

일반화방법을 이용한 도로 평면선형제원의 추정 Estimation of the Design Elements in the Horizontal Alignment Using Generalization Method

조규전* · 이남수** · 정의환*** · 이종환****

Cho, Kyu-Jon · Lee, Nam-Soo · Jeong, Eui-Hwan · Lee, Jong-Hwan

요 旨

현재 사용중인 도로를 확장하거나 개량하고자 할 경우 최초의 평면선형제원은 중요한 기초자료가 되는데, 설계자료가 훼손되거나 유실되었을 경우 재작성이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 일반화방법을 사용하여 GPS에서 취득한 데이터로 도로의 선형 설계제원을 계산하여 평면선형을 재현한 결과, 도로 설계 데이터에 의한 좌표값과 계산에 의한 좌표값의 차이는 X 좌표값에서 최소 약 0.2 m에서 최대 약 5 m까지 나타났으며, Y 좌표값에서 최소 약 1 m에서 최대 약 40 m의 차이를 나타냈다. 그러나 이 최대값은 전체 평면선형 길이에 비해 비교적 적었으며, 선형을 표현하는데 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Nowadays, the first design elements of horizontal alignment are very important things to extension or improvement of highway. When the design elements are lost or damaged, it is necessary to recalculation. In this paper, an investigation is made on the method of representation of horizontal alignment as a result of design element using generalization method. The results show that northing calculated about 0.2~5 meters and easting calculated about 1~40 meters between calculated and design data. Because the maximum value is a very small compared to total horizontal alignment length, calculated data have been fitted to presentation of observed highway.

1. 서 론

현재 사용중인 도로를 확장시키거나 개량하고자 할 경우 최초의 평면선형 제원은 기본적인 자료로서 취급되어진다. 그러나 여러 요인으로 인해 설계자료가 훼손 또는 분실되었을 경우 설계자료의 재작성이 필요하게 된다.

그 중에서 평면선형제원을 재현시켜야 되는 문제가 발생하게 되는데, 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 연구에서는 GPS에서 취득한 선형 데이터에 대해 일반화 방법¹⁾을 적용시켜, 선형을 표현하는데 불필요한 데이터를 삭제하고 데이터의 선형의 표현을 간결하고 명확하게 할 뿐만 아니라 공간 정확도를 향상시켜, 훼손되거나 분실된 도로의 평면선형 설계제원을 계산함으로써, 설계자

료가 없는 도로선형구간의 선형을 재현할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

도로선형 요소를 GPS 방법으로 취득하여 도로 설계제원의 기본요소인 교점(IP)좌표, 원곡선의 반경(R), 완화곡선(clothoid)의 parameter(A)를 역으로 추적하는 프로그램을 작성하고, 각 제원들을 계산하여 기존의 도로설계 프로그램을 도로의 선형 데이터를 산출하고 실제 설계 데이터와 비교하였다.

2. 도로 선형 제원의 계산

일반적으로 우리 나라의 도로선형은 <직선-완화곡선-원곡선-완화곡선-직선>과 <직선-원곡선-직선>의 두 가지 형태가 주로 사용된다. 이러한 두 가지 형태의 도로 선형설계는 평면선형 요소인 공사시점의 좌표와 각각의 교점(IP)좌표, 원곡선의 반경(R), 완화곡선의 parameter(A)를 알면 공사시점으로부터 중심말뚝 간격(20 m)의 측

*경기대학교 공과대학 건설공학부 교수

**한국철도대학 시설토목과 교수

***경기대학교 공과대학 대학원 박사과정 수료

****경기대학교 석사과정

점에 대한 좌표를 구할 수 있다. 반대로 선형 데이터를 알고 있을 경우 <직선-완화곡선-원곡선-완화곡선-직선> 형태의 설계제원인 반경(R), 교점의 좌표(IP), 완화곡선의 parameter(A)를 계산할 수 있고, <직선-원곡선-직선> 형태의 설계제원인 반경(R), 교점의 좌표(IP)를 계산할 수 있다.

