creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

Disclaimer

dCollection

공학박사 학위논문

보행자 수준 네트워크 데이터 자동 구축 기법 연구

Automatic Generation of Pedestrian Level Network Data

2014년 8월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

김 지 영

보행자 수준 네트워크 데이터 자동 구축 기법 연구

지도교수 유 기 윤

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함

2014년 5월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

김 지 영

김지영의 박사 학위논문을 인준함

2014년 6월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국 문 초 록

이 연구에서는 광범위한 지역을 대상으로 보행자 수준(pedestrian level)의 네트워크 데이터를 구축하는데 소요되는 비용과 시간의 절감을 위하여 기 구축된 지도를 이용하여 사용자의 개입이 없이 자동으로 보행자 수준의 네트워크 데이터를 구축하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 첫 번째로, 이론적 고찰을 통해 보행공간을 정의하고, 보행자 네트워크 데이터 모델을 제안한다. 또한 정의된 보행공간의 현황을 분석하여, 기 구축된 지도로부터 보행자 수준 네트워크 데이터의 구축 규칙(rule)을 제시한다. 두 번째로, 이종의 도로 데이터 셋을 면 객체 매칭 기반으로 융합하여 위치가 정확하면서 LOD가 높은 도로정보를 취득한다. 세 번째로, 참조모델을 바탕으로 면형(polygon) 보행공간을 추출한다. 네 번째로, 추출된 면형 보행공간을 가시(visibility) 범위를 고려한 스켈레톤 알고리즘(skeleton algorithm)을 적용하여 선형화한다. 선형화된 면형 보행공간과 지하철출입구를 연결한 세그먼트나 출입구까지 연결한 세그먼트의 기하 오류를 수정하여 융합한다. 마지막으로 융합된 선형에 위상정보를 부여함으로써 그래프 구조인 보행자 수준의 네트워크 데이터를 구축한다. 이때, 보다 정밀한 데이터가 필요한 휠체어 장애인과 같은 교통약자가 아닌 두 발로 이동이 가능한 보행자를 대상으로 하고, 구축 범위는 실외공간으로 한정한다.

수치지도2.0, 도로명주소기본도, 그리고 차량용 내비게이션 서비스의 배경DB를 이용하여 서울특별시를 대상으로 제안된 방법으로 보행자 수준 네트워크 데이터를 구축하고 평가하였다. 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간을 융합하여, 도로구간에서 상세한 도로정보인 42,831개의 세그먼트를 추출하였다. 융합된 도로의 중심선과 그 외의 지형지물을 이용하여 서울특별시에서 1,620,562개의 링크와 1,620,564개의 노드로 구성된 네트워크 데이터를 구축하였다. 국토지리정보원의 보행자용 전자 도로망을 참조자료로 하여 제안된 방법으로 구축된 네트워크 데

이터와 비교한 결과, 구축된 네트워크의 기하 및 위상 정확성이 85% 이상으로 높게 나타났다. 또한 상용서비스 중인 도보길찾기와 동일한 출발지와 도착지를 갖는 30개의 경로를 비교하니 80%인 24개의 유사한 경로가 안내되었다. 그 결과, 제안된 방법으로 광범위한 지역에 대해서 짧은 시간에 최소한의 비용으로 정확한 보행자 수준의 네트워크 데이터가 구축될 수 있음을 알 수 있었다. 또한 구축된 네트워크 데이터를 상용 도보길찾기 서비스에 이용할 수 있을 것으로 판단되었다. 특히 출입구나 단지 내 도로 등에 대한 정보가 구축되어, 방문지가 낯선 보행자나 교통약자에게 도착지 주출입구까지의 상세한 보행경로를 제공할 수 있을 것이다.

주요어 : 보행자 수준 네트워크 데이터, 보행공간, 이종의 도로 데이터 셋 융합, 임계값

학 번 : 2009-30224

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구 배경 및 목적 ····· 1

제 2 절 연구 동향 ····· 4

제 3 절 연구 범위 및 방법 ····· 12

제 2 장 보행자 네트워크 데이터 참조모델 ····· 14

제 1 절 보행자 네트워크 데이터 모델 ····· 15

1. 보행공간에 대한 이론적 고찰 ····· 15

2. 보행공간 정의 ····· 21

3. 보행자 네트워크 데이터 모델 ····· 23

제 2 절 보행자 네트워크 데이터 구축 규칙 ····· 25

1. 기 구축된 지도 ····· 25

2. 보행공간의 현황 분석 ····· 30

3. 보행자 네트워크 데이터 구축 규칙 ····· 39

제 3 장 보행자 네트워크 데이터 구축 ····· 41

제 1 절 이종의 도로 데이터 셋 융합 ····· 45

1. 융합 객체가 존재하는 융합 블록 정의 ····· 48
2. 면 객체 매칭을 통한 후보 융합 블록 쌍 탐지 ····· 50
3. 융합 블록 쌍 판별 ····· 59
4. 프레세 거리를 이용한 융합 객체 추출 ····· 62

제 2 절 보행공간 추출 ····· 65

제 3 절 보행공간의 선형화 ····· 70
1. 면형 보행공간의 선형화 ····· 70
2. 선형 보행공간과의 융합 ····· 74

제 4 장 실험 및 결과 ····· 79

제 1 절 실험 환경 및 방법 ····· 79

제 2 절 이종의 도로 데이터 셋 융합 ····· 86
1. 형상유사도에 대한 임계값 ····· 88
2. 프레세 거리에 대한 임계값 ····· 98

제 3 절 보행자 네트워크 데이터 구축 ····· 104
1. 적용 결과 ····· 104
2. 정확도 평가 ····· 113

제 5 장 결 론 ····· 134

참 고 문 헌 ····· 137
부 록 ····· 151
Abstract ····· 155

표 목 차

[표 2-1] 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률」에 정의된 보행자길 … 16
[표 2-2] 이양제(1987)가 정의한 보행공간 …… 17
[표 2-3] 도시설계에서 정의하는 보행공간 …… 18
[표 2-4] Kasemsuppakorn and Karimi(2009b)가 제안한 보행공간 …… 19
[표 2-5] 정의된 보행공간 …… 22
[표 2-6] 서울특별시 도로 현황(2012년) …… 31
[표 2-7] 서울특별시 보도 현황(2010년) …… 32
[표 2-8] 보행자 네트워크 데이터의 구축 규칙 …… 40

[표 3-1] 대응관계에 따른 융합 블록 정의 …… 49
[표 3-2] 구축 규칙과 면형 보행공간 추출 단계 …… 68
[표 3-3] 면형 보행공간 선형화를 위한 의사코드 …… 72

[표 4-1] 실험자료 현황 …… 80
[표 4-2] 훈련자료에서 수동 추출된 융합 블록 쌍 …… 90
[표 4-3] 훈련자료의 상관계수와 가중치 …… 90
[표 4-4] 평가자료의 상관계수와 가중치 …… 93
[표 4-5] 평가자료에서 판별된 융합 블록 쌍 …… 93
[표 4-6] 평가자료에서 판별된 융합 블록 쌍의 평가 결과 …… 95
[표 4-7] 평가자료에서 추출된 융합 객체의 평가 결과 …… 103
[표 4-8] 보행자 네트워크 데이터의 평가 결과 …… 119

[부록 표 1] 보행공간 현황에서 살펴본 기 구축된 지도 …… 151

그 림 목 차

[그림 1-1] 연구 흐름도 ····· 13

[그림 2-1] 보행공간에 대한 이론적 고찰 결과 ····· 20
[그림 2-2] 보행자 네트워크 데이터 모델 ····· 24
[그림 2-3] 도로가 관리되고 있는 기 구축된 지도 ····· 27
[그림 2-4] 도로명주소기본도의 오차 ····· 28
[그림 2-5] 도로 주변 보행공간 ····· 33
[그림 2-6] 도로 주변 보행공간 중 비보행공간 ····· 35
[그림 2-7] 도로 이외 보행공간 ····· 37

[그림 3-1] 보행공간과 지형·지물과의 관계 ····· 42
[그림 3-2] 이종의 도로 데이터 셋 융합 방법 ····· 47
[그림 3-3] 후보 융합 블록 쌍 탐지 방법 ····· 51
[그림 3-4] PR 곡선에 나타나는 EER ····· 57
[그림 3-5] 오목다각형 특성을 적용하여 유형Ⅱ 융합 블록 쌍 판별 61
[그림 3-6] 융합 객체의 안착 시 발생하는 오류 ····· 64
[그림 3-7] 면형 보행공간 추출 방법 ····· 66
[그림 3-8] 면형 보행공간의 선형화 예 ····· 73
[그림 3-9] 지하철출입구 세그먼트 생성 (횡단시설보행자길) 75
[그림 3-10] 사이드 연산 예(Worboys and Duckham, 2004) … 76
[그림 3-11] 면형 보행공간 세그먼트와 연결선의 융합 ····· 77

[그림 4-1] 실험자료 전처리 ····· 81

[그림 4-2] 실험대상 지역 ····· 84
[그림 4-3] 보행자 네트워크 데이터 구축을 위한 실험 흐름도 ····· 85
[그림 4-4] 임계값 산출에 사용된 지역 ····· 87
[그림 4-5] 형사유사도의 임계값 산출을 위한 흐름도 ····· 89
[그림 4-6] 훈련자료의 형상유사도에 대한 PR 곡선 ····· 91
[그림 4-7] 평가자료의 블록 변환 ····· 92
[그림 4-8] 평가자료의 융합 블록 쌍에서 누락된 수치지도 블록 ····· 95
[그림 4-9] 평가자료의 융합 블록 쌍에서 누락된 도로명주소 블록 · 96
[그림 4-10] 프레셰 거리의 임계값 산출을 위한 흐름도 ····· 99
[그림 4-11] 훈련자료의 융합 객체 쌍 ····· 100
[그림 4-12] 훈련자료의 FD에 대한 PR 곡선 ····· 101
[그림 4-13] 평가자료에서 추출된 융합 객체 ····· 102
[그림 4-14] 평가자료의 융합 객체에 대한 시각적 평가 ····· 103
[그림 4-15] 실험대상 지역에서 추출된 융합 객체 ····· 104
[그림 4-16] 보행자 네트워크 데이터 구축 결과 ····· 106
[그림 4-17] 네트워크 데이터 질 평가에 이용된 자료 ····· 117
[그림 4-18] 보도와 횡단시설보행자길 링크가 상이한 경우 ····· 120
[그림 4-19] 참조자료에 누락된 보차공존도로 링크 ····· 121
[그림 4-20] 출입구연결보행자길 링크의 시각적 평가 ····· 123
[그림 4-21] 보행전용길 링크의 시각적 평가 ····· 127
[그림 4-22] 30개 경로별 유사도 그래프 ····· 129
[그림 4-23] 유사도가 낮은 경로 ····· 130

[부록 그림 1] 구축된 보행자 네트워크 데이터(서울특별시) ····· 154

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경 및 목적

도시화를 통하여 도시는 양적인 시설확충과 같은 하드웨어적인 개발로 인하여 그 구조가 점점 복잡해지고 있다. 이 과정에서 보행자의 이동은 중요한 요소가 아니었다. 이에 복잡한 도시구조로 인하여 낯선 지역을 방문하는 보행자가 도착지까지 길을 찾는 것은 쉬운 일이 아니다. 그러나 최근에는 건강한 삶에 대한 관심이 높아지면서 차량이 아닌 보행이나 자전거를 이용한 이동이 증가되고 있는 실정이다. 또한 무선 인터넷을 이용한 측위 기술의 발달과 GPS 수신기가 탑재된 스마트폰, 태블릿(tablet) PC 등 휴대용 단말기의 보급으로 차량 내비게이션 서비스(Car Navigation Service, CNS)가 차량 밖의 보행자나 자전거를 위한 내비게이션 서비스로 확대되고 있다. 이에 점차 낯선 환경에서의 길찾기를 보행자 내비게이션 서비스(Pedestrian Navigation Service, PNS)가 대체하고 있는 실정이다.

세계적인 내비게이션 업체인 Garmin[1]은 북미와 유럽을 대상으로 대도시에 대한 최신의 상세한 도로정보 및 관심정보(Point of Intersect, POI), 버스, 지하철, 트램 등의 대중교통을 이용하기 위한 보도, 그리고 대중교통 시간표나 노선도 등이 포함된 'CityXplorer™ Maps'이 탑재된 내비게이션 단말기를 판매 중이다. 글로벌 지도 회사인 NAVTEQ을 인수한 Nokia는 'Nokia Maps mobile(Here)[2]'을 통해서 보행경로에 대한 방향전환에 대한 음성안내(turn-by-turn walking navigation)를 제공하고 있다. 기존의 NAVTEQ은 2009년에 보행로나 보행자가 이동할 수 있는 교량, 횡단보도, 계단, 엘리베이터, 에스컬레이터 등에 대한 정보가 포함된 'NAVTEQ Discover Cities™[3]'를 제공한 바가 있다. 내비게이션 단

1) Garmin, http://www.garmin.com (접속일: 2014년 4월 4일)
2) Nokia Maps mobile(Here), m.maps.nokia.com (접속일: 2014년 4월 4일)

말기 제조 업체인 NAVIGON[4]에서는 미국이나 유럽, 아시아 일부지역을 대상으로 서비스되고 있는 'NAVIGON Mobile Navigation'에서 보행자가 현재 보행 중인 위치와 방향전환에 대한 음성안내 서비스가 제공되고 있다. 보안 이동통신 기술 업체인 TeleCommunication Systems의 'Gokivo™ Navigator[5]'에서는 관광명소에 대한 보행경로가 제공된다. 'NAVITIME'은 일본의 PNS로, 2007년 1월 현재 182만 명의 사용자가 서비스를 이용하고 있으며, 중국에서도 2004년 후반부터 일본과 유사한 PNS인 'UNICOM'이 휴대용 단말기를 통하여 제공되고 있다. 이외에도 실내를 대상으로 한 PNS 프로토 타입이 개발되었다(Zheng *et al.*, 2009). 국내의 경우도 공간정보 데이터베이스(Database, DB) 구축 업체인 엠아이웍스[6]에서 현지조사를 통하여 보행자 전용도로, 단지 내 보행로, 그리고 단지의 진입링크 등이 포함된 보행자 네트워크 데이터 'Eagle-Eye 맵'을 구축하였다. 위치기반서비스 업체인 엘비씨소프트[7]도 2008년에 서울특별시에 대한 보행자 네트워크DB를 구축하였다. 또한 SK 플래닛의 'Tmap', 네이버[8]와 다음[9]의 지도서비스, 안전행정부의 '생활안전공감지도[10]', 그리고 지방자치단체의 '뚜벅이안전길안내' 등에서 서울특별시를 비롯한 광역시 및 일부 도시를 대상으로 보행자를 위한 경로안내 서비스가 제공되고 있다.

현재 제공되고 있는 PNS를 살펴본 결과, 기존의 차량 네트워크 데이터에서 제공하지 않는 보행자가 이동할 수 있는 횡단보도, 육교와 같은 공간정보 및 POI가 추가되고, 이동통신기지국을 이용하여 취득된 위치정보를 바탕으로 보행자와 관련된 다양한 정보가 제공되고 있음을 볼 수

3) NAVTEQ Discover Cities, press.navteq.com/download/Discover+Cities+Media+Fact+Sheet.pdf (접속일: 2014년 4월 4일)
4) NAVIGON, http://www.navigon.com (접속일: 2014년 4월 4일)
5) Gokivo™ Navigator, http://www.gokivo.com/pdf/GokivoNavigatorUserGuide_US.pdf (접속일: 2014년 4월 4일)
6) 엠아이웍스, http://miworks.co.kr/ (접속일: 2014년 4월 4일)
7) 엘비씨소프트, http://www.lbcsoft.com/ (접속일: 2014년 4월 4일)
8) 네이버지도, http://map.naver.com/ (접속일: 2014년 4월 4일)
9) 다음지도, http://map.daum.net/ (접속일: 2014년 4월 4일)
10) 생활안전공감지도, http://www.gmap.go.kr/portalap/ (접속일: 2014년 4월 4일)

있었다. 보행자를 위한 네트워크 데이터는 차량과 달리 상세한 공간정보가 요구되어, 많은 비용과 인력을 투입하여 현장 조사된 자료에서 수동으로 구축되고 있다. 이런 이유로 현재 일부 지역만을 대상으로 서비스가 제공되거나 제한된 공간에 대한 경로안내 서비스가 제공되는 한계가 있다. 이에 보행자의 이동이 증가되고, 보행자를 대상으로 한 위치기반서비스가 확대되고 있는 현 시점에서, 차량 네트워크 데이터보다 상세한 공간정보가 요구되는 보행자 수준의 네트워크 데이터를 광범위한 지역에 대하여 구축할 필요가 있으며, 이때 시간과 비용의 절감이 요구된다.

따라서 이 연구는 광범위한 지역을 대상으로 보행자 수준의 네트워크 데이터를 구축하는 것을 그 목적으로 한다. 상세한 네트워크 데이터를 구축하기 위하여 이종의 도로 데이터 셋을 사용자의 개입 없이 자동으로 융합하여 보행자가 이동하는 도로정보를 취득한다. 또한 국가나 민간에서 구축한 지도를 이용하여 사용자의 개입 없이 자동으로 구축한다. 이를 통하여 상세한 보행자 수준의 네트워크 데이터를 초기 구축하는데 소요되는 시간을 단축하고 비용을 절감하고자 한다.

제 2 절 연구 동향

가장 오래된 이동수단인 보행(walking)은 가로 환경뿐만 아니라 걸어갈 도착지까지의 거리, 도착지의 종류와 수, 가로의 연결 네트워크 등 여러 가지 물리적 요소의 복합적인 상호작용에 영향을 받는 행위이다(Handy, 1996a, 1996b; Moudon and Lee, 2003). 결과적으로 복합적인 상호작용에 영향을 받는 보행은 인간의 공간인지와 그 관련성이 높다. 공간인지는 공간을 상상하고, 환경과 상호작용하는 데 사용된 심상 과정(mental process)으로, 공간구조 및 관계에 대한 지식, 이와 관련된 구성 및 재구성 과정이다(신정엽, 2009). 보행자는 실세계에 존재하는 다양한 정보를 취득하고 이를 이용하여 주변 환경에 대한 공간정보를 구축한다. 이런 공간인지의 대표적인 유형이 길찾기(wayfinding)이다. 길찾기는 다양한 경로로 구성된 선형의 네트워크에서 도착지로 이동하는 행위이며(Garling *et al.*, 1984; Golledge, 1999), 환경을 지각하거나 인지하고 여기서 얻어진 정보를 바탕으로 판단을 내리기를 반복하는 의사결정의 반복으로(Passini, 1984), 공간인지와 판단을 동반한다.

Lynch(1960)는 인간의 길찾기에 직접적인 도움을 주는 환경 요소로 통로(path), 교점(node), 랜드마크(landmark)를 정의하였다. 통로는 보행자가 움직여야 하는 잠재적인 움직임의 경로이고. 이들 통로와 통로가 교차되는 분절점이 교점이다. 랜드마크는 물리적인 환경에서 시각성(visibility)과 유일성(uniqueness)을 가진 물체로, 주변의 다른 대상보다 두드러져 지리적 위치를 파악하는데 도움을 주는 물체이다. 길찾기는 이들 환경 요소인 교점과 통로인 세부경로(link)로 구성되며(Raubal and Winter, 2002), 교점과 세부경로의 집합이 경로(route)가 된다. 출발지에서 도착지까지 경로가 구성된 후 길을 따라 이동하는 과정에서 사용자의 위치, 진행방향, 방향 전환이 발생하는 다음 교점, 즉 선택점(choice point)까지의 거리, 랜드마크, 거리 이름 등이 추가로 필요하다(Lutz, 2006). 특히, 경로를 인지 시 중요한 지점을 중심으로 기억하고 활용하기 때문에 길찾기에서 가장 중요한 정보는 랜드마크이다(May *et al.*, 2003;

Elias and Paelke, 2008). 더욱이 길찾기 능력이 낮은 사람이나 낯선 도착지로 이동해야 하는 경우에는 랜드마크를 이용하여 길을 찾는다(신정엽, 이건학, 2012; 한아름 등, 2010). 이들은 길찾기에 앞서, 선형 네트워크로 출발지에서 도착지까지의 경로를 학습하는 것이 중요하다(Devlin, 1976; Golledge and Spector, 1978). 최근에 기술의 발달로 CNS가 PNS로 확대되고 있어, 선형 네트워크 형태의 정보인 네트워크 데이터는 길찾기의 학습을 위한 목적에서 그 필요성이 확대되었다. 내비게이션 시스템은 지도DB, 측위 센서, 맵 매칭 모듈, 경로 탐색 모듈, 경로 안내 모듈로 구성되는데(Zhao, 1997), POI와 함께 선형 네트워크 데이터는 보행자의 위치와 경로를 제공하기 위한 기본적인 공간정보이다. 다시 말하면 길찾기에서 도착지까지의 학습을 위하여 활용된 네트워크 데이터는 PNS의 확대로 그 필요성이 증가되었다.

현재 보행자 수준 네트워크 데이터의 초기 구축에 요구되는 많은 시간과 비용으로 인하여, 차량 네트워크 데이터에서 보행자를 위한 경로안내 서비스가 제공되고 있다(Gaisbauer and Frank, 2008). 그러나 보행자는 차량과 달리 도로를 따라 움직이지 않고 그 이동이 자유로워 오직 도로의 중심선으로 구축된 차량 네트워크 데이터를 이용하여 보행자에게 경로를 안내하는 것은 적절하지 않다(가칠오 등, 2010; 김혜영, 2008; 남두희, 김영신, 2008; Corona and Winter, 2001; Elias, 2007; Gaisbauer and Frank, 2008; Kasemsuppakorn and Karimi, 2009a; Kim *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2010; Pan *et al.*, 2009; Scharl and Tochtermann, 2007; Tang and Pun-Cheng, 2004; Walter *et al.*, 2006). 결과적으로 보행자의 이동특성이 반영된 경로안내가 제공되기 위해서는 보도, 횡단보도, 육교, 지하도, 출입구, 계단, 공원이나 하천 주변 등의 보행로 등 도로 이외의 보행로로 이루어진 상세한 공간정보가 구축되어야 한다. 이들 보행자와 관련된 공간정보는 현장조사를 통해 수집된 자료를 숙련된 작업자가 수동으로 편집하거나(Beale *et al.*, 2006; Kasemsuppakorn and Karimi, 2009b), 항공사진이나 위성영상 등에서 보행공간의 중심선을 수동으로 디지타이징하는 방법으로 구축할 수 있다(Hampe and Elias,

2004). 그러나 이들 방법은 상세하고 정밀한 네트워크 데이터의 구축은 가능하나 많은 비용과 시간이 소요되는 작업으로, 여러 국가에 보행자 네트워크 데이터가 없거나 그 구축을 미루고 있는 이유가 된다.

이에 최근에는 기 구축된 공간정보에서 필요한 정보를 취득하여 보행자 네트워크 데이터를 생성하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Huang *et al.*, 2007). Tang and Pun-Cheng(2004)은 건물이나, 도로의 경계와 같은 객체의 외곽선 정보를 그대로 사용하여 보행자 네트워크 데이터를 생성하였다. 즉, 도로로 둘러싸인 블록과 이들 블록을 횡단보도나 교통신호등 주변과 같이 도로 위에서 보행자가 이동할 수 있는 공간을 연결하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다. 그러나 블록 내에 존재하는 골목길과 같은 상세한 보행로가 반영되지 않아 세밀도(Level Of Detail, LOD)가 낮은 네트워크 데이터가 구축되었다. Karimi and Kasemsuppakorn (2013)는 보행자는 오직 존재하는 도로를 따라 이동하며, 도로의 양쪽에는 보도가 존재하고, 모든 교차로에는 횡단보도가 존재한다고 가정하였다. 이에 차량 도로 네트워크 데이터에 network buffering기법을 적용하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다. 도로 네트워크 속성정보를 이용하여 고속도로를 제외한 도로를 선택하고, 시작점, 도로와 인도 사이의 거리(gap distance), 그리고 시작점으로 부터의 방향(radial)을 고려하여 도로 양쪽으로 보도 세그먼트를 생성하였다. 다음으로 보도 선형의 동쪽과 서쪽의 양쪽 끝점을 연결하여 횡단보도 세그먼트를 생성하였다. 도로의 양쪽에 무조건 보도를 생성하거나 모든 교차점에 횡단보도를 생성하여, 존재하지 않는 보도나 횡단보도가 네트워크 데이터에 포함되었다. 그러나 짧은 시간에 보행자 네트워크 데이터를 생성할 수 있다는 장점이 있다. Elias(2007)은 이종의 기 구축된 공간정보를 통합하여 차량 도로 폴리곤에서 중심선을 추출하였다. 이렇게 생성된 중심선과 출입구를 연결하였으며, 평면도를 이용하여 건물 내부까지 확장된 보행자 네트워크 데이터를 생성하였다. 출입구를 통하여 실외와 실내 공간을 연결하였지만 평면도에서 네트워크 데이터를 생성하는 과정에서 수동으로 작업이 진행되었다. Kim *et al.*(2009)은 기 구축된 차도의 중심선 세그먼트와 횡

단보도나 육교가 교차되는 지점에 노드를 추가하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다. 그러나 보행자는 차도를 따라 이동하지 않고, 도로 위에 있는 횡단보도나 육교를 이용하여 차도를 횡단하기 때문에 차도의 중심선에 노드만을 추가하는 방식은 보행자의 이동특성을 반영하지 못한다. Kim *et al.*(2010)은 기 구축된 공간정보를 이용하여 보행공간을 추출하고, 추출된 보행공간을 래스터 자료로 변환하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다. 그러나 구축된 데이터에는 담으로 막혀있어 보행자가 이동할 수 없는 건물과 건물 사이 공간(Liu and Jiang, 2012)이 포함되었다. Kasemsuppakorn and Karimi(2013a)는 고해상도의 정사 항공사진과 Lidar 영상에서 건물, 도로, 주차장과 같은 객체를 필터링하고, 필터링된 영상에서 보행자가 이동할 수 있는 공간을 추출하였다. 추출된 보행공간에 모폴로지 연산(morphology operation)을 이용한 세선화(thinning) 기법을 적용하여 스켈레톤(skeleton)을 뽑아 보행로에 해당하는 세그먼트와 횡단보도 세그먼트를 생성하였다. 마지막으로 래스터 자료를 벡터 자료로 변환하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다. 그러나 항공사진과 Lidar 영상에서 객체를 필터링할 때 밀집된 건물, 그림자, 나무 등에 의해 오류가 발생하고, 보행공간에서 중심선을 생성할 때 기하 오류가 발생한다는 한계가 있다. 또한 영상의 해상도와 처리기술이 객체를 추출하는 정확도에 영향을 미치는데(Gerke *et al.*, 2004), 고해상도 정사 항공사진을 활용하는 것이 쉽지 않으며, 일부 지역은 낮은 해상도의 영상만이 존재한다는 한계도 있다.

나아가 GPS수신이 가능한 단말기와 측위기술의 발달로 수집된 보행자의 이동궤적(GPS traces)을 이용하여 보행자 네트워크 데이터를 생성하는 연구가 진행되었다(Kasemsuppakorn and Karimi, 2009b; Kasemsuppakorn and Karimi, 2013b). 초기 취득된 보행자의 이동궤적에서 노이즈와 특이값(outlier)을 제거한 후, 보행경로일 확률이 높은 포인트만을 필터링한다. 이들 필터링된 포인트를 이용하여 링크를 생성하였다. 제안된 방법을 직접 취득한 데이터와 사용자 참여형 오픈 지도플랫폼인 OpenStreetMap에서 취득된 데이터에 적용한 결과, 건물이 밀집된

지역에 해당하는 네트워크 데이터의 위치 정확도가 50% 미만으로 나타났다. 취득된 보행자의 이동궤적을 이용하여 자동화된 방법으로 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다는데 의의가 있으나, 건물이 밀집된 지역에서 발생하는 GPS의 오차로 구축된 데이터의 위치 정확도가 낮게 나타났다.

보행자의 자유로운 이동 특성과 공간 인지를 고려하여 보행자 네트워크 데이터를 생성하거나 경로를 탐색하는 연구가 진행되었다. Pun-Cheng *et al.*(2007)은 노드와 링크로 이루어진 네트워크 데이터에 독립적인 모델로 보행자의 경로를 탐색하는 방법을 제안하였다. 입력된 출발점과 도착점의 최소사각형 내의 각 도로로 둘러싸인 공간인 블록(street block)안을 중첩되지 않는 셀들(exact cells)로 분해(decompose)하고, 2개의 인접한 수평 셀들(horizontal cells)을 연결하여 링크를 생성하였다. 그 링크의 중점에 불규칙삼각망(Triangulated Irregular Network)을 적용하여 세그먼트를 생성한 후, 건물과 같은 장애물과 교차하는 세그먼트를 제거하였다. 횡단보도나 육교와 같은 세그먼트를 추가하여 분리되어 있는 블록을 연결하였다. 노드-링크 구조의 네트워크 데이터를 생성하지 않아 복잡한 네트워크 데이터를 관리하지 않아도 되지만, 기존의 차량이나 대중교통 등이 노드-링크 구조의 네트워크 데이터로 구축되고 있어 멀티경로를 탐색하는 서비스로 확대되는데 걸림돌이 될 수 있다. Walter *et al.*(2006)은 보행자가 도로를 따라 이동하지 않는 것을 고려한 경로탐색 방법을 제안하였다. 첫 번째 단계로 도로와 건물 사이의 공간으로 이루어진 보행공간을 수치지형도와 평면도에서 추출하고 래스터 자료로 변환하였다. 두 번째 단계로 모폴로지 연산을 이용한 세선화로 이진 래스터 자료로부터 보행경로를 탐색하였다. Gaisbauer and Frank(2008)는 인도, 보행자 존(pedestrian zones), 공원 등으로 구성된 보행공간을 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 선형화하였다. 이들 세그먼트를 횡단보도나 지하보도와 같은 횡단시설로 연결하여 기본적인 네트워크를 생성하였다. 다음으로 보행자의 공간인지를 고려하여 교차로 주변의 공간을 선형화하고, 이를 앞에서 생성된 세그먼트와 융합하여 보행

자 네트워크 데이터를 생성하였다. 그러나 교차로 주변의 공간을 선형화하는 방법이 제시되어 있지 않아, 광범위한 지역을 대상으로 적용하거나 상용화기 위해서는 추가연구가 필요하다.

또한 차량과 보행자의 이동 차이가 두드러지게 나타나는 오픈 스페이스(open space)를 대상으로 경로를 탐색하는 연구도 진행되었다. Krisp *et al.*(2010)은 오픈 스페이스에서 보행자의 이동특성이 반영된 경로를 탐색하기 위하여, 도로와 떨어진 경로(off-road route)를 고려하여 장애물을 통과하는 보행경로 탐색 알고리즘(visibility polygon method)을 개발하였다. 전통적인 최단거리 탐색 기반의 가시 그래프(visibility graph)보다 경로를 탐색 시 짧은 시간이 소요되나 장애물이 존재하는 광범위한 공간에서 제안된 방법이 적용될 수 없다. Pan *et al.*(2009)은 단순 폴리곤(simple polygon) 내부에 다각형의 장애물(polyhedral obstacles)이 있는 오픈 스페이스에서의 경로탐색 시, 폴리곤 내의 출발지와 도착지에서 모든 장애물을 피하는 두 지점 사이의 폴리곤 내의 최단거리를 찾는 2-D ESPO 알고리즘을 제안하였다. Zheng *et al.*(2009)은 오픈 스페이스를 유형화하고, Pan *et al.*(2009)의 연구를 확대하여 오픈 스페이스 외부에서부터 내부를 포함한 경로탐색 기법을 제안하였다. 그러나 실제 오픈 스페이스는 이들이 제안한 폴리곤보다 복잡한 경우가 많아 실제로 적용하는데 제약이 있다. 보행자가 자유롭게 이동할 수 있는 오픈 스페이스에서는 오픈 스페이스를 더 작은 공간으로 분할하거나 모든 영역을 선형화하여 네트워크 데이터를 생성하고자 하였다. 가칠오 등(2010)은 보행자는 도로의 중심선을 따라 이동하지 않기 때문에 노드-링크로 구성된 네트워크 구조로 경로를 표현하는 것이 부적절하며, 특히 공원이나 광장과 같은 오픈 스페이스에서는 보행자의 이동을 정확히 표현하지 못하는 한계가 있다고 지적하였다. 이에 오픈 스페이스에 제약 델로니 삼각 분할(Constrained Delaunay Triangulation)을 적용하여 분할하고, 인접 삼각형들의 중심점을 연결한 듀얼 그래프를 생성하여 보행경로를 제공하였다. 중심선을 따라 탐색된 경로보다 전체 공간을 활용한 경로가 탐색되나, 보도나 횡단보도 등 도로 주변에서는 이들 영역을 따라 이동하기 때

문에 오픈 스페이스 이외의 공간으로 확대하여 적용 시 많은 저장 공간이 요구될 수 있다. 김혜영(2006)은 오픈 스페이스를 대상으로 하지는 않았지만 공간구문론(Space Syntax)을 적용하여 보행자의 접근성이 높은 길 위주로 경로를 탐색하는 방법을 제안하였다. 공간구문론을 적용하여 보행자 접근성이 높은 길을 탐색하기 위해서는 출발지와 도착지를 포함하는 탐색 영역이 설정되어야 하는데, 이때 탐색 영역 경계에서 주변효과(edge effect)로 왜곡이 발생한다. 그러나 보행자의 공간인지를 고려한 경로를 탐색할 수 있다는데 의의가 있다.

남두희와 김영신(2008)은 국토교통부의 지능형교통체계 표준 노드·링크를 바탕으로 장애인과 노약자에 적합한 네트워크 체계를 구성하였다. 건물과 시설물의 입구, 횡단보도, 계단, 육교, 엘리베이터, 에스컬레이터, 지하보도의 연결로까지 고려한 데이터 모델을 제시하였다. 이종언 등(2008)은 도심지에서 이동이 가장 활발한 상가 주변지역을 대상으로 간판, 가로수 등의 물리·환경 요소, 방향전환, 시야와 접근성 제약에 의한 공간인지를 고려한 경로를 탐색하는 알고리즘을 개발하였다. 이때, 경로탐색의 속도 향상과 공간인지를 고려하여, 단순 노드-링크, 상세 노드-링크, 그리고 오픈 스페이스에 추가된 스팟(spot) 노드로 이루어진 계층적인 네트워크 데이터를 구성하였다. 황기연 등(2008)은 상점정보와 위치기반서비스를 결합하여, 보행자가 이동 중에 단말기를 통해 무선으로 인기도별 상점정보를 확인할 수 있는 거리쇼핑을 위한 PNS를 개발하였다. 이 과정에서 상점의 정보를 기존DB와 현장조사를 통해 구축하였으며, 신속한 경로, 편안한 경로, 그리고 재미있는 경로 등을 서비스한다. 그러나 이런 서비스를 위하여 기본적으로 필요한 보행자 네트워크 데이터를 어떻게 구축하였는지에 대한 내용은 포함되어 있지 않다.

앞에서 살펴본 바와 같이, 길찾기는 공간인지의 한 부분으로 보행자는 이동을 하면서 주변 환경에서 습득된 정보를 바탕으로 도착지에 도착할 때까지 끊임없이 의사결정을 한다. 최근에는 측위기술과 GPS 수신이 가능한 휴대용 단말기의 발달로 보행자에게 실시간 위치를 바탕으로 경로를 안내하는 서비스가 제공되고 있다. 이에 네트워크 데이터를 통한 경

로의 학습이 실시간으로 경로를 안내하는 서비스인 PNS로 대체되고 있다. 보행자는 차량보다 이동이 자유로워 기존의 네트워크 데이터의 구축 방법으로 보행자 네트워크 데이터를 구축하는데 많은 시간과 비용이 요구된다. 보행자의 이동특성이나 공간인지를 고려한 경로탐색 기법이나 기 구축된 공간정보를 이용하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하는 연구가 진행되고 있으나 몇 가지 한계점이 도출되었다.

첫째, 기 구축된 공간정보에서 보행공간에 대한 정의가 없이 네트워크 데이터를 구축하여, 건물 사이와 같이 보행자가 이동하지 못하는 공간이 보행자 네트워크 데이터에 반영되거나 차도를 따라 이동하지 않는 보행자를 위하여 차도의 중심선을 이용하여 보행자 네트워크 데이터를 생성하였다.

둘째, 보행자의 이동특성 및 공간인지를 고려하여 경로를 탐색하는 기법과 네트워크 데이터를 구축하는 방법이 제안되었으나, 오픈 스페이스와 같이 제한된 지역을 대상으로 하여 광범위한 지역에 적용하기에 제약이 있다. 또한 기존의 노드-링크 구조가 아닌 네트워크 데이터나 경로탐색 기법이 제안되어 기 구축되어 있는 차량이나 대중교통과 같은 노드-링크 구조의 네트워크 데이터와의 연계하여 활용하는데 한계가 있다.

셋째, 구체적인 보행자 네트워크 데이터를 구축하는 방법이 제시되지 않거나 구축하는 과정에서 사용자의 개입이 요구되어 선행연구에서 제안된 방법을 광범위한 지역에 적용 시 여전히 많은 시간과 비용이 요구될 수 있다.

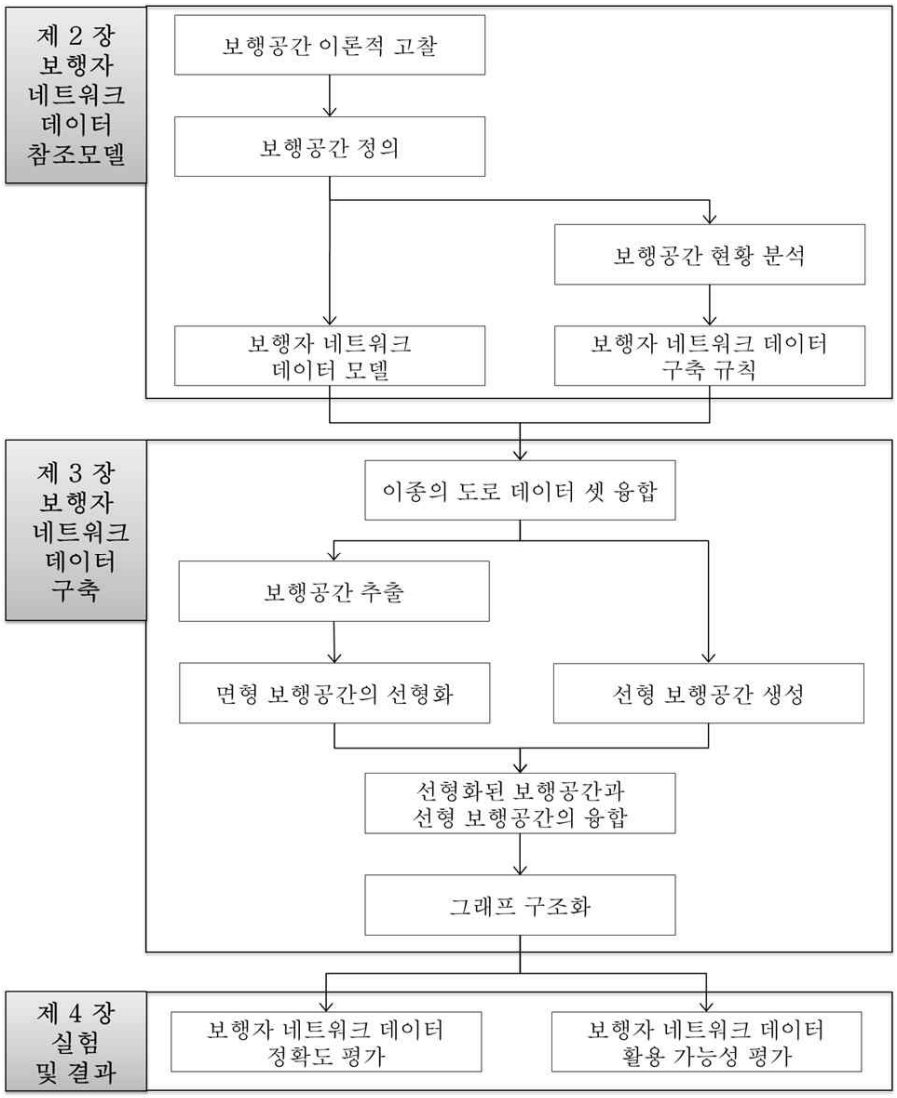
제 3 절 연구 범위 및 방법

우리나라는 보행자가 이동할 수 있는 주택가의 이면도로나 골목길, 그리고 단지 내에 있는 도로 등 LOD가 높은 도로가 기 구축된 공간정보에 구축되어 있어 상세한 보행자 수준의 네트워크 데이터를 생성할 수 있는 기반이 마련되어 있다. 이에 이 연구는 기 구축된 지도를 이용하여 광범위한 지역에 대하여 상용서비스에서 활용할 수 있는 수준의 LOD가 높은 보행자 네트워크 데이터를 사용자의 개입이 없이 자동으로 구축고자 한다. 이때, 보행자 수준의 네트워크 데이터를 구축하기에 앞서 2가지를 가정한다. 첫째, 기 구축된 지도를 이용하여 네트워크 데이터를 구축하므로, Pedestrian Council of Australia[11]에서 정의하는 발, 휠체어나 전동 스쿠터 등으로 이동하는 보행자 중에서, 세밀하고 정확한 공간정보가 요구되는 장애인이 이용하는 휠체어 등으로 이동하는 보행자는 제외한다. 둘째, 기 구축된 지도가 실외를 대상으로 구축되어 있어, 구축될 보행자 네트워크 데이터의 공간적 범위는 보행자가 이동할 수 있는 실외로 한정한다. 즉 실외를 대상으로 발로 이동하는 보행자를 위한 네트워크 데이터를 구축한다.

