보행자용 도로망 선형단순화를 위한 도로속성정보 기반 임계값 자동 선정 연구

A Study on Automatic Threshold Selection in Line Simplification for Pedestrian Road Network Using Road Attribute Data

박범섭¹⁾ · 양성철²⁾ · 유기운³⁾

Park, Bumsub · Yang, Sungchul · Yu, Kiyun

Abstract

Recently, importance of pedestrian road network is getting emphasized as it is possible to provide mobile device users with both route guidance services and surrounding spatial information. However, it costs a tremendous amount of budget for generating and renovating pedestrian road network nationally, which hinder further advances of these services. Hence, algorithms extracting pedestrian road network automatically based on raster data are needed. On the other hand, road dataset generated from raster data usually has unnecessary vertices which lead to maintenance disutility such as excessive turns and increase in data memory. Therefore, this study proposed a method of selecting a proper threshold automatically for separate road entity using not only Douglas-Peucker algorithm but also road attribute data of digital map in order to remove redundant vertices, which maximizes line simplification efficiency and minimizes distortion of shape of roads simultaneously. As a result of the test, proposed method was suitable for automatic line simplification in terms of reduction ratio of vertices and accuracy of position.

Keywords : Pedestrian road network, Line simplification, Douglas-Peucker, Road attribute data, Vertices removal

초 록

최근 들어 모바일 단말기를 휴대하고 이동하는 사용자에게 경로안내 및 주변 위치정보 안내와 같은 개인화된 서비스가 가능해졌다는 점에서 보행자용 도로망의 중요성이 커지고 있다. 한편, 전국단위 도로망 신규 구축과 갱신에 많은 비용이 소요된다는 점은 활성화의 제약조건으로 작용하고 있어 래스터 데이터를 기반으로 한 보행자용 도로망 추출 알고리즘을 적용한 자동 생성 방안이 필요한 상황이다. 그러나 생성된 도로망은 불필요한 결절점이 다수 포함되어 경로 안내 시 과도한 방향전환을 야기하고 데이터 용량 증가를 초래하는 등 유지관리 차원에서의 비효율이 발생한다. 본 연구에서는 이를 제거하기 위해 Douglas-Peucker 알고리즘 적용 과정에서 수치지도 도로의 속성정보를 이용하여 각 선형 객체별로 적합한 임계값을 부여함으로써 선형단순화의 효과는 극대화하고 실제 도로의 형태를 왜곡하지 않도록 최적의 임계값을 자동 선정하였다. 실험 대상 지역의 보행자용 도로망에 적용한 결과 결절점 감소율과 위치정확도 측면에서 제안된 방법이 자동 선형단순화에 적합하다는 결과를 얻을 수 있었다.

핵심어 : 보행자용 도로망, 선형 단순화, Douglas-Peucker, 도로 속성정보, 결절점 제거

1) Department of Civil & Environment Engineering, Seoul National Univ., Korea (E-mail: bspark05@snu.ac.kr)

2) Member, Corresponding Author, Spatial Information Research Institute, Korea Cadastral Survey Corp., Korea (Email: scyang@lx.or.kr)

3) Member, Department of Civil & Environment Engineering, Seoul National Univ., Korea (E-mail: kiyun@snu.ac.kr)

1. 서론

다양한 공간정보 서비스 콘텐츠의 증가로 일상생활에서 유용하게 사용되는 서비스가 많아짐에 따라 일반 사용자들의 공간정보에 대한 인식과 관심이 높아지고 있다. 이 중에서도 포털사이트를 통해 제공되는 지도서비스는 위치안내, 경로안내, 주변정보안내 등의 용도로 많은 사용자에게 의해 이용되는 콘텐츠이다. 이에 부응하여 각 지도서비스마다 차별화된 서비스를 개발하여 제공하고 있고 이는 고급 서비스에 대한 사용자의 요구를 증가시키고 있다. 특히, 스마트폰 등의 모바일 단말기의 보급률이 높아지면서 정적인 위치정보 제공보다는 이동하는 사용자에게 동적으로 정보를 제공할 수 있는 서비스에 대한 수요가 점점 커지는 상황이다. 보행자용 도로망은 모바일 단말기를 휴대하고 이동하는 보행자에게 길안내와 주변의 위치정보를 제공하며 이를 기반으로 개인별로 맞춤화된 서비스가 가능하여 주요 포털 사에서는 일부 지역에 대해 도로망을 구축하여 제공 중이다. 네이버, 다음, 구글 등에서 제공하는 도보 길찾기 서비스들이 대표적인 예이며 해당 서비스의 도로망은 주로 현장조사를 통해 구축되고 있다. 그러나 전국단위 도로망 신규 구축과 갱신에 과도한 비용이 소요되는 경제적 한계는 활성화의 방해요소로 작용하고 있다. 보행자용 도로망은 기존의 CNS용 도로망과 달리 이면도로를 제외한 대부분의 인도가 차도 양 옆에 겹선으로 표현되고 차도를 횡단하기 위한 육교, 횡단보도, 지하도 등이 존재하며, 상행·하행 또는 일방통행이 구분되는 차도와 달리 양방향 통행이 가능하다는 특징을 지니고 있어 기 구축된 공간정보를 이용한 전국 단위의 보행자용 도로망을 구축하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Elias, 2007; Karimi *et al.*, 2012).

