 대하여 본 연구에서는 현재의 근로조건, 고용수준, 임금, 산출량 등을 그대로 유지하는 것으로 가정하여 분석한 결과이므로 의사결정과정에서는 이러한 가정에 대

한 검토가 필요하다. 만약 도시철도 운영기관을 통합하는 경우 두 도시철도 운영기관에서 중복되는 업무영역(관제, 사무 및 관리 등)의 고용변화가 발생할 것이며, 두 도시철도 운영기관의 근로조건(근무시간, 근무방식, 차량 승무인원 등)도 변화하게 될 것이다. 반대로 현재 서로다른 형식의 차량을 모두 운영하고 있는 도시철도 운영기관을 차량형식별로 별도의 운영기관으로 나누어 운영하는 경우에도 고용, 근로조건, 임금 등의 변화가 발생할 것이다. 따라서 실제 도시철도 운영기관의 통합과 분리 문제에 대한 의사결정 과정에서는 근로조건, 고용수준, 임금, 산출량 등의 변화에 대한 면밀한 고려가 필요할 것이다.[25)]

마지막으로 효율성 분석의 부재이다. 확률적 프론티어 방법을 적용하는 경우 통제가능한 생산비효율을 추정할 수 있고, 이를 기술적 비효율과 배분적 비효율로 분해하는 경우 생산비효율의 발생원인을 분석할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 효율성에 대한 분석을 수행하지 않았기 때문에 생산효율성을 저하하는 원인의 규명에 한계가 존재한다. 우리나라 도시철도 운영기관의 비효율의 주된 원인을 실증적으로 규명하는 경우 이를 해소하기 위한 의사결정에 강력한 근거가 될 수 있다. 본 연구에서는 제시하지 않았지만 우리나라 도시철도 운영기관의 비효율의 주된 원인은 기술적 비효율성에서 기인하는 것으로 나타났다. 이는 생산요소의 과다투입이 발생하기 때문에 발생하며, 생산요소 중 인력의 투입비율이 가장 높기 때문에 구조조정을 통한 인력감축의 근거가 될 수 있을 것이다. 반면, 생산요소의 자기탄력성 분석결과는 단지 탄력성에 대한 정보만 제공하고, 실제 추정결과를 살펴보면 큰 차이가 나타나지 않았기 때문에 한계가 존재한다.

이러한 한계점에도 불구하고 본 연구는 앞서 수행된 연구와 다르게 도시철도 운송업의 다수산출물 가변비용함수를 추정하여 범위의 경제를 분석하였다는 점에서 큰 의의가 있다. 또한 소유구조를 세분화하여 공영,

---

25) 서울메트로와 서울도시철도 공사는 2017년 서울교통공사로 통합되었다. 따라서 서울 도시철도 운영기관의 통합 이후의 자료와 본 연구의 분석틀을 이용하여 어떠한 변화가 나타났는지 살펴본다면 통합에 따른 효과를 실증적으로 분석할 수 있을 것이다.

준공영, 민영으로 구분하였다는 점도 의미가 있다. 최근 몇 년간 도시철도 운송업 시장은 차량시스템과 소유구조 측면에서 다양화 되고 있기 때문에 본 연구는 이러한 여건변화에 대응할 수 있는 시사점을 제공할 수 있다는 점에서 의미를 가진다.

참 고 문 헌

김민정. (2000). 확률적 비용변경접근법을 이용한 서울지하철의 비용구조분석 : 적정 운임 수준 및 효율적인 운영체제의 도출을 중심으로. *서울대학교 환경대학원 석사학위논문.*

김민정. (2004). 한국 도시철도 운영기관들의 효율성과 생산성 분석 -자료포락분분석기법과 확률적 비용변경접근법을 이용하여-. *서울대학교 환경대학원 박사학위논문.*

김성수, & 박진경. (1999). 서울시 지하철의 밀도 및 규모의 경제성 분석. *환경논총, 37*, 52-69.

김성수, & 박진경. (2003). 서울 지하철서비스의 공급비용과 적정 요금수준 추정. *환경논총, 41*, 49-78.

김수현, & 정헌영. (2014). 도시철도 노선의 비용구조 분석. *대한토목학회 논문집, 34(5)*, 1559-1569.

박정수. (2008). 서울시 도시철도 운영비용 함수모형 개발. *서울도시연구 논문집, 9(2)*, 83-94.

이재명, 원제무, & 노정현. (2007). 도시철도 예비타당성을 위한 운영비용함수 모형의 개발. *한국철도학회 논문집, 10(5)*, 766-771.

정수영·이원영 (2013). 도시철도 운영비용 추정함수개발에 관한 연구 : 중간규모 도시철도를 중심으로. *한국철도학회 논문집, 16(4)*, 318-330.