이를 위하여 보행공간과 관련된 이론적 고찰을 바탕으로 보행공간을 정의하고 보행자 네트워크 데이터 모델을 제시한다. 또한 보행공간 현황을 분석하여 기 구축된 지도에서 정의된 보행공간을 추출하기 위한 보행자 네트워크 데이터의 구축 규칙(rule)을 정의한다. 다음으로 이종의 도로 데이터 셋을 융합하여 위치가 정확하면서 LOD가 높은 도로정보를 취득한다. 융합된 기 구축된 지도에 제시된 참조모델(reference model)을 적용하여 면형(polygon) 보행공간을 추출한다. 추출된 면형 보행공간은 보행자가 한 지점에서 움직이지 않고 주변을 관찰할 수 있는 가시(visibility) 범위를 고려한 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 선형화한다. 마

11) Pedestrian Council of Australia, http://www.walk.com.au/pedestriancouncil/page.asp?PageID=105 (접속일: 2014년 5월 2일)

지막으로 선형화된 보행공간과 선형(line) 보행공간을 융합하고, 위상정보를 부여하여 그래프 구조의 보행자 네트워크 데이터를 구축한다. 구축된 보행자 네트워크 데이터는 데이터의 질과 시각적 평가를 통해 정확도를 검증한다. 또한 민간 포털사의 지도서비스와 동일한 경로를 비교하여 상용서비스에서 활용이 가능한지를 평가한다. 자세한 연구의 흐름은 [그림 1-1]과 같다.



[그림 1-1] 연구 흐름도

제 2 장 보행자 네트워크 데이터 참조모델

기 구축된 지도에서 보행자 수준의 네트워크 데이터를 구축하기에 앞서 보행자가 이동할 수 없는 공간(비보행공간)과 보행자가 이동할 수 있는 공간(보행공간)을 구분하고, 각각에 해당하는 지형·지물을 정의할 필요가 있다(Corona and Winter, 2002). 보행공간을 노드와 링크로 구성된 그래프 구조로 나타낸 것이 보행자 네트워크 데이터가 된다.

따라서 이 연구에서는 국내 보행자 관련된 법령과 국내외 선행연구를 바탕으로 보행공간을 정의하고, 정의된 보행공간에 대한 데이터 모델을 제시한다. 각 보행공간의 현황을 분석하여, 기 구축된 지도에서 보행자 네트워크 데이터를 구축하기 위한 규칙을 제시한다. 보행자 네트워크 데이터를 구축하기 위하여 보행자 네트워크 데이터 모델이 정의되고, 보행공간의 현황을 바탕으로 구축 규칙이 정의된 것을 보행자 네트워크 데이터 참조모델이라 한다.

제 1 절 보행자 네트워크 데이터 모델

보행자 네트워크 데이터 참조모델을 제안하기 위한 첫 번째 단계로, 국내의 보행자나 도로, 도시설계와 관련된 법과 국내외 선행연구 등에 나타난 보행공간의 고찰을 통하여 보행공간을 정의한다. 또한 이를 바탕으로 보행자 네트워크 데이터 모델을 제안한다.

1. 보행공간에 대한 이론적 고찰

지난 2012년에 보행자의 안전 확보를 위하여 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률」이 제정되었다. 당 법 제2조1호에는 보행자(유모차 및 안전행정부와 국토교통부의 공동부령으로 정하는 보행보조용 의자차를 포함한다)의 통행을 위한 장소로 보행자길이 정의되어 있다. [표 2-1]과 같이 보도, 길가장자리구역, 횡단보도, 지하보도, 육교, 그 밖의 도로횡단시설, 골목길과 같은 불특정 다수의 보행자 통로, 공원이나 항만친수시설 중 보행자의 통행에 제공되는 장소로 세분되어 있다. 또한 보행자길 중에서 보행자만 이동하거나 보행자에게 이동의 우선이 있는 도로나 보행자길이 정의되어 있다. 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률」제16조에 명시되어 있는 보행자길 중에서 보행자의 안전과 쾌적한 보행환경을 확보하기 위하여 특별히 필요하다고 인정되는 보행자길인 보행자전용길이다. 또한 「도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」 제9조에 정의된 폭1.5m 이상의 도로로서 보행자의 안전하고 편리한 통행을 위하여 설치하는 도로인 보행자전용도로와 폭 10m 미만의 도로로서 보행자와 차량이 혼합하여 이용하되 보행자의 안전과 편의를 우선적으로 고려하여 설치하는 도로인 보행자우선도로가 있다. 결과적으로 국내 보행자와 관련된 법에는 보행공간을 도로를 따라 존재하는 보행공간과 도로 이외에 존재하는 보행공간으로 구분하고 있으며, 특히 폭 10m 미만의 도로에서 보행자의 이동이 우선되거나 보행자만 이동할 수 있는

보행자길이 분리되어 있다. 이에 반해 보행자의 이동이 금지된 도로도 있다. 「도로교통법」 제2조제2호에 정의된 자동차만 다닐 수 있도록 설치된 도로인 자동차전용도로와 당 법 제2조제3호에 명시되어 있는 자동차의 고속 운행에만 사용하기 위하여 지정된 도로인 고속도로가 그것이다. 자동차전용도로와 고속도로는 보행자의 통행이 금지되어(「도로법」 제62조, 「도로교통법」 제63조), 비보행공간으로 분류될 수 있다.

[표 2-1] 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률」에 정의된 보행자길

유형		관련 법
보도	연석선, 안전표지나 그와 비슷한 인공구조물로 경계를 표시하여 보행자가 통행할 수 있도록 한 도로의 부분	「도로교통법」 제2조제10호
길가장자리 구역	보도와 차도가 구분되지 아니한 도로에서 보행자의 안전을 확보하기 위하여 안전표지 등으로 경계를 표시한 도로의 가장자리 부분	「도로교통법」 제2조제11호
횡단보도	보행자가 도로를 횡단할 수 있도록 안전표지로 표시한 도로의 부분	「도로교통법」 제2조제12호
자연공원으로 지정된 구역인 공원구역 및 도시지역에 설치 또는 지정된 도시공원 안에서 보행자의 통행에 제공되는 장소		「자연공원법」 제2조제5호, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 제2조제3호
항만친수시설 중 보행자의 통행에 제공되는 장소		「항만법」 제2조제5호라목
지하보도, 육교, 그 밖의 도로횡단시설		
그 밖에 골목길 등 불특정 다수의 보행자 통로		

도시설계나 보행자를 위한 네트워크 데이터 모델과 관련된 선행연구에 정의된 보행공간을 살펴보면, 이양제(1987)는 보행공간의 유형을 보차

분리와 보차공존으로 [표 2-2]와 같이 구분하였다. 이때 보차분리 보행공간을 계단이 존재하는 입체적인 보행공간과 계단이 존재하지 않는 평면적인 보행공간으로 유형화하였다는 특징이 있다.

[표 2-2] 이양제(1987)가 정의한 보행공간

유형		상세 설명
보차분리	평면적인 유형	보도, 보행자전용 몰(pedestrian mall), 특정 시간과 장소에 대한 차량통제
	입체적인 유형	보행자용 데크(pedestrian deck), 육교, 지하보도, 플라자(sunken plaza) 등
보차공존		-

이두희(1995)는 보행공간의 형태를 기준으로 길(street)이라고 인식하는 대부분의 공간인 보도, 산책로, 골목길, 진입로, 그리고 녹도 등과 같은 '선형 보행공간'과 특정 목적을 주로 하여 사용되는 광장, 그리고 공원 등의 '면형 보행공간'으로 정의하였다. 특히 이들 각각에 대해서는 도시설계 분야[12]에서 [표 2-3]과 같이 상세하게 유형화하고 있다. 선형 보행공간인 보행도로를 보도, 보행자전용도로, 보차혼용(공존)도로, 보행우선도로로 세분화하였고, 면형 보행공간을 보행광장으로 통칭하였다. 보행공간을 그 형태에 따라 선과 면으로 구분하였으나, 이는 도로를 따라 존재하는 보행공간과 도로 이외의 보행공간으로 구분될 수 있다.

12) 도시설계요소, http://snu.oktomato.net/board/view.asp?schoption=&schword=&page=&idx=363&bid=&board_type1=&bunlu= (접속일 2014년 4월 23일)

[표 2-3] 도시설계에서 정의하는 보행공간

유형		특성
보행도로	보도	보행자와 차량이 함께 사용하는 도로에서 보행자 길과 자동차 길을 구분하고자 연석 또는 공작물 등을 그 사이에 설치한 도로의 보행자길 부분
	보행자 전용도로	보행자의 안전을 위해 차량동선과 분리되어 보행자에게 독점적으로 제공되는 도로. 도심, 부도심등 보행량이 많은 곳이나, 하천변, 공원 등에 설치. 버스 및 택시 정류장, 지하철 및 철도역, 유치원 및 초등학교, 쇼핑센터 등 보행통행의 주요 목적지를 연결하는 도로
	보차혼용(공존)도로	보행자와 차량이 같은 분리되지 않은 가로공간을 함께 사용하는 도로
	보행우선도로	이동성에 있어 보행자가 자동차보다 우위에 있는 도로로서, 동선이 교차 시 보행자에게 이동의 우선권을 부여하는 도로
보행광장		사람들의 집합장소, 교류의 장소, 복잡한 도로로부터 벗어나 긴장감을 해소하는 장소. 철도역 앞, 공공건물 주변, 역사적 유적지 주변, 도심 상업지 등 보행밀도가 높고 사람들이 많이 모이는 장소

국외에서는 보행공간을 정의하는 연구보다는 보행자의 이동특성을 고려하여 보행자 네트워크 데이터를 모델링하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 해당 모델링에 정의된 객체를 보행공간으로 구분할 수 있을 것이다.

Bleeke(2006)은 이종의 공간 데이터 셋을 분석하여 보행자 네트워크 DB를 생성하는데 필요한 객체를 정의하는 연구를 진행하였으며, 도로의 중심선과 횡단보도, 육교 등의 교통시설물 그리고 건물 출입구와의 연결로 등을 기본 요소로 정의하였다. 그러나 도로의 중심선을 그대로 사용하여 차량과 분리된 보행자가 이동할 수 있는 공간이 정의되지 않았다는

한계가 있으나 이를 제외한 횡단보도, 육교, 건물 출입구와의 연결로 등이 보행공간으로 구분될 수 있다.

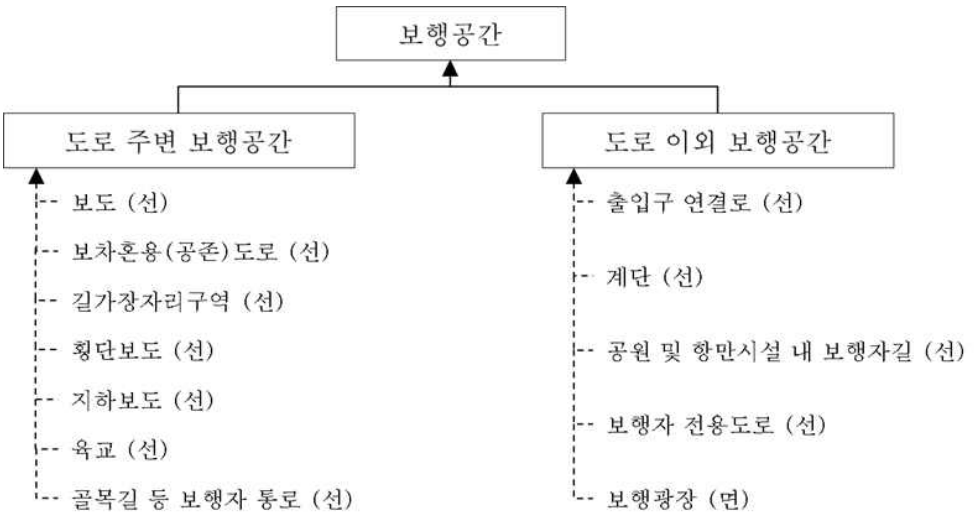
Liu *et al.*(2009)은 일반적인 보행자 네트워크 데이터가 포함하고 있는 보도, 차도를 횡단할 수 있는 횡단보도, 육교, 그리고 지하보도와 보행자 접근가능 시설, 오픈 스페이스를 보행자 네트워크 데이터의 기본 요소로 정의하였다. 이와 유사하게 Kasemsuppakorn and Karimi(2009b)도 보행자의 안전을 향상시키고, 잠재적인 위험을 줄이며 이동성과 접근성을 용이하게 하기 위한 보행공간을 [표 2-4]와 같이 모델링하였다. 도로에서 차량과 보행자가 분리되는 공간인 보도와 오픈 스페이스나 건물 사이와 같이 도로와 인접하지 않은 보행자가 이동할 수 있는 보행로, 횡단보도나 육교, 지하보도와 같이 도로에서 보행자가 통행할 수 있는 횡단시설, 보행로와 연결된 건물 출입구와의 연결로, 계단 등으로 보행자 네트워크 데이터의 기본 요소가 정의되어 있다. 국외 보행자 네트워크 데이터를 모델링하는 선행연구는 보행자 네트워크 데이터에 포함되는 객체 단위에 초점이 맞춰져 있어 해당되는 객체가 구체적으로 언급되어 있었으며, 보도, 육교, 횡단보도와 같은 횡단시설, 건물 출입구와의 연결로, 계단, 도로 이외의 보행로 등이 포함됨을 알 수 있다.

[표 2-4] Kasemsuppakorn and Karimi(2009b)가 제안한 보행공간

요소	설명
Sidewalk	a path designed for pedestrian traffic alongside a road
Pedestrian walkway	a path not necessary at the side of a road such as a walkway between buildings, or a foot path to the plaza
Accessible path/ramp	a part of pedestrian walkway, but specifically at the entrance of the buildings or ramp for disabled group
Crosswalk	a facility that is marked off on a road to indicate where pedestrians should cross, generally at an intersection

요소	설명
Pedestrian bridges	a grad-separated crossing that is constructed over the roadway
Pedestrian tunnels	a grade-separated crossing that is an below-ground passageway
Steps	a grade-separated crossing that is filling the gap in elevation

보행공간에 대한 이론적 고찰 결과, [그림 2-1]과 같이 보행공간을 유형화할 수 있다. 보행공간을 도로 주변에 있는 보행공간과 도로에서 떨어진(off-road) 보행공간으로 크게 나눌 수 있다. 또한 각 보행공간 객체는 그 형태에 따라 선과 면으로 이루어진다. 이때, 각 객체는 하나의 보행공간에만 포함되는 것은 아니다. 예를 들어 계단의 경우, 도로와 연결된 계단이 있고, 도로와 떨어져 건물과 연결되거나 공원 내에 있는 계단도 존재하기 때문이다.



[그림 2-1] 보행공간에 대한 이론적 고찰 결과

2. 보행공간 정의

이론적 고찰 결과를 토대로 이 연구에서도 보행공간을 도로 주변의 보행공간과 도로 이외의 보행공간으로 구분하여 보행자의 자유로운 이동 특성이 반영될 수 있도록 보행공간을 정의하고자 한다.

홍수기(1991)에 의하면 보행환경에 큰 영향을 주는 보행공간은 보도와 차도이며, 보도와 인접한 차량의 영역인 차도에는 일시적으로 또는 부분적으로 보행자를 위한 영역이 존재하는데 이들 보행자의 횡단시설은 보행자와 차량의 이동이 확실하게 구별되는 보행공간이다. 이에 도로 주변 보행공간 중에서 보행자와 차량의 이용이 도로 상에 분리되어 보행자의 안전이 확보되는 '보도'와 횡단보도나 육교, 지하보도와 같이 차도를 통행할 수 있는 횡단시설로 구성된 '횡단시설보행자길'로 보행공간을 세분화할 수 있다. 또한 주택가의 이면도로나 생활도로[13], 소로와 같이 보행자와 차량이 함께 이동할 수 있는 도로나 골목길 등은 '보차공존도로'라 한다. 도로를 따라 움직이는 차량과 가장 차별될 수 있는 보행자의 이동 특성이 나타나는 도로와 떨어진, 즉 도로 이외의 보행공간은 보행자가 건물이나 아파트 단지 등을 출입하는데 이용되는 '출입구연결보행자길'이 있다. 또한 산책로, 녹도, 공원구역 및 도시공원 안에서 보행자의 통행에 제공되는 장소, 항만친수시설 중 보행자의 통행에 제공되는 장소나 계단, 보행광장과 같이 도로와 떨어져 존재하는 보행공간을 '보행전용길'로 묶을 수 있다(식 (1-1)).

$$\text{보행공간} = \{\text{보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길, 출입구연결보행자길, 보행전용길}\} \quad (1\text{-}1)$$

13) 보도와 차도가 명확히 구분되지 않은 좁은 도로로, 이면도로라고도 부른다. 주로 폭 3m 차도의 왕복, 좌우 1.5m 보도가 설치되면 보도와 차도가 구분되기 때문에 생활도로의 기준을 9m 미만으로 본다(네이버 지식백과, http://terms.naver.com/ (접속일: 2014년 6월 25일)).

따라서 이 연구에서는 [표 2-5]와 같이 차량과 구별되는 보행자의 이동특성이 나타날 수 있도록 보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길, 출입구연결보행자길, 보행전용길로 보행공간을 정의하였다. 정의된 보행공간이 보행자 네트워크 데이터의 노드와 링크를 구성하게 된다.

[표 2-5] 정의된 보행공간

구분		정의	선행연구					
			A	B	C	D	E	F
도로주변	보도	보차가 분리된 도로에서 연석선, 안전표지나 그와 비슷한 인공구조물로 경계를 표시하여 보행자만 통행할 수 있는 도로의 부분	●	●	●	●		●
	보차공존도로[14]	국지도로, 주택가 이면도로나 생활도로, 골목길 등 도로 전부를 이용한 보행이 가능한 보도와 차도가 구분되지 않은 도로	●	●		●		●
	횡단시설 보행자길	보행자가 차도를 통행할 수 있는 횡단보도, 지하보도, 육교 등의 횡단시설로 이루어진 도로의 부분	●				●	●
도로이외	출입구연결 보행자길	건물이나 단지 등을 출입하기 위한 출입구나 출입문과 연결된 보행자길			●	●	●	●
	보행전용길	도로와 떨어진 단지나 하천의 주변, 공원 안에 설치된 보행자만을 위한 보행자길이나 보행광장, 그리고 계단	●	●	●	●		●

A: 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률」/
B: 이양제(1985) / C: 이두희(1995) / D: 도시설계 /
E: Liu *et al.*(2009) / F: Kasemsuppakorn and Karimi(2009b)

14) 보차공존도로는 보행자 위주의 도로를 차량이 부수적으로 이용하는 것이고, 보차혼용도로는 차량 위주의 도로를 보행자가 부수적으로 이용하는 것(서울 도시계획 포털, http://urban.seoul.go.kr/4DUPIS/wordsearch/content_word.do?iword_no=841 (접속일 2014년 7월 1일))을 의미하나, 이 연구는 보행자가 이동하는 공간을 정의하는 것이 목적이므로 보행자 위주의 도로를 의미하는 '보차공존도로'를 사용한다.

3. 보행자 네트워크 데이터 모델

국내 보행자와 관련된 법과 국내외 선행연구를 바탕으로 보행자가 이동 가능한 공간인 보행공간을 정의하였다. 정의된 보행공간으로 구성된 보행자 네트워크 데이터 모델은 [그림 2-2]와 같다.

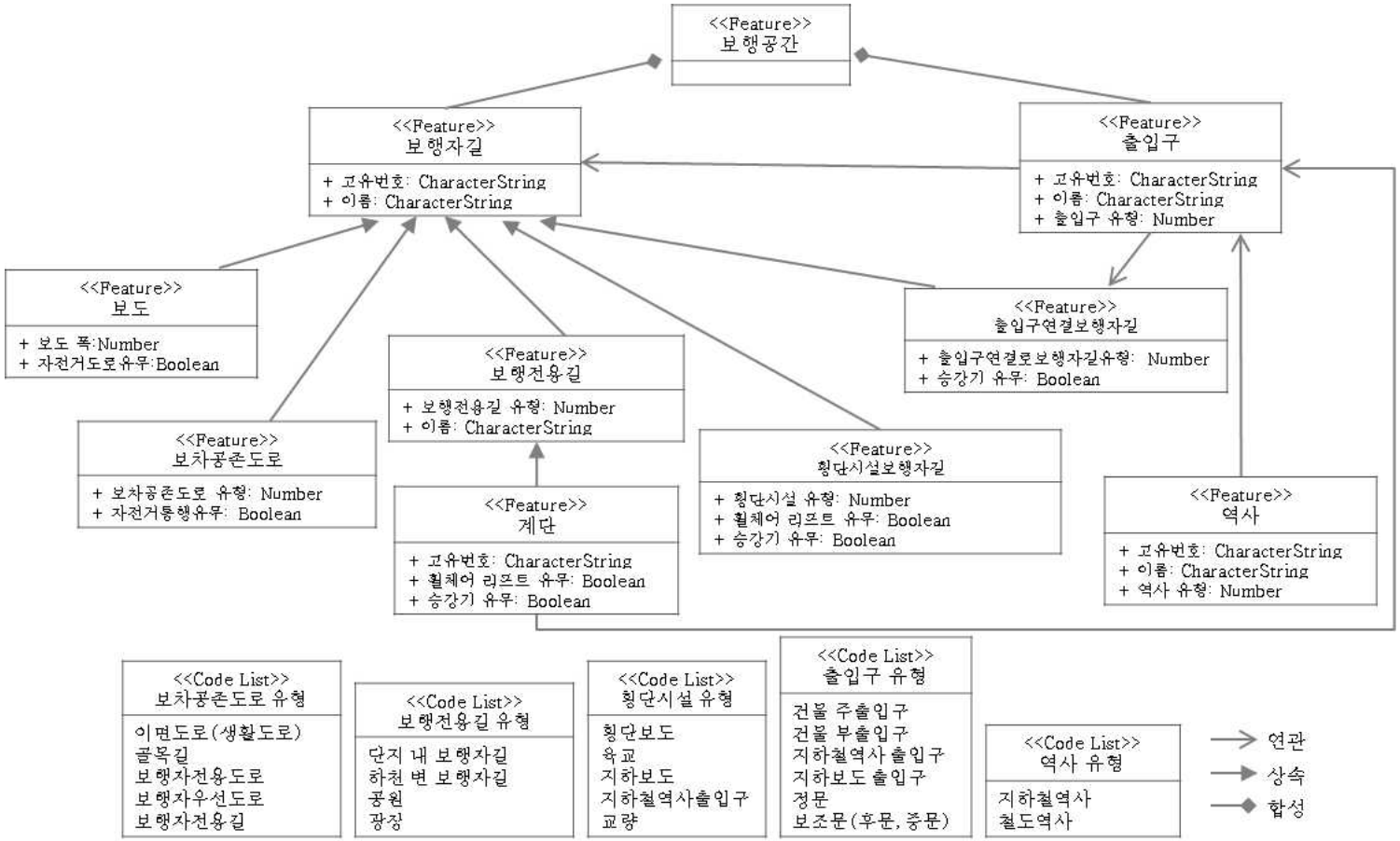
보행자 네트워크 데이터 모델은 이론적 고찰을 통해 정의된 보행공간인 보행자길을 중심으로 구성된다. 모델의 주요구성은 보행자길 클래스와 출입구 클래스로 구성되며, 합성(Composition)[15]으로 관계가 정의된다. 출입구는 차량과 달리 보행자만이 이동할 수 있는 건물이나 지하보도와 지하철역사의 출입구를 포함한다. 또한 보행자가 지하철과 같은 다른 교통수단과 환승하는 결절점이며, 실외와 실내 환경을 연결하는 공간으로 별도의 클래스로 분리하였다. 보행자길 클래스는 출입구 클래스로 이루어진 출입구연결보행자길 클래스를 내포하고 있어 보행자길 클래스와 출입구 클래스는 연관(Association)[16]으로 관계가 정의된다. 보행자길 클래스는 보도 클래스, 보차공존도로 클래스, 횡단시설보행자길 클래스, 출입구연결보행자길 클래스, 보행전용길 클래스로 구성되며, 이는 상속(Generalization)[17]으로 관계가 정의된다. 보행전용길 클래스는 계단에 승강기나 리프트의 설치 유무에 따라 노약자나 장애인과 같은 교통약자의 이동이 편리하거나 자전거나 유모차 등의 이동이 가능할 수 있어, 계단 클래스를 별도로 구성한다. 출입구 클래스는 보행자길 클래스 중에서 출입구연결보행자길 클래스에 포함되므로 연관으로 관계가 정의된다. 이때, 출입구는 지하철과 같은 교통수단으로의 환승이 일어나는 지점으로, 역사 클래스와 연관으로 관계가 정의된다. 또한 지하철출입구에는 계단이 존재하는 경우가 있어 출입구는 계단과 연관으로 관계가 정의된다.

---

15) 부분 인스턴스는 동시에 하나의 합성에 포함되며, 합성 객체가 부분들의 생성, 제거에 대한 책임을 갖는 연관의 형태(한국표준협회, 2010)

16) 인스턴스 간의 연결을 규정하는 두 개 이상 분류자간의 의미론적 관계(한국표준협회, 2010)

17) 보다 상세한 요소가 보다 일반적인 요소의 구조와 형태를 통합하는 메커니즘(한국표준협회, 2010)



[그림 2-2] 보행자 네트워크 데이터 모델

제 2 절 보행자 네트워크 데이터 구축 규칙

보행자 네트워크 데이터를 구축하기 위한 규칙을 정의하기 위해서는 보행공간이 실세계에서 어떻게 설치되어 있는지 살펴보고, 그 특성을 분석할 필요가 있다. 이를 위해서는 정의된 보행자 네트워크 데이터 클래스를 실세계에 어떻게 설치되어 있는지 현지조사를 하여야하나 이것은 시간과 비용이 많이 소요된다. 따라서 보행공간이 설치되는 기준이나 기 구축된 지도에서 어떻게 관리되고 있는지를 살펴보고, 보행공간의 일반적인 특성을 도출한다. 이때, 보행공간을 도로 주변의 보행공간과 도로 이외의 보행공간으로 구분하여 살펴본다.

1. 기 구축된 지도

국가나 민간의 구축된 지도에서 도로의 경계나 중심선은 기본이 되는 지형·지물로, 한국건설기술연구원에서 제작・관리하는 지능형교통체계 표준 노드・링크(표준 노드・링크)[18], 한국교통연구원의 교통주제도[19]를 비롯하여 국토지리정보원 수치지도2.0[20]의 도로경계나 도로중심선, 안전행정부 도로명주소기본도[21]의 실폭도로나 도로구간, 통계청 센서스지도[22]의 도로, 그리고 민간 CNS업체에서 사용하고 있는 노드와 링크

18) 교통정보를 수집, 제공하기 위해 교통체계 지능화 사업자가 구축하는 전자교통지도(「지능형교통체계 표준 노드·링크 구축·관리 지침」 제2조)

19) 교통주제도는 전국의 2차선 이상 도로를 구축대상으로 하며, 노드, 링크 및 회전제한 정보, 교통망, 교통시설물, 일반시설물, 행정경계, 교통존, 지형, 수계, 주기로 구성됨(국가교통DB센터, 2008).

20) 데이터 간의 지리적 상관관계를 파악하기 위하여 정위치 편집된 지형·지물을 기하학적 형태로 구성하는 구조화 편집 작업이 완료된 수치지도(「수치지도작성 작업규칙」 제2조)

21) 「지적법」에 따른 지적공부와「측량법」에 따른 도면을 활용하여 도로명 및 건물번호 등이나 그 밖의 자료를 포함하여 작성한 도면(「도로명주소정보체계 운영규정」 제2조)

(CNS 노드・링크)에 구축되어 있다. 이들 기 구축된 지도를 다음지도에서 제공하는 공간해상도 50cm급 항공사진([그림 2-3](a))과 비교한 결과, 표준 노드・링크([그림 2-3](b))와 교통주제도([그림 2-3](c))는 일반도로 중 주간선도로[23]나 보조간선도로[24]를 대상으로 구축되어 있었다. 결국 보행자가 이동하는 이면도로나 생활도로, 골목길과 같은 LOD가 높은 도로정보가 구축되어 있지 않았다. 또한 차량의 이동을 위하여 도로에 표시된 U턴 등과 같은 회전규제가 포함되어 있었다. 예를 들어, 동일한 도로가 하나의 세그먼트가 아니라 여러 개의 세그먼트로 구축([그림 2-3](b))되거나 이들 세그먼트를 연결하는 가상의 세그먼트가 구축([그림 2-3](c), (e))되어 있었다. 통계청의 센서스지도([그림 2-3](d))에서는 도로가 면으로 제공되나 객체(feature) 단위로 구축되어 있지 않으며, 그 도형정보가 실제 도로경계와도 상이하였다. CNS 노드・링크는 실제 도로가 비교적 잘 반영되어 있었으나, U턴과 같은 회전규제가 링크에 구축되어 있었다. 그러나 상세한 단지나 공원, 그리고 하천 주변의 보행공간이 면으로 관리되고 있었다([그림 2-3](e)).

따라서 차량을 위한 경로안내나 차량의 교통흐름의 관리를 목적으로 하지 않는 기 구축된 지도인 국토지리정보원의 수치지도2.0과 안전행정부의 도로명주소기본도, 그리고 LOD가 높은 단지 내 도로나 하천 주변의 보행공간이 구축되어 있는 민간 CNS업체의 배경DB를 대상으로 보행공간의 현황을 살펴본다. 향후 실세계의 LOD가 높은 도로를 왜곡이 없이 반영하는 지도가 구축되면 이들 지도로 보행공간의 현황을 분석할 수 있다.

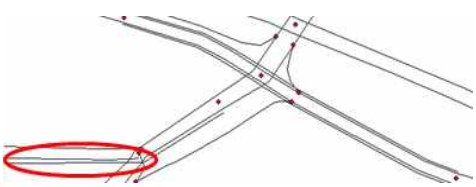
---

22) 통계 조사 및 통계지리정보 서비스의 바탕이 되는 지도 데이터(「통계지리정보 관리지침」 제2조)

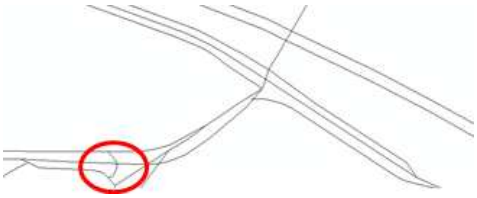
23) 시・군 내 주요지역을 연결하거나 시·군 상호간을 연결하여 대량의 통과교통을 처리하는 도로로서 시·군의 골격을 형성하는 도로(「도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙」 제3조)

24) 주간선도로를 집산도로 또는 주요 교통발생원과 연결하여 시・군 교통의 집산기능을 하는 도로로서 근린주거구역의 외곽을 형성하는 도로(「도로의 구조・시설 기준에 관한 규칙」 제3조)

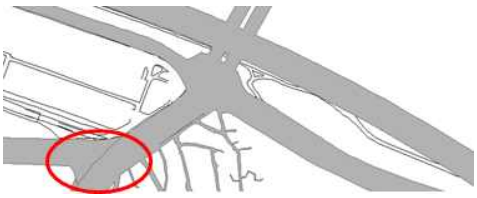
(a) 다음지도 항공사진



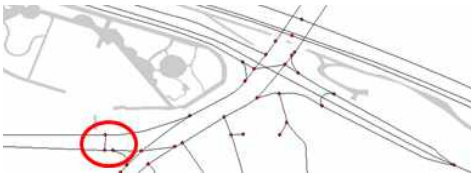
(b) 표준 노드・링크



(c) 교통주제도(레벨 2)



(d) 센서스지도(도로면)



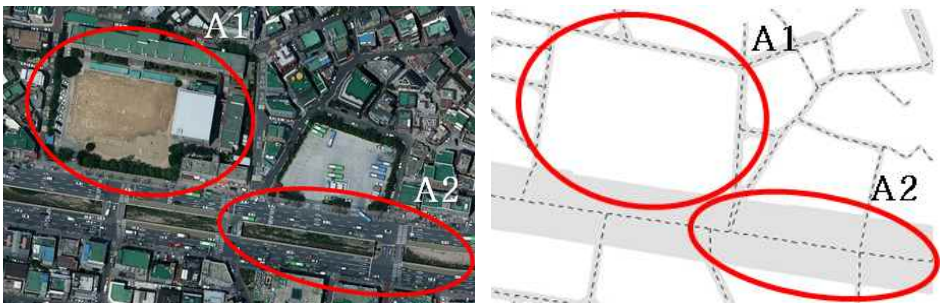
(e) CNS 노드・링크 (단지 내 도로)

[그림 2-3] 도로가 관리되고 있는 기 구축된 지도

국토지리정보원에서 제작・관리하는 1:5,000(5K) 축척의 수치지도2.0은 국가기본도로, 우리나라를 2개의 권역으로 나누어 매년 갱신된다. 5K 축척의 수치지도2.0은 교통(A), 건물(B), 시설(C), 식생(D), 수계(E), 지형(F), 경계(G), 주기(H)와 같이 8개의 클래스로 구성되며, 85개의 지형·지물로 구성되어 있다. 1:1,000(1K)축척의 수치지도2.0은 정확한 갱신 주기는 공개되어 있지 않으나, 7~8년 주기로 분석되고 있다. 5K 축척의 수치지도2.0과 동일하게 8개의 클래스로 구성되며, 104개의 지형·지물로 구성되어 있다. 수치지도2.0은 도로 폭인 3m 이상은 도로경계와 도로중심선이 관리된다. 즉, 3m 미만의 소로나 골목길 등 LOD가 높은 도로는 구

축되어 있지 않다. 특히, 1K 축척의 수치지도2.0은 0.6m 이상인 도로가 관리되고 있으나 갱신 주기가 정확하지 않아 이용에 제약이 있다. 그러나 1K 축척 이하의 수치지도2.0은 도상거리의 표준편차가 0.7mm 이내의 정확도(「공공측량 작업규정」 제37조)로 제작되어 위치가 정확한 데이터가 관리되고 있다.

도로명주소기본도는 주소관리를 목적으로 구축된 지도로 매달 갱신된 데이터가 무료로 배포되며, 도로구간, 실폭도로, 출입구, 공원 등 27개의 지형·지물로 구성된다. 또한 건물의 출입구가 연결된 소로나 골목길까지 관리되고 있고, 복합건물, 공원, 놀이동산 등 수치지도2.0보다 LOD가 높은 보행공간이 관리되고 있다. 그러나 보행자가 다니는 보도, 횡단보도, 단지 내 도로까지는 구축되어 있지 않았다([그림 2-4] A1). 또한 도로명주소기본도는 각 지방자치단체에서 관리하고 있어, 표현방식의 차이로 [그림 2-4](a) A2와 같이 2개의 도로가 하나의 객체로 구축된 오차가 있었다.



(a) 다음지도 항공사진　　(b) 실폭도로(면)와 도로구간(점선)

[그림 2-4] 도로명주소기본도의 오차

CNS에서 이용되는 지도DB는 경로의 탐색을 위한 차량용 링크와 노드로 구성된 도로 네트워크 데이터와 탐색된 경로가 표출될 때 사용되는 지도, 즉 배경DB로 구성되어 있다. 배경DB에는 단지나 공원 내 보행자길, 하천 주변의 산책로 등이 항공사진이나 기타 공간정보로부터 면으로 디지타이징되어 있다. 이는 국가에서 구축된 지도에서는 제공되지 않는

공간정보로 차량과 보행자가 구분되는 중요한 보행공간이다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 배경DB는 운전자에게 지도 위에 경로를 제공하기 위한 목적으로 구축된 공간 정보로 위치나 형상의 정확도가 보장되지 않는다는 한계가 있다.

따라서 위치 정확도와 LOD가 높은 보행자 네트워크 데이터를 구축하기 위해서는 위치 정확도가 높은 수치지도2.0의 도로와 관련된 지형·지물을 근간으로, 도로명주소기본도나 CNS 배경DB의 LOD가 높은 도로나 도로 이외의 보행공간과 관련된 지형·지물을 융합하여 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이 연구에서 보행자 네트워크 데이터 클래스 현황을 조사하기 위하여 살펴본 기 구축된 지도는 [부록 표 1]에 상세하게 설명되어 있다.

2. 보행공간의 현황 분석

(1) 도로 주변 보행공간

도로 주변 보행공간은 보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길이 해당되며, 각각에 대한 설치 기준에 대하여 살펴보고 기 구축된 지도에서 해당 보행공간이 어떻게 구축되어 관리되고 있는지 그 현황을 살펴본다.

보도와 차도가 분리된 도로의 한 부분인 보도는 연석선, 안전표지나 그와 비슷한 인공구조물로 경계를 표시하여 보행자가 통행할 수 있도록 한 도로의 부분으로(「도로교통법」 제2조제10호), 보행자의 안전과 자동차 등의 원활한 통행을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 도로에 보도를 설치하여야 한다(「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 제16조제1호). 이때 보도의 폭은 노상시설 등이 차지하는 폭을 제외한 보행자의 통행에만 이용되는 폭, 즉 유효 폭이 보행자의 통행량과 주변 토지 이용 상황을 고려하여 결정되며, 최소 2m 이상으로 하여야 한다(「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 제16조제2호). 보도와 차도가 구분되지 않은 도로에서 보행자의 안전을 확보하기 위하여 안전표지 등으로 경계를 표시한 도로의 가장자리 부분인 길가장자리구역(「도로교통법」 제2조제11호)이 설치되는 도로나 보행자와 차도의 이동이 구분되지 않은 이면도로나 생활도로 등과 같은 보차공존도로의 설치 기준은 모호하다. 다음으로, 보차가 분리된 도로에서 보행자가 차도를 통행할 수 있는 횡단시설보행자길 중 횡단보도는 횡단보행자 신호기가 설치되어 있는 경우 설치될 수 있으며, 도로의 폭에 따라 교통섬이나 안전지대 등이 설치될 수 있다(「도로교통법 시행규칙」 제11조, 「도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」 제15조). 그러나 횡단보도는 육교나 지하도로 및 다른 횡단보도로부터 200m 이내에는 설치할 수 없다. 다른 횡단시설보행자길인 육교나 지하보도와 관련된 설치 기준은 명시되어 있지 않다. 결과적으로 도로나 도시설계와 관련된 법에는 도로 주변 보행공간이 존

재하는 도로에 대한 명확한 기준이 제시되어 있지 않았다. 다만 보도의 폭을 최소 2m 이상으로 함을 알 수 있었다.

이에 실세계에 설치되어 있는 도로나 횡단시설의 특징을 살펴보고, 기 구축된 지도에 구축되어 있는 도로 주변 보행공간과 관련된 지형·지물을 살펴보았다. 서울특별시의 도로와 관련된 통계자료[25]를 살펴보면 [표 2-6]과 같이 도로의 폭이 12m 미만이면서 1차로인 도로가 39.9%로 나타났다. 다시 말하면 도로의 폭이 12m 이상이거나 2차로 이상인 도로가 전체 도로의 60.1%를 차지하였다. 또한 보도[26]는 그 폭이 3m인 보도의 연장이 527,735m(31.6%)로 가장 길게 나타났다([표 2-7]).