2.1 원곡선의 반경(R) 계산

도로선형 좌표 중에서 곡선부의 3점의 좌표를 알고 있으면, 원의 공식을 사용하여, 원곡선 중심의 좌표(x, y)와 반경(R)을 계산할 수 있다.^{9),10)} 원곡선 중심의 좌표 O(x, y)와 반경(R)을 계산은 원곡선 상 3점의 좌표(X₁, Y₁), (X₂, Y₂), (X₃, Y₃)를 원곡선식에 대입한 후 연립하면 식 (2-1) 및 (2-2)와 같이 된다.

$$A_1 \cdot x + B_1 \cdot y = C_1 \quad (2-1)$$

$$A_2 \cdot x + B_2 \cdot y = C_2 \quad (2-2)$$

여기서,

$$A_1 = 2X_1 - 2X_2$$

$$B_1 = 2Y_1 - 2Y_2$$

$$C_1 = X_1^2 - X_2^2 + Y_1^2 - Y_2^2$$

$$A_2 = 2X_1 - 2X_3$$

$$B_2 = 2Y_1 - 2Y_3$$

$$C_2 = X_1^2 - X_3^2 + Y_1^2 - Y_3^2$$

식 (2-1)과 (2-2)를 이용하여 원곡선 중심의 좌표 O(x, y)를 계산하면 다음과 같다.

$$x = \frac{C_1 \cdot (B_1 \cdot A_2 - B_2 \cdot A_1) - B_1 \cdot (C_1 \cdot A_2 - C_2 \cdot A_1)}{A_1 \cdot (B_1 \cdot A_2 - B_2 \cdot A_1)} \quad (2-3)$$

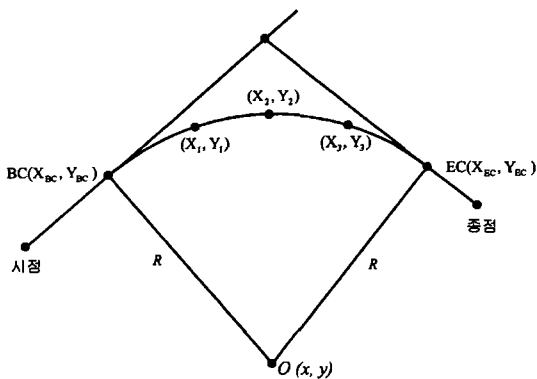


그림 1. 원곡선 반경(R) 계산

$$y = \frac{C_1 \cdot A_2 - C_2 \cdot A_1}{B_1 \cdot A_2 - B_2 \cdot A_1} \quad (2-4)$$

원곡선 중심의 좌표 O(x, y)와 원곡선 상 임의의 점의 좌표(X_n, Y_n)를 원의 방정식에 대입하면, 반경(R)을 계산할 수 있다.

$$R = \sqrt{(X_n - x)^2 + (Y_n - y)^2} \quad (2-5)$$

여기서, n: 1, 2, 3중 임의의 수

2.2 교점(P) 좌표계산

교점(IP)의 좌표는 일반화방법중 직선구간을 추출하는데 가장 적합한 방법과 최소제곱법을 사용하여 계산할 수 있다. 먼저 선형 데이터에서 두 개의 직선구간 데이터를 취득한다. 취득된 데이터를 최소제곱법에 의하여 두 개의 선형 1차 함수를 구한다. 1차 함수들의 해가 교점(IP)의 좌표가 된다.

교점(IP)의 좌표를 계산하는 방법은 다음과 같다. 먼저 취득된 선형 데이터를 최소제곱법에 의하여 1차 함수를 계산한다. 최소제곱법을 행렬로 표기할 때의 정규방정식은 식 (2-6)과 같다.

$$X^T \cdot Y = X^T \cdot X \cdot B \quad (2-6)$$

미지수 행렬 B는 식 (2-7)에 의하여 구할 수 있다.