한국철도공사 (2017). *2016년 철도통계연보.*

행정안전부 (2017). *지방공기업결산 및 경영분석(2016년).*

日本國土交通省 (2017). *鐵道統計年譜(平成28年度).*

Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, *6(1)*, 21-37.

Chang, Z., & Phang, S. Y. (2017). Urban rail transit PPPs: lessons from East Asian cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *105*, 106-122.

Hong, S. (2016). When does a public‐private partnership (PPP) lead to inefficient cost management? Evidence from South Korea's urban rail system. *Public Money & Management, 36(6)*, 447-454.

Jain, P., Cullinane, S., & Cullinane, K. (2008). The impact of governance development models on urban rail efficiency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 42(9)*, 1238-1250.

Jørgensen, F., Pedersen, P. A., & Volden, R. (1997). Estimating the inefficiency in the Norwegian bus industry from stochastic cost frontier models. *Transportation*, *24(4)*, 421-433.

Jondrow, J., Lovell, C. K., Materov, I. S., & Schmidt, P. (1982). On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of econometrics*, *19(2-3)*, 233-238.

Karlaftis, M. G. (2010). Ownership and competition in European transit: assessing efficiency. *Transportmetrica*, *6(2)*, 143-160.

Kim, H. Y. (1987). Economies of scale in multi-product firms: an empirical analysis. *Economica*, *54*, 185-206.

Kumbhakar, S. C. (1991). The measurement and decomposition of cost-inefficiency: The translog cost system. *Oxford Economic Papers, 43(4)*, 667-683.

International Transport Forum (2019). *Efficiency in Railway Operations and Infrastructure Management*(ITF Roundtable Reports No. 177). OECD Publishing.

Mizutani, F. (1993). A private-public comparison of labor productivity and utilization in Japanese urban railways. *In Proceedings of the Third International Conference on Competition and Ouvnership in Surface Passenger Transport*. Toronto, Canada (forthcoming).

Mizutani, F. (1996). *Japanese Urban Railways*. Ashgate Publishing.

Mizutani, F. (2004). Privately owned railways' cost function, organization size and ownership. *Journal of Regulatory Economics*, *25(3)*, 297-322.

Mizutani, F., & Nakamura, K. (1996). Effects of Japan National Railways' Privatization on Labor Productivity. *Papers in Regional Science*, *75(2)*, 177-199.

N'guessan, Y. G., Featherstone, A., Odeh, O., & Upendram, S. (2017). Choice of the empirical definition of zero in the translog multiproduct cost functional form. *Applied Economics Letters*, *24(15)*, 1112-1120.

Olson, J. A., Schmidt, P., & Waldman, D. M. (1980). A Monte Carlo study of estimators of stochastic frontier production functions. *Journal of Econometrics, 13(1)*, 67-82.

Phang, S. Y. (2007). Urban rail transit PPPs: Survey and risk assessment of recent strategies. *Transport Policy*, *14(3)*, 214-231.

Roy, W., & Yvrande-Billon, A. (2007). Ownership, contractual practices and technical efficiency: The case of urban public transport in France. *Journal of Transport Economics and Policy(JTEP)*, *41(2)*, 257-282.

Savage, I. (1997). Scale economies in United States rail transit systems. *Transportation Research Part A*, *31(6)*, 459-473.

Schmidt, P., & Lovell, C. K. (1979). Estimating technical and allocative inefficiency relative to stochastic production and cost frontiers. *Journal of econometrics, 9(3)*, 343-366.

Viton, P. A. (1980). On the economics of rapid transit operations. *Transportation Research Part A, 14(4)*, 247-253.

Viton, P. A. (1992). Consolidations of scale and scope in urban transit. *Regional Science and Urban Economics*, *22(1)*, 25-49.

Viton, P. A. (1993). Once again, the costs of urban rapid transit. *Transportation Research Part B, Vol. 27(5)*, 401-412.

Weinstein, M. A. (1964). Query 2: The sum of values from a normal and a truncated normal distribution. *Technometrics*, *6(1)*, 104-105.

부 록

부록 1. 밀도 및 규모의 경제성 지수

<부록-1.1> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 1, 비용변경)

