

수치지도의 도로 중심선을 이용한 도로의 평면선형 설계요소 자동추출에 관한 연구

A Study of The Extraction of Road Horizontal Alignment Design Elements in Urban Areas using the Digital Map

김민석*, 유기윤**, 김용일***, 곽태석****
Min-Seok Kim, Ki-Yun Yu, Yong-Il Kim, Tae-Seok Kwak

- * 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정, 02-880-7371, ohyeh@ksic.net
- ** 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수, 02-880-1355, kiyun@plaza.snu.ac.kr
- *** 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수, 02-880-7364, yik@plaza.snu.ac.kr
- **** 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정, 02-880-7371, imkwak@empal.com

요약

미래의 텔레매틱스(telematics)환경에서 차량항법과 관련된 주요 핵심 기술은 동적 경로 안내 이외에 차량 자체의 지능화를 통해 운전자에게 주행 중인 도로에서 급경사, 급커브 구간에 대한 정보를 사전에 경고함으로써 사고를 방지하는 운전자 보조 및 경고 시스템(driver assistance and warning system) 구현으로 전망되고 있다. 이와 같은 기술이 구현되기 위해서는 현재 차량항법용 수치도로지도에서 도로의 단순 위치정보만으로는 불가능하며 도로의 곡선구간에서 평면 곡선반경과 같은 도로의 선형설계요소에 대한 정보가 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 현재 전국적으로 구축되어있는 1/1000 수치지도의 도로중심선을 이용하여 실제 도로의 평면 선형설계요소를 자동으로 추출하기 위한 알고리즘을 개발하였고 이를 GUI 환경의 프로그램으로 구현함으로써 기존 도로의 정확한 평면 선형정보를 경제적이면서 효율적으로 획득할 수 있게 되었다.

1. 서론

도로의 선형설계요소란 도로의 계획 및 설계 시 실제 도로 중심 궤적에 대한 위치를 결정함과 동시에 주행의 쾌적성과 안전성을 보장하기 위한 고려요소로써 이는 도로 건설 당시의 준공 설계도면으로부터 획득 가능하나 우리나라 도시지역의 경우 그동안 과학적이고 체계적인 도로 시설물에 대한 관리가 수행되지 못하여 기존도로의 설계도면으로부터 선형설계정보를 획득하기에

는 현실적으로 많은 제한사항이 있다. 따라서 광범위한 도시지역에 대한 도로의 선형설계 정보를 취득하기 위해서는 기존 도로의 중심선을 따라 정확한 위치정보를 획득하고 이들 관측데이터로부터 도로의 평면 선형설계요소를 추정하는 방법이 요구된다.

근래 들어 도로 중심선의 위치정보 추출과 관련해서 시거측량과 같이 많은 시간과 경비가 소요되는 전통적인 도로 노선측량을 대신하여 효율적이고 자동화된 방법으

로 도로의 위치정보를 획득하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있는데 대표적으로 Habib (2000)는 VISAT(Video Inertial SAte llite)라는 Mobile Mapping System을 통해 도로의 연속영상을 취득하고, 연속영상의 표정 및 조정을 자동화하여 도로의 경계선을 자동으로 추출하는 연구를 수행하였으며, 이종출(2001,2003)은 동적 GPS 측량과 수치영상 해석을 통해 도로중심선의 위치정보를 추출하는 연구를 수행하였다. 김준철(2003)등은 Mobile Mapping System에서 Laser scanning 데이터를 이용하여 도로면의 정밀한 3차원 수치표고모델(DEM)을 제작하였다.

도로 중심선의 위치정보로부터 도로의 선형 설계요소 추정과 관련된 기존의 연구로는 이종출(2000)이 최소제곱법에 의한 평면선형 설계요소를 추출하는 알고리즘을 연구하였다.

본 연구에서는 현재 전국 주요도시지역에 대하여 높은 위치 정확도로 구축되어 있는 1/1,000 수치지도 자료를 이용하여 도로중심선의 위치데이터를 획득하고 이로부터 실제 도로의 정확한 평면 선형설계요소를 자동으로 추정하는 알고리즘을 개발함으로써 광범위한 도시지역 도로의 대한 정확한 선형설계요소 정보를 경제적이면서도 효율적으로 획득 하고자 하였다.

2. 도로의 평면 선형설계요소

도로의 선형은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 연속된 형상으로서 평면적으로 본 도로 중심선의 형상을 평면선형이라 한다. 평면선형의 기하구조는 직선, 원곡선, 완화곡선으로 이루어져있으며 이와 같은 도로 선형의 기하구조는 차량의 원활한 소통과 안전주행을 최대한 보장할 수 있도록 설치되어야 하며 이는 곡선반경의 크기나 곡선길 이와 같은 설계요소들에 의해 결

정되게 된다.