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (2-7)$$

여기서,

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

X^T: X의 전치행렬

x₁, x₂, ..., x_n: 관측된 x값

y₁, y₂, ..., y_n: 관측된 y값

b₁, b₂: 미지수

취득된 두 개의 직선구간 데이터를 식 (2-7)에 대입하면 두 개의 1차 함수 식을 구할 수 있다.

$$Y = b_{21} \cdot X + b_{11} \quad (2-8)$$

$$Y = b_{22} \cdot X + b_{12} \quad (2-9)$$

식 (2-8)과 (2-9)로부터 교점의 좌표(X_{IP} , Y_{IP})를 계산할 수 있다.

$$X_{IP} = \frac{b_{11} - b_{12}}{b_{21} - b_{22}} \quad (2-10)$$

$$Y_{IP} = \frac{b_{11} - b_{21}}{b_{21} - b_{22}} \cdot b_{21} + b_{11} \text{ or}$$

$$Y_{IP} = \frac{b_{11} - b_{21}}{b_{21} - b_{22}} \cdot b_{22} + b_{21} \quad (2-11)$$

2.3 완화곡선 parameter(A) 계산

완화곡선 parameter(A)는 이정량(ΔR)을 사용하여 계산할 수 있는데, 이정량(ΔR)이란 완화곡선을 삽입하지 않고 직선부에서 직접 원곡선으로 접속했을 때와 그 사이에 완화곡선을 삽입했을 때에 원곡선의 중심이 안쪽으로 이동한 양을 말한다. 즉, 직선과 원곡선 중심점과의 최단 거리와 원곡선의 반경(R)과의 차를 말한다.

완화곡선 parameter(A)를 계산하는 방법은 2.1절에서 계산된 반경(R)과 원곡선 중심의 좌표 $O(x, y)$, 2.2절의 식 (2-8)과 (2-9)를 이용하여 이정량 ΔR_1 , ΔR_2 을 계산할 수 있으며, 직선과 원곡선 중심점과의 거리가 가장 짧은 직선 위의 좌표는 다음과 같이 구해진다.

$$X_{S_1} = \frac{b_{21} - y - \frac{1}{b_{21}} \cdot x}{b_{21} + \frac{1}{b_{21}}}, Y_{S_1} = \frac{b_{21}^2 - b_{21} \cdot y - x}{b_{21} + \frac{1}{b_{21}}} + b_{11} \quad (2-12)$$

$$X_{S_2} = \frac{b_{22} - y - \frac{1}{b_{22}} \cdot x}{b_{22} + \frac{1}{b_{22}}}, Y_{S_2} = \frac{b_{22}^2 - b_{22} \cdot y - x}{b_{22} + \frac{1}{b_{22}}} + b_{12} \quad (2-13)$$

이정량 ΔR_1 , ΔR_2 는 다음과 같다.

$$\Delta R_1 = \sqrt{(X_{S_1} - x)^2 + (Y_{S_1} - y)^2} - R \quad (2-14)$$

$$\Delta R_2 = \sqrt{(X_{S_2} - x)^2 + (Y_{S_2} - y)^2} - R \quad (2-15)$$

식 (2-14)와 식 (2-15)에서 구한 이정량 ΔR_1 , ΔR_2 를 식 (2-16)과 식 (2-17)에 대입하면 완화곡선의 곡선길이(L)를 계산할 수 있다.

$$L_1 \approx \sqrt{24 \cdot R \cdot \Delta R_1} \quad (2-16)$$

$$L_2 \approx \sqrt{24 \cdot R \cdot \Delta R_2} \quad (2-17)$$

식 (2-16)과 식 (2-17)에서 계산된 L_1 , L_2 를 식 (2-18)과 식 (2-19)에 대입하면 완화곡선의 parameter(A)를