도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수	도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수
삿포로시	1.113	1.100	키타오사카 급행 전철	1.266	1.174
센다이 시	1.201	1.171	오사카 고속 철도	1.217	1.185
도쿄 지하철	0.955	0.982	고베 전철	1.177	1.160
도쿄도	1.258	1.280	산요전기철도	1.118	1.109
요코하마 시	1.110	1.102	호쿠신 급행 전철	1.354	1.258
나고야 시	1.057	1.065	다카마쓰코토히라 전기철도	1.285	1.243
교토시	1.170	1.144	이요 철도	1.313	1.254
오사카시	1.259	1.280	서일본 철도	1.100	1.104
고베 시	1.161	1.133	지쿠호 전기 철도	1.427	1.345
후쿠오카 시	1.164	1.141	엔슈 철도	1.377	1.279
나가노 전철	1.344	1.291	쿠마모토 전기철도	1.551	1.404
도부 철도	0.966	1.006	기타큐슈 고속 철도	1.533	1.420
세이부 철도	1.254	1.284	사이타마 고속 철도	1.230	1.179
게이세이 전철	1.033	1.044	사이타마 신도시 교통	1.270	1.195
게이오 전철	1.016	1.023	치바 도시 모노레일	1.384	1.314
오다큐 전철	0.993	1.010	요코하마 고속 철도	1.279	1.194
토쿄 급행 전철	1.008	1.020	요코하마시사이라인	1.269	1.187
게이힌 급행 전철	1.021	1.029	나고야 임해 고속 철도	1.339	1.273
신케이세이 전철	1.177	1.142	센보쿠 고속 철도	1.218	1.159
호쿠소 철도	1.193	1.159	고베 신교통	1.210	1.150
사가미 철도	1.085	1.067	히로시마 고속 교통	1.220	1.165
이즈하코네 철도	1.297	1.228	유리카모메	1.181	1.124
나고야 철도	0.988	1.028	토쿄 모노레일	1.259	1.210
시즈오카 철도	1.382	1.299	타마 도시 모노레일	1.279	1.225
토요하시 철도	1.364	1.266	도요 고속 철도	1.194	1.144
토야마지방철도	1.297	1.265	서울메트로	0.981	1.004
아이치 환상 철도	1.268	1.243	서울도시철도공사	1.002	1.027
킨키 일본 철도	0.962	1.007	부산교통공사	1.258	1.283
난카이전기철도	1.039	1.054	대구도시철도공사	1.250	1.265
케이한 전기철도	1.040	1.050	인천교통공사	1.244	1.235
한큐 전철	1.010	1.027	대전도시철도공사	1.259	1.232
한신 전기철도	1.081	1.067	광주도시철도공사	1.268	1.229

<부록-1.2> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 1, 비용변경 전)

도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수	도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수
삿포로시	1.114	1.091	키타오사카 급행 전철	1.286	1.130
센다이 시	1.211	1.162	오사카 고속 철도	1.250	1.192
도쿄 지하철	0.940	0.985	고베 전철	1.185	1.157
도쿄도	1.214	1.248	산요전기철도	1.119	1.104
요코하마 시	1.110	1.094	호쿠신 급행 전철	1.388	1.229
나고야 시	1.052	1.062	다카마쓰코토히라 전기철도	1.308	1.237
교토시	1.177	1.133	이요 철도	1.340	1.241
오사카시	1.218	1.249	서일본 철도	1.098	1.107
고베 시	1.167	1.119	지쿠호 전기 철도	1.474	1.332
후쿠오카 시	1.170	1.130	엔슈 철도	1.415	1.248
나가노 전철	1.376	1.289	쿠마모토 전기철도	1.623	1.371
도부 철도	0.952	1.019	기타큐슈 고속 철도	1.639	1.434
세이부 철도	1.223	1.269	사이타마 고속 철도	1.245	1.160
게이세이 전철	1.025	1.043	사이타마 신도시 교통	1.305	1.176
게이오 전철	1.006	1.017	치바 도시 모노레일	1.425	1.304
오다큐 전철	0.982	1.009	요코하마 고속 철도	1.301	1.160
토쿄 급행 전철	0.998	1.017	요코하마시사이라인	1.304	1.162
게이힌 급행 전철	1.012	1.025	나고야 임해 고속 철도	1.370	1.262
신케이세이 전철	1.184	1.124	센보쿠 고속 철도	1.231	1.130
호쿠소 철도	1.202	1.148	고베 신교통	1.242	1.136
사가미 철도	1.083	1.049	히로시마 고속 교통	1.253	1.154
이즈하코네 철도	1.322	1.207	유리카모메	1.212	1.112
나고야 철도	0.975	1.045	토쿄 모노레일	1.332	1.242
시즈오카 철도	1.421	1.284	타마 도시 모노레일	1.315	1.221
토요하시 철도	1.400	1.232	도요 고속 철도	1.204	1.119
토야마지방철도	1.322	1.264	서울메트로	0.969	1.005
아이치 환상 철도	1.289	1.248	서울도시철도공사	0.991	1.030
킨키 일본 철도	0.947	1.025	부산교통공사	1.222	1.258
난카이전기철도	1.031	1.058	대구도시철도공사	1.227	1.250
케이한 전기철도	1.033	1.049	인천교통공사	1.233	1.215
한큐 전철	0.999	1.027	대전도시철도공사	1.278	1.231
한신 전기철도	1.077	1.055	광주도시철도공사	1.288	1.216

<부록-1.3> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 2, 비용변경)