<그림 1>에서와 같이 도로의 평면선형에서 도로 중심선 궤적은 곡선구간을 사이로 양쪽의 직선구간을 연장하여 만나는 교점(IP : Intersect Point) 좌표와 곡선구간에서 원곡선반경의 크기로 결정되며 이 곡선반경의 크기는 도로의 설계속도와 관계해서 차량의 주행 안전과 쾌적성에 가장 큰 영향을 미치는 기본적인 설계요소이다.

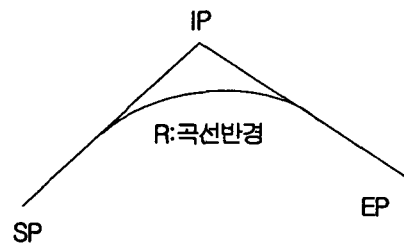


그림 1. 평면선형 구성

3. 도로의 평면 선형설계요소 추출 알고리즘

평면선형 설계요소인 IP 좌표와 원곡선 구간에서의 곡선반경 값을 추출하기 위해서는 도로 중심선의 평면 위치정보를 획득하고 그 관측데이터들을 직선구간과 곡선구간으로 분리하여 각 구간에서의 관측데이터들과 거리가 최소가 되는 직선방정식과 원곡선 방정식을 최소제곱법으로 추정하는 과정이 필요하다.

본 연구에서는 1/1,000 수치지도를 이용하여 도로의 평면 위치정보를 획득하였고, 도로 중심선의 관측 데이터들을 실제 도로의 기하구조와 일치되게, 즉 직선과 곡선구간, 연속 곡선구간에서 곡선과 곡선구간으로 관측데이터들의 구간범위를 자동으로 분리 할 수 있는 알고리즘을 개발함으로써 평면선형 설계요소를 추출하는 전 과정을 자동화하였다.

이에 대한 전체 연구 흐름도는 <그림 2>과 같다

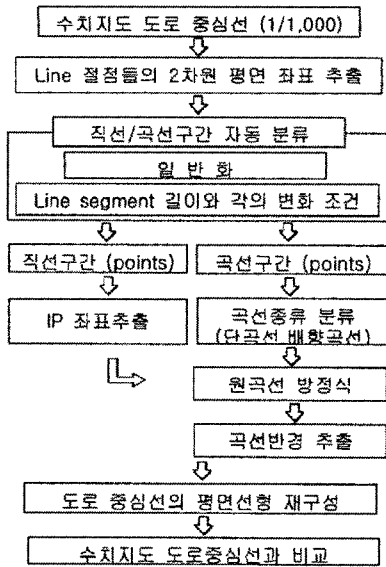


그림 2. 연구 흐름도

3.1 수치지도 도로 중심선의 특징

1/1,000 수치지도상에 구축되어 있는 도로 중심선의 특징은 다음과 같다.

- 1) 폭 3m 이상의 모든 도로의 중심선에 대한 평면 위치정보를 제공하고,
- 2) 도로 중심선은 직선 세그먼트들로 구성되어 있으며,
- 3) 관측데이터들의 오차로 인해 수치지도의 도로중심선을 구성하고 있는 각 세그먼트들은 실제 도로 선형을 기준으로 구불구불하게 위치하는 경우가 발생한다. (wiggling 현상)

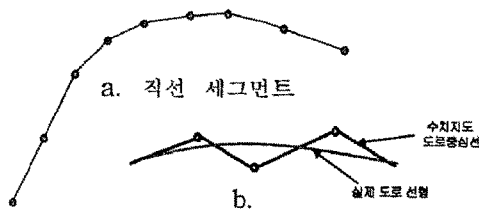


그림 3. 수치지도 도로중심선의 특징

3.2 직선과 곡선구간 자동분리 알고리즘 수치지도의 도로 중심선을 구성하고 있

는 각 직선 세그먼트들이 오차 없이 실제 도로 선형을 따라 정확하게 연결되어 있다면 곡선구간에서 전후 세그먼트의 교각이 일정하게 변화하는 특성과 세그먼트의 길이가 곡선구간에서 직선구간보다 짧은 특성을 이용하여 직선구간과 곡선 구간을 자동으로 분리할 수 있을 것이다.