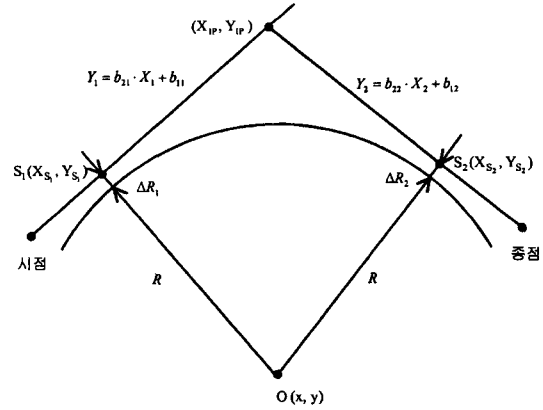


그림 2. 완화곡선 parameter(A) 계산

계산할 수 있다.

$$A_1 = \sqrt{R \cdot L_1} \quad (2-18)$$

$$A_2 = \sqrt{R \cdot L_2} \quad (2-19)$$

3. 수치해석

원곡선의 반경(R), 교점(IP)의 좌표, 완화곡선의 parameter(A)를 앞에서 설명한 방법을 이용하여 수치해

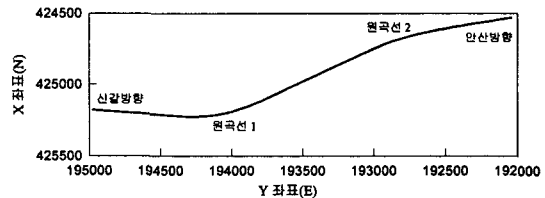


그림 3. 데이터 획득의 노선(신갈 ↔ 안산)



모델명 : GPS II Plus
 위치 정확도 : 평균 1~5 m (DGPS)
 평균 +/- 15 m (RMS)
 속도 정확도 : 0.1 knot (RMS)

그림 4. 데이터 획득에 사용된 장비 제원

석 프로그램을 작성하여 계산하였으며, 수치실험의 구간은 신갈-안산 고속도로 중 부곡인터체인지~반월인터체인지 사이의 구간으로서 그림 3과 같으며, 이때 사용된 장비는 그림 4와 같이 GarminII GPS Plus 휴대용 수신기를 사용하였다.

도로선형은 가능한 최소의 변위량을 가지고 모양의 확연한 변화나 공간상의 면적에 대한 뚜렷한 변화도 없이 가장 잘 표현할 수 있는 Douglas-Peucker algorithm^{(11), (15), (17), (18)}을 사용하여 축척에 따른 시각분리효과 값을 허용치로 하여 일반화를 하였다. 일반화된 데이터를 사용하여 최종 데이터가 5개일 때까지 허용치를 증가시킨다. 최종적으로 남게되는 데이터는 ① 취득된 데이터의 첫 번째 점, ②·③·④ 곡선부를 나타내는 3개의 점, ⑤ 취득된 데이터의 마지막 점이다.

2.1절에서 언급한 방법으로 원곡선의 반경(R)과 중심점 O(x, y)의 좌표를 계산하는데, 실험의 구간이 현재사용중인 고속도로 구간이므로 도로의 중심점을 측정할 수 없었으므로, 고속도로의 2차선으로 차량을 주행하여 왕복 측정을 하였다. 왕복으로 측정된 데이터를 각각 Douglas-Peucker의 방법으로 3개의 데이터를 추출하고 그들의 평균을 실제 원곡선을 구하는 데이터로 사용하였다(그림 5).

일반화 방법 중 도로선형의 직선구간 계산은 Lang algorithm을 사용하였다. 측정시점을 고정시키고, Lang algorithm의 탐색구역을 3에서부터 증가시켜 나간다. 만약 수선의 길이가 직선의 시각분리효과인 허용치보다 커지게 되면, 측정시점에서부터 처음으로 허용치보다 커진 데이터까지를 직선구간으로 보고, 그 사이의 데이터들을 2.2절에서 언급한 최소제곱법에 의하여 두 개의 1차 함수를 구하였다.