[표 2-6] 서울특별시 도로 현황(2012년)

(단위: m)

구분	1차로	2차로	4차로	6차로	8차로	10차로 이상	합계
광 로 (40m 이상)					83,707 (1.0%)	151,286 (1.9%)	234,993 (2.9%)
대 로 (25~ 40m)				514,702 (6.3%)	204,242 (2.5%)		718,944 (8.8%)
중 로 (12~ 25m)		211,094 (2.6%)	661,804 (8.1%)				872,898 (10.7%)
소 로 (12m 미만)	3,261,170 (39.9%)	3,085,504 (37.8%)					6,346,674 (77.7%)
합계	3,261,170 (39.9%)	3,296,598 (40.3%)	661,804 (8.1%)	514,702 (6.3%)	287,949 (3.5%)	151,286 (1.9%)	8,173,509 (100%)

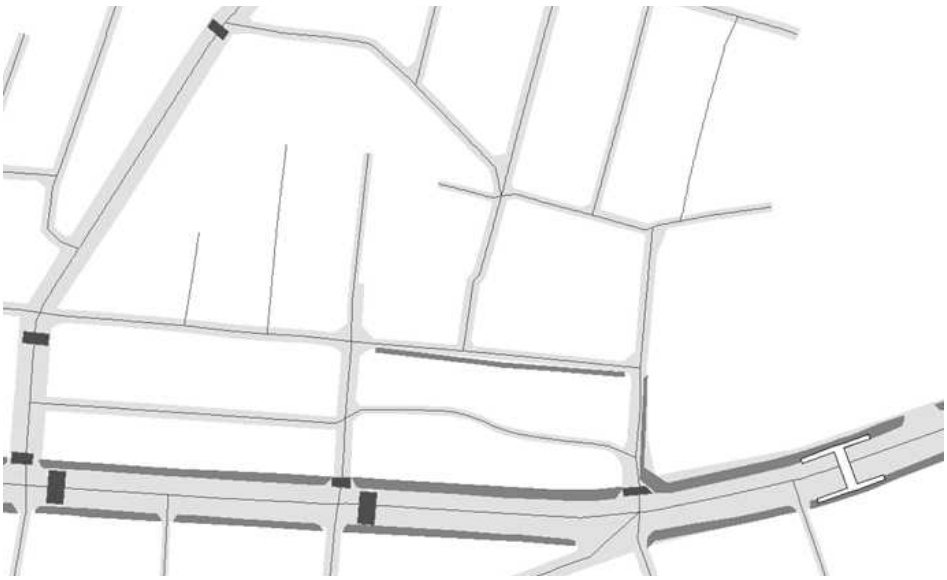
25) 서울시 교통통계, http://traffic.seoul.go.kr/archives/293 (접속일: 2014년 6월 5일)
26) 서울시 열린데이터 광장, http://data.seoul.go.kr/ (접속일: 2014년 6월 5일)

[표 2-7] 서울특별시 보도 현황(2010년)

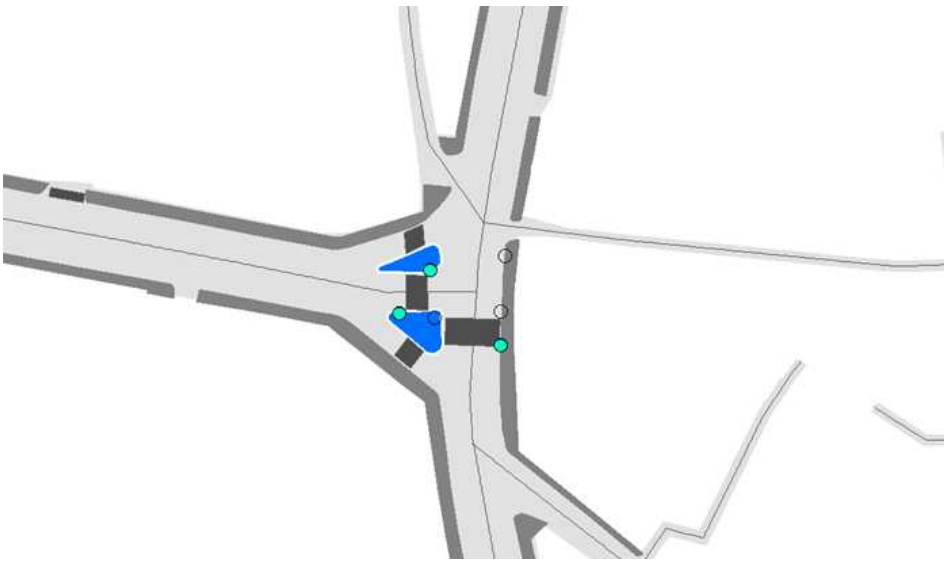
구분 / 보도 폭	연장		면적	
3m 미만	156,712m	9.37%	328,242㎡	4.92%
3m	527,735m	31.56%	1,571,596㎡	23.57%
4m	443,944m	26.55%	1,731,147㎡	25.96%
5m	362,111m	21.66%	1,773,802㎡	26.6%
6m	90,555m	5.42%	539,052㎡	8.08%
7m	36,808m	2.2%	255,040㎡	3.82%
8m	40,140m	2.4%	319,117㎡	4.79%
9m	5,969m	0.36%	52,304㎡	0.78%
10m 이상	8,099m	0.48%	98,150㎡	1.47%
합계	1,672,073m	100%	6,668,450㎡	100%

도로 주변 보행공간은 도로[27], 즉 도로중심선, 도로경계, 그리고 도로구간과 관련이 있다. [그림 2-5](a)와 같이 차도와 보도가 포함된 영역이 도로경계로 구축되어 있으며, 횡단보도는 보도 사이에 그리고 육교는 보도 위에 구축되어 있다. 차도와 보도가 분리되지 않은 보차공존도로는 횡단보도, 육교 그리고 지하도가 없는 도로중심선이나 도로경계가 해당된다. [그림 2-5](b)와 같이 보행자용 신호등이 있는 곳에 횡단보도가 설치되어 있으며, 도로의 폭이 넓은 도로에 설치된 횡단보도 주변에는 안전지대인 교통섬이 설치되어 있다. [그림 2-5](c)와 같이 대부분의 지하철역사는 도로경계 내에 존재하며, 지하철출입구는 보도 위나 광장 등에 설치되어 있으나 기 구축된 지도에서는 지하철역사 내에 있는 것으로 구축되어 있다.

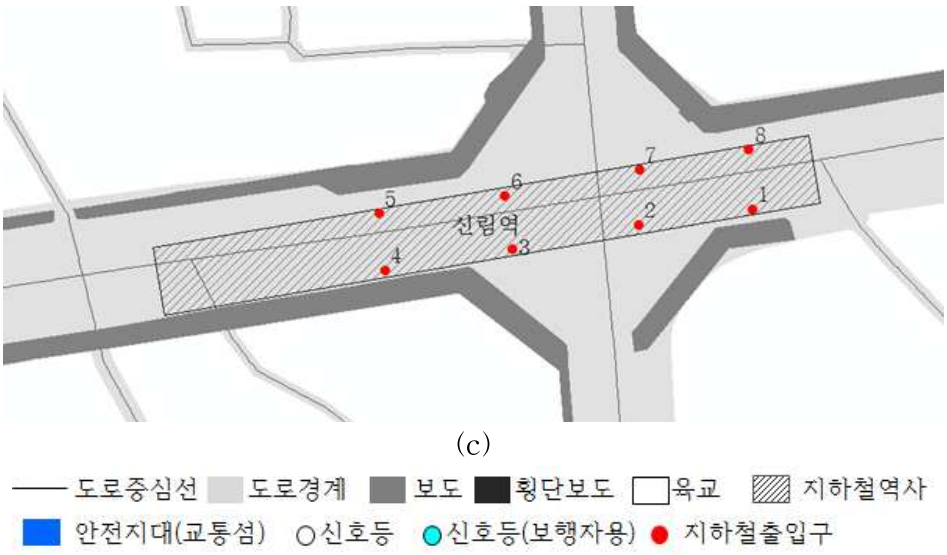
27) [부록 표 1]에 제시된 기 구축된 지도는 현황을 살펴보기 위한 사례이므로, 기 구축된 지도의 명칭을 제외하고 지형·지물의 명칭만을 사용하여 설명한다.



(a)



(b)



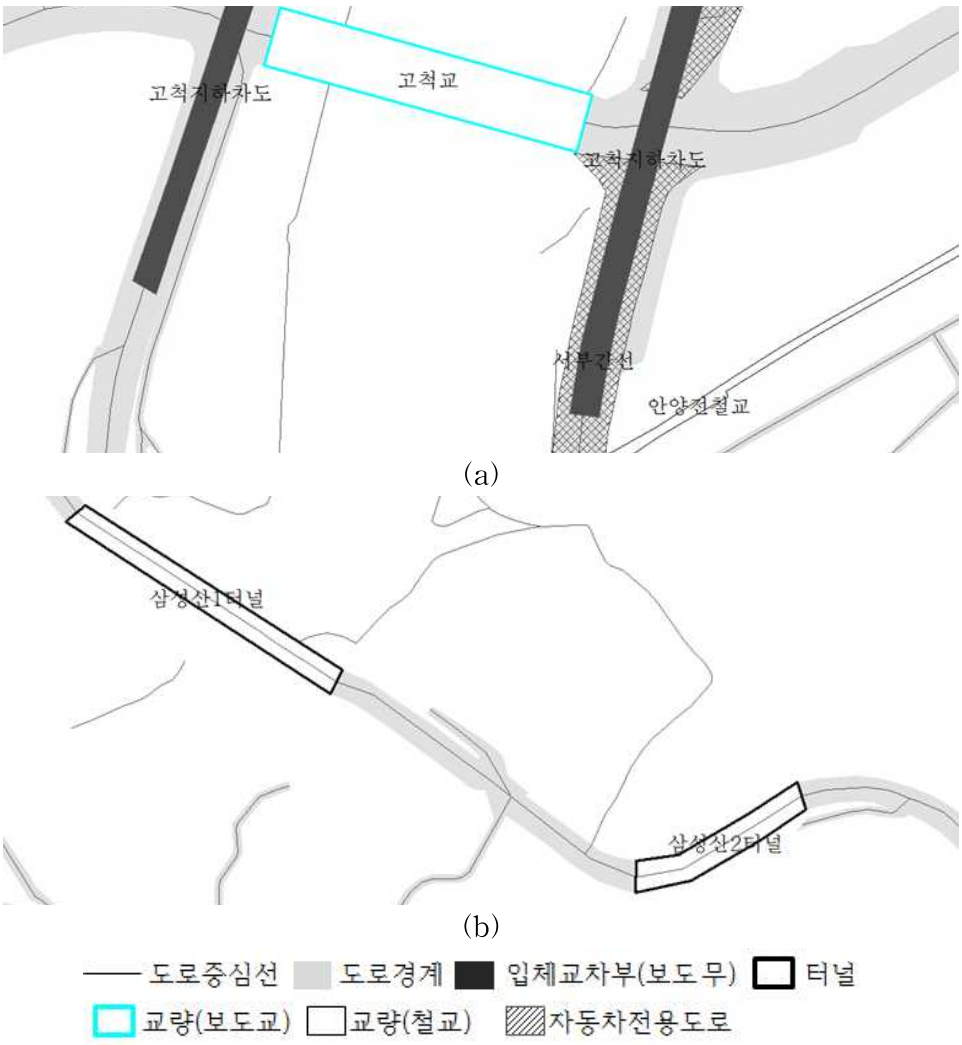
[그림 2-5] 도로 주변 보행공간

그러나 기 구축된 지도의 도로중심선, 도로경계, 그리고 도로구간에는 보도나 횡단시설이 존재하는 도로인지 또는 보도와 차도가 분리되지 않은 도로인지에 대한 속성정보는 제공되지 않는다. 일반적으로 도로가 2차선 이상인 경우에 보도가 존재할 수 있으므로 2차선 이상인 도로의 특성을 살펴보면 보차공존도로에 해당하는 도로의 특징을 알 수 있을 것이다. 앞서 살펴본 바와 같이 양측에 보도가 존재하는 도로의 폭은 차도의 폭과 양측에 있는 보도의 폭을 합한 것과 같다. 도심 내의 제한속도가 70km/h 이상인 일반도로의 차선 하나의 폭이 3.25m[28]이므로 2차선인 도로에서 차도의 폭은 6.5m이다. 해당 도로에 그 폭이 3~5m인 보도가 양측이 있다면 양측에 있는 보도의 폭은 6~10m이다. 결과적으로 양측에 보도가 존재하는 도로는 차도와 보도의 폭을 합하여 그 폭이 12.5~16.5m이다. 따라서 보차공존도로에 해당하는 도로는 폭이 12.5~16.5m미만 또는 차선 수 2차선 미만인 도로로 판단할 수 있다.

보행자의 이동이 금지되거나 제한된 비보행공간인 도로등급이 고속도

28)「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」제10조

로나 자동차전용도로가 있다([그림 2-6](a)). 또한 보도가 없는 고가차도나 지하차도인 입체교차부([그림 2-6](a))와 터널([그림 2-6](b))은 보행자의 이동이 제한된다. 교량 중에서 철교는 지하철이나 전철, 기차의 이동을 위한 교량으로 보행자가 이동할 수 없다([그림 2-6](a)). 고속도로나 자동차전용도로, 보도가 없는 입체교차부, 터널, 그리고 철교인 교량은 보행자가 이동할 수 없는 비보행공간이다.

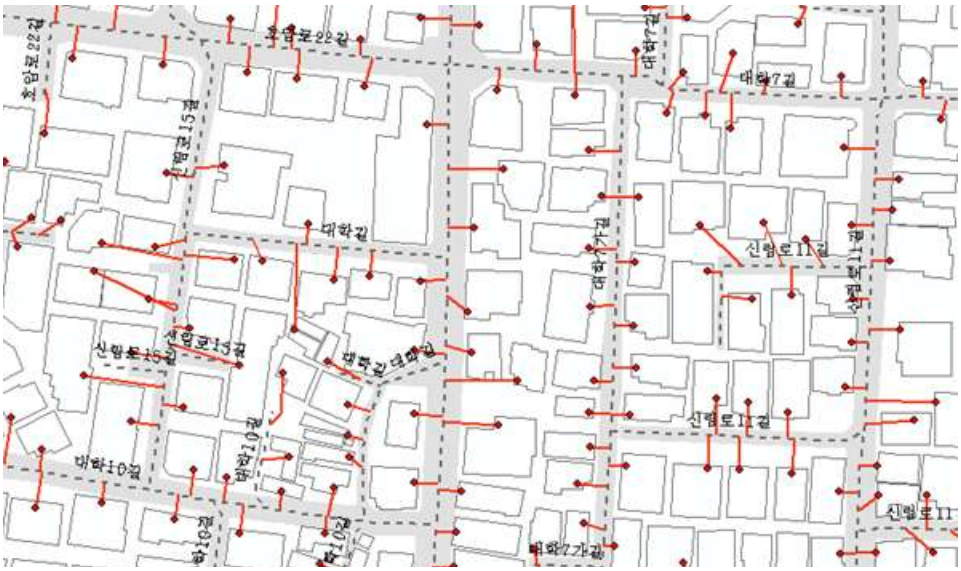


[그림 2-6] 도로 주변 보행공간 중 비보행공간

(2) 도로 이외 보행공간

도로 이외 보행공간은 출입구연결보행자길과 보행전용길이 해당된다. 이들 보행공간에 대한 설치기준이 제시되어 있지 않아, 기 구축된 지도에 구축되어 있는 현황을 통해 도로 이외 보행공간을 분석한다.

기 구축된 지도에서 출입구와 연결된 보행자길인 출입구연결보행자길은 도로명주소기본도에만 구축되어 있다. 각 건물은 도로명주소가 부여되어 있는데, 연결선은 각 건물과 도로명주소가 부여된 도로를 연결하는 선이다([그림 2-7](a)). 즉 도로명주소가 부여된 도로구간으로부터 각 건물의 출입구까지의 가상의 선으로, 출입구까지 보행자가 이동할 수 있는 실제 보행로를 의미하지는 않는다. 그러나 도로에서 보행자가 이동할 수 있는 출입구연결보행자길을 모두 현장 조사한다는 것은 한계가 있다. 이에 연결선은 길찾기에서 보행자가 도착지 근처에 도착하였을 때, 도착지에 해당하는 건물로 들어갈 수 있는 출입구가 있는 방향까지 경로가 안내되는데 활용될 수 있다. 예를 들어 제한적이기는 하지만 이동이 불편한 노약자나 장애인을 비롯하여 도착지가 낯선 보행자에게 건물의 주출입구가 존재하는 방향까지의 경로를 제공할 수 있을 것이다. 다음으로 보행전용길은 단지 내 도로나 하천 주변의 보행자길, 공원, 광장, 그리고 계단으로 구성된다. [그림 2-7](b)와 같이 CNS 배경DB의 단지 내 도로는 계단과 공원이 일부 포함되어 있으며, 도로와 연결되어 있다. 그러나 [그림 2-7](c)에서처럼 운동장 내에 있는 스탠스와 같은 계단은 도로나 보행전용길과 연결되지 않고 독립적으로 존재한다. 해당 계단은 링크로 생성하더라도 고립된 링크가 생성되는 문제가 야기될 수 있어, 도로나 다른 보행전용길 클래스와 인접한 계단만이 보행과 관련이 있다. [그림 2-7](d)와 같이 공원 내에 건물이 있는 경우는 건물이 없는 공간만 보행자가 이동할 수 있다. 따라서 보행전용길은 단지 내 도로와 중첩되지 않으면서 단지 내 도로나 도로경계와 계단, 공원 중 건물 이외의 공간 그리고 CNS 배경DB의 단지 내 도로가 해당된다.



(a)

(b)

[그림 2-7] 도로 이외 보행공간

3. 보행자 네트워크 데이터 구축 규칙

보행공간인 보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길, 출입구연결보행자길, 보행전용길이 실세계에 나타난 현황을 바탕으로 [표 2-8]과 같은 보행자 네트워크 데이터의 구축 규칙을 정의할 수 있다. 각 보행공간을 구축하기 위한 지형·지물과 속성정보가 '지형·지물.*속성정보*'로 표현되어 있다. [표 2-8]에 제시된 용어는 [부록 표 1]의 기 구축된 지도의 지형·지물을 참조하였으나 해당 지도에만 한정되어 적용되는 규칙이 아니다. 살펴본 지형·지물과 동일한 도형(형태)과 속성정보가 구축·관리되고 있는 지도에 일반적으로 적용될 수 있는 규칙이다.

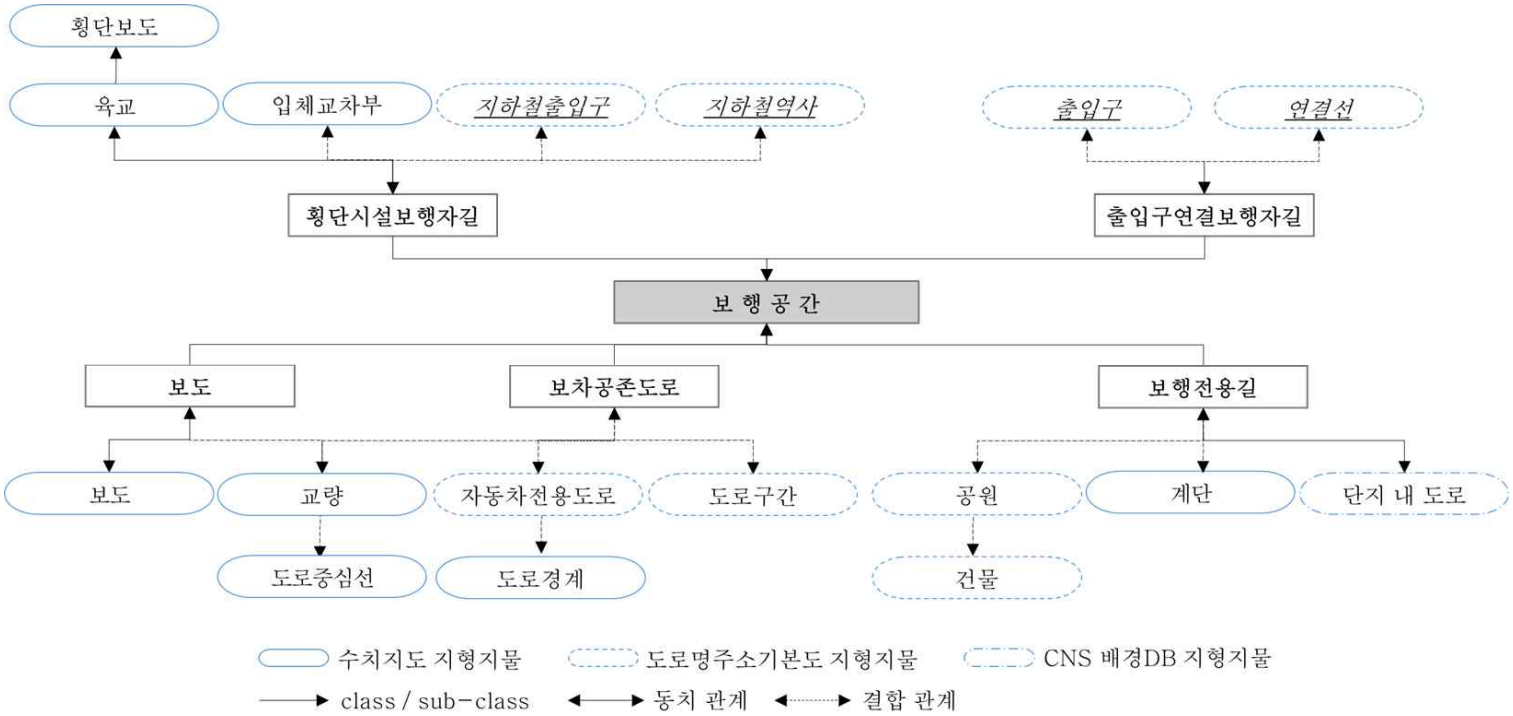
도로중심선에서 비보행공간에 해당하는 도로중심선인 고속도로, 자동차전용도로, 터널, 철교인 교량, 그리고 보도가 없는 입체교차부를 제외하여 보행공간에 해당하는 도로중심선을 정의한다. 보도는 보행공간 도로중심선에서 도로 폭이 12.5m 이상이고 차선 수가 2차선 이상인 객체가 보도가 존재하는 도로중심선에 해당한다. 앞의 2. (1)에서 언급된 바와 같이 도로 폭이 12.5~16.5m이고 차선 수가 2차선 미만인 도로가 보도나 횡단시설이 없는 도로의 특징으로 나타났다. 이때 최소의 도로 폭인 12.5m를 기준으로 한다. 보행공간에 해당하는 도로중심선 중에서 보도가 아닌 도로중심선이 보차공존도로에 해당한다. 횡단보도와 육교는 모두 횡단시설보행자길에 해당하며, 지하철출입구도 횡단시설보행자길에 포함된다. 출입구연결보행자길는 출입구와 연결된 연결선으로 정의될 수 있다. 마지막으로 CNS 배경DB의 단지 내 도로, 계단 중 도로경계나 공원, 단지 내 도로와 인접한 계단, 그리고 건물과 교차하지 않는 공원이 보행전용길이다.

[표 2-8] 보행자 네트워크 데이터의 구축 규칙

보행공간	상세 규칙
보행공간 도로중심선	***IF*** [(도로중심선.*도로구분* ≠ 고속도로) ∨ (도로중심선 ∩ 자동차전용도로 = ∅)∨ (도로중심선 ∩ 터널 = ∅) ∨ {도로중심선 ∩ (교량.*종류* = 철교)} ∨ {도로중심선 ∩ (입체교차부.*보도* = 무)} = ∅] ***THEN*** 보행공간 도로중심선
보도	***IF*** {(보행공간 도로중심선.*도로폭* ≧ 12.5m) ∧ (보행공간 도로중심선.*차로수* ≧ 2차선)} ***THEN*** 보도가 존재하는 도로중심선
보차공존도로	***IF*** (보행공간 도로중심선 ∩ 보도가 존재하는 도로중심선 = ∅) ***THEN*** 보차공존도로
횡단시설보 행자길	***IF*** (횡단보도∪육교∪지하철출입구) ***THEN*** 횡단시설보행자길
출입구연결보 행자길	***IF*** (연결선 ∩ 출입구 ≠ ∅) ***THEN*** 출입구연결보행자길
보행전용길	***IF*** [단지 내 도로 ∨ {(계단.*구조* = 계단) ∩ 도로경계 ≠ ∅} ∨ (공원 ∩ 건물 = ∅)] ***THEN*** 보행전용길

제 3 장 보행자 네트워크 데이터 구축

보행자 네트워크 데이터 참조모델을 적용하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하는 방법을 제안하고자 한다. 이에 앞서 참조모델의 보행공간 클래스와 지형·지물 간의 관계가 정리하면 [그림 3-1]과 같다. 이들 관계는 보행공간 클래스로 보행자 네트워크 데이터를 구축하는데 있어 사용되는 지형·지물을 설명한다. 보행공간을 구성하는 클래스와 기 구축된 지도의 지형·지물이 일대일인 관계는 동치 관계(equivalence relationship)라 하며, 보행자 네트워크 데이터 클래스와 기 구축된 지도의 지형·지물이 일대다인 관계는 결합 관계(aggregation relationship)라 한다. 동치 관계는 기 구축된 지도에서 관리되고 있는 지형·지물을 그대로 이용할 수 있는 경우로, 수치지도2.0 1K에서 관리되고 있는 횡단보도와 횡단시설보행자길이 동치 관계이다. 결합 관계는 기 구축된 지도의 지형·지물을 그대로 이용할 수 없는 경우이다. 예를 들어 공원 중에서 건물이 없는 공원 영역만이 보행전용길에 해당하므로, 도로명주소기본도의 건물과 공원은 보행전용길과 결합 관계이다. [그림 3-1]에서 이탤릭체로 작성된 지형·지물인 지하철출입구, 지하철역사, 출입구, 그리고 연결선은 선 형태의 보행공간으로 추출되며, 이를 제외한 지형·지물은 면 형태의 보행공간으로 추출된다.



[그림 3-1] 보행공간과 지형·지물과의 관계

기 구축된 지도를 이용하여 보행자 네트워크 데이터를 구축하는 과정은 크게 3단계로 구성된다. 기본적인 원리는 기 구축된 지도를 융합하여 LOD가 높은 도로경계와 도로중심선을 생성하고, LOD가 높은 도로경계에서 도로 위에서 보행자가 이동할 수 없는 공간을 차(erase) 연산하여 면 형태의 보행공간을 추출한다. 다음으로 면 형태의 보행공간을 선형화하고, 선 형태로 추출된 보행공간을 융합하여 보행자 네트워크 데이터를 구축한다.

- **1단계**: LOD가 높은 도로 정보를 구축한다.

  전처리로 수치지도2.0, 도로명주소기본도, 그리고 CNS 배경DB의 좌표계를 세계측지계로 맞춘 후, 위치 정확도가 높은 수치지도2.0를 중심으로 나머지 지도를 어핀 변환(affine transformation)한다. 변환된 기 구축된 지도를 이용하여 위치 정확도가 높은 수치지도2.0 도로중심선을 기반으로 도로명주소기본도 도로구간을 융합한다. 즉, LOD가 높은 도로명주소기본도 도로구간 객체를 추출하여 위치 정확도가 높은 수치지도2.0 도로중심선과 융합하여, 위치 정확도와 LOD가 높은 도로 정보를 구축한다.

- **2단계**: 보행공간을 추출한다.

  참조모델을 바탕으로 기 구축된 지도에 중첩 분석(overlay analysis)을 적용하여 보행공간을 추출한다. LOD가 높은 도로중심선과 도로경계에서 도로 위에서 보행자가 이동할 수 없는 공간을 차 연산하여 면 형태의 보행공간을 추출한다. 면 형태의 보행공간은 기 구축된 지도에서 면형으로 구축되어 있는 보도, 보차공존도로, 보행전용길, 그리고 횡단시설보행자길 일부(횡단보도, 육교)가 해당한다.

- **3단계**: 보행자 네트워크 데이터를 구축한다.

  추출된 면형 보행공간을 이진영상으로 변환한 후 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 선형화한다. 다음으로 기 구축된 지도에서 점이나 선으로 구축되어 있는 횡단시설보행자길의 지하철출입구와 출입구연결보행자길의 출입구와 연결선을 이용하여 선형 보행공간을 생성한다. 이것을 선형화된 면형 보행공간과 융합하고, 위상정보를 부여함으로써 그래프 구조의 보행자 네트워크 데이터를 구축한다.

각 단계에 대한 자세한 내용은 이어지는 절에서 차례대로 설명한다.

제 1 절 이종의 도로 데이터 셋 융합

도로명주소기본도 도로구간에서는 수치지도2.0 도로중심선보다 LOD가 높은, 즉 상세한 골목길이나 이면도로(생활도로)가 구축되어 있다. 그러나 도로명주소기본도의 도로구간은 관리하는 지방자치단체에 따라 상이한 기준으로 표현된다는 한계가 있다. 따라서 수치지도2.0 도로중심선과 LOD가 높은 도로를 관리하고 있는 도로명주소기본도 도로구간을 융합하여, 보행자가 이동할 수 있는 골목길이나 이면도로가 포함된 위치정확도가 높은 도로 정보를 취득할 필요가 있다.

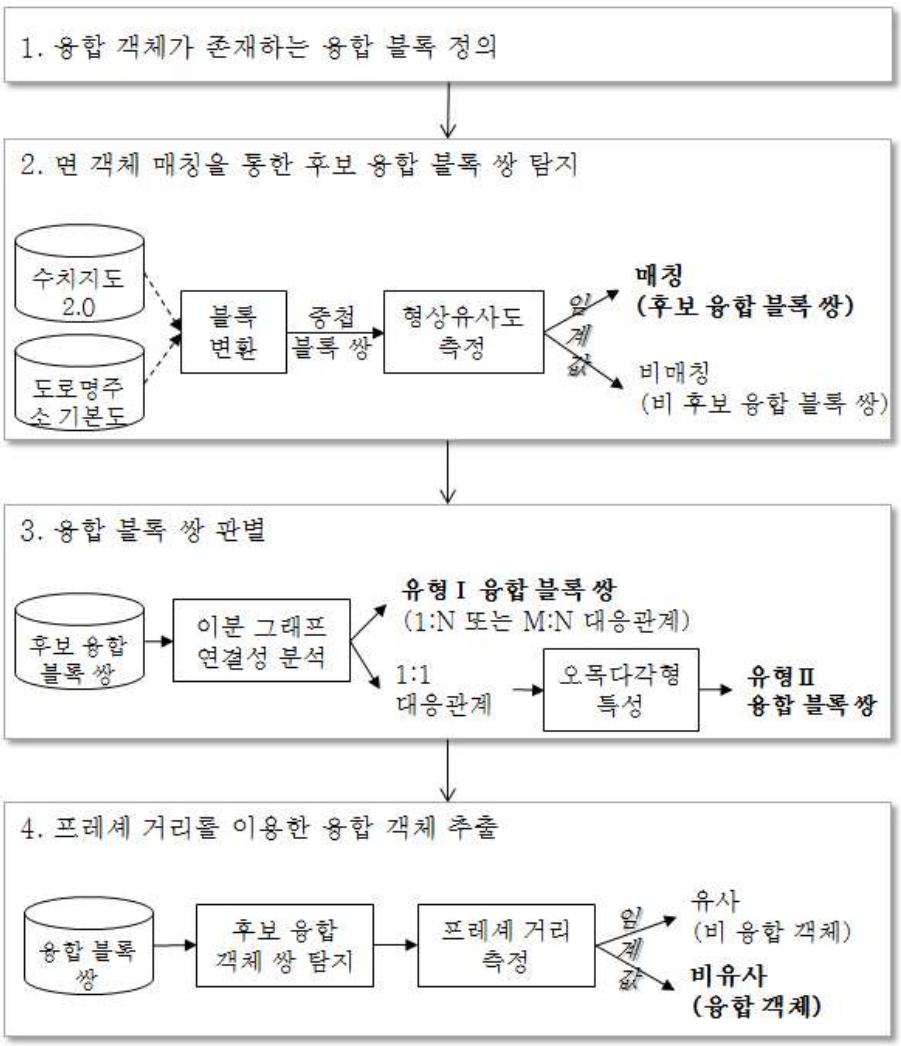
이종의 벡터 구조의 도로 데이터 셋의 융합과 관련된 연구를 살펴보면 도로 데이터를 구성하는 링크와 노드를 이용하여 하나의 링크나 노드가 다른 데이터의 하나의 링크나 노드와 매칭이 되는 이종의 도로 데이터 셋의 융합이 시도되었다(Rosen and Saalfeld, 1985; Saalfeld, 1988). 그러나 이종의 도로 데이터 셋은 하나의 링크나 노드가 하나 이상의 링크나 노드와 매칭되는 복잡한 매칭관계가 존재하여, buffer growing 알고리즘을 이용한 매칭 연구가 진행되었다(Mantel and Lipeck, 2004; Stigmar, 2005; Walter and Fritsch, 1999; Zhang and Meng, 2007). 최근에는 선형계획법을 적용한 최적화 문제나 확률적 완화(probabilistic relaxation)를 이용하여 그 정확도를 향상하려는 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Li and Goodchild, 2011; Yang *et al.*, 2013). 그러나 도로 데이터를 구성하는 세그먼트는 고속도로 주변의 복잡한 구조물이나 차선방향의 표현방식과 같은 이종의 도로 데이터 셋의 LOD 차이로 동일한 객체의 묘화나 위상이 상이하여, 두 도로 세그먼트 간의 유사도를 산출하여 매칭하는데 어려움이 있다(Zhang *et al.*, 2010). Timpf(1998)은 지도를 도로-하천 네트워크(trans-hydro network)로 둘러싸인 공간(region)인 컨테이너(container)로 분할할 경우 더 용이하게 매칭할 수 있다고 제안하였다. 컨테이너는 도로-하천 네트워크로 둘러싸인 공간, 즉 블록(block)에 대응되는 개념이다. 따라서 이 연구에서는 선형 도로 데이터를 각 세그먼트

로 둘러싸인 공간인 블록, 즉 면으로 변환하여 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간의 융합하는 방법을 제안한다.

이를 위하여 이종의 도로 데이터 셋에 대하여 면 객체 기반의 매칭을 적용하여 융합하며, 그 방법은 [그림 3-2]와 같다. 첫째, 수치지도2.0 도로중심선을 참(true)이라 가정하고, 도로명주소기본도 도로구간에서 융합 객체가 존재할 수 있는 융합 블록을 대응관계를 이용하여 정의한다. 둘째, 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간의 세그먼트로 둘러싸인 면형인 블록으로 변환한다. 변환된 블록을 중첩하여 중첩되는 블록 간의 형상유사도(shape similarity)를 측정한다. 이때 형상유사도 값이 임계값(threshold) 이상이면 두 블록의 형상이 유사하여, 융합 객체가 존재할 수 있는 후보 융합 블록 쌍으로 탐지된다. 셋째, 융합 블록을 판별하기 위하여 탐지된 후보 블록 쌍에 이분 그래프 연결성 분석을 통하여 1:N과 M:N 대응관계인 융합 블록 쌍(유형Ⅰ)과 1:1 대응관계인 블록 쌍을 판별한다. 이때, 1:1 대응관계인 블록 간에는 그 모양이 완전히 일치하는 경우와 융합 객체가 존재하는 경우가 존재한다. 따라서 1:1 대응관계인 블록 쌍에는 오목다각형 특성을 적용하여 융합 객체가 존재하는 융합 블록 쌍(유형Ⅱ)을 판별한다. 넷째, 융합 객체를 판별하기 위하여 판별된 융합 블록 쌍에서 선형 도로중심선과 도로구간에서 후보 융합 객체 쌍을 탐지한다. 선형인 후보 융합 객체 쌍 간의 프레셰 거리(Fréchet Distance, FD)를 측정하여 임계값 이상인 유사하지 않은 도로구간 세그먼트가 융합 객체로 추출된다. 최종 추출된 융합 객체를 수치지도2.0 도로중심선에 안착시킴으로써 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간이 융합된다.

여기서, 수치지도2.0 도로중심선은 LOD가 낮거나 갱신주기가 긴 도로 데이터를 의미하며, 도로명주소기본도 도로구간은 LOD가 높거나 갱신주기가 짧은 도로 데이터를 의미한다. 제안된 융합 방법은 LOD가 낮거나 갱신주기가 긴 도로 데이터를 기반으로 LOD가 높거나 갱신주기가 짧은 도로 데이터 셋을 융합하는데 적용할 수 있다. 예를 들어 보행자 네트워크 데이터가 구축된 후, 구축된 보행자 네트워크를 갱신주기가 긴 데이

터로 가정하고 제안된 융합 방법을 적용하여, 갱신주기가 짧은 도로 데이터에서 융합 객체, 즉 신설된 도로 정보를 추출할 수 있다(김지영 등, 2013).



[그림 3-2] 이종의 도로 데이터 셋 융합 방법

1. 융합 객체가 존재하는 융합 블록 정의

수치지도2.0 도로중심선은 그 위치가 정확하며, 도로명주소기본도 도로구간은 매달 갱신된 LOD가 높은 도로가 구축되어 있다. 따라서 수치지도2.0 도로중심선을 참으로 하여 도로명주소기본도 도로구간에 구축되어 있는 LOD가 높은 객체를 융합함으로써 위치 정확도와 LOD가 높은 도로 정보를 구축할 수 있다. 면 객체 기반의 매칭을 통한 융합 객체를 탐지하기 위하여 대응관계를 이용하여 융합 블록을 정의한다.

그 위치가 정확한 수치지도2.0 도로중심선 객체로 둘러싸인 블록(이하 수치지도 블록)에 도로명주소기본도 도로구간으로 둘러싸인 블록(이하 도로명주소 블록)을 중첩하면 각 블록 별로 중첩되는 블록의 수가 상이하다. 이들 중첩된 블록 간의 관계인 대응관계를 분석하여 융합 객체가 존재한 융합 블록을 [표 3-1]과 같이 정의할 수 있다. 수치지도 블록(A1)과 도로명주소 블록(B1)이 1:1 대응관계는 블록의 형상이 완전히 일치하거나 신설 도로로 인해 그 블록의 모양이 상이할 수 있다. 1:1 대응관계에서는 후자의 경우만을 융합 블록으로 정의한다. M:1 대응관계는 여러 개의 수치지도 블록(A1, A2)이 하나의 도로명주소 블록(B1)과 중첩되는 경우로, 도로명주소 블록에 수치지도 블록보다 상세한 도로 정보가 존재하지 않아 융합 블록이 아니다. 1:N이나 M:N 대응관계는 도로명주소 블록에 도로가 신설되어 여러 개의 도로명주소 블록(B1, B2)으로 나뉘게 되므로 융합 블록이다. 이때, 도로가 신설되어 도로명주소 블록이 여러 개로 분리된 1:N이나 M:N 대응관계인 융합 블록을 유형Ⅰ로 구분한다. 1:1 대응관계 중에서 도로명주소 블록 내부에 도로가 신설되어 수치지도 블록과 그 모양이 상이한 융합 블록을 유형Ⅱ로 구분한다. 1:1 대응관계에서는 수치지도 블록과 도로명주소 블록의 형상이 동일한 경우는 융합 블록이 아니므로 구분되어야 한다.

