

GIS 프로그래밍을 이용한 도로중심선 평면선형 평가

Evaluation on the Horizontal Alignment of Road Centerline using GIS Programming

김 동 기 Kim, Dong-Ki
최 세 휴 Choi, Se-Hyu

정회원 · 경북대학교 공간정보학과 석사과정 (E-mail : dkkim@knu.ac.kr)
경북대학교 건축토목공학부 부교수 · 교신저자 (E-mail : shchoi@knu.ac.kr)

ABSTRACT

The horizontal alignment of road is deeply related with the stability of the road and traffic capacity. It is necessary to analyze horizontal alignment of road accurately for efficient maintenance of the road and relevance judgment about the standard. Recently the study on horizontal alignment of road using Lidar data and GPS was concluded, but they were many problem analyzing horizontal alignment radius of curvature in wide area. In this study, the tool which the radius of curvature can evaluate the suitability about "Rules about the Road Structure & Facilities Standards" by using center lines of the road of the digital map tries to implement on GIS. The interface was designed and implemented which can automatically estimate the Road Centerline Horizontal Alignment by using ESRI® ArcObject™.

KEYWORDS

road, horizontal alignment, GIS, digital map

요지

도로의 평면 선형은 도로의 안정성과 교통 용량과 관계가 깊다. 도로의 효율적인 유지 관리와 기준에 대한 적합성 평가를 위해서는 도로의 평면 선형을 정확하게 분석하는 방법이 필요하다. 최근 Lidar자료나 GPS를 이용한 도로의 평면 선형 연구가 진행되고 있으나 넓은 지역에서의 평면 선형 곡선 반경을 분석하기에는 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 수치 지형도의 도로중심선을 이용하여 곡선 반경이 도로 구조·시설기준에 적합한지 여부를 평가하는 도구를 GIS 상에서 구현하고자 한다. 또한 ESRI® ArcObject™와 프로그래밍 언어인 비주얼 베이직(Visual Basic)을 사용해 도로의 평면선형을 자동적으로 산정할 수 있는 인터페이스를 설계·구현하였다.

핵심용어

도로, 평면선형, GIS, 수치지형도

1. 서론

최근 도로 이용자들의 도로의 편리성과 안정성 향상에 대한 요구가 높아짐에 따라 보다 체계적인 도로의 유지 및 관리에 대한 필요성이 커졌다. 현재 도로 준공당시의 설계도면은 획득 가능하나 도로 시설물에 대한 관리가 제대로 수행되지 못하여 기존 도로의 평면 선형 설

계정보를 분석하기에는 많은 제약 사항이 있다. 따라서 광범위한 지역에 대한 도로의 선형 설계 정보를 취득하기 위해서는 기존 도로의 중심선을 따라 비교적 정확한 위치정보를 획득하고 이들 관측데이터로부터 도로의 평면 선형 설계요소를 추정하는 방법이 요구된다.

최근 도로 중심선의 위치정보 추출과 관련하여 다양

한 연구가 진행되고 있다. 이종출(2006)은 3차원 레이저 스캐너를 이용해 추출한 점군 데이터를 분석하여 도로평면선형요소추출을 연구하였다. 또한 이종출(2002)은 GPS를 이용하여 도로 중심선의 위치정보를 분석하는 연구를 진행하였다. 하지만 도로의 연구 분석 범위가 한정적이고 시간과 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

김민석(2004)은 이러한 단점을 해결하기 위해 수치지형도를 사용하여 도로 중심선을 추출하였고 이를 바탕으로 도로의 평면 선형 설계요소를 추출하는 연구를 진행하였다. 하지만 평면 선형을 분석한 결과가 도로 구조·시설 기준에 관한 규정에 적합한 도로인지 비교·분석해 보기에는 불편함이 있었다.