Kim 등(2010)은 수치지형도와 도로명주소기본도를 이용하여 보행자용 도로망을 자동으로 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 보행자용 도로망은 래스터 데이터를 기반으로 하고 있어 알고리즘의 특성 상 불필요한 결절점(vertex)이 과다 생성되는 한계점이 있다. 불필요한 결절점은 도로망도의 용량을 증가시켜 데이터 관리의 비효율을 초래하고, 직선 혹은 완만한 곡선 형태로 설계되는 도로의 형상을 제대로 반영하지 못하며, 길안내 시 불필요한 방향 전환을 발생시켜 보행자용 도로망도의 활용성을 저하시키게 된다. 따라서 보행자용 도로망의 활용성을 제고하기 위해서는 불필요한 결절점을 제거함으로써 데이터 용량의 경량화와 도로의 선형을 단순화해야 한다.

선형객체를 단순화하는 다수의 연구가 이루어지고 있는 전통적인 분야로서, 특히 Douglas- Peucker(이하, D-P) 알고리

즘은 결절점의 감소율과 위치정확도 성능 측면에서 우수하다고 알려져 있다. Choi(2001)의 선형요소에 대한 단순화 연구에서는 D-P알고리즘의 형상 유지율이 다른 알고리즘에 비해 높다는 결과를 도출하였다. 이는 D-P알고리즘이 지역적 단순화가 아닌 전역적 단순화 방식을 취하기 때문에 주요한 굴곡의 형태를 유지하기 때문이다. Shi 등(2006)은 대표적인 9개의 선형 단순화 알고리즘에 대한 위치정확도 비교실험을 통해 D-P알고리즘이 가장 우수한 위치정확도를 나타냄을 밝혔다. 비록 상대적으로 처리시간에서 덜 우수한 것으로 나타났지만 하드웨어의 발달속도를 감안하면 이는 큰 장애요인이라 할 수 없다. Park 등(2008)의 건물 외곽선 선형 단순화 알고리즘 비교 연구에서도 D-P알고리즘은 시각적인 측면 뿐 아니라 결절점 감소율 측면에서도 실험에 쓰인 다른 알고리즘(Lang 알고리즘, Reumann-Witkam 알고리즘, Opheim 알고리즘)보다 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

그러나, 도로 네트워크 선형 데이터에 적용할 경우 D-P알고리즘이 기하학적 요소만을 고려하여 단일 임계값을 적용한다는 점이 한계점으로 지적될 수 있다. 해안선이나 건물의 외곽선의 경우와 달리 도로 네트워크는 도로의 기능과 위계와 같은 속성정보를 포함하고 있고 각 선형 객체에 따라 도로의 폭도 다르기 때문에 단일 임계값을 적용하여 D-P알고리즘을 수행할 경우 다양한 상황의 도로망의 단순화 과정에서 위치정확도가 저하될 수 있다.

Fig. 1. Flowchart of the methodology for threshold selection.

이에 본 연구는 도로 네트워크에서 도로의 속성정보를 이용하여 각 선형 객체에 특화된 임계값을 정하고 이를 D-P알고리즘에 적용하여 보다 효율적인 선형 단순화를 위한 일련의 프로세스를 제안하였다(Fig. 1). 수치지형도를 이용하여 보행자용 도로망과의 객체 매칭을 실시한 후 각 객체에 속성을 부여한 뒤 조건에 따라 초기 임계값을 설정한다. 이후 D-P알고리즘을 수행하여 실효도로 객체와의 공간연산을 통해 선형 왜곡여부를 검사한 뒤 왜곡이 발생하지 않을 경우 임계값을 늘려 선형 단순화를 반복한다. 최초로 선형 단순화 결과가 실효도로를 초과할 경우 직전 단계에 적용된 임계값의 D-P알고리즘 결과를 최종 보행자용 도로망 객체로 채택한다.