[표 3-1] 대응관계에 따른 융합 블록 정의

	B1	B1	B1 / B2
A1	1 : 1	1 : 1	1 : N
A1 / A2	M : 1	M : 1	M : N

A 수치지도 블록 B 도로명주소 블록 융합 객체

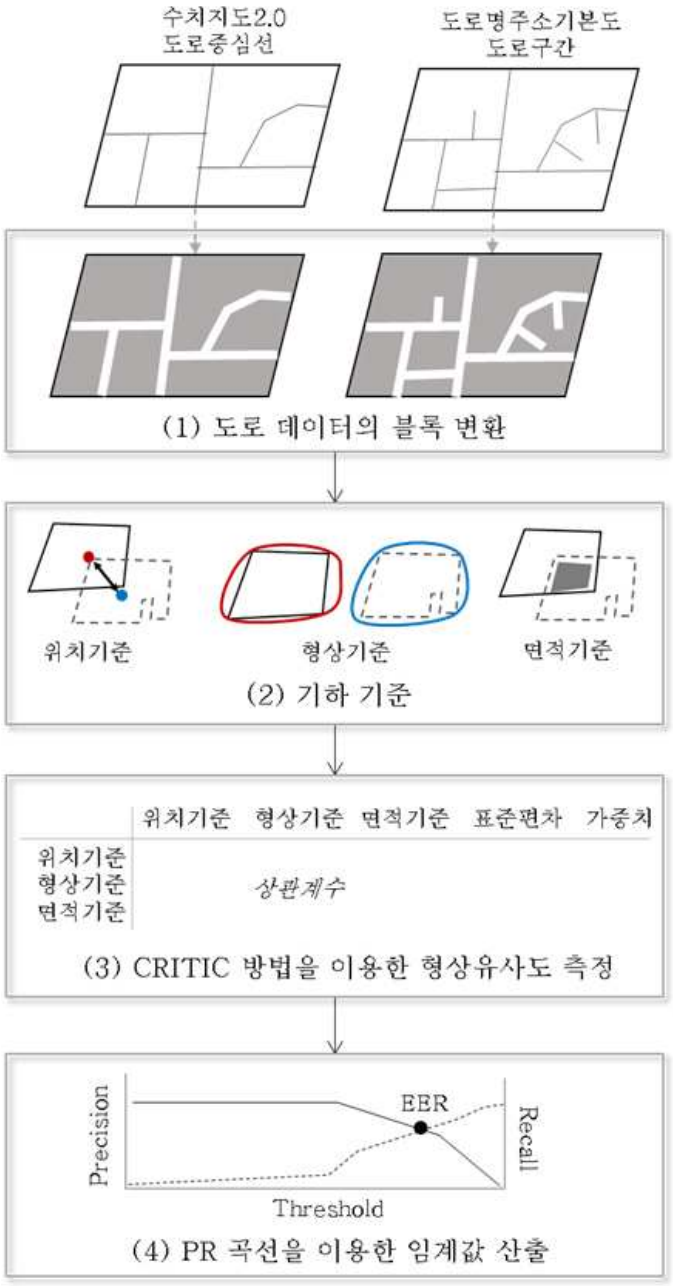
융합 객체가 존재하는 대응관계(유형 Ⅰ) 융합 객체가 존재하는 대응관계(유형 Ⅱ)

2. 면 객체 매칭을 통한 후보 융합 블록 쌍 탐지

대용량인 공간DB의 유지나 관리 비용을 절약하기 위하여 이종의 공간 정보를 융합하는 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 특히 거리, 방위, 위치, 그리고 형상 등의 기하학적 기준(criterion)을 측정하여 일치하는 객체를 탐지하는 연구가 널리 적용되고 있다(Beeri *et al.*, 2004; Beeri *et al.*, 2005; Bel Hadj Ali, 2001; Bel Hadj Ali, 2002; Fu and Wu, 2008; Huang *et al.*, 2010; Safra *et al.*, 2010; Samal *et al.*, 2004; Shao and Tong, 2010; Tong *et al.*, 2009; Wenjing *et al.*, 2008). 하나의 기준은 하나의 기하학적 특성만을 설명하기 때문에 하나의 기하 기준으로 면 객체 간의 유사성을 정확하게 평가하는 할 수 없어 다중 기준(multi criteria)을 결합한다(Bel Hadj Ali, 2001). 이에 선행연구에서는 다중 기준을 이용하여 면 객체 매칭을 수행하였으며, 이들 다중 기준에 가중치를 곱하여 융합하였다. 다음으로 융합된 기준을 이용하여 임계값보다 큰 경우는 두 면 객체의 형상이 서로 유사하고 그렇지 않은 경우는 유사하지 않다고 판별하였다. 이 과정에서 가중치나 임계값을 설정하기 위하여 사용자가 훈련자료에서 수동으로 그 값을 설정하는 사용자의 개입이 요구된다는 한계가 있다(김지영 등, 2011).

따라서 이 연구에서는 사용자 개입이 없이 자동화된 방법으로 융합 객체가 존재할 매칭 블록 쌍, 즉 후보 융합 블록 쌍을 탐지하는 방법을 제안한다. 먼저, 중첩되는 수치지도 블록과 도로명주소 블록에 대하여 기하학적 특성을 설명할 수 있는 다중 기하 기준을 정의한다. 정의된 다중 기하 기준을 CRITIC(CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) 방법으로 가중선형조합(weighted linear combination)하여 형상유사도를 산출한다. [그림 3-3]과 같이 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간의 세그먼트로 둘러싸인 면형인 블록으로 변환한다. 다음으로 변환된 수치지도 블록과 도로구간 블록 간의 다중 기하 기준을 정의하고, 이들 기하 기준에 CRITIC 방법으로 산출된 가중치를 곱하여 형상유사도를 측정한다. 이렇게 측정된 블록 쌍의 형상유사도가

PR 곡선(Precision Recall curve)에서 추정된 임계값 이상이면 융합 객체가 존재할 수 있는 후보 융합 블록 쌍으로 탐지된다.



[그림 3-3] 후보 융합 블록 쌍 탐지 방법

(1) 도로 데이터의 블록 변환

수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간은 도로가 선형으로 구축되어 있다. 융합 블록 쌍을 판별하기 위한 기준 단위인 블록으로 변환한다. 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간의 속성정보 중 도로 폭[29]을 이용하여 그 폭을 이등분한 길이로 버퍼(buffer) 연산을 수행한다. 버퍼 연산을 수행하면 선형인 세그먼트가 면형으로 변환된다. 다음으로 버퍼 연산된 도로중심선이나 도로구간과 동일한 영역의 행정경계에서 버퍼 연산된 면형의 도로중심선이나 도로구간과 교차되는 영역을 제거하면 블록이 생성된다.

(2) 기하 기준

유사한 도로 패턴을 보이는 수치지도 블록과 도로명주소 블록에서 후보 융합 블록 쌍을 탐지하는 것이 목적이므로 위치나 형상을 설명하는 기하 기준을 정의한다.

■ 위치 기준(Position Criterion, PC)

위치 기준은 수치지도 블록(A_m)과 도로명주소 블록(B_n)의 무게중심 사이의 유클리드 거리를 의미하며(식 (3-1)), 그 거리가 짧을수록 두 블록 간의 위치가 유사하다.

$$PC_{(A,B)_i} = \left| Distance(Centroid(A_m^i), Centroid(B_n^i)) \right| \quad (3\text{-}1)$$

29) 도로의 폭과 관련된 속성은 수치지도2.0은 '도로폭' 필드에 그리고 도로명주소기본도에서는 'ROAD_BT' 필드에 정의되어 있다.

■ 형상 기준(Shape Criterion, SC)

둘레와 면적 비로 산출되는 형상 기준은 식 (3-2)로 산출되며, 면 객체의 형상이 원과 비슷할수록 그 값이 1이 된다. 형상 기준의 차가 작을수록 두 블록 간의 형상이 유사하다.

$$SC_{(A,B)_i} = \left| \frac{\sqrt{Area(A_m^i)}}{0.282 \times Perimeter(A_m^i)} - \frac{\sqrt{Area(B_n^i)}}{0.282 \times Perimeter(B_n^i)} \right| \quad (3\text{-}2)$$

■ 면적 기준(Area Criterion, AC)

면 객체 간의 중첩 및 포함 관계를 설명할 수 있는 기준으로, 식 (3-3)으로 산출된다. 면적 기준이 클수록 두 블록 간의 위치가 유사하다.

$$AC_{(A,B)_i} = \frac{Area(A_m^i \cap B_n^i)}{Min(Area(A_m^i), Area(B_n^i))} \quad (3\text{-}3)$$

기하 기준으로부터 얻은 값, 즉 각 기하 기준별로 계산된 중첩되는 블록 쌍 간의 거리 값은 그 범위가 상이하여 유사도를 취득하기 위해서는 정규화 과정이 수행되어야 한다. 식 (3-4)와 같이 중첩되는 블록 쌍 $(A,B)_i$의 유사도 $\Psi(A,B)_i$는 1에서 거리 값($\Delta(A,B)_i$)을 [0,1]범위로 정규화한 값을 차한 값으로 정의된다. 이때 정규화 지수(U)는 중첩되는 불록 쌍의 거리 값 중 최댓값을 사용한다(Samal *et al.*, 2004).

$$\Psi(A,B)_i = 1 - \frac{\Delta(A,B)_i}{U} \quad (3\text{-}4)$$

(3) CRITIC 방법을 이용한 형상유사도 측정

기하 기준의 거리 값을 그 최댓값으로 정규화한 유사도로 변환한 후, 각 유사도를 결합(fusion)하는 과정은 다중 기준에서 최적의 대안을 선택하는 다기준 의사결정(Multiple Attribute Decision Making, MADM)과 관련이 있다. MADM에서 널리 이용되는 가중선형조합에 의해 위치, 형상, 그리고 면적 유사도를 결합한 값(overall assessment value)을 형상유사도라 한다. 식 (3-5)와 같이 가중치(w_j, $j = 1, \cdots, c$)와 기하 기준으로부터 산출된 유사도(PC, SC, AC)의 선형함수(linear function)로 형상유사도(SS)가 측정된다.

$$SS = w_1 \times PC + w_2 \times SC + w_3 \times AC \tag{3-5}$$

형상유사도를 측정하기 위해서는 가중치가 요구되는데 MADM에서는 사용자가 개입하여 주관적인 방법으로 가중치를 결정하는 것이 항상 유용한 방법이 아니므로, 표준편차나 평균을 이용하여 가중치를 객관적인 방법으로 선정한다. 그러나 표준편차나 평균 방법은 기준들의 상호관계를 고려하지 않고, 동일한 가중치를 부여한다는 한계가 있다(Wang and Luo, 2010). 가중치는 일정한 상황 하에서 다른 기준보다 상대적으로 중요한 평가 기준에 할당되는 값으로, 그 값이 클수록 전체를 평가함에 있어 더 중요한 기준임을 나타낸다. 따라서 이 연구에서는 사용자의 간섭 없이 각 기준에 유의미한 가중치를 할당하기 위하여, 객관적인 가중치 선정 방법 중 기준들의 상호관계까지 고려한 Diakoulaki *et al.*(1995)이 제안한 CRITIC 방법을 적용하였다. 이 방법은 표준편차뿐만 아니라 기준들 간의 상관관계를 고려하여 가중치를 결정하는 방법으로, 표준편차가 큰 기준이 표준편차가 작은 기준보다 변화(variability)를 설명하는데 더 큰 설명력을 가지기 때문에 더 큰 가중치를 부여한다. 가중치를 할당하기 위하여 각 기준 간의 표준편차와 상관관계를 이용하여 식 (3-6)과

같이 정보량(amount of information, C_j)을 구하며, 여기서, σ_j은 j번째 유사도의 표준편차이고, r_{jk}은 j번째와 k번째 유사도 사이의 상관관계를 의미한다.

$$C_j = \sigma_j \times \sum_{k=1}^{m} (1 - r_{jk}) \tag{3-6}$$

다음으로 식 (3-7)과 같이 정보량 벡터 $C = [C_j]\,(j = 1, \cdots, c)$의 요소비로 가중치($w_j$)를 산출한다.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^{m} C_{k_j}}\ ,\ \ j = 1, \cdots, c \tag{3-7}$$

이렇게 산출된 가중치와 유사도를 가중선형조합으로 중첩되는 블록쌍의 기하적인 특성이 형상유사도로 결합된다.

(4) PR 곡선을 이용한 임계값 산출

중첩되는 수치지도 블록과 도로명주소 블록 쌍에 대하여 형상유사도가 계산되면, 이 형상유사도가 임계값 이상인 매칭인 경우만이 융합 객체가 존재할 수 있는 후보 융합 블록 쌍으로 탐지된다. 이때, 매칭유무를 판별하기 위해서 진단의학과 지문인식 등 데이터마이닝(data mining)에서 널리 사용되는 EER(Equal Error Rate)을 적용하여 사용자의 개입이 없이 임계값을 산출한다. 특히, 이종의 공간 데이터 셋의 융합과 같이 매칭과 비매칭인 클래스의 분포가 치우친 분포(skewed distribution)인 경우에는 정확도(precision)와 재현율(recall) 그래프인 PR 곡선을 이용하여 EER을 구한다(Davis *et al.*, 2006). 여기서, 정확도(V_p)는 매칭이라고 판별된 객체 쌍 중에서 실제 매칭인 객체 쌍의 비율(식 (3-8))을 의미하고, 재현율(V_r)은 실제 매칭인 객체 쌍 중 얼마나 많은 객체 쌍이 매칭인 객체 쌍으로 찾아졌는지(식 (3-9))를 의미한다.

$$V_p = \frac{Number(\text{제안방법에 의한 융합블록쌍} \cap \text{참융합블록쌍})}{Number(\text{제안방법에 의한융합블록쌍})} \quad (3\text{-}8)$$

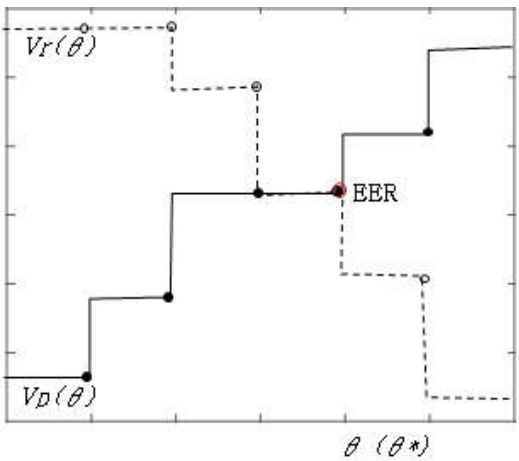
$$V_r = \frac{Number(\text{제안방법에 의한융합블록객체쌍} \cap \text{참융합블록 쌍})}{Number(\text{참융합블록쌍})} \quad (3\text{-}9)$$

산출된 형상유사도의 임계값 바뀌게 되면 후보 융합 블록 쌍으로 판별되는 불록 쌍이 바뀌고, 이로 인해 정확도와 재현율도 바뀌게 된다. 이 과정에서 [그림 3-4](a)와 같이 정확도와 재현율 사이에 트레이드 오프(trade-off)가 나타나는데, 이 지점이 바로 EER, 곧 임계값이다(Bengio *et al.*, 2005). 그러나 실제 데이터에서는 [그림 3-4](b)나 (c)와 같이 정확도와 재현율의 분포가 연속적이거나 트레이드 오프되는 지점이 존재하

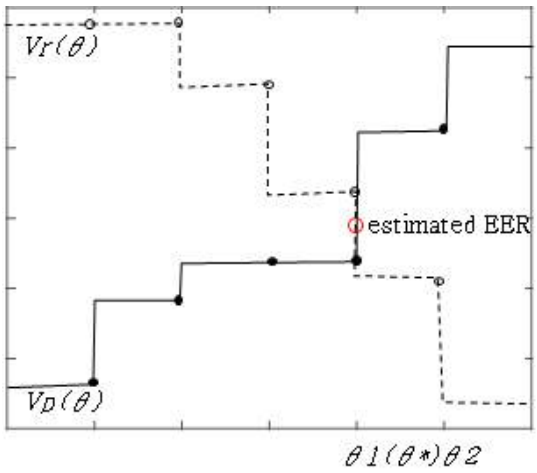
지 않는 경우가 있다. 따라서 PR 곡선에서 식 (3-10)으로 EER(θ^*)을 추정한다.

$$\theta^* = \begin{cases} \arg min_\theta |V_p(\theta) - V_r(\theta)| & \text{if } V_p(\theta) = V_r(\theta) \\ \dfrac{V_p(\theta_1) + V_r(\theta_1)}{2} & \text{if } V_r(\theta_1) - V_p(\theta_1) \leq V_p(\theta_2) - V_r(\theta_2) \\ \dfrac{V_p(\theta_2) + V_r(\theta_2)}{2} & otherwise \end{cases} \quad (3\text{-}10)$$

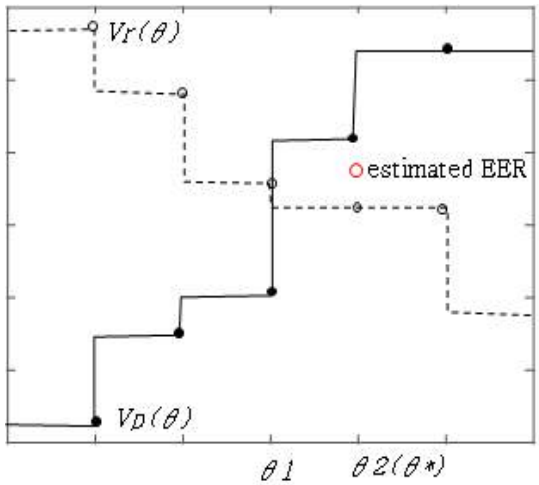
여기서, $\theta_1 = \max_\theta (V_p(\theta) \leq V_r(\theta))$,이고 $\theta_2 = \min_\theta (V_p(\theta) \geq V_r(\theta))$이다.



(a) EER이 존재하는 경우



(b) θ_1로 EER 추정



(c) θ_2로 EER 추정

[그림 3-4] PR 곡선에 나타나는 EER

3. 융합 블록 쌍 판별

(1) 이분 그래프 연결성 분석

중첩되는 블록 쌍의 형상유사도가 임계값 이상인 후보 융합 블록 쌍에 Goesseln and Sester(2003)와 Huh *et al.*(2011)이 제안한 인접행렬의 연결성 분석을 적용하여 군집화하여 융합 블록 쌍을 판별한다.

인접행렬 $C(i,j)$을 생성하기 위하여 후보 융합 블록 쌍인 수치지도 블록 i와 도로명주소 블록 j를 노드로 하고, 이들 노드를 에지(edge)로 연결한다. 후보 융합 블록 쌍은 동일한 블록에는 자기 자신 이외에는 형상유사도(SS)가 임계값(Th_1) 이상인 블록이 없으므로 이분 그래프(bipartite graph)로 나타난다. 이를 수식으로 나타내면 식 (3-11)과 같다.

$$C(i,j) = \begin{cases} 1 & if \;\; SS \geq Th_1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{3-11}$$

인접행렬 C을 이용하여 후보 융합 블록 쌍을 군집화하기 위하여 식 (3-12)와 같이 자신 노드와의 인접(self adjacency)을 포함하는 행렬 C'을 생성한다. 여기서, m과 n은 후보 융합 블록 쌍의 수치지도 블록과 도로명주소 블록의 개수이다.

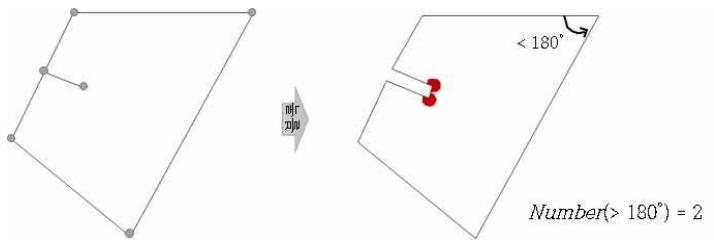
$$C' = \begin{bmatrix} I_{m\times m} & C \\ C^T & I_{n\times n} \end{bmatrix} \tag{3-12}$$

인접행렬 C의 각 원소의 값은 두 노드의 연결성을 의미하고, 행렬 C'은 자신과 연결되어 있는 다른 노드와의 연결성 행렬을 의미한다. 따라

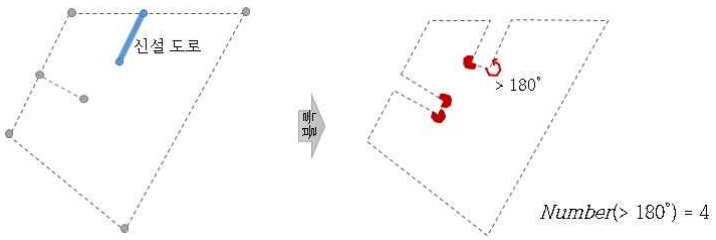
서 행렬 C'을 거듭제곱하면 모든 노드 사이의 연결성을 탐색할 수 있으며, 이는 곧 에지로 연결된 모든 노드 집합을 탐색하게 된다. 따라서 행렬 C'의 거듭제곱을 통하여 후보 융합 블록 쌍을 군집화 할 수 있다. 행렬 C'에서 값이 0인 원소가 변하지 않을 때까지 거듭제곱을 수행하며, 이때 계산을 용이하게 하기 위하여 0이 아닌 원소의 값은 1로 변환한다. 행렬 C'을 거듭제곱하여 변하지 않는 행렬에서 원소의 값이 1인 열에 대응되는 블록이 군집화된다. 군집화된 블록 쌍의 대응관계도 도출되므로, 1:N과 M:N 대응관계인 블록 쌍은 유형Ⅰ에 해당하는 융합 블록 쌍으로 판별되며, 1:1 대응관계인 블록 쌍으로 구분할 수 있다. 1:1 대응관계인 블록 쌍은 도로의 신설로 도로명주소 블록이 분리되지는 않았지만 블록 내에 도로가 신설된 유형Ⅱ에 해당하는 융합 불록 쌍을 구분해야 한다.

(2) 오목다각형 특성

이분 그래프 연결성 분석을 통하여 탐지된 1:1 대응관계인 블록 쌍은 모두 융합 객체가 존재하는 것은 아니다. 다시 말하면 면 객체 기반 매칭을 통하여 탐지된 후보 융합 블록 쌍에 이분 그래프의 연결성 분석을 통하여 1:1 대응관계로 군집화된 블록 쌍 중에는 그 형상이 일치하는 경우가 존재한다. 따라서 도로의 신설로 블록이 형상이 상이한 유형Ⅱ에 해당하는 융합 블록 쌍을 판별해야한다. 만약 도로명주소 블록에 도로가 신설된 경우에는 도로명주소 블록이 오목다각형(concave polygon)으로 구성된다. 오목다각형은 한 변 또는 여러 변을 연장할 때, 그 연장한 선이 그 도형 안을 통과하는 다각형으로 하나 이상의 내각이 180°보다 크다. 이와 같은 오목다각형 특성을 이용하여 1:1 대응관계인 융합 블록 쌍의 각 꼭짓점에 대하여 내각의 크기를 구하고, 180°보다 큰 내각의 수가 상이한 융합 블록 쌍을 찾는다. 1:1 대응관계 중에서 180°보다 큰 내각의 수가 상이한 융합 블록 쌍만이 유형Ⅱ에 해당하는 융합 블록 쌍으로 판별된다([그림 3-5]).



(a) 수치지도 블록



(b) 도로명주소 블록

[그림 3-5] 오목다각형 특성을 적용하여 유형Ⅱ 융합 블록 쌍 판별

4. 프레셰 거리를 이용한 융합 객체 추출

수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간의 융합을 위해서 융합 블록 쌍에 해당하는 도로구간 블록에 있는 융합 객체를 추출하여 수치지도2.0 도로중심선에 안착시키는 과정이 남았다.

유형Ⅰ 융합 블록 쌍은 신설 도로로 인하여 도로명주소 블록이 여러 개의 블록으로 나뉘게 되는 경우이다. 유형Ⅰ 융합 블록 쌍에 해당하는 수치지도 블록에 네거티브(negative) 버퍼 연산을 수행한 후, 선형인 도로명주소기본도 도로구간과 중첩하여 교차되는 도로구간 세그먼트를 추출한다. 다음으로 반대로 유형Ⅰ 융합 블록 쌍 중 도로명주소 블록에 네거티브 버퍼 연산을 수행한 후, 선형인 수치지도2.0 도로중심선과 중첩하여 교차되는 도로중심선 세그먼트를 추출한다. 이렇게 추출된 도로중심선과 도로구간 세그먼트에서 융합 객체를 추출하기 위하여 곡선 간의 유사도를 측정하는데 이용되는 프레셰 거리(FD)를 활용한다. 두 곡선의 FD는 어떤 사람이 강아지를 데리고 산보를 하는데 한 사람은 하나의 곡선을 따라 걷고, 강아지는 다른 곡선을 따라 걷는다고 가정할 때(단, 서로 반대방향으로 걷는 것이 허용되지 않음), 사람과 강아지를 연결하는 데 필요한 끈의 최소 길이이다. Alt and Godau(1995)에 의하면 두 곡선 $f : [a, b] \rightarrow V\,(a, b \in R,\ a < b)$와 $g : [a', b'] \rightarrow V$가 주어질 때, 이들 간의 FD($\delta_r(f, g)$)는 식 (3-13)과 같이 정의된다.

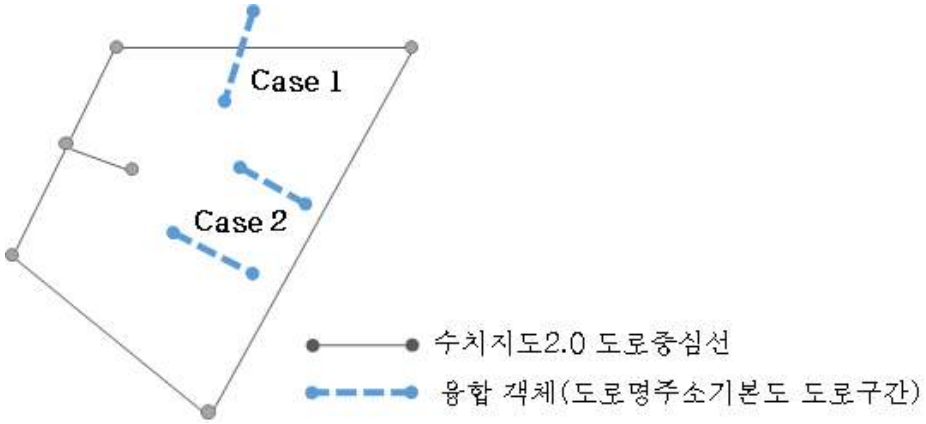
$$\delta_r(f, g) = \inf_{\substack{\alpha[0,1] \rightarrow [a, a'] \\ \beta[0,1] \rightarrow [b, b']}} \max_{t \in [0,1]} \| f(\alpha(t)) - g(\beta(t)) \| \qquad (3\text{-}13)$$

여기서, α, β는 $\alpha(0) = a, \alpha(1) = a', \beta(0) = b, \beta(1) = b'$인 연속 증가함수이고, $f(\alpha(t))$는 곡선 f의 위치를 시간(t)에 관한 함수로 표현한 것이고, $g(\beta(t))$는 곡선 g의 위치를 의미한다. 두 곡선 간의 FD가 0이면 두 곡선

이 동일하다는 의미이고, 그 값이 클수록 두 곡선은 유사하지 않음을 의미한다. 추출된 도로중심선 세그먼트와 도시지역의 일반도로의 차로 폭인 3.25m 이내에 있는 도로구간 세그먼트와의 FD를 구한다. 이렇게 구해진 FD가 임계값보다 큰 세그먼트들은 FD가 1에 가까운 경우로 서로 유사하지 않다. 따라서 FD가 임계값보다 큰 도로구간 세그먼트가 융합 객체로 추출된다.

유형Ⅱ 융합 블록 쌍에서 융합 객체를 추출하기 위하여 내각의 크기가 180°보다 큰 꼭짓점에 3.25m를 이등분한 길이로 버퍼 연산을 수행한다. 버퍼 연산된 꼭짓점을 선형인 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간과 각각 중첩한다. 이때, 버퍼 연산된 꼭짓점과 중첩되는 도로중심선과 도로구간 세그먼트는 블록의 안쪽에 있는 도로이다. 이렇게 추출된 도로중심선 세그먼트와 3.25m 이내에 있는 도로구간 세그먼트와의 FD가 임계값보다 큰 도로구간 세그먼트가 융합 객체로 추출된다. 융합 객체를 추출하기 위한 임계값도 2. (4)에서 언급된 PR 곡선의 EER로 추정된다.

마지막으로 융합 객체로 추출된 도로구간 세그먼트를 수치지도2.0 도로중심선에 그대로 중첩하면 도로구간 세그먼트가 도로중심선 세그먼트를 지나치는 기준선 초과 오류(overshooting error, [그림 3-6] Case1)나 도로중심선 세그먼트와 교차하지 않는 기준선 미달 오류(undershooting error,[그림 3-6] Case2)가 발생한다. 기준선 초과나 미달 오류는 상용 GIS소프트웨어에서 제공되는 기능을 이용하여 수정될 수 있다. 이 연구에서는 ESRI사의 ArcGIS 10을 이용하여 이들 오류를 수정하여 수치지도2.0 도로중심선에 융합 객체로 추출된 도로명주소기본도 도로구간 세그먼트를 안착하였다. 이렇게 생성된 위치 정확도와 LOD가 높은 도로중심선을 '융합도로중심선'이라 한다.



[그림 3-6] 융합 객체의 안착 시 발생하는 오류

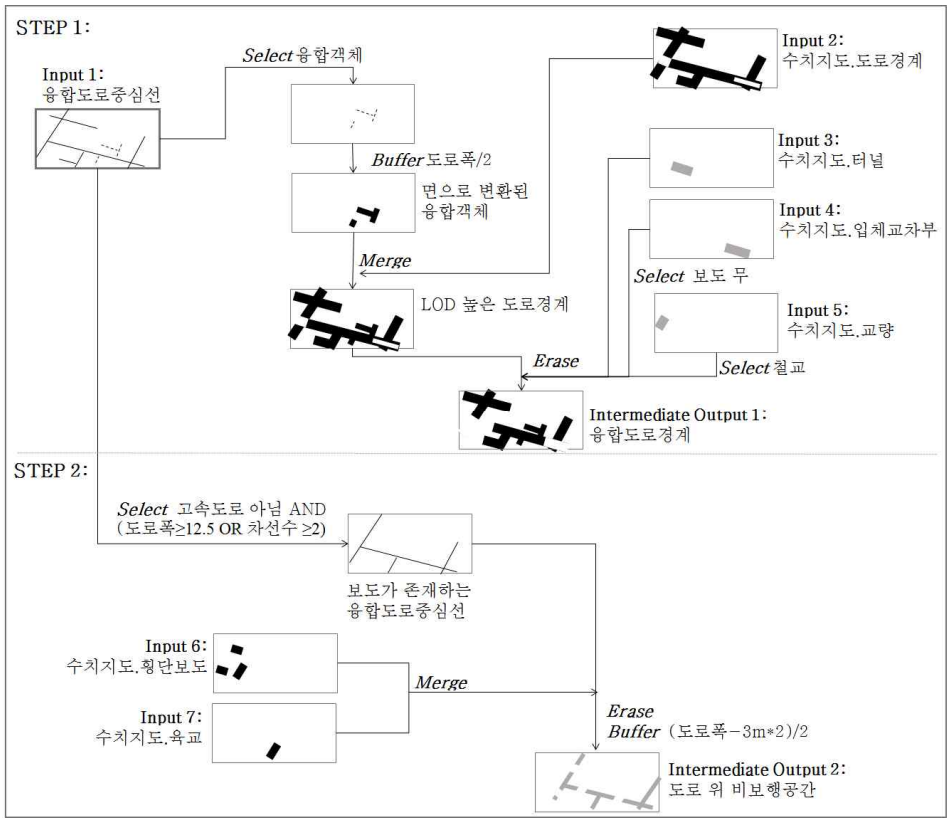
제 2 절 보행공간 추출

정의된 참조모델을 적용하여 기 구축된 지도에서 중첩 분석을 수행하여 면형 보행공간을 추출한다. 도로경계에서 도로 위에 있는 보행자가 이동할 수 없는 공간(비보행공간)을 차 연산하여 도로 주변의 면형 보행공간을 추출한다. 다음으로 면형인 도로 주변이 아닌 보행공간을 추출하여 병합(merge) 연산하여 면형 보행공간을 추출한다. 보행자 네트워크 데이터 중에서 보도, 보차공존도로, 보행전용길, 그리고 횡단시설보행자길 일부(횡단보도, 육교)가 면형 보행공간으로 추출된다.

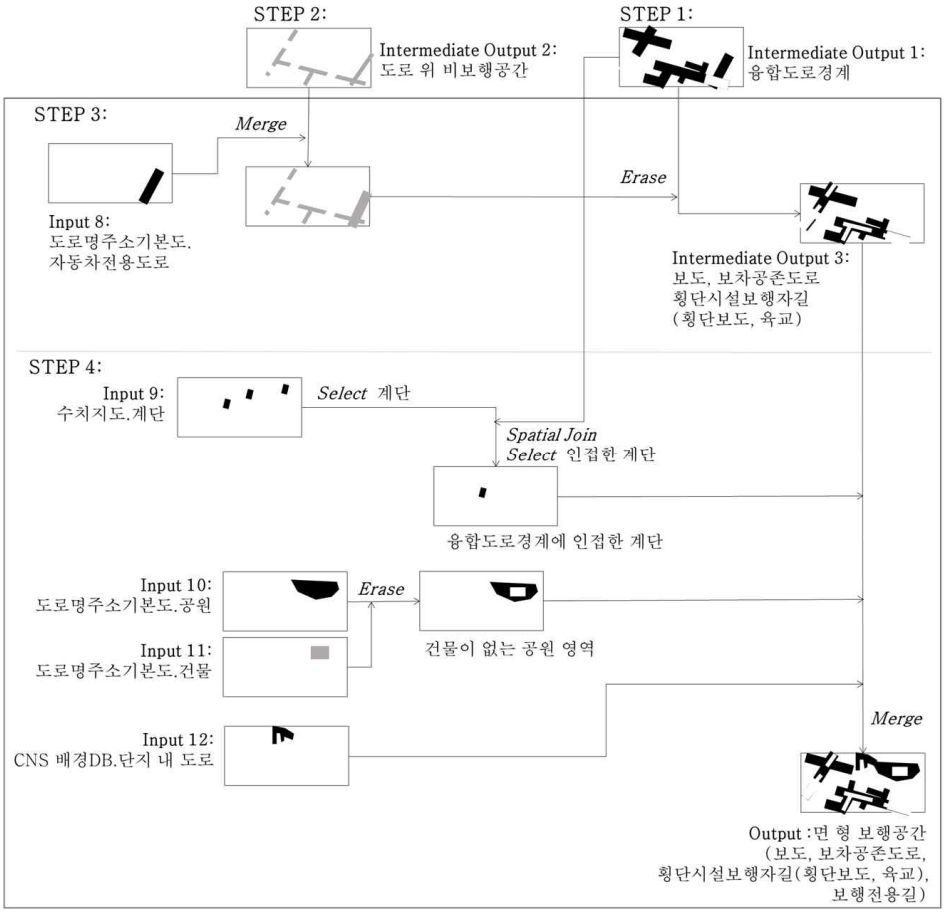
STEP 1: 융합도로중심선을 이용하여 새로운 도로경계를 생성하는 과정으로, 수치지도2.0 도로경계에는 융합 객체에 대한 경계정보는 관리되고 있지 않다. 따라서 LOD가 높은 도로경계를 생성하기 위하여, [그림 3-7](a)와 같이 융합도로중심선(Input 1)에서 융합 객체를 추출하여 '도로폭/2'로 버퍼 연산을 수행한다. 수치지도2.0 도로경계(Input 2)와 버퍼 연산된 융합 객체를 병합 연산하여 LOD가 높은 도로경계를 생성한다. 이때, 비보행공간으로 정의된 수치지도2.0의 터널(Input 3), 수치지도2.0 입체교차부(Input 4) 중 보도가 없는 객체, 수치지도2.0 교량(Input 5) 중 철교인 객체와 교차하는 LOD가 높은 도로경계를 차 연산하여 융합도로경계(Intermediate Output 1)가 추출된다.

STEP 2: 융합도로중심선(Input 1)에서 도로 종류가 고속도로가 아닌 융합도로중심선에서 도로 폭이 12.5m 이상이고 차선 수가 2차선 이상인 보도가 존재하는 융합도로중심선 세그먼트를 추출한다. 다음으로 횡단시설보행자길과 동치 관계인 수치지도2.0 횡단보도(Input 6)와 육교(Input 7)를 병합 연산한다. 이들 병합된 횡단보도와 육교와 보도가 존재하는 융합도로중심선을 차 연산한다. 차 연산된 융합도로중심선은 도

로 위에서 보행자가 이동할 수 없는 공간에 해당하며, 이를 면 형태로 변환하기 위하여 '(도로폭−3)×2/2'로 버퍼 연산한다. 그 결과 도로 위 비보행공간(Intermediate Output 2)이 생성된다.



(a) *STEP 1*과 *STEP 2*



(b) *STEP 3*과 *STEP 4*

[그림 3-7] 면형 보행공간 추출 방법

STEP 3: 융합도로중심선에서 자동차전용도로에 해당하는 세그먼트를 추출할 수 없어, [그림 3-7](b)와 같이 도로명주소기본도 자동차전용도로(Input 8)를 *STEP* 2에서 생성된 도로 위 비보행공간(Intermediate Output 2)과 병합 연산한다. *STEP* 1에서 생성된 융합도로경계(Intermediate Output 1)에서 도로 위 비보행공간이 교차되는 영역을 차 연산한다. 그 결과 도로 위에서 보행자가 이동할 수 있는 보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길(횡단보도와 육교)에 해당하는

보행공간(Intermediate Output 3)이 추출된다. 이때, 비보행공간과 교차되는 영역이 없는 융합도로경계가 보차공존도로에 해당하는 보행공간이다.

STEP 4: 최종적인 면형 보행공간을 추출하는 단계로, 수치지도2.0 계단(Input 9)에서 구조가 계단인 객체만을 추출한 후, *STEP* 1에서 생성된 융합도로경계(Intermediate Output 1)와 공간적으로 인접한 계단만을 추출한다. 도로명주소기본도 공원(Input 10)과 건물(Input 11)을 중첩하여 건물과 중첩되는 않는 공원 영역을 추출한다. 융합도로경계에 인접한 계단, 건물이 없는 공원 영역, CNS 배경DB의 단지 내 도로(Input 12), 그리고 보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길에 해당하는 보행공간(Intermediate Output 3)을 병합연산한다. 그 결과 면형 보행공간(Output)이 추출된다.

면형 보행공간을 기 구축된 지도를 이용하여 추출하는 과정과 보행자 네트워크 데이터의 구축 규칙과의 관계는 [표 3-2]와 같다. 여기서, 횡단시설보행자길에 해당하는 지하철출입구와 출입구연결보행자길의 출입구와 연결선은 선형 보행공간으로 면형 보행공간의 추출 단계에서는 생성되지 않는다.

[표 3-2] 구축 규칙과 면형 보행공간 추출 단계

보행공간 / 클래스	규칙	STEP
보행공간 도로중심선	***IF*** [(도로중심선.*도로구분* ≠ 고속도로) ∨ (도로중심선 ∩ 자동차전용도로 = ∅)∨ (도로중심선 ∩ 터널 = ∅) ∨ {도로중심선 ∩ (교량.*종류* = 철교)} ∨ {도로중심선 ∩ (입체교차부.*보도* = 무)} = ∅] ***THEN*** 보행공간 도로중심선	1, 2, 3

보행공간 / 클래스	규칙	STEP
보도	***IF*** {(보행공간 도로중심선.*도로폭* ≧ 12.5m) ∧ (보행공간 도로중심선.*차로수* ≧ 2차선)} ***THEN*** 보도가 존재하는 도로중심선	2
보차공존도로	***IF*** (보행공간 도로중심선 ∩ 보도가 존재하는 도로중심선 = ∅) ***THEN*** 보차공존도로	3
횡단시설 보행자길	***IF*** (횡단보도∪육교∪지하철출입구) ***THEN*** 횡단시설보행자길	2
출입구연결 보행자길	***IF*** (연결선 ∩ 출입구 ≠ ∅) ***THEN*** 출입구연결보행자길	-
보행전용길	***IF*** [단지 내 도로 ∨ {(계단.*구조* = 계단) ∩ 도로경계 ≠ ∅} ∨ (공원 ∩ 건물 = ∅)] ***THEN*** 보행전용길	4

제 3 절 보행공간의 선형화

추출된 보행공간은 면형으로, 보도, 보차공존도로, 보행전용길이 포함된다. 또한 횡단시설보행자길 중에는 기 구축된 지도에서 면형으로 관리되고 있는 육교와 횡단보도만이 포함된다. 이에 보행공간의 선형화는 면형으로 추출된 보행공간을 선형화하는 과정과 기 구축된 지도에서 횡단시설보행자길에 해당하는 도로명주소기본도 지하철입구와 지하철역사 그리고 출입구연결보행자길인 도로명주소기본도의 출입구와 연결선을 이용하여 생성된 선형 보행공간과 융합하는 과정으로 이루어진다.

1. 면형 보행공간의 선형화

Olson(1995)은 벡터 자료를 이용하여 스켈레톤 알고리즘을 적용 시 각 객체의 속성정보를 관리하기 위하여 여러 개의 테이블을 사용해야 하고, 많은 양의 복잡한 인덱스를 관리해야 하는 문제가 있다고 지적하였다. 또한 벡터 자료에 스켈레톤 알고리즘을 적용하면 낮은 스피드와 제한적인 메모리 용량으로 인하여 대용량의 벡터 자료를 다루는데 한계가 있다고 하였다. 이에 벡터 자료를 레스터 자료로 변환하여 간단한 모폴로지 연산을 적용하여 도로 네트워크 데이터를 추출하면 언급된 한계를 쉽게 극복할 수 있다고 하였다.