따라서 본 연구에서는 비교적 높은 위치정확도를 가진 1:1,000 수치지형도 자료를 이용하여 도로의 중심선을 추출하였다. 또한 프로그래밍 기법으로 평면 선형의 설계 요소인 곡선 반경을 분석하여 도로 구조·시설 기준에 관한 규정에 적합한지를 종합적으로 평가할 수 있는 도구를 개발하였다.

2. 본론

2.1. 평면선형

도로의 선형이란 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 연속된 형상으로서, 평면적으로 본 도로 중심선의 형상을 평면선형이라 한다. 도로의 평면선형은 직선, 원곡선, 완화곡선으로 구성된다. 그림 1의 도로 중심선 궤적은 곡선구간을 사이로 양쪽의 직선구간을 연장하여 만나는 교점 (IP : Intersect Point) 좌표와 곡선구간에서 원곡선반경의 크기로 결정되며 이 곡선 반경의 크기는 도로의 설계속도와 관계해서 차량의 주행 안전과 쾌적성에 가장 큰 영향을 미치는 기본적인 설계요소이다.

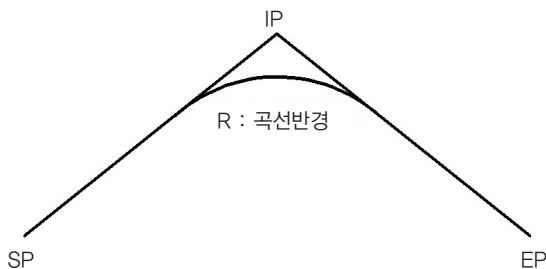


그림 1. 평면선형의 구성

2.1.1. 평면곡선 반경

자동차가 평면곡선부를 안전하고 원활하게 주행할 수

있도록 하기 위해서는 곡선부의 최소곡선반경을 규정해야 한다. 자동차가 평면곡선 도로를 주행하는 경우 작용하는 힘은 그림 2와 같다.

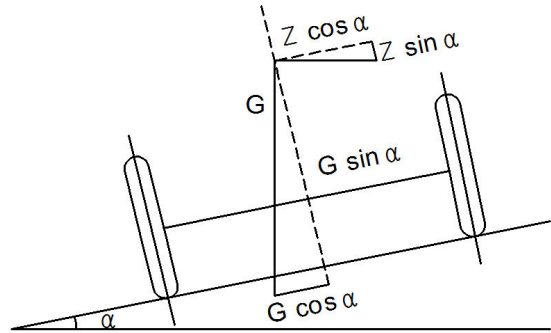


그림 2. 곡선부주행시의 미끄럼 한계

최소곡선반경은 도로의 곡선구간을 주행하는 자동차에 가해지는 원심력에 의한 횡방향력이 노면과 타이어의 마찰력의 한계를 넘지 않아야 한다. 즉, 횡방향 미끄러짐을 일으키지 않도록 합과 아울러 쾌적한 주행이 되도록 설계해야 한다. 이와 같은 조건에서 최소곡선반경은 식 (1)과 같다.

$$R = \frac{V^2}{127(f+i)} \quad (1)$$

여기서, R : 평면곡선반경(m)

V : 자동차의 속도(m/sec)

g : 중력가속도(R 9.18m/sec²)

Z : 원심력(kg)

G : 자동차의 총중량(kg)

f : 방향 미끄럼 마찰계수

i : 편경사(= $\tan \alpha$)

그러므로 최소 평면곡선반경의 결정에는 설계속도 V , 횡방향 미끄럼 마찰계수 f , 노면의 편경사 i 가 중요한 요소이다.

2.1.2. 최대편경사

곡선도로를 주행하는 자동차는 원심력이 작용하여 차내의 사람을 횡방향으로 밀어내 인체에 불쾌감을 준다. 이러한 원심력을 감소시키기 위해서는 편경사를 크게 설정하여야 한다. 그러나 설계속도보다 낮은 속도로 곡선도로를 지나가는 자동차의 경우 오히려 큰 편경사로 인하여 곡선 내측으로 힘을 받게 된다. 갑작스러운 변화

에 운전자의 핸들조작이 부자연스러워지고 제동 시 횡방향으로 미끄러지게 된다. 이를 방지하기 위해 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제21조에 의해 규정된 최대 편경사는 표 1과 같다.