2. 도로 속성을 이용한 선형 단순화

2.1. 객체 매칭을 통한 속성정보 부여

추출된 보행자도로는 차도를 중심으로 점선으로 표현되며 이면도로에서는 중심선을 추출하기 때문에 도화에 의한 수치지도 중심선과 위치편차를 가진다. 그러므로, 각 보행자 도로에 속성을 부여하기 위해서는 개체간 매칭을 통해 속성을 등록하는 전처리가 필요하다. 수치지형도 도로중심선 레이어를 기준으로 육교, 교량, 입체교차부, 터널 레이어를 중첩하여 공간결합(Spatial Join)연산을 이용해 각 도로중심선 객체에 시설물 코드를 부여한 형태(이하, 수치지도 도로망)로 구체적인 속성정보 목록은 Table 1과 같다.

Table 1. Attribute list obtained by object matching.

Item	Description	Domain list code
ROAD_CATE	Class of road	0: freeway, 1: expressway, 2: national highway, 3: nation support local road, 4: local road, 5: metropolitan road, 6: city road, 7: gun-road, 8: myeon-li road, 9: narrow path
LINK_FACIL	Code of facility	0: general road, 1: bridge, 2: tunnel, 3: high-level road, 4: underground road, 5: cross-pass section, 6: crosswalk
WIDTH	Width of road	.
NLANE	The number of lane	.

한편 수치지도 도로망의 속성정보를 보행자용 도로망에 부여하기 위해서는 각 데이터 간 객체 매칭이 이루어져야 하

는데 본 연구에서는 각 보행자용 도로망 객체에 대해 부합도(correctness)가 가장 큰 수치지도 도로망을 채택하는 방식을 선택하였다. 부합도는 eq. (1)과 같이 나타낼 수 있는데, 참조 선형 자료(수치지도 도로망)에 도로의 폭만큼의 버퍼(buffer) 연산을 적용하여 여기에 포함되는 특정 보행자용 도로망의 길이($\overline{BC}$)를 구한 뒤 그 값을 해당 보행자용 도로망의 길이($\overline{ABCD}$)로 나누어 산출할 수 있다(Wiedemann *et al.*, 1998) (Fig. 2).

$$correctness = \frac{\text{Length of Matched PN}}{\text{Total Length of PN}} \quad (1)$$

(where PN: Pedestrian Network)

Fig. 2. Example of correctness.

2.2. 초기 임계값 설정

각 보행자용 도로망 객체의 초기 임계값을 설정하기 위해 보행공간을 크게 3가지로 나누었다. ① 보행자의 통행이 금지되어 있거나 통행발생이 드문 지역으로 고속도로(ROAD_CATE = 1 or 2)와 같은 자동차 전용도로나 교량(LINK_FACIL=1), 터널(LINK_FACIL=2), 고가도로(LINK_FACIL=3), 지하도로(LINK_FACIL=4)가 이에 해당한다. ② 일반도로 중 '이면도로'에 해당하는 지역으로 보행자와 차량의 통행이 혼합되어 발생한다. 도로명주소법 시행령 제6조에 의거하여 '로'(도로의 폭이 12미터 이상 40미터 미만 이거나 왕복 2차로 이상 8차로 미만인 도로)미만의 도로가 이에 해당한다. ③ 일반도로 중 '인도'에 해당하는 지역으로 보행자와 차량의 통행이 구분되어 발생하는 공간이다.

보행 공간 ①은 보행자의 통행을 제한하면서 짧은 시간에 많은 교통량을 처리한다는 특징이 있다. 따라서 대체로 도로의 폭이 넓고 도로의 형태도 단조롭다. 그리고 차량의 진·출입이 제한된 공간에서 교통의 원활한 흐름과 사고에 대비하기 위해 대체로 편도 2차로 이상의 차로를 가진다. 이에 보행 불가능 도로의 임계값을 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에 의거하여 도심지역 최소 도로 폭인 3m를 기준으로 왕복 4차로에 해당하는 12m로 정하였다.