따라서 이 연구에서도 면 형태로 추출된 보행공간을 이진영상(보행공간 0, 비보행공간 1)으로 변환하고, 해당 영상에서 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 중심선에 해당하는 스켈레톤을 추출함으로써 선형화한다. 이때, 픽셀 크기에 의하여 위치 정확도가 영향을 받을 수 있어, 「공공측량 작업규정」 제37조에 명시된 1K 축척 이하의 평면위치 정확도인 도상거리 0.7㎜ 이내, 즉 실제 거리 0.7m를 한 픽셀의 크기로 한다. 보행공간 이진영상에 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 면형 보행공간의 중심선을 추출하여 선형화하는 과정에서 공원이나 광장과 같이 넓은 보행공간은 보행자

가 자유롭게 이동을 할 수 있는 지역이다. 이들 영역은 중심에 선형을 생성하는 것보다 작은 영역으로 분할하여 선형화한다. 이때, 네트워크 데이터의 용량이 증가하지 않으면서 보행자의 자유로운 이동특성이 반영된 보행자 네트워크 데이터의 구축 방법이 요구된다. 이에 이 연구에서는 익숙하지 않은 도착지를 방문한 보행자가 넓은 보행공간에서 길을 찾는 경우 보행자가 어느 한 지점에 섰을 때 주변의 정보가 시야에 들어온다면 길찾기 과정에서 주변으로부터 유용한 정보를 취득할 수 있을 것이라 가정하였다. 넓은 보행공간은 Elias(2003)가 가시 영역(visibility zone)으로 제안한 100m 이내를 적용하여 그 폭이 100m 이상인 보행공간이다.

이 과정은 [표 3-3]과 같다. 첫째, 보행자가 움직이지 않고 해당 영역이 시야에 들어오는 너비가 100m보다 작은 보행공간, 즉 가시 영역은 모양에 대한 전처리가 필요 없고, 객체 경계의 노이즈에 덜 민감한 Deseilligny *et al.*(1998)이 제안한 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 이진영상에서 0인 픽셀에 해당하는 보행공간에서 중심선(VL_P)을 추출하였다(Line 3~Line 5). 둘째, 보행공간의 너비가 100m 이상인 영역은 보행자가 한 지점에 섰을 때 주변이 시야에 들어오지 않는 비가시 영역(invisibility zone)으로 그 영역을 분할하였다. 비가시 영역의 경계(WA_W)를 추출하고(Line 6~Line 8), 추출된 비가시 영역의 경계와 가시 영역에서 생성된 중심선(VL_P)이 만나는 교차점(P_{I_1}, P_{I_2},… ,P_{I_m})을 찾는다(Line 10~Line 11). 다음으로 비가시 영역 경계의 각 세그먼트의 중점(P_{M_1}, P_{M_2},… ,P_{M_n})을 추출하여(Line 12), 이들 중점을 앞에서 찾은 교차점과 연결하여 비가시 영역을 더 세분화한 세그먼트($\overline{P_{I_1}P_{M_1}}$,…, $\overline{P_{I_1}P_{M_n}}$, …, $\overline{P_{I_m}P_{M_n}}$)를 생성한다(Line 13~Line 18). 결과적으로, 너비가 100m 미만인 가시 영역에 해당하는 보행공간은 중심선에서, 너비가 그 이상인 비가시 영역에 해당하는 보행공간은 보행자의 시야를 고려하여 보행공간을 분할하여 선형화하였다(Line 20).

[표 3-3] 면형 보행공간 선형화를 위한 의사코드

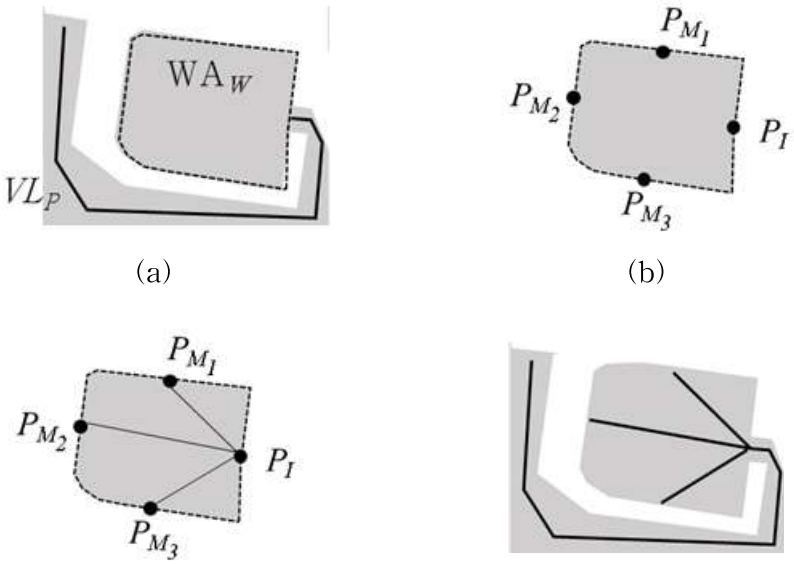
Input: Binary image

// Apply a skeleton algorithm in a visibility zone and extract
  an outline of and invisibility zone
WA = Cells with 0 in binary image, walking areas ;
If $WA.Width < 100$ m
  Generate vectorized lines (VL_P) in visibility zone;
Elseif $WA.Width \geqq 100$ m
  Extract outline of invisibility zone (WA_W) ;
End
// Generate lines in an invisibility zone
Intersect WA_W and VL_P;
Extract intersecting points(P_{I_1}, P_{I_2},$\cdots$,P_{I_m}) ;
Extract midpoints(P_{M_1}, P_{M_2},$\cdots$,P_{M_n}) at each segment of WA_W ;
For P_{I_1}, P_{I_2},$\cdots$,P_{I_m}
  For P_{M_1}, P_{M_2},$\cdots$,P_{M_n}
    Generate segments ($\overline{P_{I_1}P_{M_1}}$,$\cdots$, $\overline{P_{I_1}P_{M_n}}$, $\cdots$, $\overline{P_{I_m}P_{M_n}}$) from
    each intersecting point to all midpoints,
  End
End
// Generate vectorized lines
Merge VL_P and $\overline{P_{I_1}P_{M_1}}$,$\cdots$, $\overline{P_{I_1}P_{M_n}}$, $\cdots$, $\overline{P_{I_m}P_{M_n}}$;

Output: Vectorized walking areas

면형 보행공간의 선형화를 도식화하면 [그림 3-8]과 같다. [그림 3-8](a)와 같이 이진영상 보행공간에서 그 너비가 100m 미만인 가시 영역

인 보행공간은 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 중심선(실선, VL_P)을 생성하고, 너비 100m이상인 비가시 영역인 보행공간에 대해서는 해당 보행공간의 경계선(점선, WA_W)을 추출한다. [그림 3-8](b)와 같이 가시 영역에서 생성된 중심선(VL_P)과 비가시 영역인 보행공간 경계선(WA_W)의 교차점(P_I)과 비가시 영역의 경계선(WA_W)의 중점(P_{M_1}, P_{M_2}, P_{M_3})을 추출한다. [그림 3-8](c)와 같이 교차점(P_I)에서 각 중점(P_{M_1}, P_{M_2}, P_{M_3})을 연결한 세그먼트(실선, $\overline{P_IP_{M_1}}$, $\overline{P_IP_{M_2}}$, $\overline{P_IP_{M_3}}$)를 생성한다. 마지막으로 가시영역인 보행공간의 중심선(VL_P)과 비가시 영역인 보행공간의 세그먼트($\overline{P_IP_{M_1}}$, $\overline{P_IP_{M_2}}$, $\overline{P_IP_{M_3}}$)를 병합하여 [그림 3-8](d)와 같이 면형 보행공간을 선형화하게 된다.

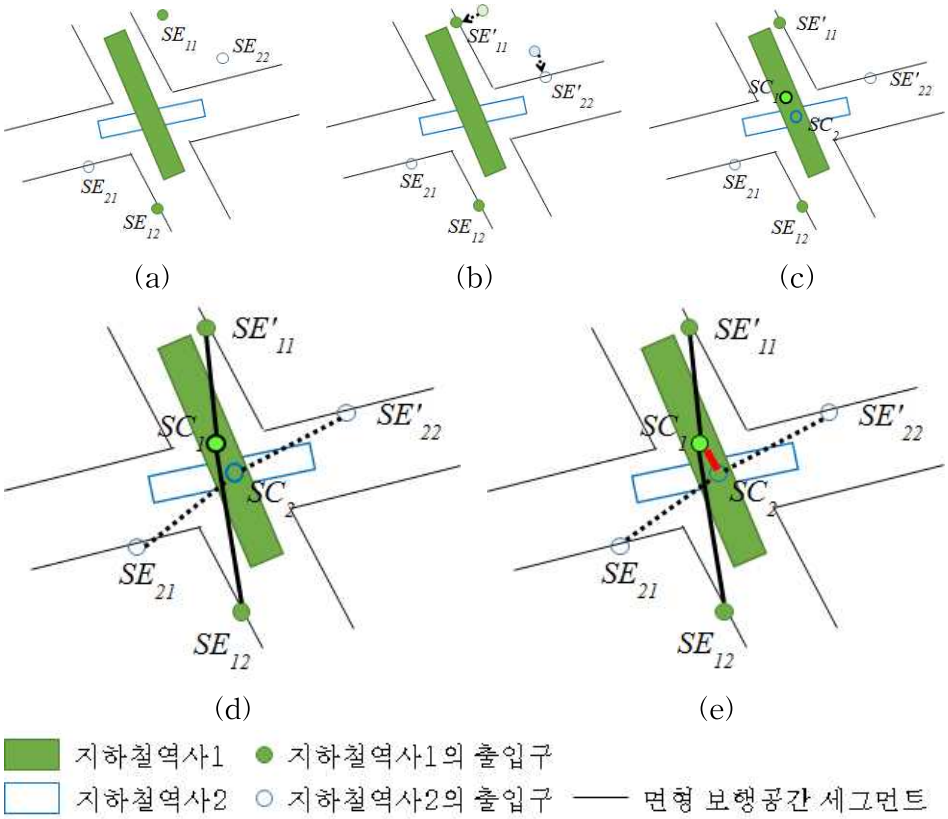


[그림 3-8] 면형 보행공간의 선형화 예

2. 선형 보행공간과의 융합

횡단시설보행자길의 도로명주소기본도 지하철출입구와 지하철역사 그리고 출입구연결보행자길인 도로명주소기본도의 출입구와 연결선을 선형화된 면형 보행공간과 융합하는 과정이다.

이를 위하여 첫째로, 횡단시설보행자길에 해당되는 점인 도로명주소기본도 지하철출입구를 선형화해야 한다. 동일한 지하철역사의 모든 지하철출입구로 이동이 가능하며, 이를 이용하여 도로를 횡단할 수 있다. 지하철출입구(점)가 선형화된 보행공간 상에 존재하지 않아([그림 3-9](a) SE_{11} , SE_{22}), 지하철출입구로부터 3m 이내에 있는 선형화된 보행공간으로 수선의 발을 내린 후, 해당 지점으로 지하철출입구의 위치를 이동한다([그림 3-9](b) $SE_{11}^{'}$, $SE_{22}^{'}$). 도로명주소기본도 지하철역사의 무게중심점([그림 3-9](c) SC_1, SC_2)을 생성한 후, 각 지하철역사의 무게중심점과 이들 무게중심점에 해당하는 지하철출입구를 모두 연결하는 세그먼트([그림 3-9](d) $\overline{SC_1SE_{11}^{'}}$, $\overline{SC_1SE_{12}}$, $\overline{SC_2SE_{21}}$, $\overline{SC_2SE_{22}^{'}}$)를 생성한다. 환승역이 있어 지하철역사가 여러 개인 경우는 지하철역사 간에도 이동이 가능하므로, 각 지하철역사의 무게중심점을 연결한 세그먼트([그림 3-9](e) $\overline{SC_1SC_2}$)를 생성한다.

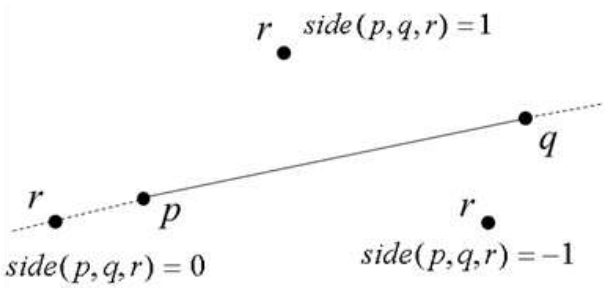


[그림 3-9] 지하철출입구 세그먼트 생성 (횡단시설보행자길)

둘째로, 도로구간 기본도의 출입구와 연결선인 출입구연결보행자길을 면형 보행공간 세그먼트와 융합해야 한다. 출입구연결보행자길인 도로명주소기본도 연결선은 도로명주소기본도 출입구와 도로의 중심에 생성된 도로구간을 연결하는 선이다. 그러나 선형화된 면형 보행공간에서 보도는 도로 양측에, 보차공존도로는 도로 중심에 생성되었다. 이로 인하여 도로명주소기본도 연결선을 면형 보행공간 세그먼트와 융합할 때, 도로명주소기본도 연결선이 보도에 해당하는 세그먼트를 뚫고 지나가는 기준선 초과 오류(Case 1)가 발생하거나, 보차공존도로에 해당하는 세그먼트와 교차하지 않는 기준선 미달 오류(Case 2)가 발생한다.

Case 1: 도로명주소기본도 연결선이 보도에 해당하는 면형 보행공간 세그먼트를 지나치는 기준선 초과 오류

면형 보행공간 세그먼트([그림 3-11](a) $\overline{S_3E_3}$)와 교차하는 도로명주소기본도 연결선([그림 3-11](a) $\overline{S_1E_1}$)을 구성하는 모든 버텍스(S_1, V_1, V_2, E_1)에 식 (3-13)과 같이 사이드 연산(side operation, [그림 3-10])을 적용하여 도로명주소기본도 연결선의 시작점(S_1) 즉, 도로명주소기본도 출입구와 동일한 방향에 존재하지 않는 버텍스([그림 3-11](b) V_2, E_1)를 제거하고, 해당 연결선의 끝점을 면형 보행공간 세그먼트와의 교차점([그림 3-11](b) P_I)으로 수정([그림 3-11](c) $\overline{S_1E_1'}$)한다.



[그림 3-10] 사이드 연산 예
(Worboys and Duckham, 2004)

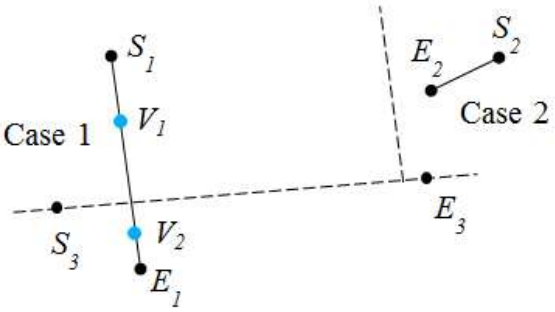
$$side(p,q,r) = \begin{cases} 1 & \text{if } Area(pqr) > 0 \ (p \, is \, left \, of \, directed \, segment \, qr) \\ 0 & \text{if } Area(pqr) = 0 \ (pqr \, are \, collinear) \\ -1 & \text{if } Area(pqr) < 0 \ (p \, is \, right \, of \, directed \, segment \, qr) \end{cases} \quad (3\text{-}13)$$

여기서, $\triangle pqr$에서 $p = (x_p, y_p), q = (x_q, y_q), r = (x_r, y_r)$ 일 때,

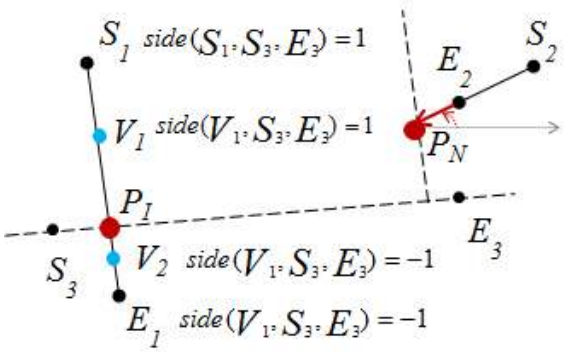
$$Area(pqr) = \frac{x_p y_q - x_q y_p + x_q y_r - x_r y_q + x_r y_p - x_p y_r}{2}$$

Case 2: 도로명주소기본도 연결선이 보차공존도로에 해당하는 면형 보행공간 세그먼트와 교차하지 않는 기준선 미달 오류

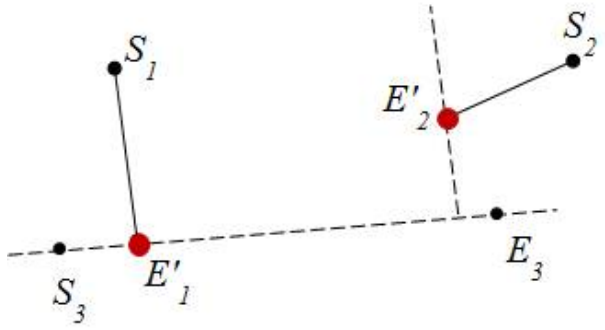
면형 보행공간 세그먼트([그림 3-11](a) $\overline{S_3E_3}$)와 교차하지 않는 도로명주소기본도 연결선([그림 3-11](a) $\overline{S_2E_2}$)은 출입구가 아닌 연결선의 끝점([그림 3-11](b) E_2)에서 연결선과 동일한 방향의 최단 거리에 있는 면형 보행공간 세그먼트에 교점([그림 3-11](b) P_N)을 생성하고, 연결선의 시작점과 교점을 연장한 선([그림 3-11](c) $\overline{S_2E_2'}$)을 생성한다.



(a) 면형 보행공간 세그먼트와 도로명주소기본도 연결선 오류



(b) 도로명주소기본도 연결선의 오류 수정 원리



(c) 수정된 도로명주소기본도 연결선

[그림 3-11] 면형 보행공간 세그먼트와 연결선의 융합

면형 보행공간을 선형화하고, 선형 보행공간을 융합하여 모든 보행공간이 반영된 선을 생성할 수 있다. 보행자 네트워크 데이터를 생성하기 위하여 생성된 선에서 3개 이상의 세그먼트가 만나는 점이 중복되지 않는 점, 즉 노드를 생성한다. 이때, 횡단시설보행자길에 해당하는 세그먼트가 교차하는 경우는 위상정보가 상이한 경우로 노드를 생성하지 않는다. 예를 들어 횡단보도에 해당하는 세그먼트와 지하철출입구에 해당하는 세그먼트가 교차할 경우, 이들 세그먼트 간에는 위상의 차이로 보행자가 이동할 수 없기 때문이다. 각 세그먼트를 구성하는 노드들로 위상정보를 부여하여 링크를 생성한다. 선형화된 보행공간을 $G_{PN} = (N, A, Dist)$인 그래프 구조로 변환함으로써 노드와 링크로 구성된 보행자 네트워크 데이터를 구축할 수 있다. 여기서, N은 노드로 구성된 유한 집합 $N = \{n_1, \cdots, n_n\}$, A는 링크로 구성된 곱집합(cartesian product) $A \times A$의 부분 집합, 그리고 $Dist$는 링크의 길이이다.

제 4 장 실험 및 결과

제 1 절 실험 환경 및 방법

제안된 방법에 대한 실험을 위해서 이 연구에서는 ArcGIS 10, XTools Pro 9.1, 그리고 MATLAB R2013a 등의 상용 소프트웨어를 이용하였다. ArcGIS 10 모델빌더(model builder)에서 ArcGIS 10과 XTools Pro 9.1에서 제공하는 툴박스(toolbox)를 조합하여 기능을 구현하였으며, 이들 프로그램에서 툴(tool)로 제공되지 않는 기능은 MATLAB R2013a에서 직접 구현하였다. 이 연구는 사용자의 개입 없이 자동으로 광범위한 지역을 대상으로 보행자 네트워크 데이터를 만드는 것을 목적으로 한다. 따라서 모든 과정에서 사용자는 입력 자료나 입력 자료가 존재하는 폴더만 지정하면 해당 과정에 대한 결과물이 생성될 수 있도록 하여, 사용자의 주관적인 판단이나 개입이 없이 보행자 네트워크 데이터를 구축할 수 있도록 하였다.

실험을 위하여 국토지리정보원에서 배포하는 2006년 촬영되고, 2007년에 갱신된 1K와 5K 축척의 수치지도2.0과 안전행정부에서 2013년 12월에 무료로 배포한 도로명주소기본도, 그리고 현재 CNS 업체나 포털사의 지도서비스에서 이용되고 있는 A사의 2012년 9월에 구축된 배경DB를 사용하였다. 각 실험자료에 대한 설명은 [표 4-1]과 같다. 수치지도2.0의 도형정보는 NGI파일로, 속성정보는 NDA파일로 제공되며, 도엽 단위로 세계측지계(중부좌표계)로 배포된다. 도로명주소기본도는 Shape파일로 제공되며, 행정경계 시군구 단위로 세계측지계(단일평면직각좌표계)로 배포된다. CNS의 배경DB는 Shape파일로 제공되며, 대한민국 전체가 지역측지계로 배포된다. 따라서 보행자 네트워크 데이터를 생성하기에 앞서 실험자료인 기 구축된 지도의 데이터 형태를 Shape파일로 통일하였다. 좌표계는 「측량 · 수로조사 및 지적에 관한 법률」제6조제1항 및 동법

시행령 제7조의 규정에 의한 세계측지계와「기본공간정보구축규정」제8조 UTM-K를 기본좌표계로 사용하였다. UTM-K는 [표 4-1]에서 도로명주소기본도의 좌표계와 직각좌표계원점으로 정의된다.

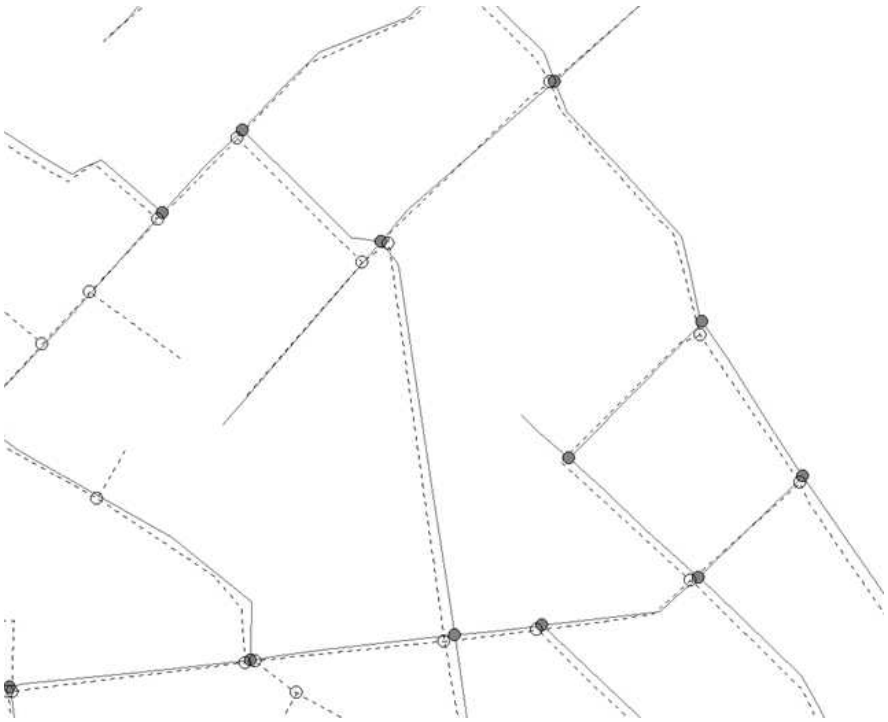
[표 4-1] 실험자료 현황

구분		수치지도2.0	도로명주소기본도	배경DB
데이터 형식		NGI파일, NDA파일	Shape파일	Shape파일
좌표계		세계측지계	세계측지계	지역측지계
직각좌표계원점	원점의 경위도	경도: 동경 127° 00′ 위도: 북위 38° 00′	경도: 동경 127° 30′ 위도: 북위 38° 00′	-
	투영원점의 가산수치	X(N) 600,000m Y(E) 200,000m	X(N) 2,000,000m Y(E) 1,000,000m	-
	원점 축척계수	1.0000	0.9996	-
갱신 주기		권역별 매년	수시갱신	수시갱신
기본 단위		도곽	행정경계(시군구)	대한민국
관리 기관		국토지리정보원	안전행정부	민간
판매 가격		유료	무료	유료
사용된 지형·지물[30]		도로경계, 도로중심선, 보도, 횡단보도, 육교, 교량, 입체교차부, 터널, 계단	도로구간, 출입구, 연결선, 공원, 자동차전용도로, 지하철출입구, 지하철역사	단지 내 도로

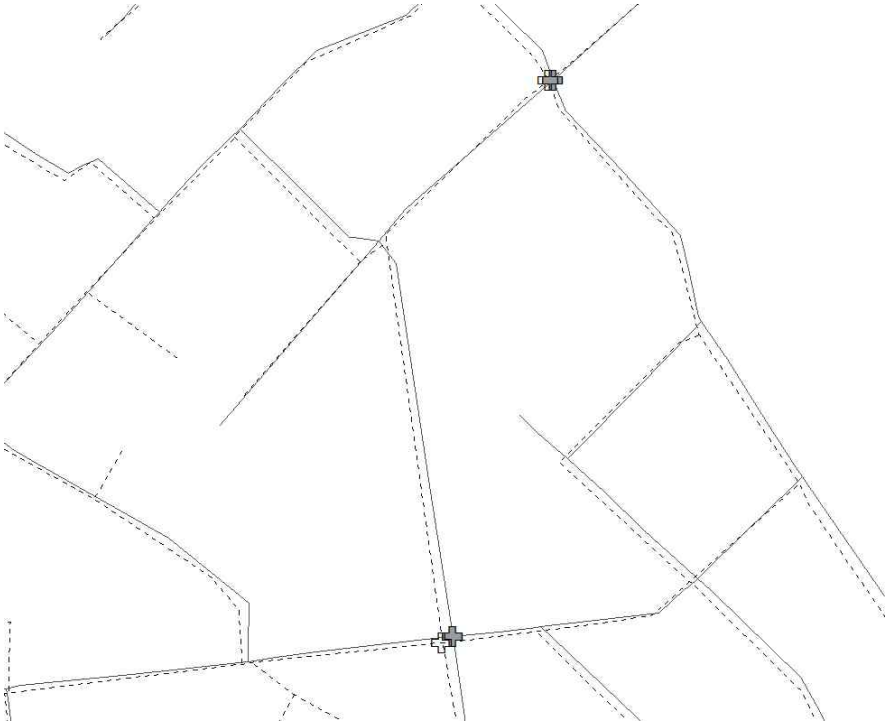
그러나 좌표계를 통일한 이후에도 기 구축된 지도 간에 존재하는 우연 오차는 어핀 변환을 통하여 전처리를 수행함으로써 제거할 수 있다. 이때, 위치 정확도가 높은 수치지도2.0을 참조자료로 하여 도로명주소기본도와 배경DB의 우연 오차를 제거하게 된다. [그림 4-1]과 같이 수치지

30) 각 지형·지물에 대한 상세한 설명은 [부록 표 1]을 참고한다.

도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간에서 동일한 교차점을 지상기준점(Ground Control Point, GCP)로 하여 수동 추출하고, 이때 평균제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 「공공측량 작업규정」제37조에 명시된 1K 축척 이하의 평면위치 정확도인 도상거리 0.7㎜ 이내, 즉 실제 거리 0.7m 이내가 되도록 한다. [그림 4-1](a)와 같이 UTM-K로 좌표계가 통일된 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간에서 교차점을 추출하였다. 다음으로 [그림 4-1](b)와 같이 수동으로 각 교차점에서 GCP로 사용될 교차점 41쌍을 추출한 후 어핀변환을 수행하였다. 이때 RMSE는 0.627m이다. 그 결과 [그림 4-1](c)와 같은 계통오차가 [그림 4-1](d)와 같이 제거되는 것을 볼 수 있다.

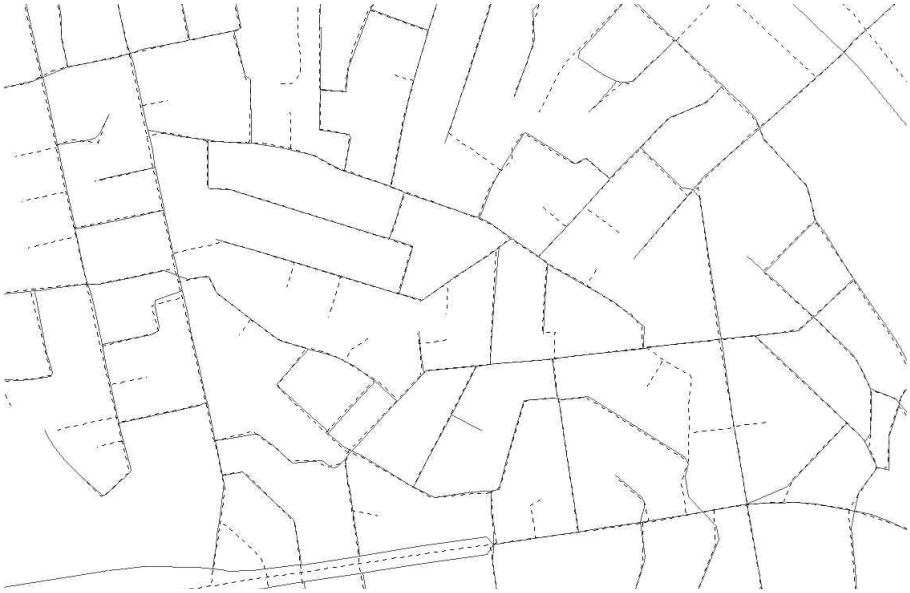


(a) 도로중심선과 도로구간에서 교차점 추출



(b) 교차점에서 GCP 추출

(c) 어핀 변환 전



(d) 어핀 변환 후

수치지도2.0 도로중심선 ------ 도로명주소 기본도 도로구간

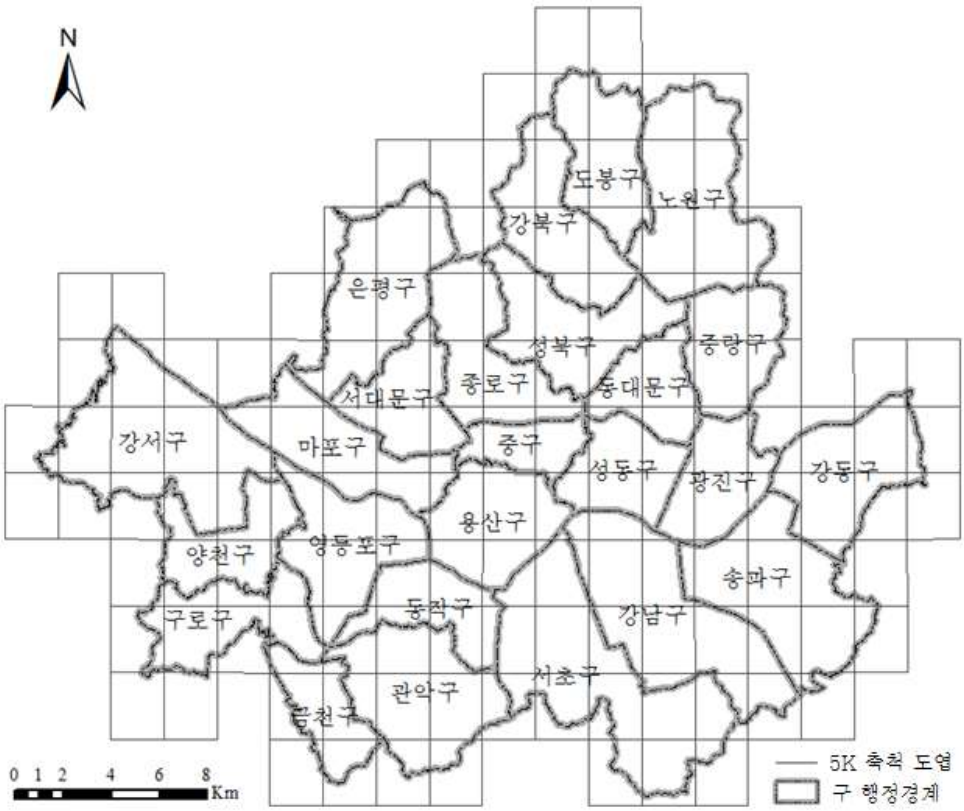
수치지도2.0 도로중심선 교차점 ○ 도로명주소 기본도 도로구간 교차점

수치지도2.0 도로중심선 GCP 도로명주소 기본도 도로구간 GCP

[그림 4-1] 실험자료 전처리

실험대상 지역은 복잡한 교통시설물이 존재하는 서울특별시를 대상으로 하였다. 실험대상 지역의 커버리지는 가로, 세로가 대략 37.1㎞ × 30.3㎞로, 25개의 구와 5K 축척의 도엽 137개로 구성되어 있다([그림 4-2]). 실험대상 지역인 서울특별시를 구 단위로 나눠 보행자 네트워크 데이터를 생성한다. 이에 행정경계 단위로 관리되고 있는 도로명주소기본도는 그대로 사용한다. 그 외 도엽 단위로 관리되고 있는 수치지도2.0와 대한민국 전체가 하나로 관리되고 있는 CNS 배경DB는 시군구 행정경계를 이용하여 클립(clip) 연산을 수행한다. 예를 들어 5K 축척 수치지도 2.0의 경우는 서울특별시에 해당하는 137개 도엽을 병합 연산하고, 병합된 데이터를 시군구 행정경계에서 추출된 구 단위 경계(면)로 클립 연산한다. 대한민국 전체가 하나의 파일로 관리되고 있는 배경DB도 시군구

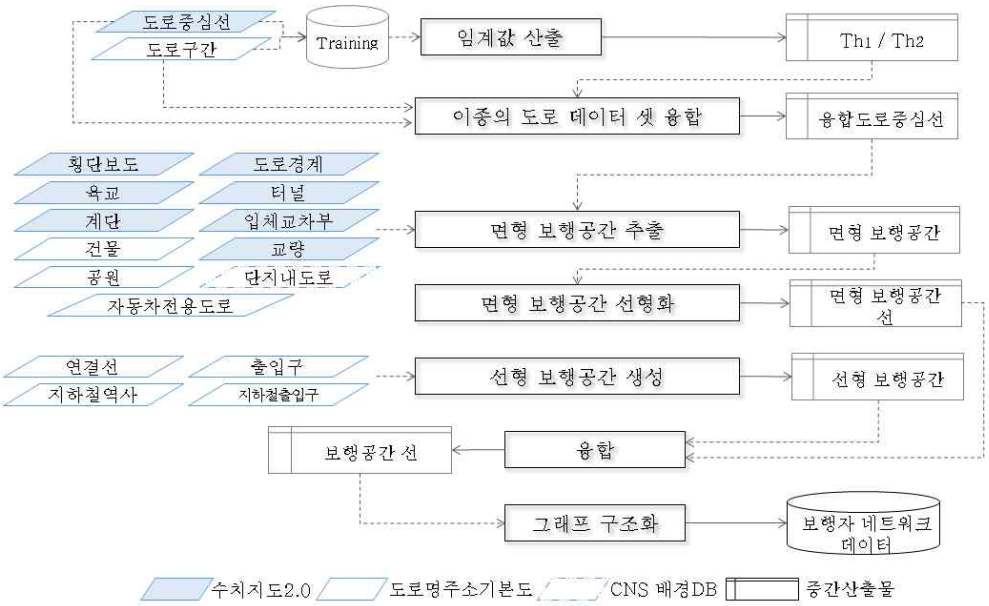
행정경계로 클립(clip) 연산한다.



[그림 4-2] 실험대상 지역

전처리가 수행된 기 구축된 지도의 지형·지물을 이용하여 [그림 4-3]과 같은 순서로 제안된 보행자 네트워크 데이터의 자동 구축 기법을 적용한다. 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간의 훈련자료(training data)에서 매칭 블록을 판별하는 과정에서 필요한 형상유사도에 대한 임계값과 융합 객체를 판별하는 과정에서 필요한 프레셰 거리에 대한 임계값을 산출한다. 이 후 이들 임계값을 도로중심선과 도로구간을 이용한 융합에 적용하여 위치 정확도와 LOD가 높은 융합도로중심선을 생성한다. 다음으로 기 구축된 지도에 중첩분석을 통하여 면형 보행공간을 추출하여 선형화하고, 선형 보행공간을 융합한다. 마지막으로

융합된 보행공간 선에 위상정보를 부여하여 그래프 구조로 변환하여 노드-링크 구조의 보행자 네트워크 데이터를 구축한다. 적용 실험을 진행하면서 사용자는 입력 파일만을 선택함으로써 사용자의 개입 없이 자동화된 방법으로 보행자 네트워크 데이터를 구축할 수 있다.



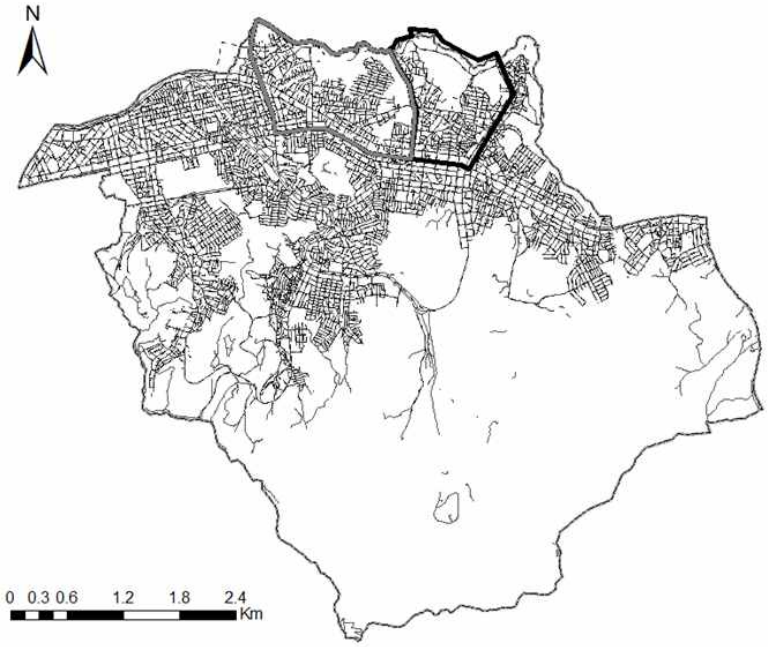
[그림 4-3] 보행자 네트워크 데이터 구축을 위한 실험 흐름도

제 2 절 이종의 도로 데이터 셋 융합

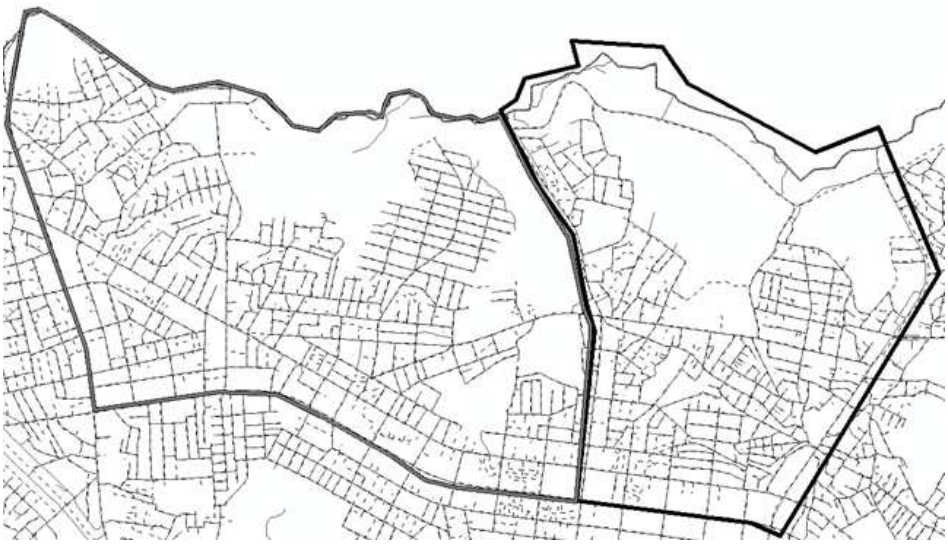
위치 정확도와 LOD가 높은 도로 정보를 취득하기 위하여, 이종의 기구축된 지도인 수치지도2.0 도로중심선을 기준으로 도로명주소기본도 도로구간을 융합한다.