표 1. 도로의 구분에 따른 곡선부 최대편경사

도로구분		최대 편경사(%)
지방지역	적설한랭 지역	6
	기타지역	8
도시지역		6
연결로		8

2.1.3. 최소곡선반경 기준

최소곡선반경 기준은 식(1)에 편경사의 최대값 및 설계속도에 해당하는 횡방향 미끄럼 마찰계수를 각각 대입하여 구한 값을 근거로 그 규정치를 결정하게 된다. 우리나라 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 제19조에 의해 규정된 최소곡선반경 값은 표 2와 같다.

그러나 최소곡선반경 규정 값이 최소한의 안정성과 쾌적성을 보장할 뿐, 충분한 안전율이 있는 여유 있는 값이 되지 않는 못한다. 따라서 민 원(2011)은 최소곡선반경 규정치의 1.5배를 설계에 적용하는 것이 바람직하다고 제시하였다.

표 2. 설계속도에 따른 최소곡선반경 규정 값

설계속도(km/h)	최소곡선반경(m)		
	적용 최대 편경사		
	6%	7%	8%
120	710	670	630
110	600	560	530
100	460	440	420
90	380	360	340
80	280	265	250
70	200	190	180
60	140	135	130
50	90	85	80
40	60	55	50
30	30	30	30
20	15	15	15

2.2. 평면곡선반경 산정

본 연구에서는 1:1000 수치지형도의 도로 중심선 위치 정보를 획득하여 평면선형의 설계 요소인 곡선반경을 추출하였다. 먼저 수치지형도의 도로 중심선을 직선구간과

곡선구간으로 분리하는 알고리즘에 적용한 후, 곡선구간의 절점들을 이용하여 곡선반경에 대한 식을 산정하였다. 도로의 곡선반경을 평가하는 절차는 그림 3과 같다.

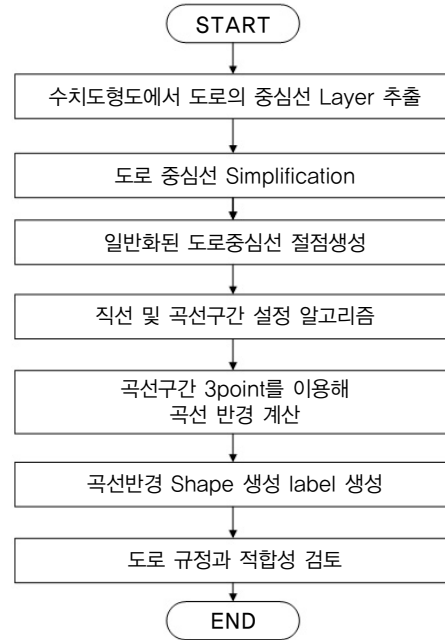


그림 3. 평면 곡선반경 평가 흐름도

2.2.1. 도로중심선 Simplification

수치지형도에서 추출하는 도로중심선은 직선 Segment로 구성되어 있다. 그러므로 각각의 직선 Segment들의 길이와 이웃하는 직선 Segment와의 교각을 비교해서 도로의 평면선형을 분석할 수 있다. 그러나 수치지형도 관측데이터들의 오차로 인해 실제 도로 선형과 비교했을 때 불규칙적인 위치 데이터를 포함하는 왜곡 현상이 발생한다. 이는 도로중심선의 직선 Segment들의 길이와 이웃하는 교각을 통해서 직선구간과 곡선구간으로 분리하는 알고리즘을 적용하는 데 문제점이 있기 때문이다. 따라서 추출된 도로중심선의 단순화과정을 통해서 직선 Segment들을 보정하였다.