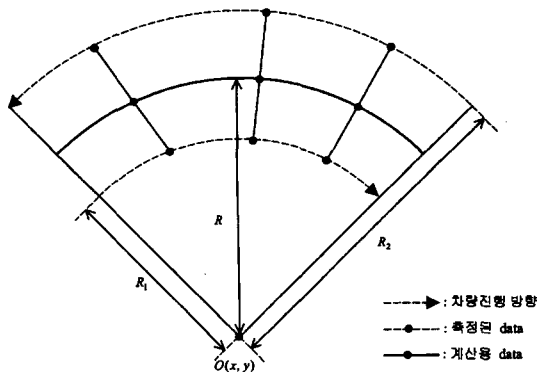


그림 5. 실제 계산용 데이터 선정 방법

수를 구하였다.

최소제곱법에 의한 1차 함수의 기울기는 직선구간의 데이터에 따라 변화를 보이므로, 직선구간으로 판단된 구간 내 모든 점을 데이터로 사용하여 1차 함수를 계산하고, 시작점의 데이터를 제거하고 나머지 데이터로 1차 함수를 계산한다. 또한 시작점은 그대로 두고 직선구간의 마지막 점을 제거하고 1차 함수를 계산한다. 이러한 방법으로 양쪽 끝점에서부터 하나의 점씩 제거하면서, 수회 반복계산을 하여, 각각의 1차 함수에서 계산된 기울기들의 평균값을 직선부를 나타내는 기울기 값으로 하여 1차 함수를 계산한다. 다른 직선구간도 같은 방법에 의하여 1차 함수를 구하고, 두 개의 1차 함수의 해를 구하여 교점(IP)의 좌표를 계산하였다.

각 방향의 1차 함수와 원곡선의 반경(R), 원곡선의 중심점의 좌표를 사용하여 2.3절에서 설명한 방법에 의하여 원화곡선의 parameter(A)를 계산한다. Parameter(A)를 구하기 위해 계산된 이정량(ΔR)이 -2~2 사이의 값이면, 축척 1/10000일 때의 시각분리효과 한계내의 값이므로 이정량(ΔR)을 0으로 본다. 만약 이정량(ΔR)이 -2보다도 작

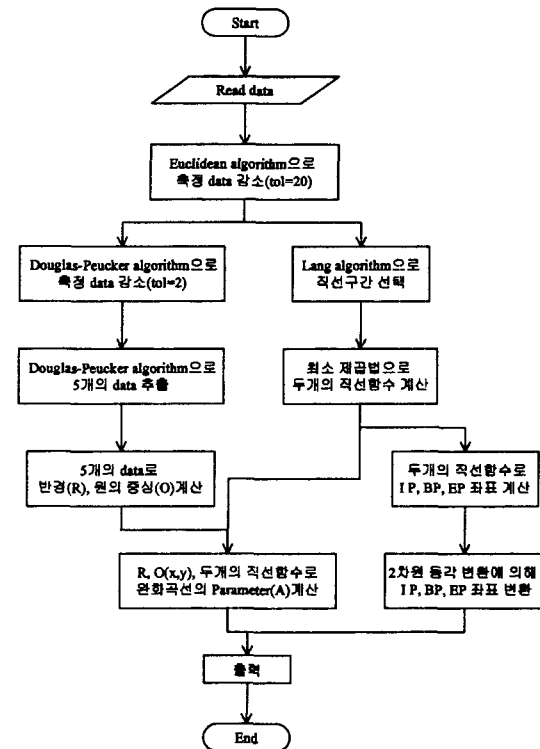


그림 6. 도로선형 제립계산 program의 흐름도

은 값이 되면, 계산에 사용된 데이터의 시점이나 종점이 직선구간이 아니어서, 직선구간의 1차 함수의 계산이 잘못될 것이므로 계산에 사용된 데이터를 점검하여야 한다.

직선구간 시점의 좌표, 교점(IP-1, IP-2)좌표, 종점의 좌표가 계산되어진 후에는 GPS 좌표를 평면직각 좌표로 변환하여야 한다. 좌표의 변환은 2차원 등각 좌표변환방법을 사용한다. GPS에 의해 측정된 시점(BP), 교점(IP-1, IP-2), 종점(EP)의 변환좌표를 산출한다. 도로설계 program을 사용하여 20(m) 간격의 데이터를 산출하고, 산출된 데이터를 이용하여 도로선형의 제원을 계산하는 program의 흐름도는 그림 6과 같이 구성하였다.