전처리가 수행된 이종의 도로 데이터 셋인 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간에서 실험대상 지역인 서울특별시에서 관악구의 일부 지역([그림 4-4](a))을 이용하여 융합에 필요한 임계값을 산출한다. 여기서 임계값 산출에 사용된 전체 지역의 2/3는 임계값을 추정하기 위하여 훈련자료로 사용하고, 나머지는 제안된 방법으로 산출된 임계값을 평가하기 위한 평가자료[31](test data)로 사용하였다([그림 4-4](b)).

31) test data를 의역하면 실험자료이나 제1절에서 언급된 실험자료와 구분하기 위하여 이 연구에서는 평가자료라 명명한다.



(a) 임계값 산출을 위하여 사용된 지역



(b) 확대된 모습

훈련자료 평가자료 관악구 경계

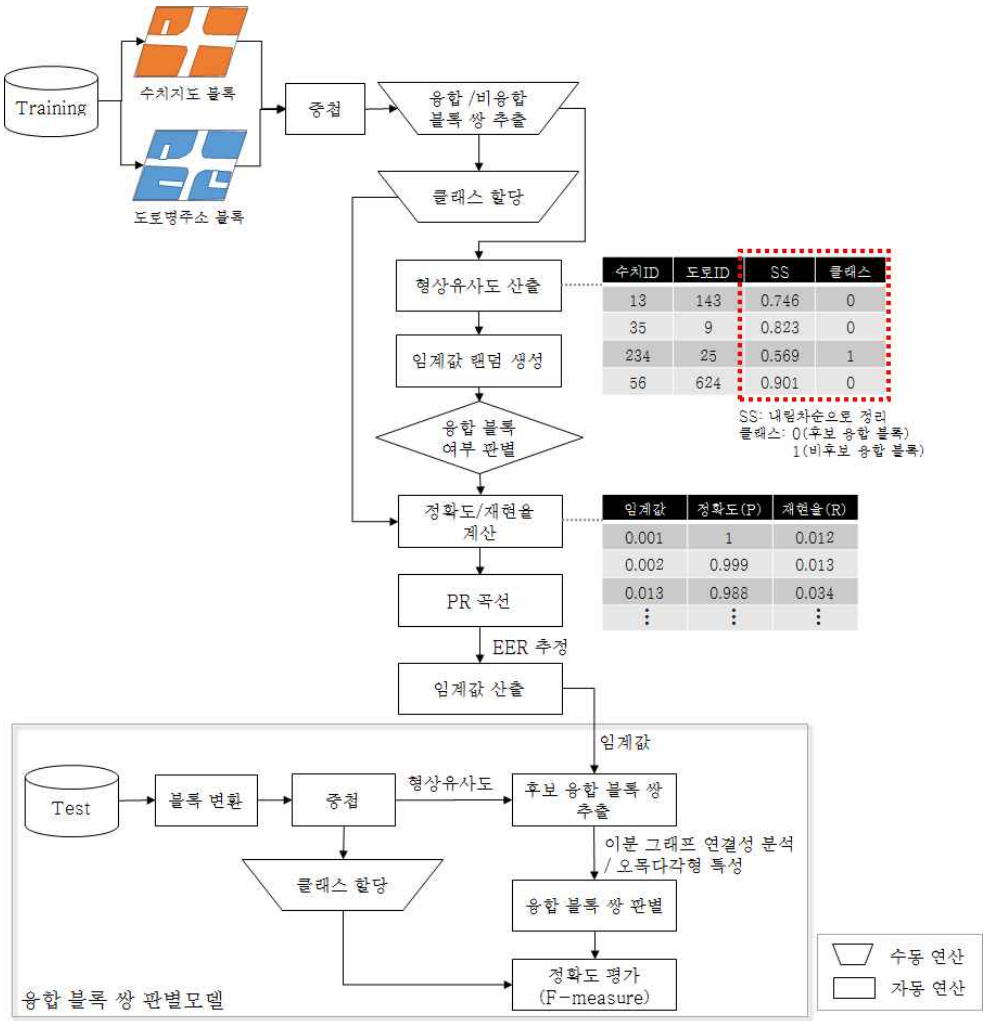
수치지도2.0 도로중심선 ------ 도로명주소기본도 도로구간

[그림 4-4] 임계값 산출에 사용된 지역

1. 형상유사도에 대한 임계값

중첩되는 불록 쌍에서 그 형상유사도가 임계값 이상인 경우 융합 객체가 존재할 수 있는 후보 융합 블록 쌍으로 탐지된다. 이 과정에서 요구되는 형상유사도에 대한 임계값을 추출하기 위한 흐름도는 [그림 4-5]와 같다. 훈련자료에서 수동으로 후보 융합 블록 쌍과 그렇지 않은 블록 쌍을 추출하고, 매칭인 전자의 경우는 0으로, 비매칭인 후자의 경우는 1로 클래스를 할당한다. 다음으로 수동으로 추출된 블록 쌍에서 형상유사도를 측정한다. 블록 쌍의 형상유사도와 수동으로 부여된 클래스를 별도 테이블에 저장하고, 형상유사도를 내림차순으로 정리하여 PR 곡선을 그리기 위한 입력 자료를 생성한다. 임계값을 0부터 1까지 랜덤으로 자동 설정하면서 형상유사도가 설정된 임계값보다 크거나 같은 경우는 매칭(후보 융합 블록 쌍)으로, 그렇지 않은 경우는 비매칭(비후보 융합 블록 쌍)으로 판별한다. 랜덤으로 설정된 임계값에 따라 판별된 클래스와 수동으로 할당된 클래스를 이용하여 정확도와 재현율을 계산한다. 랜덤으로 설정된 임계값이 변하면, 임계값에 따라 정확도와 재현율도 변하게 된다. 랜덤으로 설정된 임계값을 x축, 임계값에 따라 계산된 정확도와 재현율 각각을 y축으로 나타내면 PR 곡선이 그려진다. 이 PR 곡선에서 정확도와 재현율이 트레이드 오프되는 지점인 EER로 임계값을 추정한다. 이렇게 추정된 임계값의 평가를 위하여, 평가자료를 블록으로 변환한 후 중첩되는 블록 쌍에 대하여 클래스(매칭, 비매칭)를 수동으로 할당한다. 다음으로 중첩되는 블록 쌍에서 구해진 기하 기준의 유사도와 CRITIC 방법으로 구해진 가중치를 가중선형조합하여 형상유사도를 측정한다. 이때 훈련자료에서 추정된 임계값을 적용하여, 해당 임계값 이상인 블록 쌍은 매칭으로 그렇지 않으면 비매칭으로 판별한다. 판별된 매칭인 후보 융합 블록 쌍에 이분 그래프 연결성 분석과 오목다각형 특성을 적용하여 융합 블록 쌍을 추출한다. 마지막으로 평가자료에 대해 수동으로 할당된 클래스와 평가자료에 훈련자료에서 산정된 임계값을 적용하여 제안된 융합 블록 쌍 판별모델로 판별된 클래스를 이용하여 정확도

평가를 수행한다. 임계값의 정확도는 물론이고, 제안된 면 객체 매칭 기반 후보 융합 블록 쌍 탐지 및 융합 블록 쌍 판별모델의 정확도를 평가할 수 있다.



[그림 4-5] 형사유사도의 임계값 산출을 위한 흐름도

훈련자료를 블록으로 변환한 후 [표 4-2]와 같이 수동으로 구축된 융합과 비융합 블록 쌍을 추출하였다.

[표 4-2] 훈련자료에서 수동 추출된 융합 블록 쌍

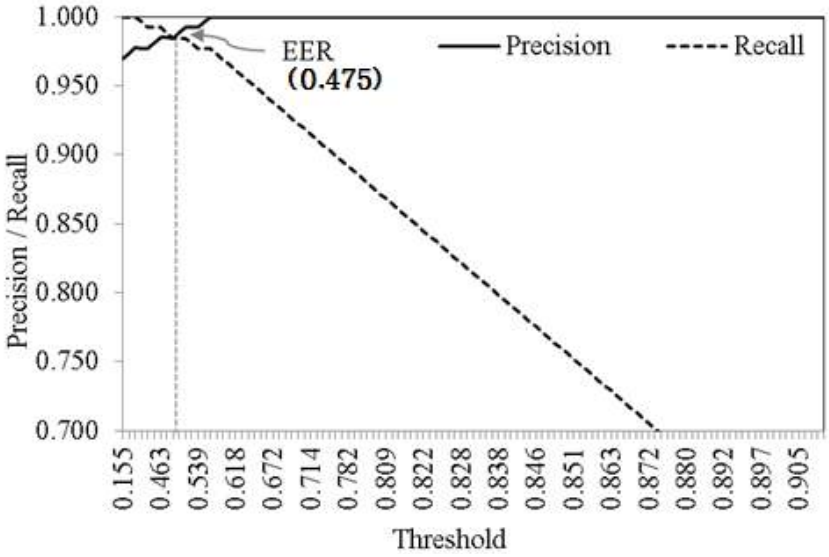
융합 유형	대응관계	융합 블록	비융합 블록	합계
유형Ⅰ	1:N	13쌍	3쌍	16쌍
	M:N	4쌍	1쌍	5쌍
유형Ⅱ	1:1	99쌍	23쌍	122쌍
합계		116쌍	27쌍	143쌍

다음으로 이들 블록 쌍에서 위치 기준(PC), 형상 기준(SC), 면적 기준(AC)을 구하고, CRITIC 방법으로 [표 4-3]과 같이 차례대로 0.222, 0.407, 0.371의 가중치를 부여하여 형상유사도를 산출하였다.

[표 4-3] 훈련자료의 상관계수와 가중치

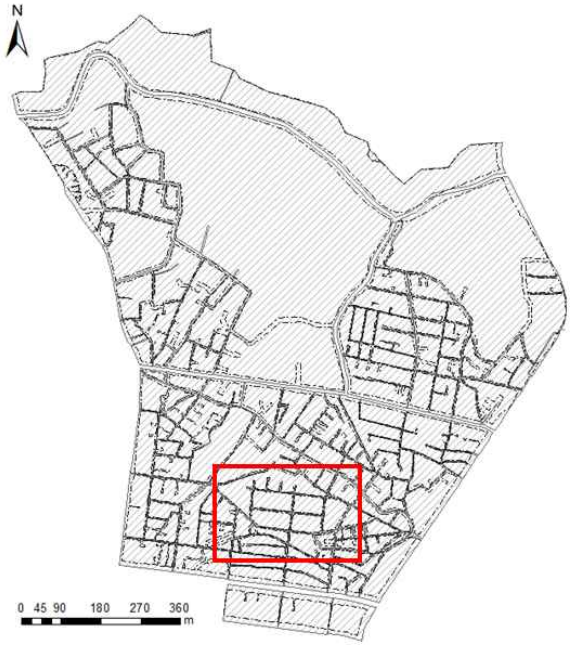
	PC	SC	AC	표준편차	가중치
PC	1	0.544	0.423	0.139	0.222
SC	0.544	1	0.232	0.216	0.407
AC	0.423	0.232	1	0.179	0.371

수동으로 할당된 클래스와 산출된 형상유사도를 이용하여, 랜덤으로 설정되는 임계값에 따라 변화하는 정확도와 재현율로 PR 곡선은 그리면 [그림 4-6]과 같다. 이 PR 곡선에서 추정된 EER, 즉 임계값이 0.475으로 나타났다. 따라서 중첩되는 수치지도 블록과 도로명주소 블록 쌍에서 산출된 형상유사도가 0.475보다 크거나 같으면 해당 블록 쌍은 후보 융합 블록 쌍이고, 그렇지 않은 경우는 비후보 융합 블록 쌍으로 탐지된다.

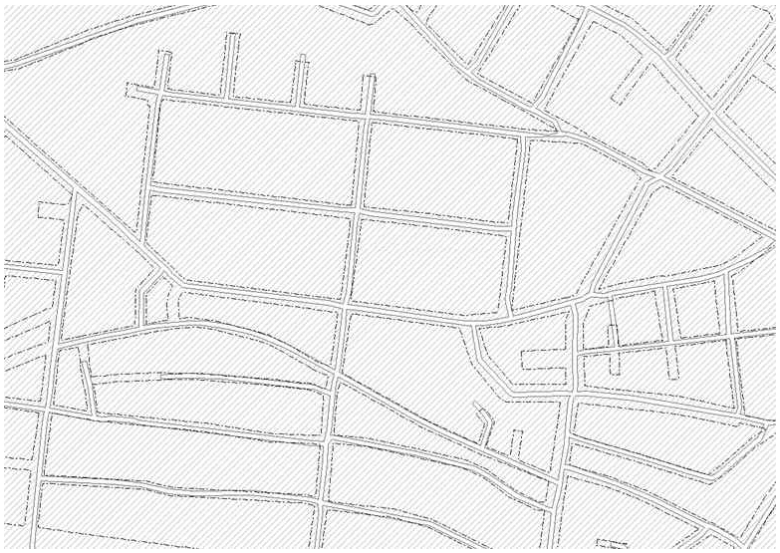


[그림 4-6] 훈련자료의 형상유사도에 대한 PR 곡선

훈련자료에서 산출된 임계값 0.475를 평가자료에 적용하여 임계값의 정확도와 융합 블록 쌍 판별모델의 정확도를 평가하였다. [그림 4-7]과 같이 평가자료를 132개의 수치지도 블록과 150개의 도로명주소 블록으로 변환하였다.



(a) 평가자료로 사용된 블록



(b) 확대된 모습

수치지도2.0 도로중심선 블록(수치지도 블록)

도로명주소기본도 도로구간 블록(도로명주소 블록)

[그림 4-7] 평가자료의 블록 변환

이들 변환된 블록을 중첩하여 교차되는 블록 쌍에서 기하 기준의 유사도와 [표 4-4]와 같이 CRITIC 방법으로 구해진 가중치를 결합하여 형상유사도를 계산하였다. 이들 중첩 블록 쌍에서 계산된 형상유사도의 값이 훈련자료에서 설정된 임계값 0.475보다 크거나 같은 블록 쌍을 후보 융합 블록 쌍으로 판별하였다.

[표 4-4] 평가자료의 상관계수와 가중치

	PC	SC	AC	표준편차	가중치
PC	1	0.232	0.439	0.124	0.171
SC	0.232	1	0.214	0.244	0.392
AC	0.439	0.214	1	0.314	0.437

다음으로 판별된 후보 융합 블록 쌍에 해당하는 수치지도 블록과 도로명주소 블록을 노드로 하고, 이들 노드를 에지로 연결하여 인접행렬을 생성하였다. 이들 인접행렬을 거듭제곱하여 0인 원소가 변하지 않을 때까지 거듭제곱을 수행하여 [표 4-5]와 같이 유형Ⅰ(1:N, M:N 대응관계)에 해당하는 융합 블록 쌍 17개(14개, 3개)와 그 대응관계가 1:1인 블록 쌍 101개를 추출하였다. 이때, 대응관계가 1:1인 블록 쌍에 오목다각형 특성을 이용하여 내각의 크기가 180° 보다 큰 내각의 수가 상이한 블록 쌍 96개가 유형Ⅱ에 해당하는 융합 블록 쌍으로 추출되었다.

[표 4-5] 평가자료에서 판별된 융합 블록 쌍

융합 유무	대응 관계	수동 할당된 블록(참 블록)	판별된 블록
융합Ⅰ	1:N	13쌍	14쌍
	M:N	4쌍	3쌍
융합Ⅱ	1:1	94쌍	96쌍
중 계(융합인 경우)		111쌍	113쌍
비융합	1:1	5쌍	5쌍
	M:1	6쌍	5쌍
합 계		122쌍	123쌍

평가자료에서 수동으로 할당된 클래스와 제안된 방법으로 판별된 클래스를 비교함으로써 임계값의 정확도 및 제안된 면 객체 매칭 기반 융합 블록 쌍 판별모델의 정확도를 평가할 수 있다. 이를 위하여 이 연구에서는 정보 검색 및 온톨로지 매칭의 정확도 평가 지표인 정확도와 재현율을 이용한 $F-measure$를 활용한다. 정확도는 판별모델에서 참으로 판별된 클래스에 대한 실제 참인 클래스의 비를, 재현율은 판별 모델에서 실제 참인 클래스를 얼마나 많이 판별하였는지를 의미한다. 그러나 이들 정확도와 재현율 각각의 값으로는 판별 모델을 정확하게 평가할 수 없어, 식 (4-1)과 같이 정확도(V_p)와 재현율(V_r)을 같은 가중치로 통합한 $F-measure$로 평가할 수 있다(Do *et al.*, 2005). $F-measure$의 값이 클수록 더 정확한 판별 방법이며, $F-measure$의 값이 클수록 임계값이 더 정확하다고 할 수 있다.

$$F-measure = \frac{2V_pV_r}{V_p+V_r} \tag{4-1}$$

여기서, $V_p = \frac{Number(\text{판별된 융합 블록 쌍} \cap \text{참 융합 블록 쌍})}{Number(\text{판별된 융합 블록 쌍})}$

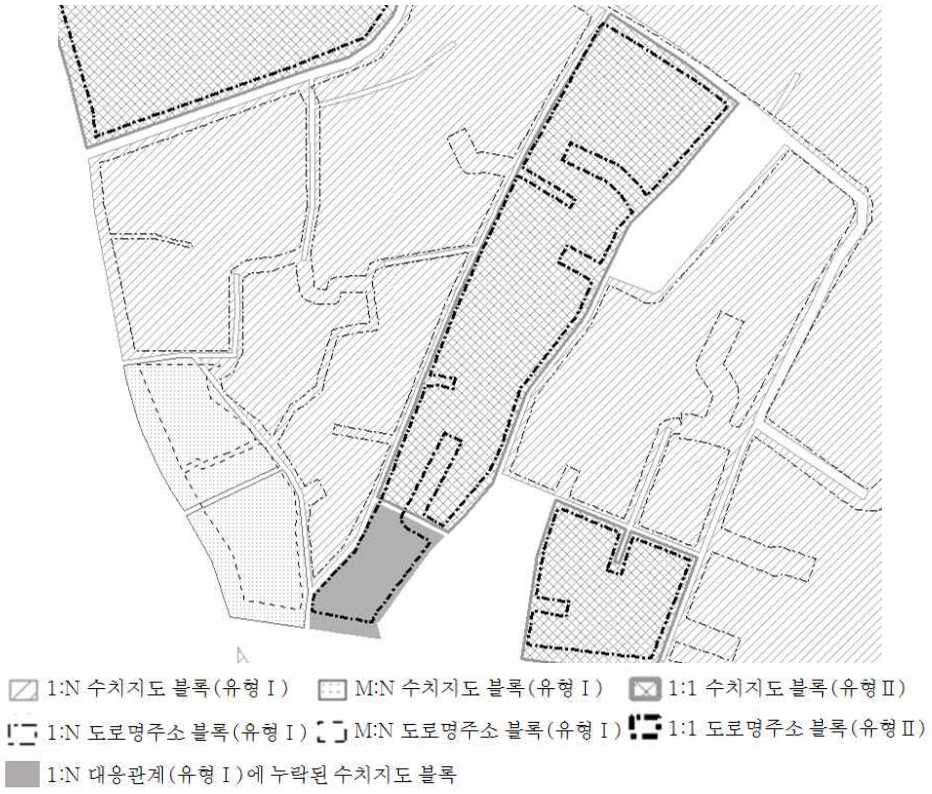
$$V_r = \frac{Number(\text{판별된 융합 블록 쌍} \cap \text{참 융합 블록 쌍})}{Number(\text{참 융합 블록 쌍})}$$

평가자료에서 판별된 융합 블록 쌍 113개 중에서 [표 4-6]과 같이 104개가 참인 융합 블록 쌍과 일치하였으며, 유형Ⅰ은 1:N 대응관계에서 9개, M:N 대응관계에서 1개의 판별된 융합 블록 쌍이 참인 융합 블록 쌍과 동일하였다. 유형Ⅱ는 판별된 융합 블록 쌍 중에서 참인 융합 블록 쌍이 94개였다. 이를 이용하여 산출된 V_p, V_r, $F-measure$가 차례대로 0.92, 0.937, 0.929로 높게 나타났다. 이는 훈련자료에서 그려진 PR 곡선의 EER로 산출된 임계값 0.475를 평가자료에 적용한 결과, 융합 블록 쌍을 92.9% 정도 정확하게 판별함을 의미한다.

[표 4-6] 평가자료에서 판별된 융합 블록 쌍의 평가 결과

		판별된 융합 블록	참 융합 블록	판별된 융합 블록 중 참 블록	V_p	V_r	$F-measure$
판별 결과		113쌍	111쌍	104쌍	0.920	0.937	0.929
유형 I	1:N	14쌍	13쌍	9쌍	-	-	-
	M:N	3쌍	4쌍	1쌍	-	-	-
유형 II	1:1	96쌍	94쌍	94쌍	-	-	-

마지막으로 [그림 4-8]과 같이 이 연구에서 제안된 면 객체 매칭 기반으로 융합 블록 쌍을 탐지하는 판별 모델을 시각적으로 평가하였다.



[그림 4-8] 평가자료의 융합 블록 쌍에서 누락된 수치지도 블록

이분 그래프 연결성 분석을 통하여 유형Ⅰ에 해당하는 융합 블록 쌍은 비교적 잘 탐지되는 것을 볼 수 있다. 또한 이분 그래프 연결성 분석에서 1:1 대응관계로 탐지된 후 오목다각형 특성을 적용하여 판별된 유형Ⅱ에 해당하는 융합 블록 쌍의 경우도 블록 내부에 존재하는 LOD가 높은 도로 객체가 존재하는 경우가 잘 탐지되었다. 그러나 [그림 4-7]와 같이 유형Ⅱ로 탐지된 융합 블록 쌍 중에서 2개의 수치지도 블록과 1개의 도로명주소 블록이 대응되어야 하지만 도로명주소 블록과 대응되는 수치지도 블록의 형상유사도가 0.475 미만인 경우 융합 블록에서 누락되는 오류가 나타났다. 또한 [그림 4-9]에서도 수치지도 블록과 형상유사도 0.475 미만인 도로명주소 블록이 매칭되어야 하는데 누락되었다.

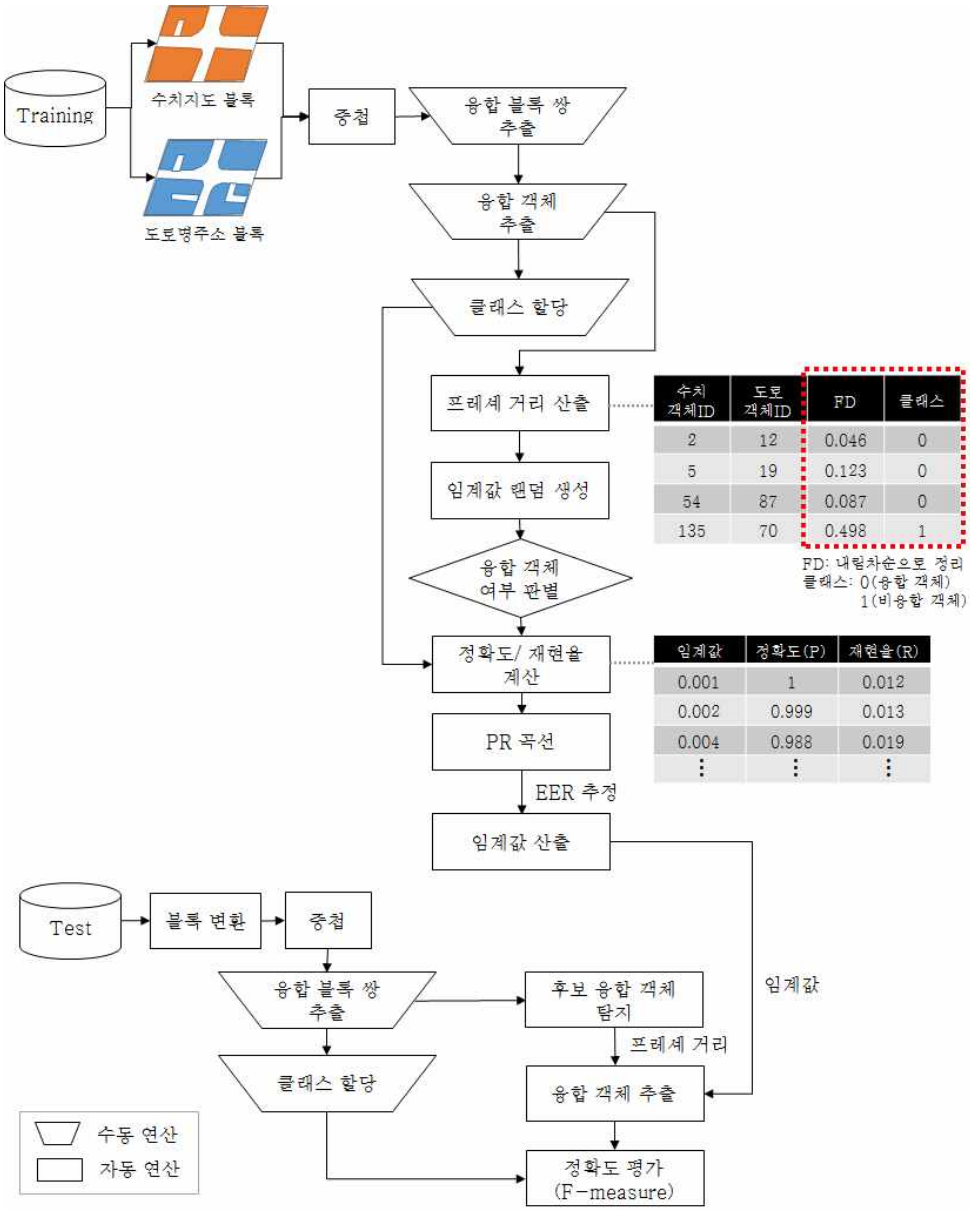
[그림 4-9] 평가자료의 융합 블록 쌍에서 누락된 도로명주소 블록

형상유사도의 임계값을 산출한 결과, 이종의 도로 데이터 셋을 융합하기 위하여 융합 객체가 존재하는 융합 블록 쌍을 판별 시, 형상유사도가 0.475 이상인 중첩되는 블록 쌍이 후보 융합 블록 쌍으로 탐지되었다. 탐지된 후보 융합 블록 쌍에 이분 그래프 연결성 분석과 오목다각형 특성을 적용하여 융합 블록 쌍을 판별하는 판별모델의 정확도는 $F-measure$가 0.929로 높게 나타났다. 또한 융합 블록 쌍을 판별하기 위해서는 형상유사도를 이용하여 후보 융합 블록 쌍을 탐지하는 과정이 중요한 단계임을 시각적 평가로 알 수 있었다. 이에 향후 PR 곡선을 이용한 임계값의 산출 시 정확도와 재현율의 분포를 고려하여 임계값이 추정될 수 있도록 하여 융합 블록 쌍을 판별의 정확도를 높이는 연구가 진행되어야 할 것이다.

2. 프레셰 거리에 대한 임계값

융합 객체를 판별하기 위하여 유형Ⅰ융합 블록 쌍에 해당하는 수치지도 블록에 네거티브 버퍼 연산을 수행 한 후, 선형인 도로명주소기본도 도로구간 객체와 중첩하여 교차되는 도로구간 세그먼트를 추출한다. 다음으로 반대로 유형Ⅰ융합 블록 쌍 중 도로명주소 블록에 네거티브 버퍼 연산을 수행한 후, 선형인 수치지도2.0 도로중심선 세그먼트와 중첩하여 교차되는 도로중심선 세그먼트를 추출한다. 또한 유형Ⅱ융합 블록 쌍에서는 내각의 크기가 180°보다 큰 꼭짓점에 3.25m를 이등분한 길이로 버퍼 연산한다. 버퍼 연산된 꼭짓점과 선형인 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간을 각각 중첩한다. 이때, 버퍼 연산된 꼭짓점과 중첩되는 도로중심선과 도로구간 세그먼트는 블록의 안쪽에 있는 선형인 객체이다. 이렇게 추출된 도로중심선 세그먼트에서 3.25m 이내에 있는 도로구간 세그먼트와의 FD를 구한다. 산출된 FD가 임계값보다 큰 경우는 도로중심선 세그먼트와 도로구간 세그먼트가 유사하지 않다고 판별되며, 해당 도로구간 세그먼트가 융합 객체로 추출된다.

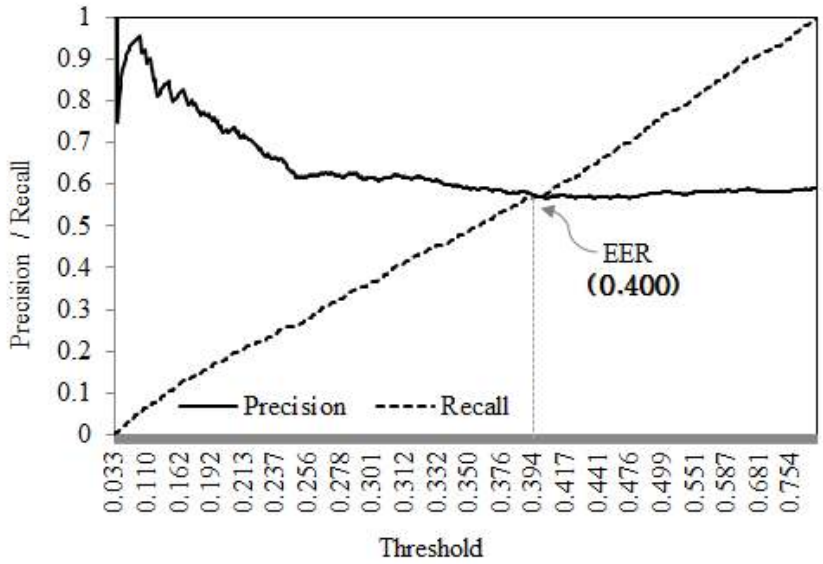
따라서 훈련자료의 융합 블록 쌍에서 융합 객체와 비융합 객체인 수치지도2.0 도로중심선과 도로명주소기본도 도로구간을 수동으로 추출하여 융합 객체는 0으로, 비융합 객체는 1로 클래스를 할당한다. 수동 추출된 객체 쌍을 이용하여 FD를 구한다. 이들 객체 쌍의 클래스와 FD를 이용하여 PR 곡선을 그린다. 해당 PR 곡선에서 정확도와 재현율이 트레이드 오프되는 EER을 추정하여 임계값을 산출한다. 이렇게 산출된 임계값을 평가자료에서 융합 블록 쌍을 수동으로 추출한다. 수동으로 할당된 융합 블록 쌍에서 후보 융합 객체 쌍을 탐지하고, 제안된 방법으로 융합 객체 추출 방법을 적용하여 융합 객체를 추출한다. 수동으로 할당된 클래스를 이용하여 정확도를 평가한다([그림 4-10]).



[그림 4-10] 프레셰 거리의 임계값 산출을 위한 흐름도

훈련자료에서 수동으로 [그림 4-11]과 같이 융합 객체 쌍을 추출하고, 이들 간의 FD와 수동으로 할당된 클래스를 이용하여 PR 곡선을 구하고 정확도와 재현율이 트레이드 오프되는 EER을 추정하였다. 그 결과 [그림 4-12]와 같이 FD가 0.4인 지점이 EER로 추정되었다. 즉 후보 융합 객체 쌍의 FD가 0.4보다 크면 도로중심선 세그먼트와 도로구간 세그먼트는 유사도가 낮다. 따라서 유사도가 낮은 도로구간 세그먼트가 융합 객체로 추출된다.

[그림 4-11] 훈련자료의 융합 객체 쌍



[그림 4-12] 훈련자료의 FD에 대한 PR 곡선

훈련자료에서 산출된 FD가 0.4인 임계값의 정확도를 평가하기 위하여 평가자료에서 수동으로 융합 I 과 융합 II 융합 블록 쌍을 추출하였고, 제안된 방법으로 후보 융합 객체 쌍을 탐지하였다. 이들 후보 융합 객체 쌍에서 임계값 0.4를 적용하여 FD가 0.4보다 큰 도로구간 세그먼트 135개가 융합 객체로 추출되었다([그림 4-13]).

[그림 4-13] 평가자료에서 추출된 융합 객체

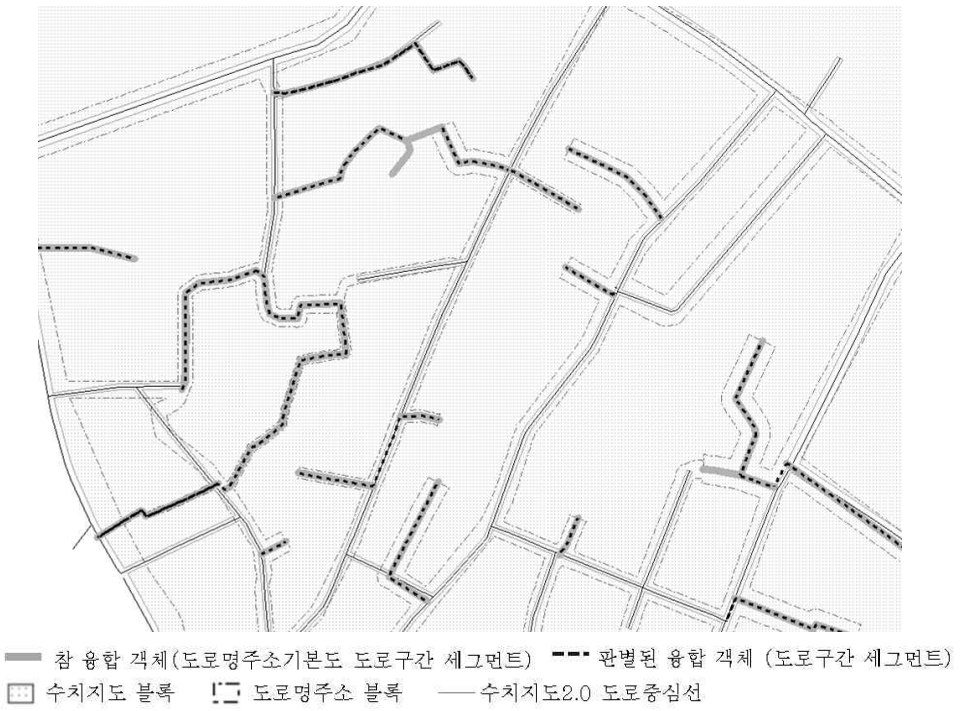
추출된 135개의 융합 객체를 평가자료에서 수동으로 추출한 참인 융합 객체 149개와 정확도를 평가하기 위하여 앞에서 적용된 식 (4-1)의 $F-measure$를 이용하였다. 여기서, $F-measure$를 구하는데 이용되는 정확도(V_p)는 제안된 방법으로 판별된 융합 객체의 개수에 대한 판별된 융합 객체 중에서 참인 융합 객체의 비로 산출되며, 재현율(V_r)은 참인 융합 객체의 개수에 대한 제안된 방법으로 판별된 융합 객체 중에서 참인 융합 객체의 개수의 비로 계산된다. [표 4-7]과 같이 V_p, V_r, $F-measure$

는 차례대로 0.963, 0.872, 0.915로 높게 나타났다.

[표 4-7] 평가자료에서 추출된 융합 객체의 평가 결과

	판별된 융합 객체	참 융합 객체	판별된 융합 객체 중 참 객체	V_p	V_r	$F-measure$
추출 결과	135개	149개	130개	0.963	0.872	0.915

시각적으로 추출된 융합 객체를 평가한 결과, [그림 4-14]와 같이 도로중심선 객체에서 3.25m 이내에 없는 도로구간 세그먼트는 후보 융합 객체로 탐지되지 않아 누락된 것을 알 수 있다. 향후 도로중심선 객체에서 후보 융합 객체를 탐지하기 위하여 3.25m 이내로 제한된 탐지 범위가 아니라 상황에 맞게 유동적으로 탐지 범위가 변화될 수 있도록 해야 할 것이다.



[그림 4-14] 평가자료의 융합 객체에 대한 시각적 평가

제 3 절 보행자 네트워크 데이터 구축

1. 적용 결과

실험대상 지역인 서울특별시에 제안된 면 객체 매칭 기반의 이종 도로 데이터 셋 융합 방법을 적용하여, 전체 183,041개 도로구간 세그먼트 중에서 23.4%에 해당하는 42,831개의 도로구간 세그먼트가 융합 객체로 판별되었으며, 판별된 융합 객체와 수치지도2.0 도로중심선을 융합하여 위치 정확도와 LOD가 높은 도로중심선을 생성하였다([그림 4-15]).

[그림 4-15] 실험대상 지역에서 추출된 융합 객체

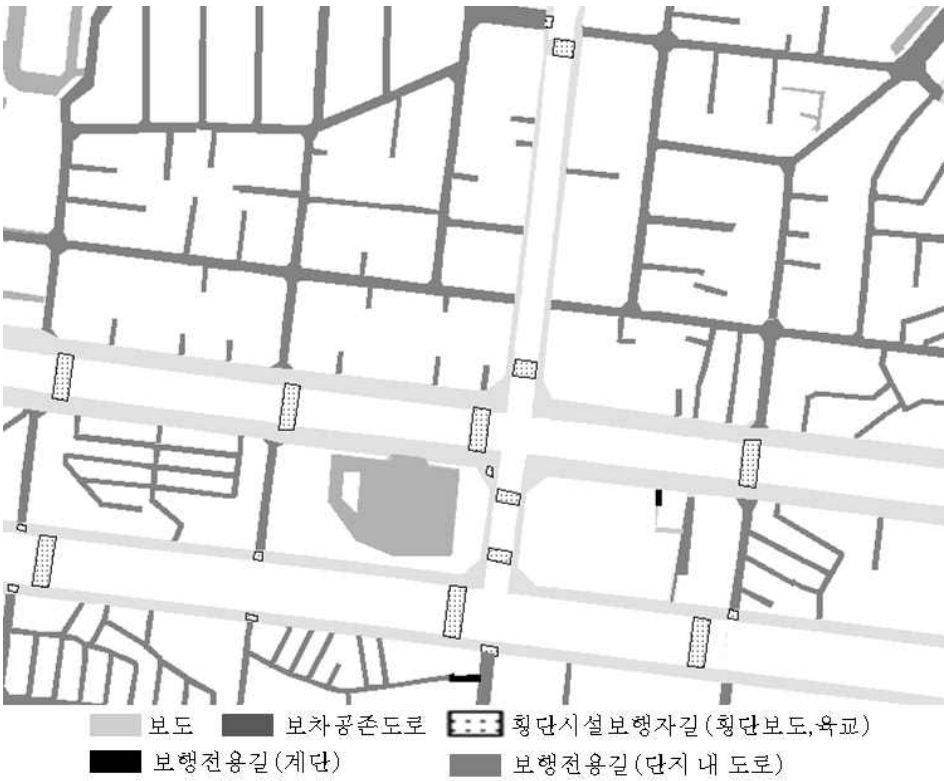
보행공간을 추출하기 위하여 첫째, 융합 객체로 추출된 42,831개의 도로구간 객체의 속성정보 중 도로 폭을 이용하여 '도로폭/2' 만큼 버퍼 연산을 수행하였다. 버퍼 연산된 융합 객체와 수치지도2.0 도로경계를 병합 연산하고, 터널, 보도가 없는 입체교차부, 그리고 철교와 교차하지 않는 도로경계만을 위치 정확도가 높고 LOD가 높은 도로경계, 즉 융합도로경계로 생성하였다([그림 4-16](a)). 둘째, 도로의 종류가 고속도로나 자동차전용도로가 아니고 터널이 아닌 세그먼트 중에서, 도로 폭이 12.5m 이상이거나 차선 수가 2차선 이상인 세그먼트 48,709개(16.1%)가 보도가 존재하는 세그먼트로 추출되었다. 이에 보도가 존재하지 않는 세그먼트 중에서 철교나 보도가 없는 입체교차부가 아닌 세그먼트 253,855개(83.9%)가 보차공존도로에 해당하는 세그먼트로 선택되었다. 횡단시설보행자길과 동치 관계인 횡단보도와 육교를 병합 연산 후, 보도가 존재하는 세그먼트와 차 연산하였다. 차 연산된 세그먼트를 버퍼 연산하여 [그림 4-16](b)와 같이 도로 위 비보행공간을 생성하였다. 도로 위 비보행공간과 자동차전용도로를 병합 연산하고, 이들 병합된 영역을 융합도로경계에서 차 연산한다. 그 결과 도로 위에서 보행자가 이동할 수 있는 보도, 보차공존도로, 횡단보도와 육교인 횡단시설보행자길이 포함된 보행공간을 [그림 4-16](c)와 같이 추출하였다. 이들 보행공간과 융합도로경계와 공간적으로 인접한 계단, 건물이 없는 공원 영역, 그리고 보행전용길과 동치 관계인 CNS 배경DB의 단지 내 도로를 병합 연산하여 면형 보행공간을 추출하였다([그림 4-16](d)). 스켈레톤 알고리즘을 기반으로 시야거리 100m 이내인 가시 영역과 비가시 영역을 구분하여 면형 보행공간(보도, 보행전용길, 횡단보도와 육교인 횡단시설보행자길)을 선형화하였다([그림 4-16](e)). 선형화된 면형 보행공간과 선형 보행공간을 융합하기 위하여, 지하철출입구 세그먼트를 생성하였고, 도로명주소기본도 출입구와 연결선의 기하 오류를 수정하여 선형화된 면형 보행공간과 융합하였다([그림 4-16](f)). 마지막으로 선으로 변환된 보행공간에서 시작점과 끝점에 중복되지 않은 교차점, 즉 노드를 생성하였다. 이들 노드를 이용하여 각 링크를 구성하는 시작 노드와 끝 노드로 이루어진 위상정보

를 추가하여 그래프 구조인 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다([그림 4-16](g)). 그 결과 실험대상 지역인 서울특별시에 대하여 1,620,562개의 링크와 1,620,564개의 노드로 구성된 보행자 네트워크 데이터가 구축되었다([부록 그림 1]).