도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수	도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수
삿포로시	1.121	1.063	키타오사카 급행 전철	1.354	0.984
센다이 시	1.251	1.113	오사카 고속 철도	1.562	1.340
도쿄 지하철	0.905	1.012	고베 전철	1.214	1.152
도쿄도	1.174	1.253	산요전기철도	1.128	1.095
요코하마 시	1.116	1.074	호쿠신 급행 전철	1.504	1.091
나고야 시	1.042	1.072	다카마쓰코토히라 전기철도	1.385	1.227
교토시	1.205	1.084	이요 철도	1.433	1.203
오사카시	1.183	1.274	서일본 철도	1.101	1.125
고베 시	1.190	1.073	지쿠호 전기 철도	1.636	1.273
후쿠오카 시	1.195	1.081	엔슈 철도	1.544	1.130
나가노 전철	1.486	1.252	쿠마모토 전기철도	1.881	1.239
도부 철도	0.920	1.107	기타큐슈 고속 철도	1.766	1.250
세이부 철도	1.149	1.275	사이타마 고속 철도	1.296	1.060
게이세이 전철	1.008	1.048	사이타마 신도시 교통	1.645	1.220
게이오 전철	0.985	1.011	치바 도시 모노레일	1.792	1.366
오다큐 전철	0.956	1.024	요코하마 고속 철도	1.376	1.002
토쿄 급행 전철	0.975	1.014	요코하마시사이라인	1.658	1.212
게이힌 급행 전철	0.992	1.019	나고야 임해 고속 철도	1.477	1.181
신케이세이 전철	1.214	1.066	센보쿠 고속 철도	1.278	1.035
호쿠소 철도	1.239	1.068	고베 신교통	1.571	1.223
사가미 철도	1.081	1.005	히로시마 고속 교통	1.589	1.268
이즈하코네 철도	1.406	1.121	유리카모메	1.526	1.195
나고야 철도	0.948	1.145	토쿄 모노레일	1.459	1.192
시즈오카 철도	1.553	1.172	타마 도시 모노레일	1.641	1.290
토요하시 철도	1.521	1.117	도요 고속 철도	1.241	1.031
토야마지방철도	1.406	1.298	서울메트로	0.940	1.046
아이치 환상 철도	1.359	1.223	서울도시철도공사	0.967	1.089
킨키 일본 철도	0.914	1.135	부산교통공사	1.209	1.331
난카이전기철도	1.017	1.089	대구도시철도공사	1.234	1.305
케이한 전기철도	1.018	1.057	인천교통공사	1.250	1.207
한큐 전철	0.977	1.053	대전도시철도공사	1.343	1.206
한신 전기철도	1.074	1.011	광주도시철도공사	1.358	1.177

<부록-1.4> 밀도 및 규모의 경제성 지수(모형 2, 비용변경 전)

도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수	도시철도 운영기관	밀도의 경제성지수	규모의 경제성지수
삿포로시	1.125	1.065	키타오사카 급행 전철	1.326	0.960
센다이 시	1.238	1.100	오사카 고속 철도	1.480	1.274
도쿄 지하철	0.931	1.049	고베 전철	1.207	1.142
도쿄도	1.222	1.312	산요전기철도	1.131	1.097
요코하마 시	1.121	1.077	호쿠신 급행 전철	1.450	1.054
나고야 시	1.055	1.086	다카마쓰코토히라 전기철도	1.352	1.195
교토시	1.199	1.076	이요 철도	1.392	1.166
오사카시	1.228	1.329	서일본 철도	1.108	1.132
고베 시	1.186	1.065	지쿠호 전기 철도	1.556	1.213
후쿠오카 시	1.190	1.074	엔슈 철도	1.482	1.086
나가노 전철	1.435	1.211	쿠마모토 전기철도	1.745	1.164
도부 철도	0.944	1.150	기타큐슈 고속 철도	1.667	1.189
세이부 철도	1.191	1.331	사이타마 고속 철도	1.277	1.043
게이세이 전철	1.025	1.067	사이타마 신도시 교통	1.555	1.159
게이오 전철	1.004	1.031	치바 도시 모노레일	1.690	1.297
오다큐 전철	0.977	1.051	요코하마 고속 철도	1.344	0.979
토쿄 급행 전철	0.995	1.037	요코하마시사이라인	1.565	1.149
게이힌 급행 전철	1.010	1.040	나고야 임해 고속 철도	1.428	1.144
신케이세이 전철	1.207	1.055	센보쿠 고속 철도	1.261	1.017
호쿠소 철도	1.228	1.058	고베 신교통	1.487	1.160
사가미 철도	1.090	1.009	히로시마 고속 교통	1.502	1.202
이즈하코네 철도	1.369	1.090	유리카모메	1.446	1.136
나고야 철도	0.970	1.185	토쿄 모노레일	1.387	1.137
시즈오카 철도	1.489	1.129	타마 도시 모노레일	1.553	1.228
토요하시 철도	1.464	1.075	도요 고속 철도	1.230	1.017
토야마지방철도	1.370	1.260	서울메트로	0.962	1.077
아이치 환상 철도	1.330	1.198	서울도시철도공사	0.987	1.117
킨키 일본 철도	0.939	1.183	부산교통공사	1.248	1.379
난카이전기철도	1.032	1.110	대구도시철도공사	1.258	1.334
케이한 전기철도	1.034	1.076	인천교통공사	1.261	1.215
한큐 전철	0.996	1.078	대전도시철도공사	1.316	1.182
한신 전기철도	1.084	1.018	광주도시철도공사	1.329	1.148