그러나 실제 수치지도의 도로중심선은 각 세그먼트들의 위치오차로 인해 <그림 3-b>의 경우와 같이 전후 세그먼트의 교각으로 직선과 곡선구간의 분리가 불가능하며 직선과 곡선구간의 세그먼트 길이도 구간분리가 가능할 만큼의 큰 특성을 나타내지 못한다.

따라서 본 연구에서는 일반화의 과정을 통하여 이러한 문제점을 해결하고자 하였다.

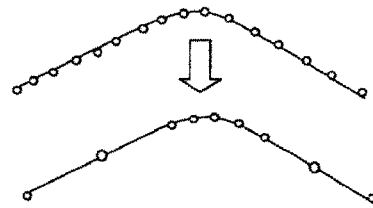


그림 4. 일반화 효과

Douglas-Peucker 일반화 알고리즘을 적용하여 도로의 중심선을 단순화하면 <그림 4>에서처럼 직선구간에서는 같은 직선상에 있는 절점들이 제거되면서 세그먼트의 길이는 증가하고 곡선구간에서는 세그먼트의 전후 교각 크기는 증가하게 될 것이다.

일반화 과정을 거쳐 단순화된 도로 중심선을 세그먼트의 길이와 세그먼트 전후의 교각 크기를 이용하여 직선과 곡선으로 분리하는 알고리즘의 순서도는 <그림 5>와 같고, 임계값 $L1$, $L2$, θ 은 도로의 종류와 특성에 따라 그 값들이 틀리며, 이는 최종적으로 추출된 도로선형의 정확도 결정적인 영향을 미치는 요소이다. 따라서 본 알고리즘에서는 최종적으로 추출된 평면선

형 설계요소로부터 재구성된 도로 중심선과 수치지도의 도로 중심선을 비교하여 정확도 평가를 하고 최적의 정확도가 확보될 때까지 각 임계값들을 반복 조정하였다.

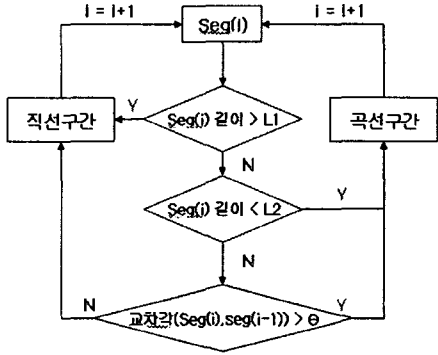


그림 5. 직선 / 곡선 구간 분리 알고리즘 순서도

3.3 곡선과 곡선구간 자동분리 알고리즘

도로의 곡선구간에서는 <그림 6>과 같이 단곡선과 연속곡선이 존재하는데 연속곡선 구간의 경우 관측 데이터들을 해당 곡선구간으로 자동으로 분리 할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

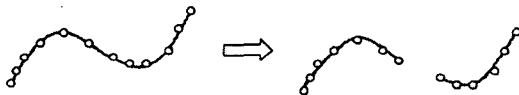


그림 6. 연속곡선 구간에서 관측데이터 분리

그러기 위해서는 먼저 곡선구간에서 곡선의 종류를 자동으로 판별해야 한다. 이는 <그림 7>와 같이 곡선의 종류는 곡선구간의 시점과 종점을 연결한 선과 곡선구간의 선형과 교차 여부로 단곡선인지 연속곡선 구간인지에 대한 판단을 할 수 있다.

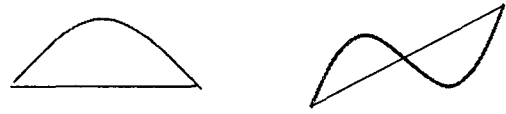


그림 7. 곡선구간에서 곡선의 종류와 판별방법

연속곡선 구간에서 곡선과 곡선으로 관측 데이터를 자동으로 분류하기 위해서는 곡선과 곡선이 변하는 변곡점의 위치를 탐색함으로써 구간분리가 가능하다. 변곡점의 위치를 구하는 방법은 변곡점 (P_i)과 변곡점 전후의 점 (P_{i+1}, P_{i-1}), 그리고 곡선의 시종점 (P_0, P_{last})을 이용하여 두개의 원곡선 방정식을 구성하고 각 구간에서 원곡선과 관측 데이터들과의 거리를 계산, 거리의 합이 최소가 되는 점을 변곡점으로 추정하였다.(<그림 8> 참조)