ESRI사의 ArcToolbox에서 그림 4와 같이 Simplify



그림 4. 도로중심선 단순화 과정 진행 전과 후

Line 도구를 사용하여 도로중심선을 단순화하였다. 도로중심선 단순화에 사용될 알고리즘은 김민석(2004)이 제안한 Douglas-Peucker 알고리즘을 선택하였고 허용 오차는 1m로 설정하였다.

2.2.2. 직선 및 곡선구간 설정

그림 4에서 단순화 작업을 거친 도로중심선의 절점을 사용하여 도로중심선의 직선구간과 곡선구간을 분리하는 알고리즘은 그림 5와 같다. 직선구간에서는 Segment의 길이가 길고 이웃하는 Segment들과의 교각이 작으며 곡선구간에서는 Segment의 길이가 짧고 이웃하는 교각이 크다는 특징을 사용하여 임계값 $L1$, $L2$, θ 를 결정하였다. 그림 5의 알고리즘의 결과로 곡선구간 그룹 Index를 부여받은 절점과 실제 곡선구간의 절점이 정확히 일치할 때까지 반복하며, 임계값이 결정되면 반복이 종료된다.

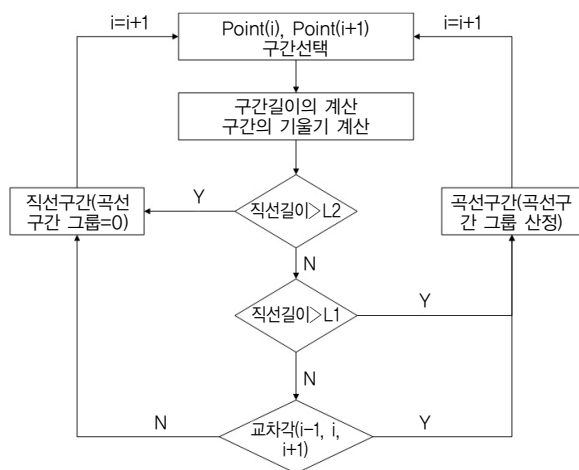


그림 5. 직선구간과 곡선구간의 설정 알고리즘

도로중심선에서 추출한 절점을 그림 5의 알고리즘에 적용하면 표 3과 같이 속성 테이블이 생성되며, 두 절점 (i, i+1) 사이의 거리와 교차각을 비교하여 직선구간과 곡선구간을 구분한다. 동일한 곡선구간에 해당하는 절점들은 동일한 그룹번호로 산정되며 표 3의 속성 테이블에서 곡선그룹으로 선정된 절점은 그림 6과 같이 나타난다.

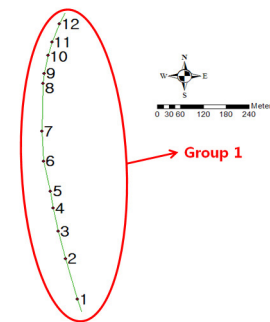
2.2.3. 평면곡선반경 산정 알고리즘

본 연구에서는 1:1,000 수치지형도에서 추출한 도로중심선을 사용하여 직선구간과 곡선구간을 분리하였다. 그 결과 표 3과 같이 생성된 속성 데이터에 프로그래밍 기법을 적용하여 도로중심선에서 곡선구간만 선택해 곡

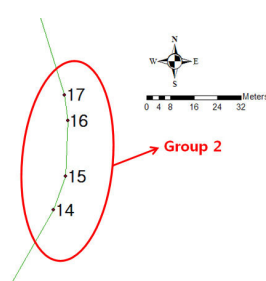
선반경을 산정하는 알고리즘을 개발하였다.