부록 2. 범위의 경제성 지수

<부록-2.1> 범위의 경제성 지수(모형 1)

구분	총산출량 (천-전동차km)	산출물 구성비율(%)		특성		범위의 경제성 지수	
		중량전철	경량전철 및 모노레일	국가	소유구조	비용변경	비용변경전
도쿄도	125,383	93.82	6.18	일본	공영	0.020	0.041
오사카시	118,259	95.61	4.39	일본	공영	0.073	0.096
세이부 철도	172,493	99.77	0.23	일본	민영	0.339	0.347
부산교통공사	81,990	90.29	9.71	한국	공영	-0.105	-0.077
대구도시철도공사	46,109	83.25	16.75	한국	공영	-0.241	-0.208
인천교통공사	29,403	86.84	13.16	한국	공영	-0.228	-0.189

<부록-2.2> 범위의 경제성 지수(모형 2)

구분	총산출량 (천-전동차km)	산출물 구성비율(%)		특성		범위의 경제성 지수	
		중량전철	경량전철 및 모노레일	국가	소유구조	비용변경	비용변경전
도쿄도	125,383	93.82	6.18	일본	공영	-0.002	-0.016
오사카시	118,259	95.61	4.39	일본	공영	0.066	0.049
세이부 철도	172,493	99.77	0.23	일본	민영	0.272	0.271
부산교통공사	81,990	90.29	9.71	한국	공영	-0.061	-0.089
대구도시철도공사	46,109	83.25	16.75	한국	공영	-0.178	-0.214
인천교통공사	29,403	86.84	13.16	한국	공영	-0.160	-0.201

부록 3. 평균비용과 한계비용

<부록-3.1> 평균비용과 한계비용(모형 1, 비용변경)

(단위: 원/전동차-km)

도시철도 운영기관	평균비용	한계비용	도시철도 운영기관	평균비용	한계비용
삿포로시	5,476	4,918	키타오사카 급행 전철	3,795	2,998
센다이 시	7,034	5,859	오사카 고속 철도	5,851	4,807
도쿄 지하철	6,315	6,614	고베 전철	3,072	2,611
도쿄도	5,941	4,721	산요전기철도	3,185	2,849
요코하마 시	5,461	4,922	호쿠신 급행 전철	5,431	4,010
나고야 시	4,810	4,549	다카마쓰코토히라 전기철도	2,421	1,884
교토시	6,282	5,368	이요 철도	2,532	1,928
오사카시	4,348	3,452	서일본 철도	3,396	3,088
고베 시	5,675	4,889	지쿠호 전기 철도	3,930	2,754
후쿠오카 시	6,714	5,768	엔슈 철도	4,009	2,911
나가노 전철	3,662	2,725	쿠마모토 전기철도	3,652	2,354
도부 철도	3,688	3,819	기타큐슈 고속 철도	5,616	3,664
세이부 철도	2,363	1,884	사이타마 고속 철도	5,390	4,383
게이세이 전철	4,432	4,291	사이타마 신도시 교통	3,369	2,654
게이오 전철	4,257	4,191	치바 도시 모노레일	6,501	4,697
오다큐 전철	3,932	3,958	요코하마 고속 철도	6,455	5,047
토쿄 급행 전철	5,023	4,981	요코하마시사이라인	2,654	2,092
게이힌 급행 전철	4,398	4,308	나고야 임해 고속 철도	4,322	3,228
신케이세이 전철	3,995	3,395	센보쿠 고속 철도	3,979	3,268
호쿠소 철도	6,356	5,329	고베 신교통	3,487	2,882
사가미 철도	3,598	3,314	히로시마 고속 교통	2,656	2,177
이즈하코네 철도	3,372	2,600	유리카모메	2,934	2,485
나고야 철도	3,120	3,159	토쿄 모노레일	4,090	3,249
시즈오카 철도	5,583	4,040	타마 도시 모노레일	6,876	5,376
토요하시 철도	2,984	2,187	도요 고속 철도	3,069	2,570
토야마지방철도	2,058	1,587	서울메트로	3,644	3,713
아이치 환상 철도	5,450	4,297	서울도시철도공사	3,433	3,427
킨키 일본 철도	3,206	3,334	부산교통공사	4,025	3,201
난카이전기철도	3,389	3,262	대구도시철도공사	5,234	4,187
케이한 전기철도	3,948	3,795	인천교통공사	5,973	4,803
한큐 전철	4,020	3,981	대전도시철도공사	6,116	4,859
한신 전기철도	4,532	4,194	광주도시철도공사	5,237	4,130