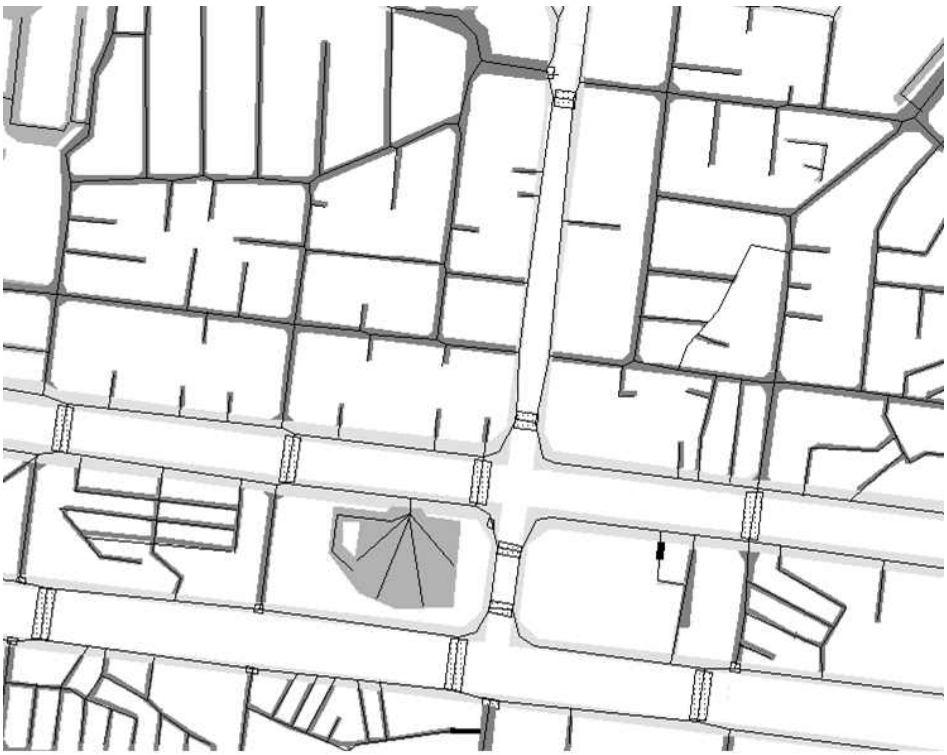
(a) 융합도로경계

(b) 도로 위의 비보행공간

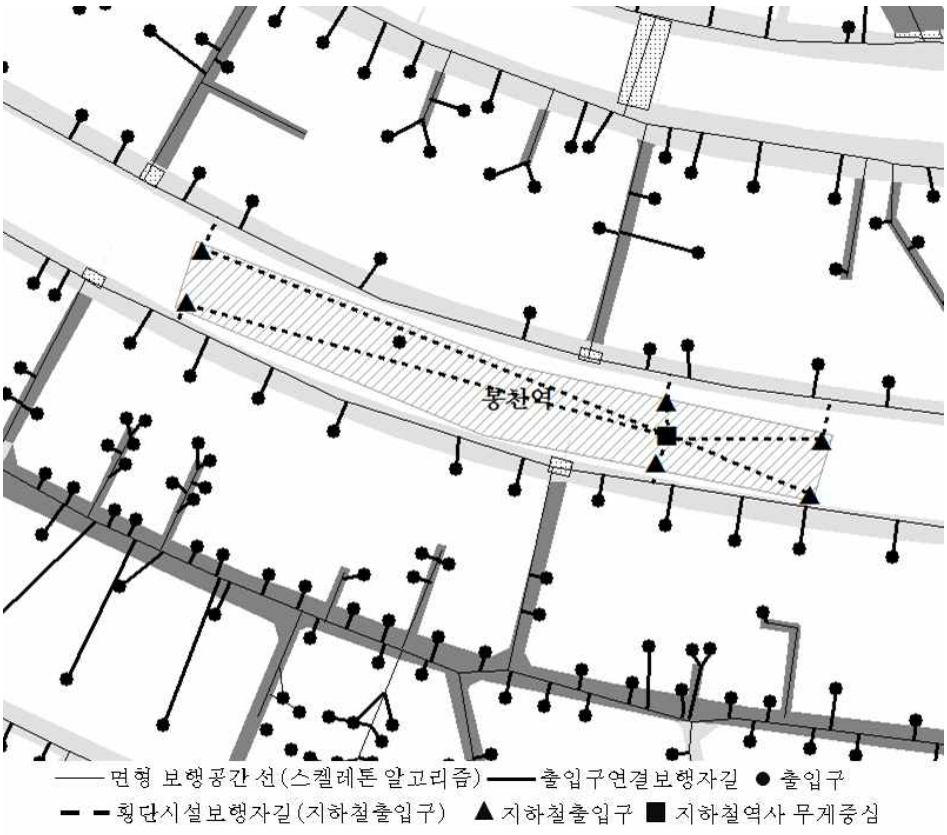
(c) 면형 보행공간



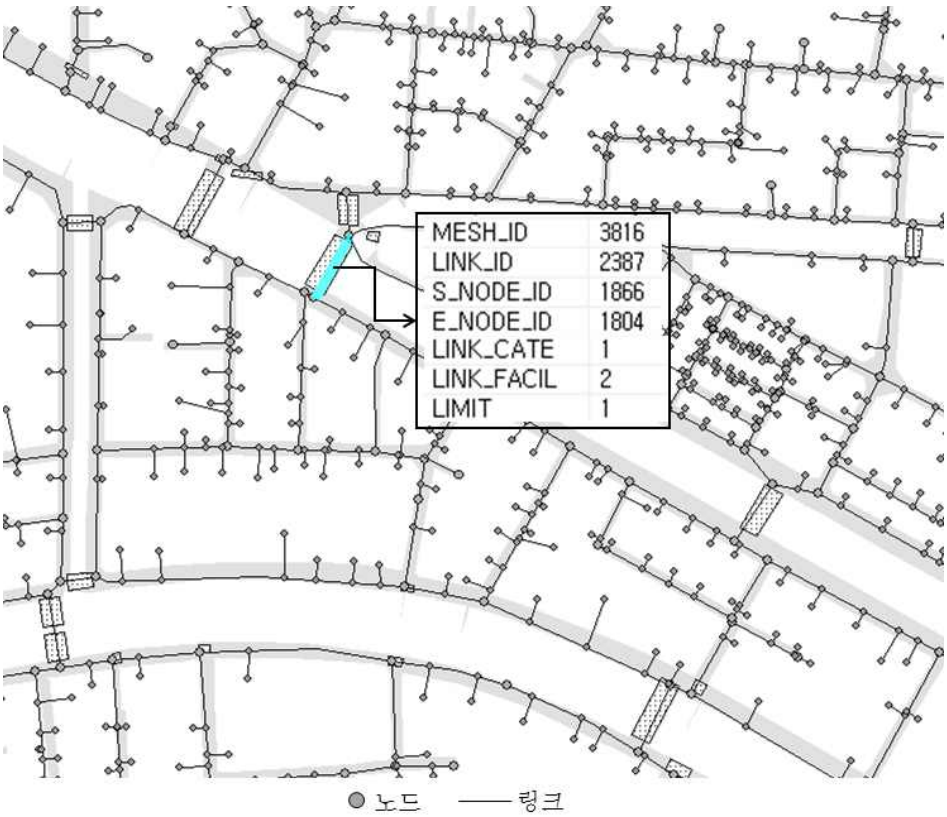
(d) 최종 추출된 면형 보행공간



(e) 면형 보행공간의 선형화



(f) 선형화된 면형 보행공간과 선형 보행공간의 융합



(g) 보행자 네트워크 데이터

[그림 4-16] 보행자 네트워크 데이터 구축 결과

2. 정확도 평가

보행자 네트워크 데이터의 질에 대한 평가는 실험대상 지역인 서울특별시 중에서 관악구(링크 43,325개와 노드 43,326개)를 대상으로 수행하였다. 현장조사에서 취득된 자료나 항공사진 등에서 디지타이징하여 구축된 고정밀의 보행자 네트워크 데이터를 참조자료로 사용하여야 한다. 그러나 이런 방법으로 참조자료를 구축하는데 많은 비용과 시간이 소요된다. 이에 국토지리정보원에서 2013년에 서울특별시를 대상으로 구축한 보행자용 도로망과 제안된 방법으로 자동 구축된 보행자 네트워크 데이터를 비교하여 네트워크 데이터의 질을 평가하였다. 지하철역사 주변을 대상으로 진행된 현장조사로 취득된 자료, 2012년에 제작된 연속수치지도, 2012년 제작된 1K 축척의 서울특별시 수치지도2.0, 2013년 도로명주소기본도, 그리고 공간해상도 50cm급 항공사진을 이용하여 수동으로 구축된 국토지리정보원의 보행자용 도로망을 참조자료로 활용하였다. 다음으로, 구축된 보행자 네트워크 데이터를 상용화된 보행자를 위한 길찾기 서비스에서 활용이 가능한지를 평가하기 위하여, 현재 도보길찾기 서비스가 제공되고 있는 네이버지도와 탐색된 동일한 경로의 유사성을 비교하였다. 네이버지도는 공간DB 구축업체에서 프로브 차량(probe car)을 이용한 현장조사에서 취득된 자료를 바탕으로 수동으로 구축되었다. 보도, 횡단보도, 육교, 지하보도, 지하철출입구를 비롯하여 보행자의 이동이 빈번한 공원이나 아파트 단지 내 보행로가 구축되어 있다. 이때, 동일한 네트워크에서도 경로탐색 알고리즘에 따라 상이한 경로가 탐색될 수 있으나, 이 평가는 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터를 이용하여 현재 상용화된 도보길찾기 수준의 경로안내가 제공될 수 있는지를 평가하는데 그 목적을 두고 있다.

(1) 평가 지표를 이용한 질적 평가

구축된 보행자 네트워크 데이터의 질을 Wiedmann(2003)이 제안한 방법으로 평가한다. 이는 기준선(baseline)과 제안된 방법으로 추출된 네트워크를 매칭하여 비교하는 과정과 평가 지표로 그 정확도를 평가하는 과정으로 구성된다. 기준선, 즉 참조자료는 현장조사로 취득된 자료로 수동 구축된 국토지리정보원의 보행자용 도로망을 이용하였다. 참조자료와 매칭이 되는 보행자 네트워크 세그먼트에 대하여 기하 완전성, 기하 정확성, 위상 완전성, 위상 정확성 등의 4개의 평가 지표로 그 질을 평가한다. 이들 평가 지표의 값이 1일 때 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터의 정확도가 높음을 의미한다.

■ 기하 완전성(Geometrical Completeness)

$$Geometrical\ Completeness = \frac{Length\ of\ matched\ reference}{Length\ of\ reference} \qquad (5\text{-}1)$$

$$Geometrical\ Completeness \in [0,1]$$

기하 완전성은 참조자료에 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크가 포함된 정도를 나타내며, 식 (5-1)로 구해진다. 여기서, $Length\ of\ reference$는 참조자료 세그먼트 전체의 길이를 의미하고, $Length\ of\ matchd\ reference$는 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터와 매칭되는 참조자료 세그먼트의 전체 길이를 의미한다.

■ 기하 정확성(Geometrical Correctness)

$$Geometrical\ Correctness = \frac{Length\ of\ matched\ extraction}{Length\ of\ extraction} \qquad (5\text{-}2)$$

$$Geometrical\ Correctness \in [0,1]$$

기하 정확성은 참조자료와 일치하는 제안된 방법으로 구축된 보행자

네트워크 세그먼트의 비율로, 식 (5-2)로 구해진다. 여기서, *Length of extraction*은 제안된 방법으로 자동 생성된 보행자 네트워크 세그먼트의 전체 길이이고, *Length of matched extraction*은 참조자료와 매칭되는 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 세그먼트의 전체 길이를 의미한다.

■ 위상 완전성(Topological Completeness)

$$Topoological\ Completeness = \frac{CB}{CR} \tag{5-3}$$

$$Topoological\ Completeness \in [0,1]$$

위상 완전성은 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터의 노드가 참조자료에 있는 노드에서 누락된 것이 있는지를 나타내는 지표로, 식 (5-3)으로 산출된다. 여기서, *CR*은 참조자료 노드의 개수이고, *CB*는 참조자료와 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터에서 서로 매칭되는 노드의 개수를 의미한다.

■ 위상 정확성(Topological Correctness)

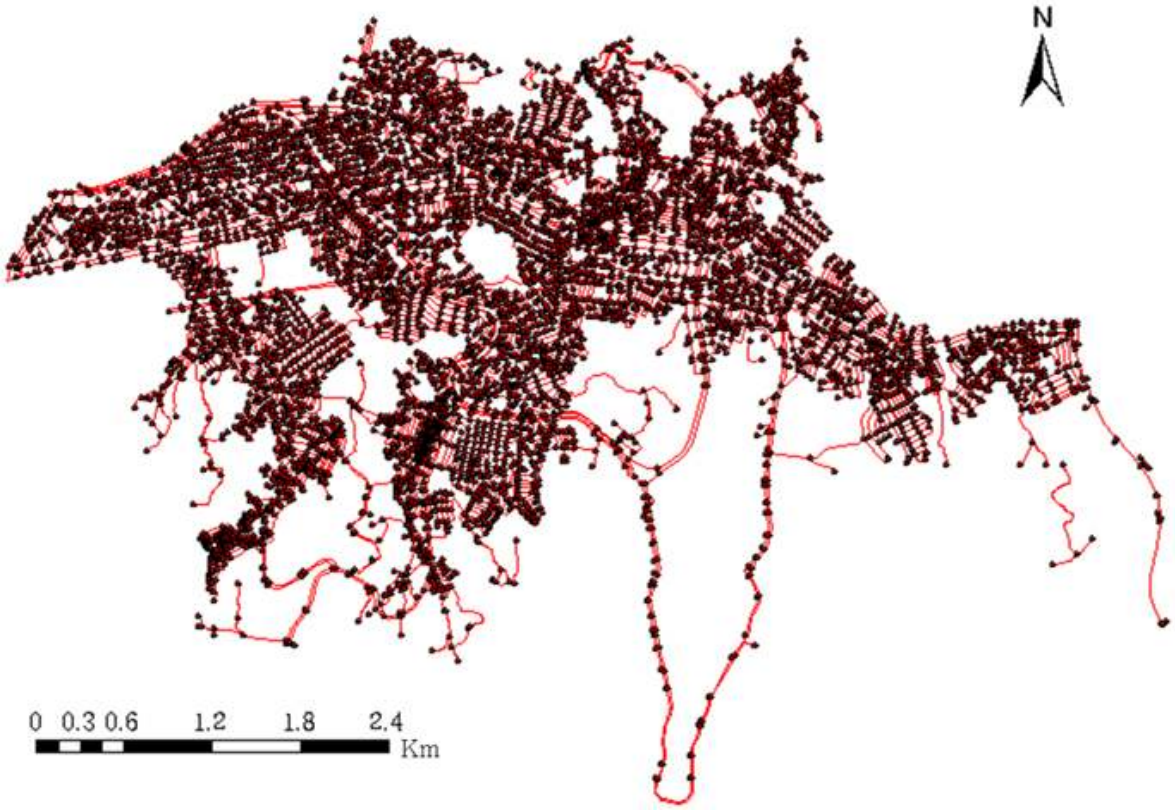
$$Topoological\ Correctness = \frac{CB}{CG} \tag{5-4}$$

$$Topoological\ Correctness \in [0,1]$$

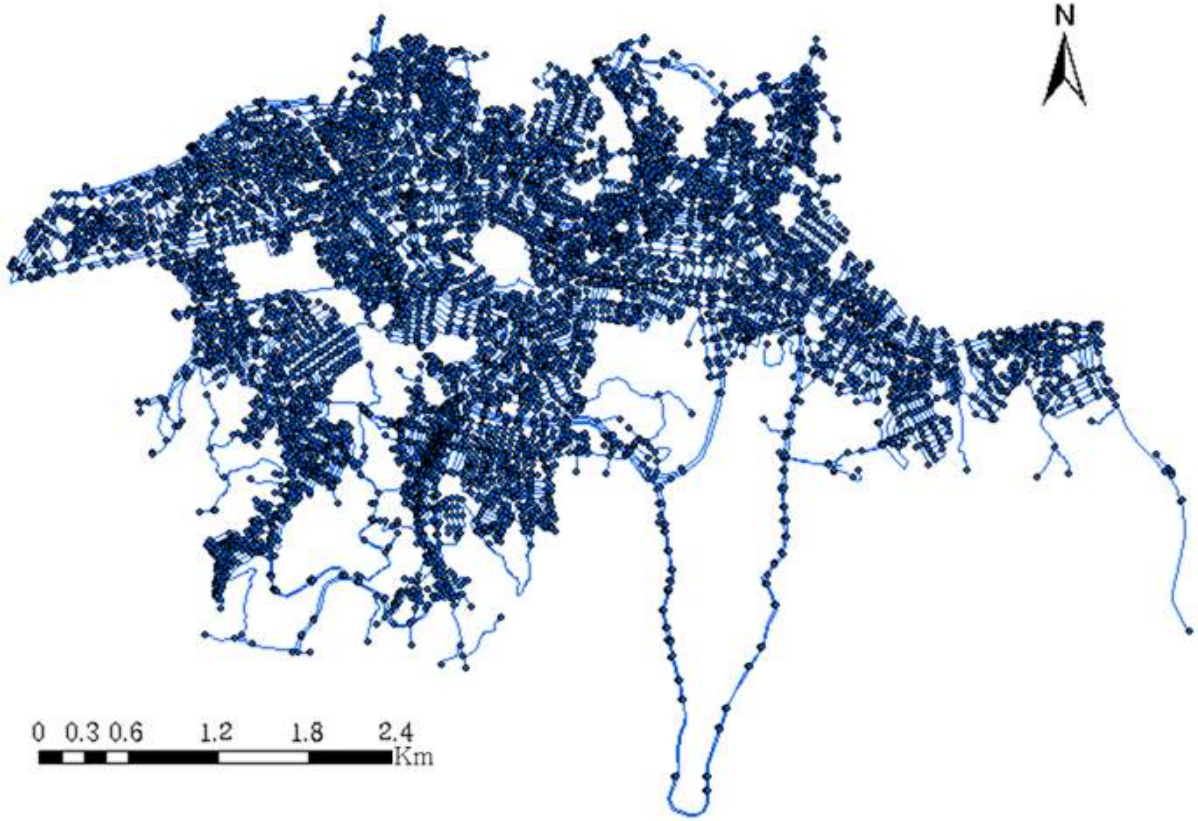
위상 정확성은 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터 노드 중에서 정확하게 구축된 노드의 비를 의미한다. 식 (5-4)로 구해지며, 여기서, *CB*는 참조자료와 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크에서 서로 매칭되는 노드의 개수이고, *CG*는 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터 노드의 개수이다.

참조자료와 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터를 제시

된 평가 지표로 평가하기에 앞서, 두 데이터 셋에서 구축된 데이터의 LOD를 살펴볼 필요가 있다. 참조자료인 국토지리정보원의 보행자용 도로망은 이 연구에서 정의한 보행공간 중에서 출입구연결보행자길이 구축되어 있지 않으며, 보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길, 보행전용길만을 그 대상으로 한다. 또한 보행전용길도 아파트 단지나 공원 내의 보행자길에서 주요한 이동통로, 즉 주요 보행자길만이 구축되어 있다. 따라서 참조자료와의 매칭을 통하여 그 정확도를 평가하기 위해서, 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터에는 구축되어 있으나 참조자료에는 구축되어 있지 않은 출입구연결보행자길을 제외한다. 또한 구축 범위가 다른 보행전용길 클래스에 해당하는 링크도 제외한다. 링크를 제외하게 되면, 제외된 링크와 다른 클래스에 해당하는 링크와의 교차점에 생성된 노드도 삭제되어야 한다. 따라서 참조자료와 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터에서 출입구연결보행자길과 보행전용길에 해당하는 링크와 노드를 삭제하였고, 이들 링크가 다른 보행공간 링크와 교차하여 생성된 교차점에 해당하는 노드도 삭제하였다. 이런 과정을 거쳐 정확도 평가에 사용된 참조자료와 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터는 [그림 4-17]과 같다. 참조자료는 링크 11,298개와 노드 11,299개이고, 보행자 네트워크 데이터는 링크 12,503개와 노드 12,509개이다.



(a) 참조자료(국토지리정보원 보행자용 도로망)



(b) 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터

[그림 4-17] 네트워크 데이터 질 평가에 이용된 자료

제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 중에서 참조자료와 매칭되는 세그먼트(matched extraction)를 찾기 위해서 Wiedmann(2003)이 제안한 매칭 방법을 적용하였다. 참조자료 세그먼트에 버퍼 연산을 수행하고, 일정 각도 내에서 이들 버퍼 연산된 참조자료와 교차되는 보행자 네트워크 데이터 세그먼트를 매칭이라 판별하였다. 다음으로 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 세그먼트와 매칭되는 참조자료(matched reference)는 보행자 네트워크 데이터에 버퍼 연산을 수행하고, 일정 각도 내에 있는 참조자료 세그먼트를 매칭이라 판별하였다. 이렇게 매칭된 결과를 수동으로 검수하였으며, 평가 지표로 평가된 네트워크 데이터 질의 평가 결과는 [표 4-8]과 같다. 횡단시설보행자길의 경우는 횡단보도나 육교와 같이 하나의 세그먼트에 2개의 노드가 연결된 형태의 링크가 대부분으로 노드의 수로 정확도를 평가하는 것이 큰 의미가 없다고 판단하여, 기하 완전성과 기하 정확성만을 평가하였다. 그 결과 85% 이상의 정확한 보행자 네트워크 데이터를 구축할 수 있었다. 초기 광범위한 지역을 대상으로 보행자 네트워크 데이터를 제작하는데 많은 비용과 시간이 소요되는데, 제안된 방법으로 사용자의 개입이 없이 짧은 시간에 85% 정확도를 갖는 보행자 네트워크 데이터를 구축할 수 있음을 알 수 있었다.

[표 4-8] 보행자 네트워크 데이터의 평가 결과

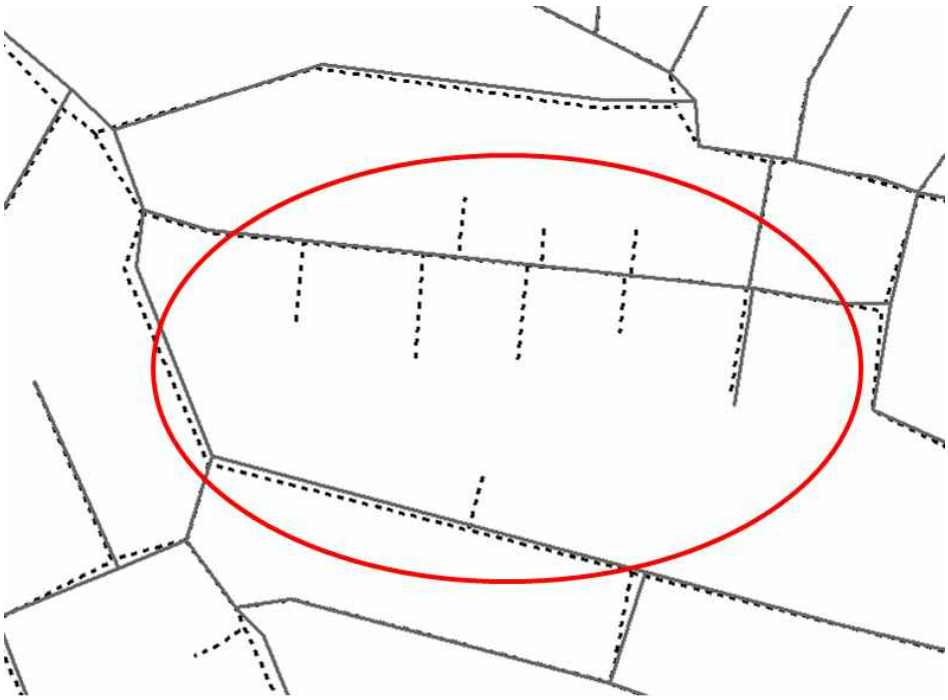
평가 지표 / 보행공간	기하 완전성(%)	기하 정확성(%)	위상 완전성(%)	위상 정확성(%)
보도	94.92	89.95	91.52	87.61
보차공존도로	92.53	86.46	89.62	85.01
횡단시설보행자길	98.17	95.38	-	-

보행공간별로 자세히 살펴보면, 보도는 보행자 네트워크 데이터 참조모델에서 제안한 12.5m 이상이거나 2차선 이상인 도로에 보도가 존재한

다고 하였으나, 실제 그 이하인 도로에 보도가 설치된 경우가 있어 구축된 보행자 네트워크 데이터에서 보도가 누락되어 기하 정확성이나 위상 정확성이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 제안된 방법으로 구축된 네트워크 데이터에 횡단보도와 육교가 거의 반영되었으나, 보도와 같이 구축된 네트워크 데이터에서도 누락된 횡단보도가 있어 기하 완전성보다 기하 정확성이 낮게 평가되었다.([그림 4-18]).

[그림 4-18] 보도와 횡단시설보행자길 링크가 상이한 경우

보도나 횡단시설보행자길은 기하 완전성과 위상 완전성이 기하 정확성과 위상 정확성보다 높게 나타났다. 이는 참조자료에 누락되어 있는 보차공존도로 링크가 구축된 네트워크 데이터에서는 구축되었기 때문으로 사료된다. [그림 4-19](a)와 같이 골목길, 즉 보차공존도로 링크가 구축된 네트워크 데이터에는 존재하나 참조자료에는 없는 것을 알 수 있다. 다음지도 항공사진(공간해상도 50㎝)과 비교한 결과, [그림 4-18](b)와 같이 참조자료에 실제로 존재하는 골목길이 누락되었음을 확인할 수 있었다. 특히 2013년 4월에 촬영된 검토지점 VP_1에서 취득된 다음지도 로드뷰 영상([그림 4-19](b) 좌측 상단)에 실제로 막다른 골목길이 있는 것을 확인할 수 있었다.



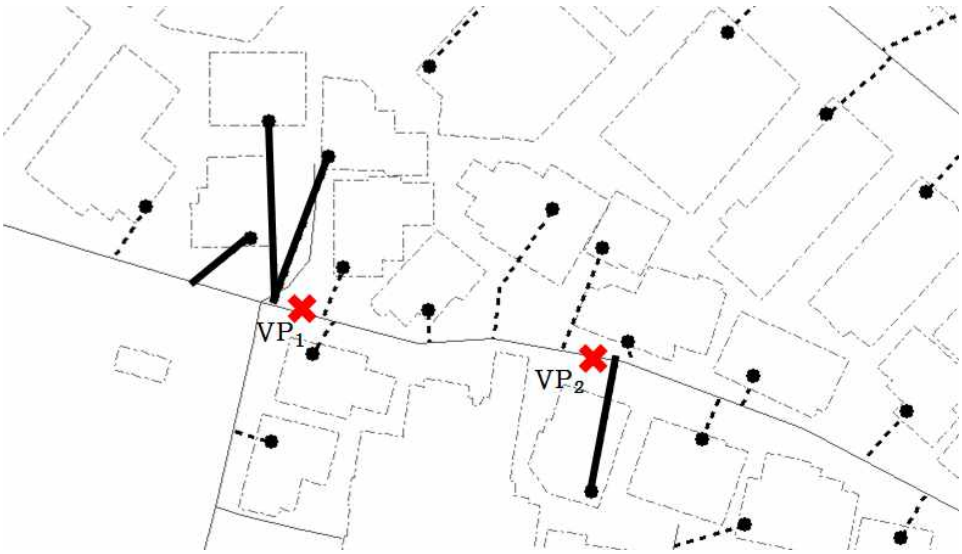
(a)

[그림 4-19] 참조자료에 누락된 보차공존도로 링크

(2) 시각적 평가

평가 지표를 이용한 네트워크 데이터 질에 대한 평가는 보도, 보차공존도로, 횡단시설보행자길을 대상으로 진행되었다. 이에 정확도 평가가 수행되지 않은 출입구연결보행자길과 보행전용길에 대하여 다음지도 항공사진을 이용하여 시각적 평가를 수행하였다.

출입구연결보행자길에 해당하는 링크는 [그림 4-20](a)와 같이 기준점 미달 오류나 기준점 초과 오류가 수정되어 면형 보행공간에 해당하는 세그먼트와 기하 오류가 없이 융합된 것을 볼 수 있다. [그림 4-20](a)의 다음지도 로드뷰 검토지점 VP_1 주변에 3개의 출입구연결보행자길 세그먼트(굵은 실선)를 다음 로드뷰와 비교한 결과, [그림 4-20](b)와 같이 그 형상은 상이하나 출입구가 있는 위치에 세그먼트가 생성되었음을 확인할 수 있다. 다음으로 [그림 4-20](a)의 다음지도 로드뷰 검토지점 VP_2 주변에 1개의 출입구연결보행자길 세그먼트(굵은 실선)를 살펴보면, [그림 4-20](c)와 같이 출입구연결보행자길 세그먼트(점선)가 실제 보행자길이 존재하지 않는데 생성된 것을 볼 수 있다. 출입구연결보행자길 세그먼트를 생성하기 위하여 사용된 도로명주소기본도의 연결선은 건물의 주소가 부여된 도로구간과 출입구를 연결한 가상의 선이다. 이에 출입구연결보행자길 세그먼트는 그 위치 정확도는 높지 않지만, 이동이 불편한 노인이나 장애인과 같은 교통약자를 비롯하여 도착지가 낯선 보행자에게 건물의 주출입구가 존재하는 방향까지 경로를 안내함으로써 사용자의 편의를 도모할 수 있을 것이다.



(a) 구축된 보행자 네트워크 데이터

(b) VP_1에서 취득된 다음지도 로드뷰

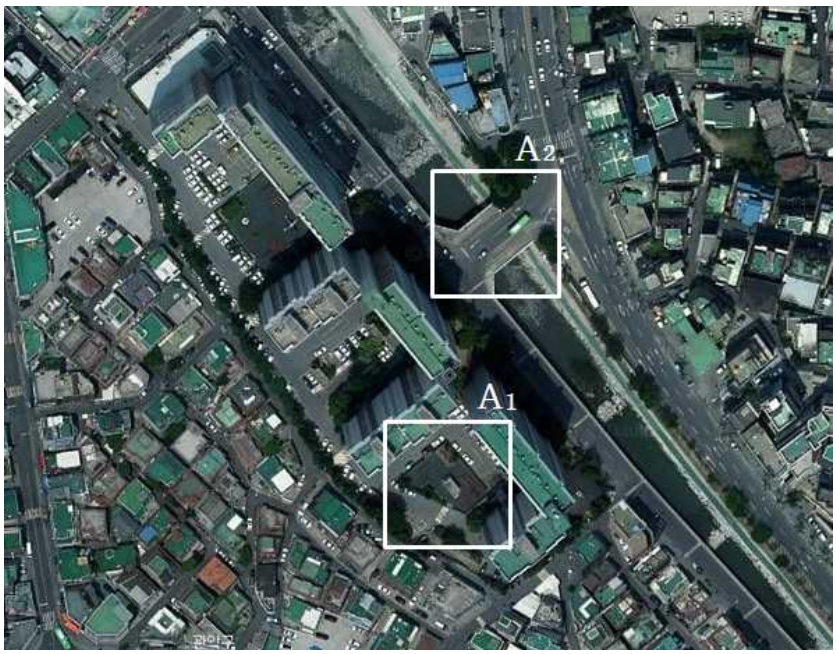
(c) VP_2에서 취득된 다음 로드뷰

구축된 보행자 네트워크 출입구연결보행자길 링크 시각적 평가를 수행한 링크
오 출입구연결보행자길 링크 로드뷰 검토 지점(VP1, VP2) 출입구

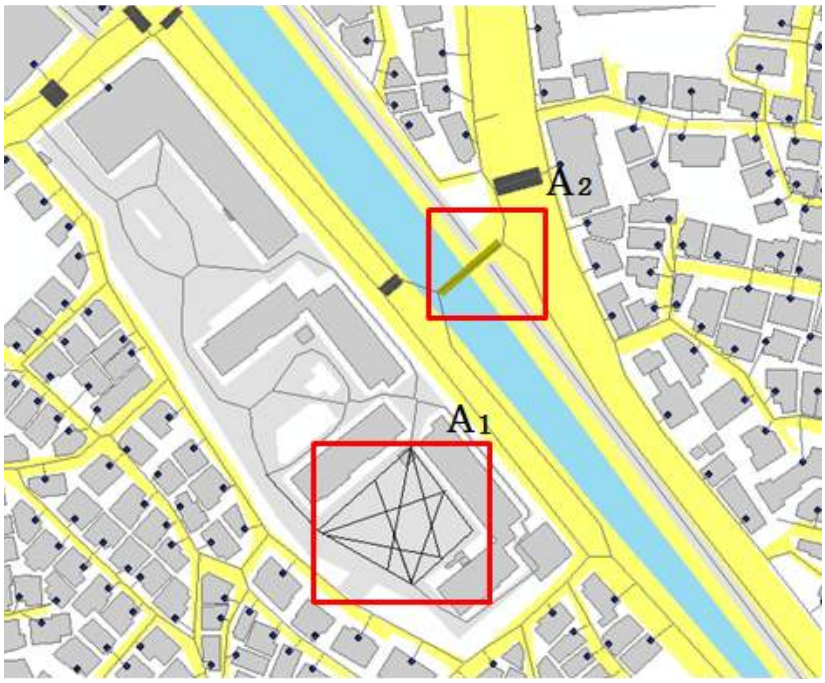
[그림 4-20] 출입구연결보행자길 링크의 시각적 평가

보행전용길 세그먼트는 [그림 4-21](a)의 A_1과 같이 아파트 단지 내의 보행자길에서 [그림 4-21](b)에서 시야거리가 100m 미만인 가시 영역은 중심선으로 세그먼트가 생성되고, 시야거리가 100m 이상인 비가시 영역은 그 영역을 분할하는 세그먼트가 생성되었다. A_1은 잔디밭으로 보행자가 이동할 수는 있지만 그 보행이 제한되어 비보행공간에 해당한다. 따라서 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터에서 보행전용길 세그먼트로 오 구축된 경우이다. 이는 활용된 기 구축된 지도인 CNS 배경DB에서 단지 내 도로로 표현되어 발생하는 문제로, 제안된 알고리즘의 한계로 볼 수는 없다. 또한 [그림 4-21](a)의 A_2와 같이 교량 아래로 지나가는 하천 주변에 있는 세그먼트가 위상이 상이한 교량과 교차되었고, 하천 주변의 세그먼트는 서로 연결되지 않는 문제가 나타났다. 단지 내 도로와 교량은 각각 배경DB와 수치지도2.0에서 관리되는 지형·지물

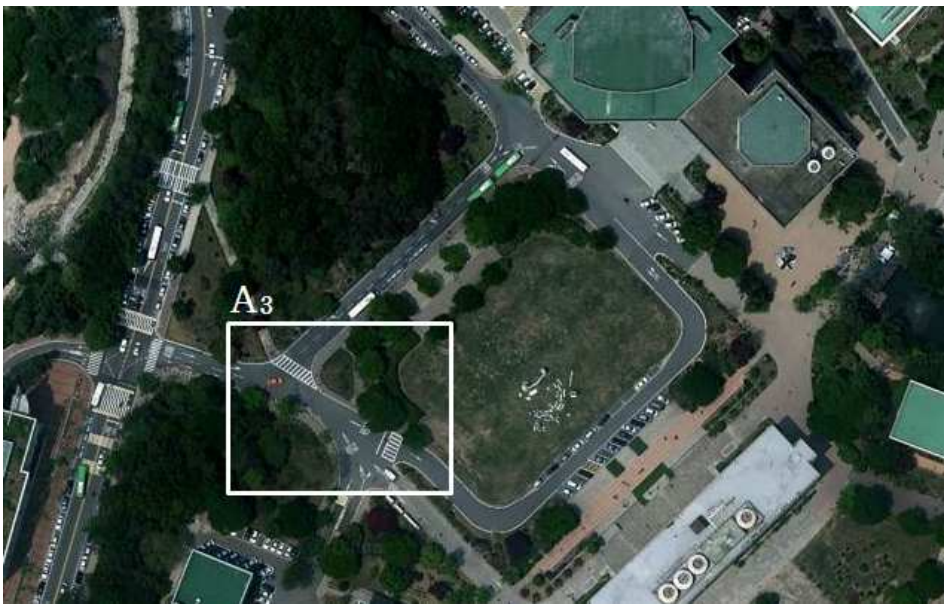
로, 이들 간의 위상정보가 제공될 수 없다. 결국 보행공간을 추출하는 과정에서 중첩 분석만이 아니라 각 지형·지물의 위상을 고려할 필요가 있을 것이다. 다음으로 [그림 4-21](c)의 A_3와 같이 단지 내 도로에 횡단보도가 존재하는 경우가 있다. 그러나 CNS 배경DB에 구축된 면형 단지 내 도로를 활용하다보니 단지 내 도로는 중심선으로만 세그먼트가 생성되어, 단지 내 도로에 존재하는 횡단보도가 누락되는 한계가 나타났다([그림 4-21](d) A_3). 단지 내 도로에 대한 정확한 링크를 구축하기 위하여 보다 정밀한 기 구축된 지도가 요구된다.