표 3. 동대구로 도로 중심선 알고리즘 적용 결과

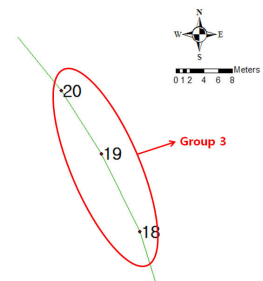
Feature ID	i, i+1거리 (m)	i, i+1 교차각 (도)	곡선구간 그룹 Index
0	177.7156	106.1609	0
1	125.52	104.6705	1
2	84.47469	103.0725	1
3	70.48711	100.8924	1
4	50.94437	97.28704	1
5	91.81253	101.4078	1
6	89.57991	92.77191	1
7	143.344	88.91001	1
8	30.09821	84.46746	1
9	55.60596	79.83587	1
10	40.59798	74.96877	1
11	57.71933	69.58808	1
12	159.7937	66.38093	1
13	146.6056	60.14889	0
14	12.16271	69.92976	2
15	18.93707	87.86283	2
16	8.88118	96.99386	2
17	209.3186	107.192	2
18	12.47439	116.1088	3
19	10.68059	122.5421	3
20	329.2517	129.0687	3
21	0	0	0



(a) 곡선구간 그룹 Index 1



(b) 곡선구간 그룹 Index 2



(c) 곡선구간 그룹 Index 3

그림 6. 동대구로 도로중심선의 곡선그룹에 포함되는 절점

속성 테이블에서 곡선구간을 선택하고 평면곡선반경을 산정하는 알고리즘은 그림 7과 같다. 속성 테이블에 저장되어 있는 곡선그룹의 선택은 ArcObject Library의 QueryFilter Object로 이루어지며, QueryFilter의 매개변수는 Point Feature를 선택하는 조건을 받게 된다. 선택조건은 곡선그룹 Index를 순서대로 String Type 변수로 생성하며 QueryFilter Object는 조건에 적합한 Point Feature를 반환하게 된다. 도로의 중심선이 교차로를 지나거나 지형조건 상 도로가 정상적인 곡선반경을 만족시킬 수 없는 경우에는 반환되는 Point Feature가 3개 미만으로 측정되기 때문에, 반환되는 Point Feature가 3개 이상이 되도록 알고리즘을 설계하였다. 동일한 곡선구간 내에 반환되어진 Point Feature 3개를 이용하면 해당 곡선구간의 곡선반경을 도출할 수 있으며, 곡선구간의 시작점과 중간점 그리고 끝점을 각각 Start Point, Mid Point, End Point에 저장되도록 하였다.

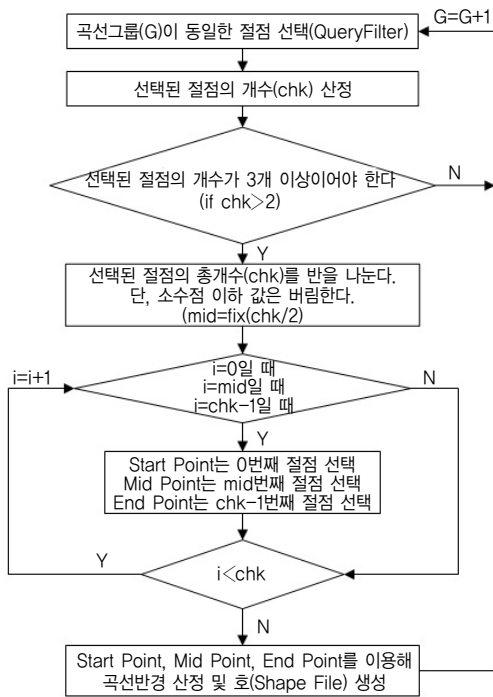


그림 7. 평면곡선반경을 산정하기 위한 알고리즘

2.2.4. 세 점을 이용한 곡선반경 산정

그림 8과 같이 세 점을 지나는 원의 중심점을 구하는 식을 유도하기 위해 P1을 Start Point, P2를 Mid Point, P3를 End Point로 설정하였다.

P1과 P2를 지나는 직선 a와 P2와 P3를 지나는 직선 b의 직선의 방정식은 식 (2)와 같다.