<부록-3.2> 평균비용과 한계비용(모형 1, 비용변경 전)

(단위: 원/전동차-km)

도시철도 운영기관	평균비용	한계비용	도시철도 운영기관	평균비용	한계비용
삿포로시	6,677	5,995	키타오사카 급행 전철	4,185	3,255
센다이 시	8,542	7,051	오사카 고속 철도	6,859	5,488
도쿄 지하철	7,723	8,216	고베 전철	3,713	3,134
도쿄도	7,064	5,819	산요전기철도	3,842	3,434
요코하마 시	6,668	6,010	호쿠신 급행 전철	6,380	4,595
나고야 시	5,889	5,599	다카마쓰코토히라 전기철도	2,939	2,248
교토시	7,625	6,477	이요 철도	3,062	2,284
오사카시	5,209	4,275	서일본 철도	4,094	3,727
고베 시	6,900	5,915	지쿠호 전기 철도	4,793	3,252
후쿠오카 시	8,151	6,965	엔슈 철도	4,757	3,362
나가노 전철	4,454	3,237	쿠마모토 전기철도	4,396	2,708
도부 철도	4,416	4,639	기타큐슈 고속 철도	6,358	3,878
세이부 철도	2,856	2,335	사이타마 고속 철도	5,993	4,815
게이세이 전철	5,343	5,213	사이타마 신도시 교통	3,919	3,004
게이오 전철	5,160	5,129	치바 도시 모노레일	7,754	5,441
오다큐 전철	4,774	4,861	요코하마 고속 철도	6,990	5,373
토쿄 급행 전철	6,067	6,078	요코하마시사이라인	3,074	2,358
게이힌 급행 전철	5,308	5,247	나고야 임해 고속 철도	4,934	3,601
신케이세이 전철	4,784	4,039	센보쿠 고속 철도	4,702	3,820
호쿠소 철도	7,050	5,863	고베 신교통	4,047	3,257
사가미 철도	4,328	3,997	히로시마 고속 교통	3,106	2,479
이즈하코네 철도	4,032	3,051	유리카모메	3,385	2,793
나고야 철도	3,720	3,814	토쿄 모노레일	4,274	3,210
시즈오카 철도	6,643	4,677	타마 도시 모노레일	8,029	6,108
토요하시 철도	3,521	2,516	도요 고속 철도	3,483	2,892
토야마지방철도	2,495	1,887	서울메트로	4,487	4,632
아이치 환상 철도	6,196	4,807	서울도시철도공사	4,206	4,245
킨키 일본 철도	3,815	4,027	부산교통공사	4,737	3,878
난카이전기철도	4,085	3,960	대구도시철도공사	6,050	4,931
케이한 전기철도	4,767	4,615	인천교통공사	6,897	5,595
한큐 전철	4,876	4,878	대전도시철도공사	7,484	5,858
한신 전기철도	5,437	5,047	광주도시철도공사	6,393	4,962

<부록-3.3> 평균비용과 한계비용(모형 2, 비용변경)

(단위: 원/전동차-km)

도시철도 운영기관	평균비용	한계비용	도시철도 운영기관	평균비용	한계비용
삿포로시	4,606	4,109	키타오사카 급행 전철	4,213	3,111
센다이 시	5,882	4,702	오사카 고속 철도	5,901	3,778
도쿄 지하철	5,435	6,003	고베 전철	3,316	2,730
도쿄도	5,259	4,480	산요전기철도	3,417	3,031
요코하마 시	4,597	4,121	호쿠신 급행 전철	5,149	3,423
나고야 시	4,071	3,907	다카마쓰코토히라 전기철도	2,669	1,927
교토시	5,226	4,338	이요 철도	2,751	1,920
오사카시	3,740	3,162	서일본 철도	3,647	3,312
고베 시	4,700	3,949	지쿠호 전기 철도	4,387	2,682
후쿠오카 시	5,578	4,667	엔슈 철도	3,955	2,561
나가노 전철	4,085	2,750	쿠마모토 전기철도	3,809	2,025
도부 철도	3,688	4,010	기타큐슈 고속 철도	5,338	3,022
세이부 철도	2,676	2,329	사이타마 고속 철도	6,458	4,982
게이세이 전철	4,798	4,758	사이타마 신도시 교통	3,316	2,016
게이오 전철	4,641	4,711	치바 도시 모노레일	7,833	4,372
오다큐 전철	4,271	4,468	요코하마 고속 철도	6,686	4,860
토쿄 급행 전철	5,491	5,630	요코하마시사이라인	2,589	1,562
게이힌 급행 전철	4,795	4,833	나고야 임해 고속 철도	5,665	3,835
신케이세이 전철	4,138	3,407	센보쿠 고속 철도	3,886	3,042
호쿠소 철도	7,775	6,277	고베 신교통	3,238	2,061
사가미 철도	3,784	3,500	히로시마 고속 교통	2,581	1,624
이즈하코네 철도	3,455	2,458	유리카모메	2,575	1,687
나고야 철도	3,078	3,247	토쿄 모노레일	4,550	3,118
시즈오카 철도	5,757	3,708	타마 도시 모노레일	7,210	4,395
토요하시 철도	2,915	1,916	도요 고속 철도	3,897	3,140
토야마지방철도	2,305	1,639	서울메트로	4,622	4,917
아이치 환상 철도	7,297	5,371	서울도시철도공사	4,389	4,540
킨키 일본 철도	3,086	3,375	부산교통공사	5,021	4,152
난카이전기철도	3,617	3,559	대구도시철도공사	6,127	4,967
케이한 전기철도	4,259	4,182	인천교통공사	7,149	5,720
한큐 전철	4,303	4,404	대전도시철도공사	7,209	5,369
한신 전기철도	4,821	4,489	광주도시철도공사	6,734	4,959