4. 결과 및 분석

GPS 방법으로 취득된 도로 선형데이터를 1/10000의 축척에서의 시각분리효과 값인 2m를 허용치로 하여 Douglas-Peucker의 방법으로 일반화를 시켰으며, 일반화 이후의 데이터는 표 1과 같다. 이 데이터를 5개의 데이터가 남을 때까지 허용치를 증가시키면, 원곡선의 반경

(R)과 중심점(O)을 계산하기 위한 5개의 좌표는 표 2와 같다.

2.1절에서 설명했던 방법에 의하여 표 2의 값으로 원곡선의 반경(R), 원곡선의 중심좌표(O)를 계산하면 표 3과 같다.

교점(IP)의 좌표를 구하기 위하여 4종류의 데이터를 2.2절의 방법에 의해 직선부의 $Y=a \cdot X+b$ 형태의 1차 함수를 계산하면, a와 b값은 표 4와 같고, 교점(IP)·시점(BP)·종점(EP)의 좌표, 원화곡선의 parameter(A)를 계산하면 표 5와 같으며 또한 동일한 구간의 설계 데이터는 표 6과 같다.

표 5와 6의 데이터를 사용하여 도로선형설계 프로그램에 의하여 선형을 재현하고 계산된 데이터와 설계 데이터를 비교하면 표 7과 같다. 표 7의 비교에서 나타난 것과 같이 A계산 값의 정확도가 떨어졌던 IP-1의 A1에서 상대적으로 많은 차이가 있었다. 대체적으로 A1이 포함되어 있는 IP-1의 데이터들이 정확도가 떨어졌다.

표 7에서 보는 바와 같이 제 1원곡선 구간인 IP-1에서 X좌표의 최대차이는 원곡선시점에서 5.43 m를 보였으며,

표 1. 전체선형의 일반화 후의 데이터

측점 좌표	구 간	IP-1		IP-2	
		신갈→안산	안산→신갈	신갈→안산	안산→신갈
①	X(m)	425172.526	425183.807	424898.166	424888.911
	Y(m)	195083.071	194778.816	193320.791	193329.646
②	X(m)	425200.485	425211.795	424757.850	424757.824
	Y(m)	194728.609	194400.723	193016.402	193047.421
③	X(m)	425226.651	425215.562	424711.708	424698.762
	Y(m)	194312.114	19430.290	192901.151	192901.140
④	X(m)	425223.034	425213.780	424660.061	424660.024
	Y(m)	194192.475	194201.331	192738.628	192781.463
⑤	X(m)	425215.690	425202.755	424614.000	424612.104
	Y(m)	194114.189	194097.933	192536.225	192589.399
⑥	X(m)	425200.948	425188.009	424538.587	424534.847
	Y(m)	194037.375	194027.027	192081.207	192125.517
⑦	X(m)	425178.811	425165.868		
	Y(m)	193957.602	193953.161		
⑧	X(m)	425151.124	425138.179		
	Y(m)	193880.778	193877.814		
⑨	X(m)	425086.502	425110.486		
	Y(m)	193730.075	193809.851		
⑩	X(m)	424848.309	424955.381		
	Y(m)	193220.312	193472.972		

그림 2. 반경과 중심점 계산용 데이터

측점 좌표	구 간	IP-1		IP-2	
		신갈→안산	안산→신갈	신갈→안산	안산→신갈
①	X(m)	425172.526	425183.807	424898.166	424888.911
	Y(m)	195083.071	194778.816	193320.791	193329.646
②	X(m)	425226.651	425215.562	424757.850	424757.824
	Y(m)	194312.114	194300.290	193016.402	193047.421
③	X(m)	425215.690	425202.755	424660.061	424660.024
	Y(m)	194114.189	1974097.933	192738.628	192781.463
④	X(m)	425151.124	425138.179	424614.000	424612.104
	Y(m)	193880.778	193877.814	192536.225	192589.399
⑤	X(m)	424848.309	424955.381	424538.587	424534.847
	Y(m)	193220.312	193472.972	192081.207	192125.517