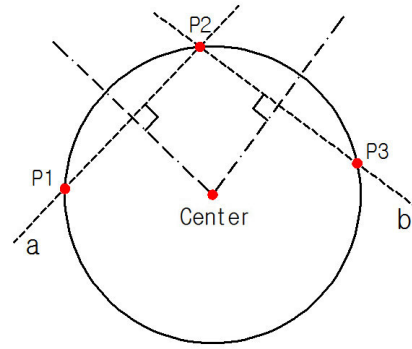


그림 8. 세 점을 지나는 원과 중심점

$$\begin{aligned} y_a &= m_a(x-x_1)+y_1 \\ y_b &= m_b(x-x_2)+y_2 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 직선 a, 직선 b의 기울기에 대한 식으로 치환하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} m_a &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \\ m_b &= \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)의 기울기로 P1과 P2를 잇는 선분의 수직이등분선의 직선의 방정식과 P2와 P3를 잇는 선분의 수직이등분선의 직선의 방정식을 구하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} y'_a &= -\frac{1}{m_a}\left(x - \frac{x_1 + x_2}{2}\right) + \frac{y_1 + y_2}{2} \\ y'_b &= -\frac{1}{m_b}\left(x - \frac{x_2 + x_3}{2}\right) + \frac{y_2 + y_3}{2} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)의 두 직선의 방정식의 교점이 세 점을 지나는 원의 중심 좌표이므로 x에 관한 식으로 나타내면 식 (5)와 같다.

$$x = \frac{m_a m_b (y_1 - y_3) + m_b (x_1 - x_3) - m_a (x_2 + x_3)}{2(m_b - m_a)} \quad (5)$$

식 (5)의 x를 식 (4)에 대입하면 y값을 구할 수 있으며 주어진 원의 중심 좌표값(x, y)으로 원의 반지름의 길이를 계산할 수 있다.

2.3. 적용 및 평가

2.3.1. 연구지역 선정 및 사용 데이터

본 연구의 적용 대상지는 대구광역시 동대구역 주변 도로 지역으로 선정하였다. 이 지역은 출퇴근시간에 잦은 병목현상이 발생하고 있으며, 동대구역 고가교 개제 및 확장계획을 추진하고 있는 구간이다. 따라서 본 연구에서 제시한 방법을 적용하여 도로의 선형을 분석하고 도로기준에 적합한지를 판정해 보았다.

본 연구는 1:1,000 수치지형도에서 남북방향 도로인 동대구로 1.926km, 동서방향 도로인 국채보상로 2.216km의 도로 중심선을 추출하였다. 또한 최종결과 계산 값을 포함하고 있는 도로구간을 Google Earth 위성사진과 중첩하여 시각화하였다.

2.3.2. 평면선형 평가도구 적용

본 연구에서 제시한 평면선형 평가 알고리즘을 적용하기 위하여, ArcObject Library를 사용하여 프로그래밍 하였으며, 그림 9와 같이 평면선형 평가도구를 구현하였다. 1:1,000 수치지형도에서 추출한 도로중심선 절점 Layer를 선택한 후 평면선형 평가실행 버튼을 클릭하면 선택된 도로의 평면선형을 분석하는 알고리즘이 적용되며, 분석한 결과 데이터의 속성정보는 표 4와 같이 나타난다. 속성정보에는 본 연구에서 제시된 곡선반경을 계산하는 알고리즘을 통해 얻은 곡선반경 값과 곡선의 길이 값이 포함되어 있다.