보행 공간 ②인 이면도로 지역은 차량과 보행자의 통행이

혼재된 도로로 도로 폭과 보행공간의 폭이 일치한다. 따라서 이면도로에서의 임계값은 해당 선형의 도로 폭으로 정의하였다.

한편 보행 공간 ③인 인도는 도로의 양옆으로 생성된 보행 공간으로 수치지도 도로망으로부터 부여받은 도로 폭으로 정의하는 데에는 무리가 있다. 지자체 도로관리를 담당하는 전문가와의 인터뷰 결과 보도의 설치에 보행자의 통행과 주변 교통량, 토지이용, 특별지역(스쿨존, 실버존 등) 여부 등에 대한 조사를 통해 결정된다. 그러나 이러한 변수들은 결국 자동차의 교통량과 밀접한 관계가 있고 교통량은 곧 차로 수에 영향을 미쳐 결국 인도의 폭은 주변 도로의 차로 수와 비례하여 정의할 수 있다고 한다. 이에 서울특별시 2009년 보도현황(폭원별)자료를 참고하여 주변 도로의 차로가 2개인 경우 초기 임계값을 3m로 정하고 차로의 수가 1개씩 늘어남에 따라 0.5m씩 늘려 각 인도 도로객체의 임계값을 정하였다(eq. (2)).

$$TS_{initial} = 0.5 \times N_L + 2$$

(where $TS_{initial}$: initial threshold of sidewalk,
 N_L : the number of lanes) (2)

2.3. 선형 단순화

본 연구에서 사용되는 D-P 알고리즘은 선형 객체의 시작점과 끝점을 이은 직선에서 각 점과의 수직거리를 계산하여 가장 큰 수직거리와 임계값과의 비교를 통해 선형의 중간점을 생성하고 최종적으로 임계값보다 작은 수직거리를 가진 점을 제거하는 알고리즘(Douglas *et al.*, 1973)으로 Fig. 3과 같은 과정을 따른다.

Fig. 3. Douglas-Peucker Algorithm.

초기 임계값이 정해지면 D-P 알고리즘을 이용한 선형 단순화 과정에서 결절점의 감소율을 극대화하기 위해 비례상수(c)를 이용하여 임계값을 증가시킨다(Table 2). 한편 결절점 감소 성능과 선형 정확도는 서로 상충(trade off)관계에 있어 임계값이 커질수록 선형 정확도는 감소하게 된다. 따라서 도로의 선형을 유지하는 범위 내에서 효율적으로 결절점을 제거할 수

있는 임계값의 설정이 필요하다. 이에 비례상수(c)를 이용하여 임계값이 커짐에 따라 더 많은 결절점을 삭제하고, 도로명주소 기본도의 실폭도로 레이어를 이용하여 선형 단순화 결과가 도로 선형을 왜곡하지 않도록 하여 결절점 감소와 선형 정확도를 균형 있게 만족시키는 임계값을 탐색하는 프로세스를 제안하였다. 각 보행자용 도로망 객체에 대해 속성정보를 이용한 초기 임계값이 정의되면 해당 임계값으로 D-P 알고리즘을 수행하고 그 결과와 실폭도로 레이어를 중첩하여 공간 연산을 실시한다. 만약 단순화 결과가 실폭도로 레이어를 관통하지 않을 경우 실제 도로 선형에 대한 왜곡이 발생하지 않았다고 판단하고 비례상수(c)를 증가시켜 임계값이 커진 조건에서 위의 프로세스를 반복한다. 만약 특정 단계에서 선형 단순화가 실폭도로를 관통할 경우 이를 선형에 왜곡이 발생했다고 간주하여 직전 임계값에서의 선형 단순화 결과로 회귀시켜 최종 결과물로 채택한다.

Table 2. Design of threshold value of line simplification(Unit: m).

walk space	the number of lanes	c=1.00	c=1.25	c=1.50	c=1.75	c=2.00
local street (3×c×the number of lanes)	n	3.000 × n	3.750 × n	4.500 × n	5.250 × n	6.000 × n
	2	3.000	3.750	4.500	5.25	6.000
side walk c×(0.5×the number of lanes+2)	3	3.500	4.375	5.250	6.125	7.000
	4	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000
	5	4.500	5.625	6.750	7.875	9.000
	6	5.000	6.250	7.500	8.750	10.000
	7	5.500	6.875	8.250	9.625	11.000
	8	6.000	7.500	9.000	10.500	12.000