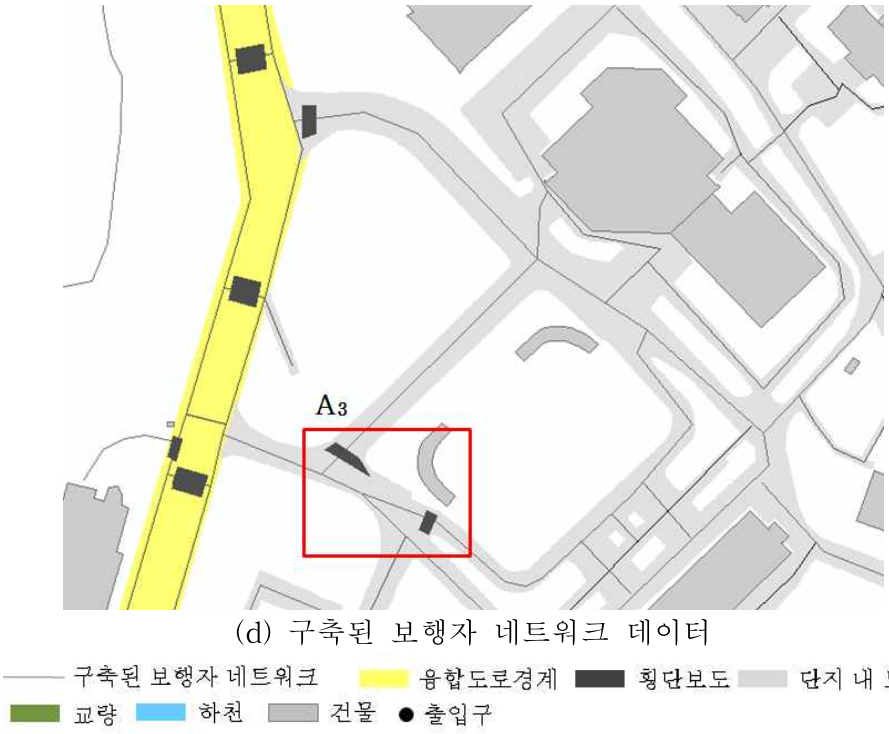
(a) 다음지도 항공사진



(b) 구축된 보행자 네트워크 데이터



(c) 다음지도 항공사진

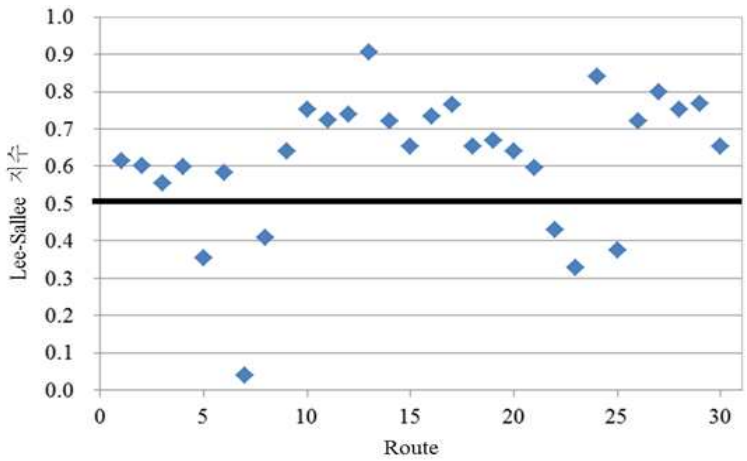


(d) 구축된 보행자 네트워크 데이터

[그림 4-21] 보행전용길 링크의 시각적 평가

(3) 활용 가능성 평가

제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터를 보행자를 위한 사용화된 길찾기 서비스에서 활용이 가능한지를 평가하기 위하여, 현재 서비스되고 있는 네이버지도의 도보길찾기 서비스와 비교하였다. 동일한 출발지와 도착지를 갖는 30개의 경로를 구축된 보행자 네트워크와 네이버지도에서 각각 탐색하여 탐색된 경로의 유사도를 평가하였다. 이를 위하여 래스터 자료로 저장된 네이버지도의 경로 탐색 결과를 디지타이징하여 벡터 자료로 변환하였다. 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크에서 탐색된 경로와 네이버지도에서 탐색된 경로에 대하여 3.25m로 버퍼 연산을 수행한다. 버퍼가 수행된 네이버지도의 경로에 대한 버퍼가 수행된 보행자 네트워크의 경로와의 중복 면적을 계산하는 Lee-Sallee 지수(Lee and Sallee, 1970)를 구하였다. Lee-Sallee 지수의 값이 클수록 탐색된 두 경로는 더 유사하다고 판단할 수 있다. 이 연구에서는 Lee-Sallee 지수의 값이 0.5 이상인 경우 탐색된 경로가 서로 유사하다고, 그렇지 않은 경우는 유사도가 낮다고 보았다. 그 결과 [그림 4-21]과 같이 30개의 경로 중에서 24개인 80%의 경로가 유사도가 높게 나타났으며, 6개 경로가 유사도가 낮게 나타났다.



[그림 4-22] 30개 경로별 유사도 그래프

유사도가 낮은 원인은 3가지로 나눌 수 있다. 첫째는 건물 1층이 개방된 통로인 경우로, 네이버지도의 네트워크 데이터는 현장조사를 바탕으로 제작되어 이를 반영하였으나, 제안된 방법으로 구축된 네트워크 데이터는 이를 반영하지 못하였다([그림 4-23](a)). 둘째는 네이버지도의 경우 도착지의 건물 주변까지 경로가 구축되어 [그림 4-23](b)와 같이 동일한 건물이나 지점의 근처 도착지(E_1, E_2)에 대해서 탐색되는 경로가 상이하게 나타났다. 이는 네이버지도가 출입구연결보행자길 링크가 구축되어 있지 않아 건물 주변까지만 경로가 탐색되어 야기되는 문제이다. 셋째는 둘째와 비슷한 경우로, 고궁이나 사찰과 같은 단지 내 도로에 보행자 네트워크 데이터가 구축되지 않아 [그림 4-23](c)와 같이 도착지의 건물(E)에서 가까운 도로에서 도착지 건물까지 연결되는 모습을 보였다. 그러나 [그림 4-23](c) 우측 상단에 있는 동그라미 부분에 해당하는 다음 로드뷰에서와 같이 도착지 건물까지 연결된 곳에는 담장이 존재하여 보행이 불가능하다. 이에 제안된 방법으로 구축된 보행자용 네트워크 데이터로 도착지가 낯선 보행자나 이동이 불편한 교통약자에 도착지의 출입구까지의 길찾기 서비스가 제공될 수 있을 것으로 판단된다. 각 원인별로 1개, 3개, 2개의 경로가 포함된다.

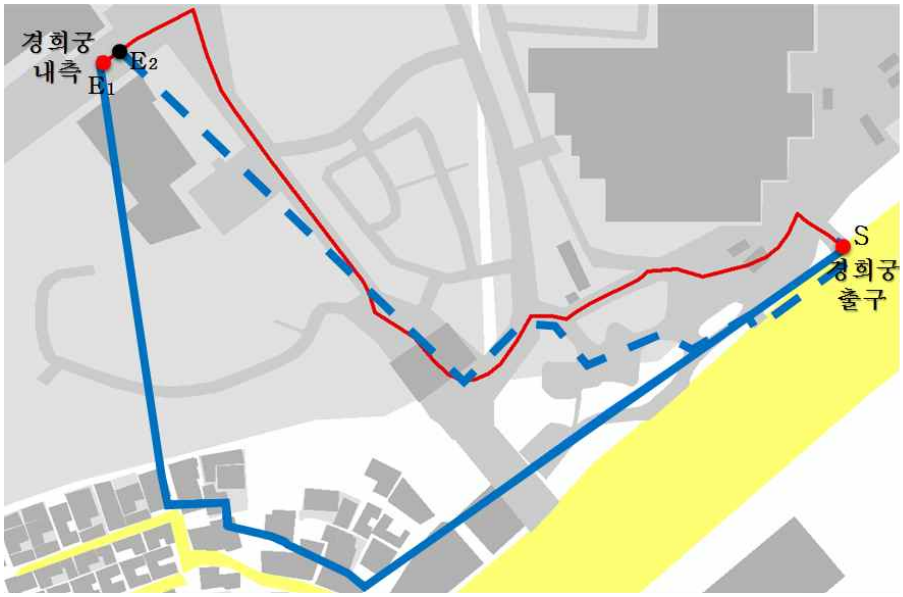
이 연구에서 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터와 네이버지도에서 탐색된 경로를 비교한 결과, 제안된 네트워크 데이터에서 탐색된 경로와 현재 상용 서비스되고 있는 경로가 유사하게 나타났다. 결과적으로 제안된 방법으로 구축된 네트워크 데이터로 상용화된 보행자를 위한 길찾기 서비스 수준의 경로안내가 제공될 수 있을 것으로 생각된다. 특히, 제안된 네트워크 데이터는 출입구연결보행자길 링크와 상세한 단지 내 보행로가 구축되어 있어, 도착지에 있는 건물의 출입구까지의 경로가 탐색되었다. 이는 도착지가 낯선 보행자나 이동이 불편한 교통약자에게 출입구까지의 경로안내 서비스를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 기 구축된 지도에서 관리되고 있지 않은 건물을 내부에 통과하는 보행로가 제안된 방법으로 구축된 네트워크 데이터에는 누락되는 한계가 나타났다.

탐색된 경로

(굵은 파란색 실선: 네이버지도, 빨간색 실선: 구축된 보행자 네트워크 데이터)

다음지도 항공사진

(a) 경로 5



탐색된 경로

(굵은 파란색 실선과 점선: 네이버지도, 빨간색 실선: 구축된 보행자 네트워크 데이터)

다음지도 항공사진

(b) 경로 23

탐색된 경로

다음지도 항공사진

(c) 경로 7

[그림 4-23] 유사도가 낮은 경로

제 5 장 결 론

가장 오래된 이동수단인 보행은 길찾기의 반복으로, 특히 낯선 환경에서 길을 찾는 경우 선형 네트워크 형태로 출발지와 도착지까지의 경로를 학습하는 것이 중요하다. 최근에는 스마트폰의 보급과 측위 기술의 발달로 PNS가 경로의 학습을 보조하거나 대체하고 있다. 차량과 달리 자유롭게 움직이는 보행자는 횡단보도, 육교, 지하보도, 단지 내 도로 등 세밀한 지형·지물이 반영된 선형 네트워크 데이터가 요구된다. 그러나 광범위한 지역을 대상으로 보행자를 위한 네트워크 데이터를 구축하기 위해서는 많은 비용과 시간이 요구되어, 넓은 지역을 대상으로 PNS가 제공되는데 걸림돌이 되고 있다.

따라서 이 연구에서는 기 구축된 지도에서 사용자의 개입이 없이 상용화된 보행자를 위한 경로안내 서비스에 활용할 수 있는 수준의 보행자 네트워크 데이터를 광범위한 지역을 대상으로 자동 구축하는 방법을 제안하였다. 이를 통해 광범위한 지역을 대상으로 보행자 네트워크 데이터를 구축하는 비용을 절감하고 시간을 단축하고자 하였다. 보행자의 이동특성이 반영된 보행자 네트워크 데이터를 구축하기 위하여 국내 법과 국내외 선행연구에서 보행공간에 대한 이론적 고찰과 보행공간의 현황 분석을 바탕으로 보행자 네트워크 데이터 참조모델을 정의하였다. 참조모델에서 정의된 보행공간을 추출하기 위하여 이종의 도로 데이터 셋을 융합하여 골목길이나 소로 등과 같은 LOD가 높은 도로 정보를 취득하였다. 다음으로 기 구축된 지도에 참조모델에 정의된 구축 규칙을 적용하여 면형 보행공간을 추출하였다. 추출된 면형 보행공간은 픽셀 크기가 0.7m인 이진영상으로 변환하여 그 너비가 100m 미만인 가시 영역은 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 중심선을, 100m 이상인 비가시 영역은 해당 영역을 분할하는 세그먼트를 생성하여 선형화하였다. 선형화된 면형 보행공간과 선형 보행공간(지하철출입구나 출입구연결로)을 융합하고, 위상정보를 부여하여 그래프 구조인 보행자 네트워크 데이터를 구축하였

다. 제안된 방법을 서울특별시에 적용하여 1,620,562개의 링크와 1,620,564개의 노드로 이루어진 보행자 네트워크 데이터를 구축하였다.

서울특별시를 대상으로 제안된 방법을 적용하여 보행자 수준의 네트워크 데이터를 구축한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 제안된 면 객체 매칭을 기반으로 이종의 도로 데이터 셋을 자동으로 융합 하는 방법은 높은 정확도를 보였다. 선행연구에서는 훈련자료에서 사용자가 각 다중 기준별 가중치를 설정하였으나, 이 연구에서는 훈련자료에서 CRITIC 방법을 이용하여 자동으로 설정하였다. 또한 매칭을 여부를 판별하는 임계값도 사용자의 개입이 없이 PR 곡선에서 EER로 추정하였다. 이 연구에서 제안된 방법으로 설정된 가중치를 적용한 융합 블록 쌍의 판별 모델은 92.9%의 높은 정확도($F-measure$)를 보였다. 또한 제안된 방법으로 산출된 임계값으로 융합 객체를 추출하는 판별모델도 정확도가 91.5%로 높게 나타났다. 따라서 제안된 이종의 도로 데이터 셋의 융합 방법으로 짧은 시간에 광범위한 지역에서 위치 정확도와 LOD가 높은 도로정보를 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 제안된 방법으로 그 면적이 대략 1,124㎢인 서울특별시에서 구축된 데이터 중 관악구를 대상으로 정확도 평가를 수행하여 정확도가 높게 나타났다. 현장조사에서 취득된 자료를 바탕으로 구축된 국토지리정보원의 보행자용 도로망과 비교한 결과, 제안된 방법으로 구축된 네트워크 데이터가 85% 이상의 정확도를 보였다. 또한 상세한 단지 내 도로나 출입구까지 연결된 링크가 일부 누락되거나 잘못 생성된 사례도 있었으나 비교적 잘 구축된 것을 시각적으로 확인할 수 있었다. 따라서 기 구축된 지도를 이용하여 광범위한 지역에서 사용자의 개입이 없이 정확한 보행자 네트워크 데이터가 구축되어, 초기 보행자 네트워크 데이터의 구축비용을 절감하고 시간을 단축할 수 있을 것으로 생각된다.

셋째, 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터와 상용화된 네이버지도의 도보길찾기 서비스에서 동일한 30개 경로의 유사성을 비교한 결과, 80%의 경로가 유사하게 나타났다. 이에 보행자를 위한 상용화된

경로안내 서비스에 제안된 방법으로 구축된 보행자 네트워크 데이터가 이용될 수 있을 것이라 판단되었다. 특히, 제안된 방법으로 구축된 네트워크 데이터에 출입구연결보행자길이 구축되어 일부 경로가 실세계와 다르게 나타나는 오차도 있었지만, 낯선 지역을 방문하는 보행자나 이동이 불편한 노약자나 장애인과 같은 교통약자에게 출입구까지의 상세한 경로 안내를 제공하여 이동편의를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 이종의 도로 데이터 셋의 융합 방법이 첫 단계인 면 객체인 블록에서 후보 융합 블록 쌍에서 융합 객체가 추출되어, 후보 융합 블록 쌍의 탐지 결과에 종속적이다. 이에 후보 융합 블록 쌍을 탐지하는 형상 유사도의 산출 과정이나 임계값의 추정에서 그 정확도를 높일 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 기 구축된 지도에서 면형 보행공간을 추출하는 과정이 단순한 중첩 분석을 기반으로 이루어져, 위상정보가 상이한 보행공간이 동일한 위상으로 추출되어 실세계에서 연결된 보행자길이 끊어져서 구축이 되거나 그 반대인 경우가 발생하였다. 따라서 보행공간을 단순한 중첩 분석이 아니라 지형·지물간의 위상을 고려한 추출 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 나아가 최단 경로 이외에 상점이 밀집한 보행자길, 큰 길 주변의 보행자길, CCTV나 경찰서 등이 있는 안전한 보행자길 등과 같이 사용자 맞춤형 경로안내를 위한 연구도 진행될 필요가 있을 것이다.

참 고 문 헌

가칠오, 우호석, 유기윤 (2010), 삼각망 기반의 공간 분할 기법을 활용한 보행 경로 생성에 관한 연구(오픈 스페이스를 대상으로), **2010년 한국지형공간정보학회 추계학술대회 논문집**, pp.3-4.

공공측량 작업규정, 국토지리정보원고시 제2013-1887호, 시행 2013.11.27.

국가교통DB센터 (2008), 「2007년도 국가교통DB구축사업」교통시설물조사・교통주제도 및 교통분석용 네트워크 구축-작업지침서, 한국교통연구원.

기본공간정보구축규정, 국토교통부고시 제2013-193호, 시행 2013.4.24

김지영, 허용, 김대성, 유기윤 (2011), CRITIC 방법을 이용한 형상유사도 기반의 면 객체 자동매칭 방법, **한국측량학회지**, 제28권, 제2호, 한국측량학회, pp.113-121.

김지영, 허용, 유기윤, 김정옥 (2013), 이종의 도로망 데이터 셋에서 면 객체 매칭 기반 변화탐지, **한국측량학회지**, 제31,권 제6-1호, pp.483-491.

김혜영 (2008), **위상구조기반 접근성을 고려한 보행경로탐색 알고리즘**, 서울시립대학교 대학원, 석사학위 논문.

남두희, 김영신 (2008), PNS 네트워크 Node-Link 구성체계, **한국ITS학회논문지**, 제7권, 제5호, pp.26-32.

도로법, 법률 제11690호, 시행 2013.3.23.

도로교통법, 법률 제12045호, 시행 2014.2.14.

도로교통법 시행규칙, 안전행정부령 제59호, 시행 2014.2.14.

도로명주소정보체계 운영규정, 안전행정부예규 제1호, 시행 2013.3.25.

도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 국토교통부령 제1호, 시행 2013.3.23.

도시공원 및 녹지 등에 관한 법률, 법률 제11800호, 시행 2013.11.23.

도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙, 국토교통부령 제51호, 시행 2013.12.31.

보행안전 및 편의증진에 관한 법률, 법률 제11690호, 시행 2013.3.23.

수치지도작성 작업규칙, 국토해양부령 제302호, 시행 2011.1.29.

신정엽 (2009), 공간 인지의 성별 차이에 대한 이론적 검토와 지리교육적 함의, **한국지리환경교육학회지**, Vol.17, No.2, pp.125-143.

신정엽, 이건학 (2012), 공간 인지에 기반한 길찾기의 방법론적 고찰과 인지 경로 모델링, **한국지도학회지**, 제12권, 제2호, pp.95-111.

이두희 (1995), 보행자 교통사고 방지를 위한 교통환경의 합리적 개선방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문.

이양제 (1987), 도시보행공간의 기능에 대한 이론적 고찰, **한국교통학회지**, 제5권, 제1호, pp.75-83.

이종언, 손봉수, 김형진 (2008), 도심 쇼핑을 위한 보행 경로탐색알고리즘 개발, **대한토목학회논문집**, 제28권, 제2D호, pp.147-154.

자연공원법, 법률 제10978호, 시행 2012.7.1.

지능형교통체계 표준 노드·링크 구축·관리 지침, 국토교통부고시 제2013-253호, 시행 2013.4.11.

측량·수로조사 및 지적에 관한 법률, 법률 제11943호, 시행 2013.6.19.

측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령, 대통령령 제25104호, 시행 2014.1.18.

통계지리정보 관리지침, 통계청훈령 제336호, 시행 2014.3.26.

한국표준협회 (2010), KS X ISO /TS19104, 고시번호 2010-0684.

한아름, 손홍배, 연명흠 (2010), 길 찾기 능력에 따른 도보 내비게이션의 환경요소에 대한 연구, **Digital Interaction Design 논문집**, 제9권, 제2호, pp.40-49.

항만법, 법률 제11594호, 시행 2013.6.19.

홍수기 (1991), **도로가로경관구성과 계획에 관한 연구**, 고려대학교 석사학위논문, p.10.

황기연, 강준모, 이종덕 (2008), 거리쇼핑용 보행자 네비게이션의 개발, **대한토목학회논문집**, 제28호, 제1D권, pp.21-27.

Alt, H. and Godau, M. (1995), Computing the Fréchet distance between two polygonal curves, *International Journal of Computational Geometry and Applications*, Vol.5, pp 75 - 91.

Beale, L., Field, K., Briggs, D., Prcton, P, and Mattews, H. (2006), Mapping for wheelchair users: route navigation in urban spaces, *The Cartographic journal*, Vol.43, pp.68-81.

Beeri, C., Doytsher, Y., Kanza, Y., Safra, E. and Sagiv, Y. (2005), Finding corresponding objects when integrating several geo-spatial datasets, *Proceedings of 13th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, Bremen, Germany, pp.87-96.

Beeri, C., Kanza, Y., Safra, E. and Sagiv, Y. (2004), Object fusion in geographic information systems, *Proceedings of the 30th VLDB Conference*, Toronto, Canada, pp.816-827.

Bel Hadj Ali, A. (2001), Positional and shape quality of areal entities in geographic databases: quality information aggregation versus measures classification, *Proceedings of ECSQARU"2001 Workshop on Spatio-Temporal Reasoning and Geographic Information Systems*, Toulouse, pp.1-16.

Bel Hadj Ali, A. (2002), Moment representation of polygons for the assessment of their shape quality, *Journal of Geographical Systems*, Vol.4, pp.209-232.

Bengio, S., Maréthoz, J. and Keller, M. (2005), The expected performance curve, *Proceedings of the ICML'05 workshop on ROC analysis in machine learning*, Germany, pp.43 - 50.

Bleeke, M. (2006), *Fußgängernavigation auf kombinierten datenbeständen*, Master's thesis, Universität Hannover, Germany (in German)

Corona, B. and Winter, S. (2001), Datasets for pedestrian navigation services, *Proceedings of AGIT Symposium*, Salzburg, Austria.

Davis, J. and Goadrich, M. (2006), The relationship between precision-recall and ROC curves, *Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning*, USA, pp.233-240.

Deseilligny, M.P., Stamon, G. and Suen, C.Y. (1998), Veinerization: a new shape description for flexible skeletonization, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.20, pp.505-521.

Devlin, A. (1976), The small town cognitive map: adjusting to a new environment, in Moore, G. and Golledes, R. (Eds.), *Environmental Knowing: theories research, and methods*, Dowden, Hutchinson & Ross, pp.58-66.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G. and Papayannakis, L. (1995), Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method, *Computers & Operational Research*, Vol.22, No.7, pp.763-770.

Do, H. H., Melnik, S. and Rahm, E. (2002). Comparison of schema matching evaluations, *Proceedings of 2nd International Workshop on Web Databases (German Informatics Society)*.

Elias, B. (2003), Extracting landmarks with data mining methods, In W. Kuhn, M. Worboys, & S. Timpf (Eds.), *Spatial information theory,* Vol.2825, Lecture Notes in Computer Science (pp. 375 - 389). Berlin: Springer.

Elias, B. (2007), Pedestrian Navigation - Creating a tailored geodatabase for routing, *Proceedings of the 4th Workshop on*

positioning, navigation and communication 2007 (WPNC'07), Hannover, Germany, pp.41-47.

Elias, B. and Paelke, V. (2008), User-centered design of landmark visualizations, In Meng, L., Zipf, A., and Winter, S. (Eds.), *Map-based mobile services: theories, methods and usability*, Springer, pp.33-56.

Gaisbauer, C. and Frank A. (2008). Wayfinding model for pedestrian navigation, *Proceedings of 11th AGILE Int. Conference on Geographic Information Science*, Girona, Spain. pp.1-9.

Garling, T., Book, A. and Ergezen, N. (1985), Adult's memory representations of the spatial properties of their everyday physical environment, in Cohen, R. (Eds.), *The Development of Spatial Cognition*, Erlbaum, New Jersey: Hillsdale Press, pp.141-184.

Gerke, M., Butenuth, M., Heipke, C. and Willrich, F. (2004), Graph-supported verification of road databases, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.58, pp.152-165.

Golledge, R. (1999), *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Golledge, R. and Spector, A. (1978), Comprehending the urban cognitive environment: theory and practice, *Geographical Analysis*, Vol.10, pp.403-426.

Goesseln, G.v. and Sester, M. (2003), Change detection and integration of topographic updates from ATKIS to geoscientific data sets.

Proceedings of International Conference on Next Generation Geospatial Information, Boston, USA, pp.69 - 80.

Fu, Z. and Wu, J. (2008), Entity matching in vector spatial data, *Proceedings of the XXIth ISPRS Congress, ISPRS*, China, pp.1467-1472.

Hampe, M. and Elias, B. (2004), Integrating topographic information and landmarks for mobile navigation, *Proceedings of the 2nd International symposium Location Based Services & Telecartography*, Vienna, Austria, pp.147-155.

Handy, S. (1996a), Methodology for exploring the link between urban form and travel behavior, *Transportation Research Part D*, Vol.1, No.2, pp.151-165.

Handy, S. (1996b), Urban form and pedestrian choices: Study of Austin neighborhoods, *Transportation Research Record*, Vol.1552, pp.135-144.

Huang, L., Wang, S., Ye, Y., Wang, B. and Wu, L. (2010), Feature matching in cadastral map integration with a case study of Beijing, *Proceedings of 2010 18th International Conference on Geoinformatics*, IEEE, China, pp.1-4.

Huang, W., Liu, L., Zhao, Y. and Wang, G. (2007), Modeling and implementation of navigable geographic framework data-construction of road network based on fundamental geographic data, *Proceedings of ISPRS workshop on updating geo-spatial databases with imagery & the 5th ISPRS workshop on dynamic and multi-dimensional GIS (DMGISs)*, China,

pp.103-109.

Huh, Y., Yu, K. and Heo, J. (2011), Detecting conjugate-point pairs for map alignment between two polygon datasets, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol.35, No.3, pp.250-262.

Kasemsuppakorn, P. and Karimi, H. A. (2009a), Personalized routing for wheelchair navigation, *Journal of Location Based Services*, Vol.3, No.1, pp.24-54.

Kasemsuppakorn, P. and Karimi, H. A. (2009b), Pedestrian network data collection through Location-Based social networks, *Proceedings of 5th International. Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing*, Washington, USA.

Kasemsuppakorn, P. and Karimi, H. A. (2013a), Pedestrian network extraction from fused aerial imagery (orthoimages) and laser imagery (lidar), *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.79, No.4, pp.369-379.

Kasemsuppakorn, P. and Karimi, H. A. (2013b), A pedestrian network construction algorithm based on multiple GPS traces, *Transportation Research Part C*, Vol.26, pp.285-300.

Karimi, H. A. and Kasemsuppakorn, P. (2013), Pedestrian network map generation approaches and recommendation, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.27, No.5, pp.947-962.

Kim, J., Lee, J., Choi, J. and Yu, K. (2010) Create a pedestrian network using existing spatial datasets, *Proceedings of the 7th International Symposium on LBS & TeleCartography,* Guanshou, China, unpaginated CD-ROM.

Kim, J., Park, S. Y., Bang, Y. and Yu, K. (2009), Automatic derivation of a pedestrian network based on existing spatial data sets, *Proceedings of ASPRS/MAPPS 2009 Fall Conference,* San Antonio, Texas.

Krisp, J. M., Liu, L. and Berger, T. (2010), Goal directed visibility polygon routing for pedestrian navigation, *Proceedings of the 7th International Symposium on LBS & TeleCartography*, China, unpaginated CD-ROM.

Lee, D. R. and Sallee, G. T. (1970), A method of measuring shape, *Geographical Review,* Vol.60, No.3, pp.555-563.

Li, L. and Goodchild, M. (2011), An optimisation model for linear feature matching in geographical data conflation, *International Journal of Image and Data Fusion*, Vol.2, No.4, pp.309-328.

Liu, X. and Jiang, B. (2012), Defining and generating axial lines from street center lines for better understanding of urban morphologies, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.26, No.8, pp.1521-1532.

Liu, Y., Liu, T., Lu, M. and Sun, H. (2009), Study on the pedestrian network model oriented to pedestrian navigation, *Proceedings of 3rd International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering*, Qingdao, China.

Lutz, R. J. (2006), Prototyping and evaluation of landcons: auditory objects that support wayfinding for blind travelers, *Accessibility and Computing*, Vol.86, pp.8-11.

Lynch, K. (1960), *The Image of the City*, Cambridge, MS: Technology Press.

Mantel, D. and Lipeck, U. (2004), Matching cartographic objects in spatial databases, *Proceedings of the XXth Congress of the ISPRS*, Istanbul, Turkey, pp.172-176.

May, A. J., Ross, T., Bayer, S. H. and Tarkiainen, M. J. (2003), Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol.7, pp.331-338.

Moudon, A. and Lee, D. (2003), Walking and bicycling: an evaluation of environmental audit instruments, *American Journal of Health Promotion,* Vol.18, No.1, pp.21-37.

Olson, N. (1995), An algorithm for generating road center-lines from road rights-of-way, *Proceedings of 12th International Symposium on Computer-Assisted Cartography*, Charlotee, North Carolina.

Pan, Z., Yan, L., Winstanley, A. C., Fotheringham, A. S. and Zheng, J. (2009), A 2-D ESPO algorithm and its application in pedestrian path planning considering human behavior, *Proceedings of 2009 3th international conference on multimedia and ubiquitous engineering*, China, IEEE computer society, pp.485-491.

Passini, R. (1984), *Wayfinding in Architecture*. New York:Van Nostrand Reinhold, pp.54-88.

Pun-Cheng, L. S. C., Tang, M. W. F. and Cheung, I. K. L. (2007), Exact cell decomposition on base map features for optimal path finding, *International Journal of Geographical Information Science,* Vol.21, No.2, pp.175-185.

Raubal, M. and Winter, S. (2002), Enriching wayfinding instructions with local landmarks, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.2478, pp.243-259.

Rosen, B. and Saalfeld, A. (1985), Match criteria for automatic alignment, *Proceeding of Auto-Carto 7*, Washington, D.C., pp.1-20.

Saalfeld, A. (1988), Conflation automated map compilation, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.2, No.3, pp.217-228.

Safra, E., Kanza, Y., Sagiv, Y. Beeri, C. and Doytsher, Y. (2010), Location-based algorithms for finding sets of corresponding objects over several geo-spatial data sets, *International Journal of Geographical Information science,* Vol.24, No.51, pp.69-106.

Samal, A., Seth, S. and Cueto, K. (2004), A feature-based approach to conflation of geospatial sources, *International Journal of Geographical Information science*, Vol.18, No.5, pp.459-489.

Scharl, A. and Tochtermann, K. (2007), *The geospatial web: how geobrowsers, social software and the web 2.0 are shaping the*

network society, Springer.

Shao, S. and Tong, C. (2010), A matching method for multi-characteristic vector elements of complex polygon, *Proceedings of 2010 International Conference on Multimedia Technology (ICMT)*, pp.1-4.

Stigmar, H. (2005), Matching route data and topographic data in a real-time environment, *Proceedings of the Xth Scandinavian research conference on geographical information science*, Sweden, pp.89-107.

Tang, M. W. F. and Pun-Cheng, L. S. C. (2004), Algorithmic development of an optimal path computation model based on topographic map features, *Proceedings of Geo-Imagery Bridging Continents XXth ISPRS Congress*, pp.57-61.

Timpf, S. (1998), *Hierarchical structures in map series*, Ph.D dissertation, The technical university of vienna.

Tong, X., Shi, W. and Deng, S. (2009), A probability-based multi-measure feature matching method in map conflation, *International Journal of Remote Sensing*, Vol.30, No.20, pp. 5453-5472.

Walter, V. and Fritsch, D. (1999), Matching spatial data sets: a statistical approach, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol.13, No.5, pp.445-473.

Walter, V., Kada, M. and Chen, H. (2006), Shortest path analyses in raster maps for pedestrian navigation in location based

systems, *Proceedings of International Symposium on Geospatial Databases for Sustainable Development*, Goa, India, ISPRS Technical Commission IV(on CDROM). ISPRS Technical Commission IV.

Wang, Y. and Luo, Y. (2010), Integration of correlations with standard deviations for determining attribute weights in multiple attribute decision making, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol.51, pp.1-12.

Wenjing, T., Yanling, H., Yuxin, Z. and Ning, L. (2008), Research on areal feature matching algorithm based on spatial similarity, *Proceedings of Control and Decision Conference (CCDC 2008),* China, pp.3326-3330.

Wiedmann, C. (2003), External evaluation of road networks, *Proceedings of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Archives*, Vol.34, Part 3W/8, Munich, pp.93-98.

Worboys, M. and Duckham, M. (2004), *GIS: A computing perspective-second edition,* CRC PRESS.

Yang, B., Zhang, Y. and Luan, X. (2013), A probabilistic relaxation approach for matching road networks, *Journal of Geographical Information Science*, Vol.27, No.2, pp.319-338.

Zheng, J., Winstanley, A. C., Pan, Z. and Coveney, S. (2009), Spatial characteristics of walking areas for pedestrian navigation, *Proceedings of 2009 3rd International Conference on multimedia and ubiquitous engineering,* China, IEEE computer society, pp.452-458.

Zhang, M. and Meng, L. (2007), An iterative road-matching approach for the integration of postal data, *Computers, Environment and Urban Systems,* Vol.31, No.5, pp.597-615.

Zhang, M., Meng, L. and Bobrich, J. (2010), A road-network matching approach guided by 'structure', *Annals of GIS*, Vol.16, No.3, pp.165-176.

Zhao, Y. (1997), *Vehicle location and navigation system*, Artech House.

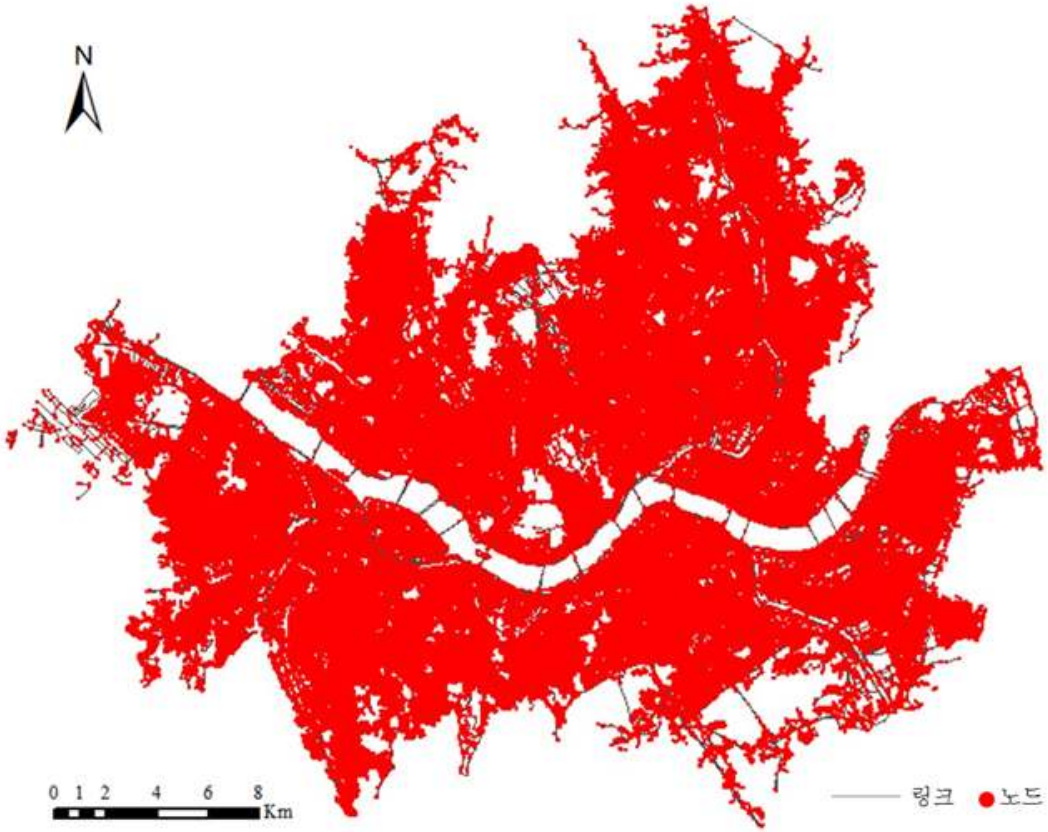
부 록

[부록 표 1] 보행공간 현황에서 살펴본 기 구축된 지도

지도	지형・지물		형태	축척	속성	제작지침
수치지도 2.0	교통	도로경계	면	5K	UFID	
		도로중심선	선	5K	UFID, 도로번호, 명칭, 도로구분, 시점, 종점, 포장재질, 분리대 유・무, 차로수, 도로폭, 일방통행, 기타	최소 차선수: 1차선 이상 도로폭: 도로경계석의 외측 끝
		보도	면	1K	UFID, 폭, 재질, 자전거도로 유・무, 종류	모든 인도 및 자전거 도로
		횡단보도	면	1K	UFID	
		안전지대	면	1K	UFID, 구조, 명칭	교통섬, 평면(도색)
		육교	면	5K	UFID, 명칭, 연장, 폭, 높이, 형태, 기타	
		교량	면	5K	UFID, 명칭, 종류, 연장, 폭, 설치연도, 재질, 하천명, 기타	철교, 도로교, 보도교
		입체교차부	면	5K	UFID, 명칭, 구분, 연장, 높이, 통화하중, 재질, 보도	
		터널	면	5K	UFID, 명칭, 연장, 폭, 높이	

지도	지형·지물		형태	축척	속성	제작지침
	시설	계단	면	1K	UFID, 구조, 폭	계단, 스탠드
		신호등	점	1K	UFID, 용도	보행용, 차량용, 보행용/차량용
도로명주소기본도	도로구간		선		시군구코드, 도로구간일련번호, 도로명, 도로명코드, 영문도로명, 고시일자, 도로명심의일자, 도로제정권자, 광역도로구분코드, 도로위계정보, 도로구간종속구분, 기점, 조엄, 도로폭, 도로길이, 기초간격, 국도/지방도번호, 부여사유, 부여일자, 이동사유코드, 이동사유, 이동일자, 작업자아이디, 작업일시, 분기시군구코드, 분기도로구간일련번호, 입력방법, 교차로수, 발급여부	
	건물		면		시군구코드, 건물일련번호, 도로명코드, 도로구간일련번호, 기초구간일련번호, 건물군일련번호, 건물구분코드, 건물본번, 건물부번, 건물명, 건물영문명, 상세건물명, 건물상태코드, 건물용도코드, 건물종속구분, 지상층수, 지하층수, 우편번호, 다량배달처건물명, 다량배달처여부, 등록공공문서명, 읍면동코드, 리코드, 산여부, 지번본번, 지번부번, 완료일자, 고시일자, 이동	

지도	지형·지물	형태	축척	속성	제작지침
				사유코드, 이동사유, 이동일자, 작업일시, 기초구역번호, 고지대상여부, 입력방법, 이전건물관리번호, 발급여부, 다량배달처건물명, 기타상세건물명, 우편번호일련번호, 도로구간시군구코드	
	출입구	점		시군구코드, 출입구일련번호, 건물군일련번호, 건물일련번호, 출입구구분 건물번호판부착여부	
	연결선	선		시군구코드, 출입구일련번호, 도로구간시군구코드, 도로구간일련번호, 기초구간일련번호, 연결선방향, 연결선거리	
	공원	면		시군구코드, 공원일련번호, 공원명, 영문공원명	
	자동차전용도로	면		자동차전용도로일련번호, 도로명, 영문도로명	
	지하철출입구	점		시군구코드, 지하철출입구일련번호, 출구번호, 지하철역사일련번호	
	지하철역사	면		시군구코드, 지하철역사일련번호, 지하철역사명, 영문지하철역사명, 개통여부, 환승역역부	
CNS	단지 내 도로	면		ID, 갱신일자	



[부록 그림 1] 구축된 보행자 네트워크 데이터(서울특별시)

Abstract

Automatic Construction of Pedestrian-level Network Data

Kim, Jiyoung

Department of Civil and Environmental Engineering(GIS)

The Graduate School

Seoul National University

This dissertation has developed a new approach for automatic generation of pedestrian level network data from using existing maps in large area to reduce cost and time. For this, firstly, walking areas where pedestrians can move freely were redefine based on previous research and pedestrian network data model was proposed. In addition, rules for generation of pedestrian network data from existing maps were established according to status analysis of the defined walking areas. Secondly, road features of correct position and high LOD were extracted by conflation of different road data-sets based on areal feature matching method. Thirdly, walking area polygon

were extracted by the proposed reference model. Fourthly, the extracted walking areas with a polygon were converted to a binary image and then vectorized by considering the visibility of a pedestrian. Next, the vectorized walking areas and segments connecting subway entrances or segments of linking building entrance were merged by correcting geometry errors. Finally, to construct pedestrian level network data, the merged lines were transformed into a non-directional graph. In this case, we assume two conditions: a pedestrian is a person who can travel on foot, except for a person who uses a wheel-chair or electric scooter among pedestrians and walking areas for outdoors are considered only because existing maps are constructed generally for outdoor environments.

We generated pedestrian network data by applying the proposed method to the Digital Topographic Maps (DTMs), base maps of the Korea Address Information System (KAIS), and background maps of car navigation system for Seoul, South Korea and examined how well the proposed method works. By conflation of road centerlines of DTMs and street blocks of KAIS, 42,831 segments of street blocks were selected as high-LOD roads. And we generated pedestrian network data of 1,620,562 links and 1,620,564 nodes in the study area. The pedestrian network data generated by the proposed method were compared with reference map generated from aerial photograph and field surveying and found that geometrical and topological correctness values appear relatively high, at 85% or higher. We compared optimal route pairs using 30 different origin - destination pairs from our network and a pedestrian network currently serviced in an internet-based commercial PNS(http://map.naver.com). As a result, 24 optimal route pairs(80%) show similar results.

In conclusion, we knew that pedestrian level network data are

generated in large area by the proposed method at small cost and short time. And it shows that the pedestrian level network data generated by the proposed method is available to a commercial PNS.

keywords : Pedestrian level network data, Walking areas, Conflation between different road network data-sets, Threshold

Student Number : 2009-30224