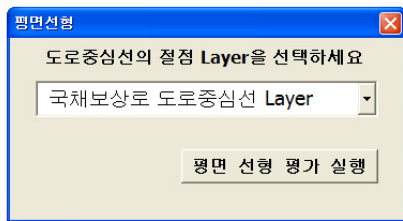


그림 9. 평면선형 평가도구 인터페이스

표 4. 평면선형 평가 결과

	곡선구간 명	곡선반경(m)	곡선길이(m)
국채보상로	(a) 만촌1동 성당	205.42819	100.909871
	(b) 대구광역시 차량등록소	497.87521	529.734752
동대구로	(a) 동대구역 입구	103.16593	23.161963
	(b) 동대구역 출구	70.81814	39.856796
	(c) 동대구역 네거리	1181.68034	713.772454

2.3.3. 위성사진과 중첩

평면선형 평가도구를 적용하여 구현한 결과 데이터를 그림 10, 그림 11과 같이 Google Earth 위성사진과 중첩하여 시각화하였다.

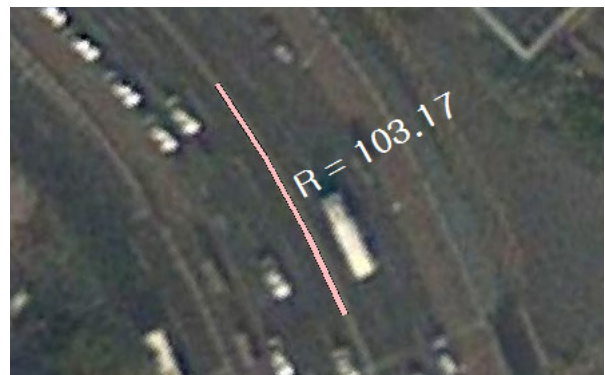


(a) 만촌1동 성당



(b) 대구광역시 차량등록소

그림 10. 국채보상로 결과



(a) 동대구역 출구



(b) 동대구역 입구

〈그림 계속〉



(c) 동대구역 네거리 주변

그림 11. 동대구로 결과

설계속도에 따른 최소곡선반경 규정 값과 비교하여 규정에 미치지 못하면 적색(Red), 규정 값 이상 1.5배 미만의 곡선반경 값이면 황색(Yellow), 규정 값보다 1.5배 이상의 곡선반경을 가지면 녹색(Green)으로 Symbology가 자동으로 설정되도록 하였다. 그림 10에서 (a)의 경우 최소곡선반경이 규정 값 이상, 1.5배 미만 에 해당하므로 황색으로 나타났다. 또한 그림 11에서 (a), (b)의 결과는 적색이므로 설계속도 70km/h일 때 최소곡선반경 200m 이상의 규정 값을 준수하지 못한 평면선형을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

2.3.4. 정확성 평가

본 연구에서 제시한 방법의 정확성을 검증하기 위해 연구지역의 실제 설계도면의 위치데이터를 입력데이터 로 설정하고 결과 값을 분석해 보았다. 지리정보의 활용 을 위해서는 투영정보를 정확하게 일치시켜야 하므로, 본 연구에서 사용된 투영정보인 표 5를 기반으로 하여 수치지형도에서 추출된 절점과 설계도면에서 추출된 절 점의 좌표 값을 표 6과 같이 나타내었다. 또한 이를 기 반으로 수치지형도와 설계도면의 위치 좌표차이는 표 7 과 같음을 확인할 수 있었다.

표 5. 투영정보 설정

측지기준계	투영정보
타원체	Bessel 1841 회전타원체
데이텀	Korean 1985 (tokyo Datum)
투영법	투영법 TM(Transverse Mercator)
투영원점	동부원점 경도 : 129° 00' 위도 : 38°
투영원점가산값	False Easting : 200,000m False Northing : 500,000m
단위	Meter

표 6. 동대구로 수치지형도와 설계도면 추출좌표

곡선 그룹	Feature ID	수치지형도 추출좌표		설계도면 추출좌표	
		X 좌표	Y 좌표	X 좌표	Y 좌표
2	14	166285 .9401	264305 .3017	166284 .7463	264304 .1909
	15	166290 .1139	264316 .7258	166291 .3562	264315 .4866
	16	166290 .8201	264335 .6497	166291 .8985	264336 .8285
	17	166289 .7387	264344 .4648	166288 .6627	264345 .5562
3	18	166227 .8693	264544 .4309	166229 .1494	264546 .2228
	19	166222 .3796	264555 .6324	166224 .4002	264556 .1978
	20	166216 .6343	264564 .6361	166216 .6095	264565 .6576