3. 실험 및 분석

3.1. 실험 데이터

실험에 이용된 보행자용 도로망은 Kim 등(2010)이 제안하는 방식을 이용하여 수치지도 2.0의 도로중심선 레이어를 비롯한 육교, 교량, 입체교차부, 터널 등 도로시설물 레이어를 사용하여 ESRI 社의 ArcMap 프로그램을 이용하여 구현하였다. 본 연구는 다양한 도로 위계와 도로 폭 정보를 가지는 선형에 대해 각각에 맞는 임계값을 적용하여 보다 효율적인 선형 단순화 프로세스를 제안하고자 하였다. 서울특별시 마

포구의 경우 상업지역과 주거지역이 골고루 분포하고 한강과 인접하여 다양한 도로의 선형과 교통 시설물을 포함하고 있어 다양한 경우의 실험이 가능하여 실험 지역으로 선정하였다. 그리고 Fig. 4와 같이 비슷한 개수의 링크 수와 도로 연장을 갖는 지역 3곳을 선정하여 D-P 알고리즘에서 단일 임계값을 갖는 경우와의 비교 실험을 하고자 하였다.

(a) Test area-1

(b) Test area-2

(c) Test area-3

Fig. 4. Test Areas(Mapo-gu, Seoul).

3.2. 실험결과

실험 결과 마포구 전체에 대해서는 약 17%의 선형 단순화 효과를 얻을 수 있었고 자동 임계값 조정을 통해 총 17개의 임계값이 최종적으로 적용되었음을 알 수 있었다. 구체적 알고리즘 평가를 위해 3개의 실험지역에 대해서 단일 임계값을 적용한 D-P 알고리즘(임계값=3m)을 적용한 결과와 비교하였다(Table 3). 그 결과 결절점 감소를 측면에서는 실험지역 1에서 4.7%, 실험지역 2에서 1.4%, 실험지역 3에서 -0.9% 가량 단일 임계값을 적용한 경우가 본 연구에서 제안한 방법보다 우수한 결과를 보였다. 반면 실폭도로와의 공간연산을 통해 각 도로망 객체가 실폭도로를 침범하는 길이를 계산한 결과 생성된 보행자용 도로망을 기준으로 본 연구의 결과는 선형을 왜곡하지 않고 표현한 반면 단일 임계값을 적용한 실험 결과의 경우 적게는 약 93%에서 많게는 443% 가량 높은 비율로 원본 데이터에 비해 실폭도로를 벗어나는 선형 객체가 많았다.

Table 3. Comparison of the result of each test area.

	The number of vertices(EA)			Length of the pedestrian road(m) (Percentage of intrusion to Road layer)		
	test area 1	test area 2	test area 3	test area 1	test area 2	test area 3
Not simplified	803	746	571	481.82	105.06	25.50
D-P (3m)	659	623	501	930.42	395.09	138.60
	(-17.9%)	(-16.5%)	(-12.3%)	(+93.1%)	(+276.1%)	(+443.5%)
Proposed method	697	633	496	481.85	105.06	25.51
	(-13.2%)	(-15.1%)	(-13.1%)	(+0.0%)	(+0.0%)	(+0.0%)

3.3. 알고리즘 평가

앞서 살펴본 바와 같이 본 연구에서 제안하는 D-P 알고리즘에 다양한 임계값을 설정하는 것은 단일 임계값을 적용하는 것과 비교하여 위치정확도를 유지하면서 결절점을 감소시킬 수 있다는 특징이 있다. 선형 정확도가 유지되지 않을 경우 이는 경로를 안내할 때 도로 선형이 건물이나 하천과 같은 지형지물을 관통하거나 방향전환에 대한 안내가 불가능하여 도로망으로서의 역할을 할 수 없다. 연구의 목적이 서로 상충 관계에 있는 결절점 감소와 선형 정확도 유지 사이에서 실제 계의 선형을 왜곡하지 않는 균형 있는 선형 단순화 기법을 개발하는 것이라는 관점에서 높은 수준의 선형 정확도를 보이면서 결절점을 제거해 나가는 본 연구의 일련의 과정은 기존

의 D-P 알고리즘에 비해 도로 네트워크의 선형 단순화에 더 적합하다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 본 연구의 방법론은 효율적인 결절점 감소를 통해 단일 임계값 기반의 D-P 알고리즘에 비해 개선된 시각적 표현이 가능하다. Fig. 5.(a)의 넓은 도로에서는 큰 임계값이 적용되어 불필요한 결절점을 제거하여 곧은 선형을 나타내고 Fig. 5.(b)의 좁은 도로에서는 도로의 형태를 왜곡시키지 않고 실세계를 반영하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5. Comparison of visual expressions of simplification using D-P algorithm with single threshold and proposed threshold.