표 3. 반경(R)과 중심점 좌표(O)

		IP-1	IP-2
반경(R)		1002.19968	2207.72276
중심점 좌표(O)	X(m)	424219.744	426781.894
	Y(m)	194265.238	192150.304

표 4. 1차 함수의 계수

	IP-1		IP-2	
	신갈→IP-1	IP-1→안산	신갈→IP-2	IP-2→안산
a	-12.3499	2.15851	2.17896	6.07691
b	5445826.717	-723809.5397	-732498.1702	-2387768.737

Y좌표의 최대차이는 완화곡선시점에서 39.24 m로 나타났다. 제 2원곡선 구간인 IP-2에서 X좌표의 최대차이는 0.51 m이고, Y좌표의 최대차이는 1.21 m를 보이고 있다.

계산 데이터의 Y좌표의 범위가 191856.501~194719.54 이므로 전체 선형구간에 대하여 최대차이 40m는 약 1.4%에 해당되며, X좌표의 범위는 424539.04~425226.613

표 5. 계산된 평면선형 제원

	X(m)	Y(m)	A ₁ (m)	A ₂ (m)	R(m)
BP	425175.3756	194719.5425			
IP-1	425242.1310	193818.7130	610.520	514.548	1002.200
IP-2	424651.0020	192545.0660	0	0	2207.723
EP	424535.8312	191836.7630			

표 6. 설계된 평면선형 제원

	X(m)	Y(m)	A ₁ (m)	A ₂ (m)	R(m)
BP	425146.2297	195124.9538			
IP-1	425242.1310	193818.7130	540	512	980
IP-2	424651.0020	192545.0660	0	0	2216
EP	424503.8254	191639.4805			

이므로 전체 선형구간에 대하여 최대차이 5.43 m는 0.8%에 해당된다. 따라서 X, Y의 최대 차이는 전체선형에 미치는 영향이 크지 않다고 할 수 있으며, 설계 데이터와 계산 데이터에서 가장 큰 차이를 나타낸 IP-1의 구간에 대하여 선형을 도식화하면, 그림 7은 X축의 축척을

표 7. 설계·계산 데이터의 비교

구간		설계 데이터		계산 데이터		비 고	
		X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	ΔX(m)	ΔY(m)
IP1	BTC	425212.660	194220.110	425209.480	194259.350	3.18	-39.24
	BC	425219.410	193922.940	425213.980	193888.030	5.43	34.91
	EC	425179.220	193712.020	425174.640	193700.830	4.58	11.19
	ETC	425077.840	193464.720	425074.130	193456.740	3.71	7.98
IP2	BC	424779.340	192821.590	424778.830	192820.480	0.51	1.11
	EC	424602.100	192244.160	424602.270	192245.370	-0.17	-1.21
평균						2.93	15.94

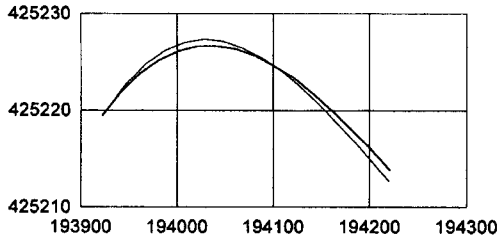


그림 7. IP-1구간의 설계·계산 선형 비교(1)

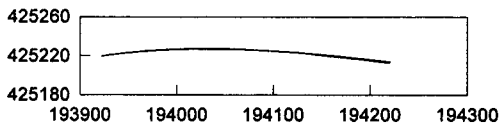


그림 8. IP-1구간의 설계·계산 선형 비교(2)

Y축의 축척에 10배 하여 두 데이터의 차이를 나타낸 것이다. 반면 그림 8은 X, Y축의 축척을 동일하게 하여 나타낸 것으로서, 이 그림에서 보는바와 같이 설계데이터와 수치해석 결과의 값들은 전체구간에 대하여는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 이는 최대오차 값들이 전체 선형을 나타내는데 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단이 된다.