표 7. 동대구로 설계도면 - 수치지형도의 위치좌표 차이

곡선그룹	Feature ID	X 좌표 차이(m)	Y 좌표 차이(m)
2	14	1.1938	1.1108
	15	1.2423	1.2392
	16	1.0784	1.1788
	17	1.0760	1.0914
3	18	1.2801	1.7919
	19	2.0206	0.5654
	20	0.0248	1.0215

3. 결론

본 연구는 도로 구조·시설기준에 관한 규칙에 근거하여 도로의 평면곡선반경을 자동으로 산정할 수 있는 알고리즘 및 도구를 개발하였으며, 이를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 본 연구는 도로의 평면선형 평가에 필요한 시간과 비용을 단축하고, 도로의 직선구간과 곡선구간에 대한 현황을 쉽고 정확하게 분석함으로써 도로의 유지·관리 측면에서 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 수치지형도에서 추출한 곡선구간의 절점과 설계도면에서 추출한 곡선구간의 절점의 위치 정보를 비교하여 연구 방법의 타당성을 검증해본 결과, 위치 정보의 차이를 산술평균하면 x 좌표는 1.1309m, y 좌표는 1.1427m 오차가 발생하였다. 이는 1:1,000 수치지형도의 수평위치 기대정확도 $\pm 1m$ 에 근사한 값을 나타내며,

향후 본 연구의 방법론과 Lidar 및 3D 스캐너 자료를 통합하여 고도화시키는 연구가 필요할 것으로 보인다.

셋째, 도로의 기하구조 분석의 활용성을 높이기 위해 평면선형 뿐만 아니라 종단선형을 동시에 분석할 수 있는 알고리즘 및 도구 개발이 추가로 진행될 필요성이 있다. 향후 연구과제의 흐름은 그림 12와 같다.

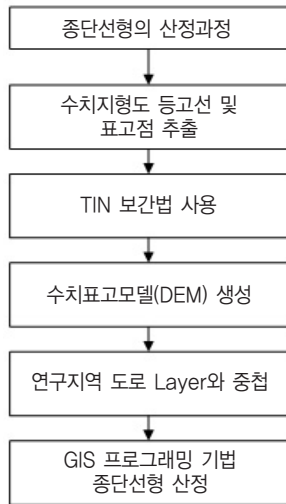


그림 12. 향후 연구과제 흐름도

감사의 글

본 논문은 국토해양부 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임

참고 문헌

김민석, 유기윤, 김용일, 곽태석(2004) “수치지도의 도로 중심선을 이용한 도로의 평면선형 설계요소 자동추출에 관한 연구”, *GIS/RS 공동 춘계학술대회 논문집*, 한국지형공간정보학회, pp. 551-557

이종출, 이영대, 서정훈(2001) “동적 GPS관측에 의한 도로의 평면선형분석”, *한국측량학회지*, 제19권 제1호, pp. 553-557

장영운, 최연웅, 조기성(2008) “도심지역 Lidar자료로부터 도로포인트 추출기법 연구”, *대한토목학회 논문집*, 대한토목학회, 제28권 제2D호, pp. 269-276

박수홍, 구자용(1999) “수치지도 도로사상의 위치정확도 측정방법”, *한국GIS학회지*, 한국GIS학회, 제7권 제1호, pp.119-131

국토해양부(2009) “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”

민 원(2011) “도로공학원론” 도서출판 구미서관
(접수일 : 2011. 6. 28 / 심사일 : 2011. 6. 28 / 심사완료일 : 2011. 12. 7)