<부록-3.4> 평균비용과 한계비용(모형 2, 비용변경 전)

(단위: 원/전동차-km)

도시철도 운영기관	평균비용	한계비용	도시철도 운영기관	평균비용	한계비용
삿포로시	5,334	4,740	키타오사카 급행 전철	4,759	3,589
센다이 시	6,795	5,487	오사카 고속 철도	6,675	4,509
도쿄 지하철	6,052	6,502	고베 전철	3,834	3,176
도쿄도	6,085	4,978	산요전기철도	3,958	3,499
요코하마 시	5,321	4,749	호쿠신 급행 전철	5,770	3,980
나고야 시	4,688	4,444	다카마쓰코토히라 전기철도	3,037	2,246
교토시	6,050	5,047	이요 철도	3,107	2,233
오사카시	4,330	3,525	서일본 철도	4,223	3,811
고베 시	5,435	4,582	지쿠호 전기 철도	4,836	3,109
후쿠오카 시	6,460	5,427	엔슈 철도	4,392	2,963
나가노 전철	4,613	3,215	쿠마모토 전기철도	4,036	2,313
도부 철도	4,116	4,361	기타큐슈 고속 철도	5,739	3,442
세이부 철도	3,026	2,540	사이타마 고속 철도	7,423	5,811
게이세이 전철	5,503	5,370	사이타마 신도시 교통	3,670	2,361
게이오 전철	5,300	5,279	치바 도시 모노레일	8,417	4,980
오다큐 전철	4,840	4,953	요코하마 고속 철도	7,595	5,651
토쿄 급행 전철	6,259	6,291	요코하마시사이라인	2,856	1,825
게이힌 급행 전철	5,484	5,430	나고야 임해 고속 철도	6,397	4,480
신케이세이 전철	4,772	3,954	센보쿠 고속 철도	4,446	3,525
호쿠소 철도	8,974	7,308	고베 신교통	3,654	2,458
사가미 철도	4,361	4,000	히로시마 고속 교통	2,903	1,933
이즈하코네 철도	3,922	2,865	유리카모메	2,941	2,034
나고야 철도	3,466	3,573	토쿄 모노레일	5,268	3,798
시즈오카 철도	6,429	4,317	타마 도시 모노레일	7,971	5,132
토요하시 철도	3,235	2,210	도요 고속 철도	4,487	3,648
토야마지방철도	2,603	1,900	서울메트로	5,056	5,254
아이치 환상 철도	8,364	6,289	서울도시철도공사	4,832	4,896
킨키 일본 철도	3,431	3,654	부산교통공사	5,757	4,612
난카이전기철도	4,151	4,022	대구도시철도공사	7,156	5,688
케이한 전기철도	4,892	4,732	인천교통공사	8,362	6,630
한큐 전철	4,897	4,914	대전도시철도공사	8,024	6,095
한신 전기철도	5,574	5,143	광주도시철도공사	7,460	5,612

Abstract

Cost Characteristics of the Korean and Japanese Urban Rail Transit Industry: An Application of Stochastic Multi-Product Cost Frontier Models

Cho, Hwangyoung

Department of Environmental Planning

Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

This study estimated variable cost functions and analyzed cost characteristics of urban rail transit industries in Korea and Japan by using the stochastic frontier approach from the data of 2016 cross-sections of 64 urban rail transit operators in Korea and Japan. This study considered labor, power, and maintenance as variable factors of production, and considered track length, a semi-fixed element as a proxy variable of capital. It is assumed that the urban rail transit operator produces car-km output by inputting the above factors. The outputs of the urban rail transit operators were divided into two types such as the heavy rail output and the light rail and monorail output. In addition, the state and ownership structure of the urban rail transit operators was considered.