5. 결 론

GPS에서 획득한 데이터를 일반화방법을 적용시킨 후 도로 선형설계제원을 추정한 것으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도로선형의 기본 요소인 설계제원을 GPS를 활용한 데이터획득을 통해 도로선형의 설계 데이터의 제원을 역추적하여 설계자료와 비교 해본 결과 평면선형요소의 완화곡선시점(B.T.C.), 원곡선시저(B.C.), 원곡선중점(E.C.), 완화곡선중점(E.T.C.)점들에서 X좌표의 최대차이는 5.43 m로서 0.8%, Y좌표의 최대차이는 39.24 m로서 1.4%차이로 도로선형제원을 재현할 수 있었다.

2. 측정된 데이터에 의하여 도로의 선형을 재현하면, 훼손되거나 유실된 도로의 평면선형 설계제원을 계산할 수 있으며, 도로선형 GPS 데이터 측정의 정확도를 높인다면, 더욱 정확한 평면선형을 재현할 수 있다.

3. 설계 데이터에 의하여 도로의 시공을 끝마친 후 GPS에 의하여 데이터를 취득하고, 평면선형 설계제원을 계산하여 선형을 재현해 봄으로써 시공의 정확성을 체크

해 볼 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 광강을, 이호남, 김명배, “소축척 지도제작을 위한 데이터 감축 기법에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제13권, 제2호, 1995, pp. 77-83.
2. 국방과학연구소, “표준지도 생성기법 연구”, 응용연구과제 3단계 보고서, 1998, pp. 52-60.
3. 김감래, 이호남, 박인해, “지도 일반화에 따른 단순화 알고리즘의 평가에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제10권, 제2호, 1992, pp. 63-71.
4. 김감래, 이호남, “선형성 지형자료의 일반화에 대한 효율적인 알고리즘에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제12권, 제1호, 1994, pp. 43-52.
5. 이종출, 이영대, 서정훈, “GPS에 의한 도로의 평면 선형 분석”, 대한토목학회 학술 발표회, 2000, pp. 553-557.
6. 이종출, 서동주, 허종호, “최소제곱법에 의한 평면선형 설계제원 산정”, 대한토목학회 학술 발표회, 2000, pp. 139-142.
7. 조규전, “표준 측량학”, 보성문화사, 1998.
8. 차득기, “컴퓨터 측량계산 프로그램집”, 탐구문화사, 1996.
9. 편집부, “크로소이드 곡선과 도로선형 설계”, 도서출판 효성, 1998.
10. 편찬위원회, “Clothoid 이론과 실제”, 건설 연구사, 1992.
11. Buttenfield B.P., McMaster R.B., “Map Generalization: Making rules for knowledge representation”, Longman Scientific & Tech, 1991, pp. 21-39, 150-163.
12. Dennis G. Zill, Michael R. Cullen, “Advanced Engineering Mathematics”, 1992, pp. 465-468.
13. Monmonier, M.C., “Computer-Assisted Cartography”, Prentice-Hall, 1982, pp. 170-175.
14. Paul R. Wolf, Ph. D., “Adjustment Computations”, John Wiley & Sons, 1996, pp. 335-340.
15. Polidori, L., Chorowicz, J. and Guillaude, R., “Description of Terrain as a Fractal Surface, and Application to Digital Elevation Model Quality Assessment”, PE&RS, Vol. 10, 1991, pp. 1329-1332.
16. Robinson, A.H. et al., “Element of Cartography”, John Wiley, 1991, pp. 251-254.
17. Stoms, D.M., “Effects of Habitat Map Generalization in Biodiversity Assessment”, RE&RS, Vol. 11, 1992, pp. 1587-1591.
18. Thapa, K., “Automatic Line Generalization Using Zero-Crossings”, PE&RS, Vol. 4, 1988, pp. 512-517.

(2001년 5월 20일 원고접수)