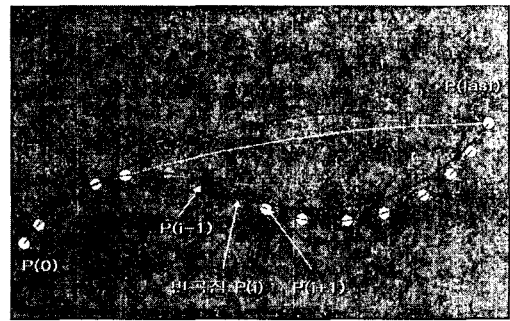


그림 8. 연속곡선구간에서 변곡점 $P(i)$ 탐색

3.4 IP(Intersect Point) 좌표 추출

<그림 9>과 같이 곡선구간이 단곡선인 경우 곡선구간 양쪽의 직선을 서로 연장하여 교점 좌표를 구하고 연속곡선 구간인 경우 변곡점 전후의 세그먼트와 곡선 양쪽의 직선과 만나는 교점을 추출하였다.

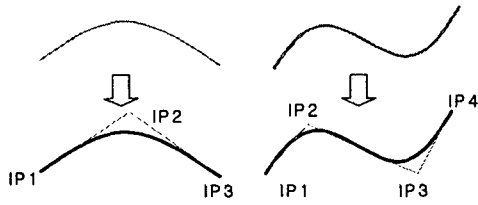


그림 9. IP 좌표 추출 방법

3.5 곡선반경 추정

최종적으로 곡선반경을 추출하는 방법은 앞선 과정에서 추출한 세 점의 IP 좌표로부터 곡선구간 양쪽의 직선의 방정식을 구하고 이 직선에 접하는 원곡선 방정식을 곡선반경 R 에 관한 함수로 유도, 곡선구간 내에 있는 관측 데이터들과 거리가 최소가 되는 곡선반경 R 을 최소제곱법으로 추정하였다.

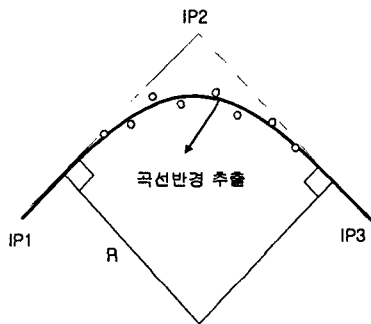


그림 10. 곡선반경 추출

4. 적용 및 평가

4.1 대상지역 및 사용데이터

본 연구의 대상지역은 지형의 기복변위가 비교적 크며 고가도로와 지하차도 구간이 혼재되어 복잡한 도심지역의 도로환경 특성을 잘 반영하고 있는 서울시 종로구 회현동 일대로 가로 $1.8\text{km} \times 1.1\text{km}$ 지역을 선정하였고, 이 지역을 포함하는 1/1000 축척의 수치지도를 사용하였다.

4.2 도로의 평면선형 설계요소 추출

본 연구에서 제시한 알고리즘을 Micro-

soft사의 Visual Basic6.0과 ESRI사의 ArcObject Library를 이용하여 도로의 선형설계요소를 자동으로 추출할 수 있는 GUI 환경의 프로그램을 개발하였으며, 대상지역의 총 214개의 도로 개체에 대한 평면 선형설계요소를 자동으로 추출하였다.

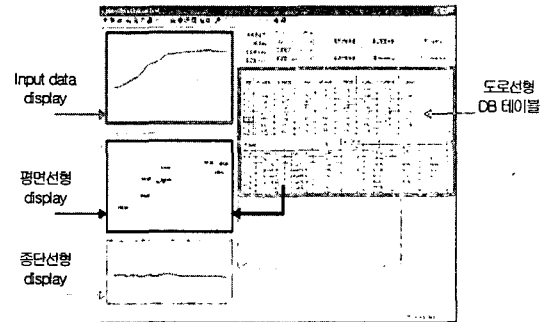


그림 11. 프로그램 인터페이스

4.3 정확도 평가

평면선형 설계요소에 대한 정확도 평가 방법은 평면선형 설계요소부터 재구성된 도로중심선과 수치지도의 도로중심선과의 평면위치오차를 측정함으로써 정확도 평가를 하였다.

여기서 평면위치오차는 <그림 12>와 같이 수치지도의 도로중심선을 구성하고 있는 절점(vertex)에서부터 평면선형 설계요소부터 재구성된 도로중심선과의 거리를 측정하였다.