The variable cost function of the urban rail transit operator in the form of a translog function was constructed using the production factor variables, the output variables and the characteristic variables of the operator as independent variables and the variable cost as the dependent variable. For coefficient estimation of cost function, this study used the iterative seemingly unrelated regression which estimates the translog cost function and cost share equation as system of equations. This study also estimated the variable cost function using the stochastic frontier approach.

From the estimated cost function, this study analyzed the cost characteristics such as the partial substitution elasticity of production factor and price elasticity of production factor demand, and economies of density, economies of scale, and economies of scope of urban rail transit operators. The efficiency of the input of production factor was identified through the partial substitution elasticity and price elasticity of production factor, and the cross-partial substitution elasticity and the cross-price elasticity were analyzed to identify the complementary or substitutional relations between the factors of production. In addition, this study analyzed the existence of economies of scope in case of simultaneous operation of heavy rail and light rail or monorail type urban rail transit services. Also, the adequacy in terms of the operating frequency and the scale of the operator was analyzed by analyzing the economies of density and economies of scale of the urban rail transit operator. The analysis results are summarized as follows.

First, as a result of estimating the variable cost function, the coefficient was estimated reasonably, and in particular, as the significance of the quadratic coefficient estimate is estimated to be high, assumptions about homotheticity, homogeneity, and

Cobb-Douglas production technology could all be rejected. The ownership structure and state-specific variables representing the characteristics of the urban rail transit operator were also estimated to be statistically significant.

Second, economies of density and economies of scale were found to exist throughout the urban rail transit industries in Korea and Japan. By type of output, in the case of producing heavy rail, light rail and monorail, and both outputs, as the economies of density indexes are estimated to be 1.067, 1.253, and 1.255, respectively, so there is an economy of density, and as the economies of scale indexes are 1.069, 1.195, and 1.272, respectively, so there is an economy of scale.

Third, it is found that there is a diseconomy of scope throughout the urban rail transit industries in Korea and Japan. The economies of scope indexes are proportional to the ratio of heavy rail output, and the economy of scope exists in the case of producing both outputs with the ratio of heavy rail output more than 96%. However, it is found that when the ratio of heavy railway output is low, there is a diseconomy of scope.

From the above estimation results, this study derives the following policy implications on the organizational form and privatization of the urban rail transit operator, the main issue of the urban rail transit industry in Korea.

First, if assumed that no changes in output, wages and working conditions will occur due to the consolidation of the two urban rail transit operators, the consolidation of Seoul's two urban rail transit operators is not justified in terms of cost. In the results of examining the feasibility of consolidating Seoul's two urban rail transit operators, it cannot be said that as the consolidated operators have diseconomies of density and scale and the scale is larger than the

optimal scale, the mean variable cost is minimized.

Second, for Korea's three urban rail transit operators that produce both outputs, in the results of looking at the variable cost changes according to the separation of the two sectors, if operators are separated by output, the variable cost is estimated to decrease by 10.65% to 24.10%. As the economy of scope effects exist bigger than the economic of density and scale effects, rather than producing two outputs at the same time, it can be said that in terms of cost, it is reasonable to operate the institutions divided in two by output separately. But if the two urban rail transit operators are actually separated by output, because of the additional costs incurred, decisions will need to be carefully considered.

Third, In the case of deriving cost changes using the stochastic frontier approach, it is found that the overall average variable cost of the urban rail transit transport industry was reduced by 15.62%, suggesting that there is a need to improve the production efficiency of urban rail transit operators. In the case of Korean urban rail transit operators, labor productivity was found to be very low compared to that of Japan. There is a need to reduce manpower to improve production efficiency. In particular, labor productivity should be improved through restructuring in station service and maintenance. In case of station service, despite the 100% station automation service facility of urban rail transit in Korea, labor productivity is found to be low, so the necessity of manpower reduction is very high.

Lastly, from the results of analyzing variable cost changes by assuming privatization of Seoul Metro and Gwangju Metropolitan Rapid Transit Corporation, if the two operators operate privately, it is found that they can save about 21% of the current variable cost. However, when the urban rail transit is operated by the private

sector, the financial transparency is low, and if subsidies exist under the contract, rather, the privatization will need to be carefully reviewed as production efficiency may be lower than that of public administration. In addition, as there is a possibility that additional costs will be incurred due to additional governance costs such as hedging costs and transaction costs, privatization would be considered only if the savings are greater than this.

This study is significant in that it analyzes the economies of scope by estimating the multi-product variable cost function in urban rail transit industry unlike the previously performed studies. It is also significant that the ownership structure is divided into public, semi-public and private sectors. For several years recently, as the urban rail transit industry market has diversified in terms of vehicle systems and ownership structure, this study is meaningful in that it can provide implications for coping with these changes.

keywords : Urban rail transit industry, Variable cost, Translog cost function, Multi-product cost function, Stochastic frontier approach, Economies of scope

Student Number : 2016-31755