4. 결론

본 연구는 래스터 데이터를 기반으로 만들어진 보행자용 도로망에 발생하는 불필요한 결절점을 제거하기 위해 선형 개체별로 차별화된 임계값을 선정함으로써 불필요한 방향전환과 DB용량 증대 문제점을 해결하여 보행자용 도로망의 활용성을 높이고자 하였다. 이를 위해 도로 네트워크 선형 단순화 시 속성정보와 실폭도로 정보를 이용, 각 선형 객체에 적합한 임계값을 자동 결정하여 D-P알고리즘에 적용하였고 마포구 일대를 대상으로 선형 단순화 비교 실험을 수행한 결과 다음

과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, D-P알고리즘의 임계값에 따라 결절점 감소 성능을 다소 떨어질 수 있으나 선형 정확도 측면에서는 원본 데이터의 정확도와 거의 동일한 결과를 보여 도로망으로서 활용성이 높다는 점을 확인하였다.

둘째, 선형 객체에 특화된 D-P알고리즘 임계값을 적용함으로써 보다 효율적으로 선형 단순화가 가능하다. 도로 객체마다 차별적인 임계값을 적용하여 넓은 도로에서는 보다 많은 결절점을 제거하여 결절점 감소 성능을 높이고 좁고 굽은 도로에서는 선형을 왜곡하지 않고 실세계를 반영하여 나타내는 것을 확인하였다.

셋째, 임계값의 결정이 특정 지역에 국한되지 않고 각 실험 지역의 도로 선형에 따라 적합한 임계값을 자동 결정하기 때문에 알고리즘 적용의 확장성이 높아 전국 단위 자동 수정이 용이할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 래스터를 기반으로 보행자용 도로망 제작 과정에서 생성되는 절점(node)의 제거에 대해서는 판단기준 설정에 한계가 있어 연구의 범위에서 제외하였다. 그러나, 대상 지역에서 절점이 차지하는 비율이 50% 이상이므로 보행자용 도로망의 특성을 고려시 필요치 않은 절점 제거에 대한 추가 연구를 통해 보행자용 도로망의 활용 활성화에서 중요한 조건 중의 하나인 데이터 용량에 대한 한계를 극복할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(11첨단도시G10)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, B. (2001), The study on simplification in digital map generalization, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 19, No. 2, pp. 199-208. (in Korean with English abstract)
- Douglas, D. H. and Peucker, T. K. (1973), Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, Vol. 10, No. 2, pp. 112-122.
- Elias, B. (2007), Pedestrian navigation-creating a tailored

- geodatabase for routing, *4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2007*, IEEE, 22 March, Hanover, Germany, pp. 41-47.
- 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, *The 7th International Symposium on LBS & TeleCartography*, South China Normal University, 20-22 September, Guanshou, China, unpaginated CD-ROM.
- Lang, T. (1969), Rules for robot draughtsmen, *Geographical Magazine*, Vol. 42, No. 1, pp. 50-51.
- Opheim, H. (1981), Smoothing a digitized curve by data reduction methods, *In Eurographics 1981 : Proceedings of the International Conference and Exhibition*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, Netherlands, pp. 127-135.
- Park, W., Park, S., and Yu, K. (2008), Comparative study on the building outline simplification algorithms for the conversion of construction drawings to GIS data, *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information System*, Vol. 16, No. 3, pp. 35-41. (in Korean with English abstract)
- Reumann, K. and Witkam, A. P. (1974), Optimizing curve segmentation in computer graphics, *Proceedings of International Computing Symposium*, American Elsevier, New York, USA, pp. 467-472.
- Shi, W. and Cheung, C. (2006), Performance evaluation of line simplification algorithms for vector generalization. *The Cartographic Journal*, Vol. 43, No. 1, pp. 27-44.
- Wiedemann, C., Heipke, C., Mayer, H., and Jamet, O. (1998), Empirical evaluation of automatically extracted road axes, *Proceedings of 9th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference*, The University of New South Wales, 24 July, Sydney, Australia, Paper No. 239, unpaginated CD-ROM.

(Received 2013. 06. 24, Revised 2013. 08. 19, Accepted 2013. 08. 25)