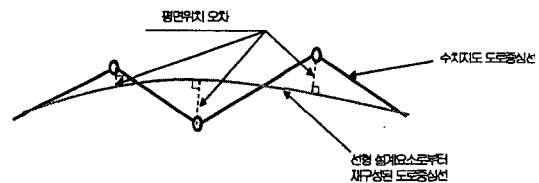


그림 12. 평면위치 오차 측정 방법

본 연구에서 추출한 총 214개의 도로 개체의 평면선형 설계요소에 대한 정확도를

평가한 결과를 정리하면 <표 2>와 같다.

표 2. 평면선형 설계요소 추출 정확도 평가

구 분	개 체 수	RMSE	최대 오차	선형설계 요소 추출 오류		
				유형1	유형2	
전 체	214	0.177 (0.095)	19.8 (3.43)	6	4	
RMSE 조건	2.0 이상	3	2.92	19.8	2	1
	1.0 이상	6	1.6	6.06	3	3
	0.5 이상	8	0.61	3.4		
	0.5 미만	197	0.074	5.81 (2.94)	1	
도로 등급	4차선이상 (12m 이상)	28	0.13	3.0		
	2차선이상 (12 ~ 6m)	83	0.2	19.8 (3.43)	2	2
	2차선미만 (6m 이하)	103	0.16	5.81 (3.03)	4	2

() : 선형 설계요소 추출 오류 개체를 제외한 정확도

RMSE 값의 범위에 따라 도로 개체를 분류하고 선형설계요소 추출 오류 여부를 분석해 본 결과 RMSE 값이 1.0 이상인 도로 개체의 경우 선형설계요소 추출이 잘못되었음을 확인할 수 있었다.

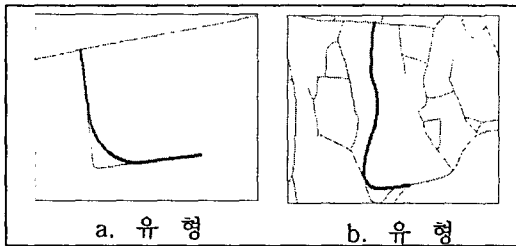


그림 13. 평면선형 설계요소 추출 오류 유형

이에 대한 원인을 분석한 결과, 도로의 연장이 짧고 4차선 이하의 이면도로에서 도로의 진행방향이 90°로 변화하는 구간에 곡선구간의 변위가 잘못 분리됨으로써 발생하는 오류(<그림 13-a>)와 도로의 평면선형이 일반적인 도로 기하구조의 기준

과 부합되지 않는 경우로 동일방향의 곡선이 연속적으로 나타나거나 곡선구간의 기하구조가 원곡선이 아닌 경우에 발생하는 오류(<그림 13-b>)가 발생함을 알 수 있었다.

위 두 유형적 특성이 나타나는 도로 개체를 제외한 도로에 대해서는 도로의 평면 선형설계요소를 성공적으로 추출하였으며, 특히 도로 설계 기준이 비교적 잘 적용되어 있는 왕복 4차선 이상의 도로에 대해서는 정확한 평면 선형설계요소를 추출할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 1/1,000 수치지도의 도로 중심선을 이용하여 도로의 평면 선형설계요소 추출하는 알고리즘을 개발하고자 하였으며, 이에 대한 정확도 평가 결과, 대상지역 총 214개의 도로 개체 중 204개의 개체에 대하여 정확한 평면선형 설계요소를 추출에 성공하였고, 선형 설계요소 추출에 오류가 발생한 개체를 제외한 나머지 개체의 RMSE 값은 0.095m였다. 이는 도로 설계 기준이 비교적 잘 적용되지 않는 복잡한 도로환경을 지닌 도심지역에서 본 연구에서 개발한 알고리즘이 충분히 적용 가능함을 증명한다. 그리고 선형설계요소 추출에 오류가 발생한 도로 구간에 대해서는 정확한 오류 유형을 파악하여 추후 알고리즘 개선을 위한 방향성을 제시하였다.

참고문헌

- 1) 김준철, 2003, "레이저 스캐닝 데이터를 이용한 정밀 도로 수치표고모델 제작에 관한 연구," 한국측량학회, 추계학술대회 논문집, pp.245~250
- 2) 이종출, 2000, "최소제곱법에 의한 평면선형 설계제원 산정," 대한토목학회, 토목학회 논문집, 4권, pp.139-142

- 3) 이종출, 2001, “동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석”, 한국측량 학회지, 제19권 제1호, pp.39-45
- 4) 이종출, 2003, “수치영상을 이용한 도로평면선형 추출”, 한국측량학회, 추계 학술대회 논문집, pp.123-28
- 5) Habib,A., 2000, “Matching road edges in stereo-image sequences using data association techniques,” *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol.66(1), pp.91-98