

■ 論 文 ■

각종 센서를 장착한 차량을 이용한 종단선형 분석 알고리즘 개발 및 현장 검증에 관한 연구

Development of a Highway Vertical Alignment Analysis Algorithm
and Field Test Using a Vehicle with Multiple Sensors

윤 덕 근

(한국건설기술연구원 도로연구부 연구원)

성 정 곤

(한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원)

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 기존 연구 고찰</p> <p>III. 도로 경사 분석 방법론 개발</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 종단경사 분석을 위한 절차</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 종단경사 분석 방법론</p> | <p>IV. 개발된 알고리즘의 현장 검증</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 조사의 개요</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 개발된 알고리즘의 현장 검증</p> <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 기하구조, 위성항법장치, 관성항법장치, 종단선형, 도로안전
Highway Geometry, GPS, INS, Vertical Alignment, Highway Safety

요 약

본 연구에서는 GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System), DMI(Distance Measuring Unit) 등 각종 센서를 장착한 차량을 이용하여 차량의 위치정보와 자세정보를 취득하고, 취득된 차량의 주행정보를 이용하여 도로 종단선형을 분석할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 종단선형 분석 알고리즘은 도로의 종단경사, 종단곡선 시종점 및 도로 종단곡선 길이 등을 분석할 수 있고, 종단경사와 종단곡선을 모형화하였다. 또 개발한 알고리즘의 현장 적용성을 검증하기 위하여, 실제 도로에서 취득한 데이터를 이용하여 종단선형을 분석하였고, 이 결과를 도면과 비교하였다.

In this research, a vertical alignment analysis algorithm was developed. The developed algorithm used acquired data from a vehicle with multiple sensors such as a global positioning system (GPS), an inertial navigation system (INS), and a distance measuring unit (DMI) to collect information about vehicle position and altitude. The vertical alignment analysis algorithm includes the identification of vertical tangent sections, the beginning and ending points of vertical curves, and the calculation of length of vertical curves. Also, the algorithm can help build models for vertical tangent sections and vertical curve sections. In order to verify the algorithm, a field survey was conducted at an actual highway section and the result of the field survey was compared to a highway CAD drawing.

I. 서론

도로의 기하구조 정보는 도로 유지관리나 안전성 분석에 중요한 요소다. 이러한 중요한 정보는 대부분 도면을 통해 취득되고 있으나 실제로 도면이 존재하지 않는 도로가 많고, 도면이 존재하더라도 선형개량이나 덧씌우기 등으로 실제 도로와 도면과 상이한 구간이 존재하게 된다. 도로의 종단경사 및 횡단경사의 경우 교통의 흐름 및 안전에 중요한 요소임에도 불구하고, 이러한 정보는 대부분 도면을 통해 얻어지고 있다. 그러나 모든 도로에 도면이 존재하지 않고, 도로가 존재하더라도 선형개량이나 덧씌우기 등으로 도면과 실제 도로의 정보가 다르게 나타날 수 있다. 이에 본 연구에서는 GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System), 레이저 스캐너 등 각종 센서를 장착한 도로안전성 조사 분석 차량(RoSSAV, Road Safety Survey and Analysis Vehicle)을 주행하면서 도로의 종단경사를 측정하는 방법을 개발하였다. 또 개발한 방법론의 현장 적용 가능성을 검증하기 위하여 차량을 시험 주행 후 데이터를 분석하여 현장 적용 가능성을 판단하였다.

II. 기존 연구 고찰

차량으로부터 도로의 기하구조를 분석하고 기하구조 요소를 추출하는 방법은 아직까지 국내에서 연구된 경우는 없는 실정이며, GPS 또는 사진 측량 기법을 이용하여 도로의 종단 및 횡단경사를 측량한 경우는 존재한다.

서동주(2002) 논문에서는 DGPS(Differential GPS)를 이용하여 동적 측위 방법으로 원곡선과 완화곡선이 삽입된 약 2km의 도로 구간에서 편경사를 추출한 후 기존 설계 도면과 비교하였다. 이 방법은 이동식 기지국을 설치한 후 제작한 손수레를 이용하여 도로의 중심선 및 양방향 도로 외곽선을 이동하여 측량한 방법으로 도로 중심선과 외곽선의 좌표의 좌표차를 이용하여 편경사를 측정하였다. 또 노태호 등(2001)의 논문에서도 같은 방법으로 동적 측위법을 이용하여 편경사를 측량한 후 이를 자동적으로 계산하는 프로그램을 개발하였다.

이 두 방법은 차량의 자세를 이용하여 도로의 편경사를 측정하는 방법이 아니라 도로면의 고저차를 GPS를 이용하여 측량함으로써 편경사를 측정하였다.

이종출 등(2004)의 논문에서는 3차원 수직사진측량

기법을 사용하여 편경사를 추출하였으며, 이를 위해 먼저 연구대상 도로의 일부 곡선구간을 선정하여 차로중심선과 양방향 길어깨를 CCD카메라를 이용하여 영상을 취득하고, 취득한 영상을 분석하여 편경사를 추출하여 total station과 관측한 값을 비교하였다.

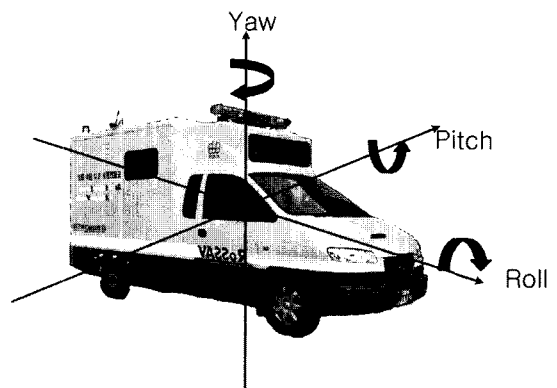
외국의 경우 Awuah-baffour 등(1997)은 차량에 십자형 platform을 설치하여 각 끝에 GPS를 설치하여 GPS의 높이 차를 이용하여 횡단경사와 종단경사를 측정하였다.

Iowa DOT(2003)에서는 Lidar를 이용하여 횡단경사와 종단경사를 측정하였다.

미국 연방 도로관리청인 FHWA의 Turner-Fairbank Highway Research Center (TFHRC)는 현재 차량에 여러 장치를 장착한 Digital Highway Measurement (DHM) 차량을 개발 중에 있으며, 이 DHM은 Laser Scanner 및 센서를 이용하여 종단경사와 횡단경사를 취득하는 알고리즘을 개발하였다.

III. 도로 경사 분석 방법론 개발

RoSSAV에는 GPS/INS 통합장비가 장착되어 있다. GPS의 경우 위성으로부터 신호를 수신하여 정확한 위치 정보를 취득할 수 있지만, 터널이나 산악 지대 등 신호를 수신할 수 없는 지역에서는 정보취득이 어려운 단점이 있다. 반면에 INS는 외부로부터 신호를 수신하지 않고, 자체 센서의 정보로부터 차량의 자세인 roll, pitch, yaw를 계산할 수 있다. 또, GPS는 신호를 1초마다 수신하여 데이터 빈도가 낮은 반면 INS는 신호를 1초에 100번 계산할 수 있으므로, 더 정밀한 데이터를 취득할 수 있고, 외부



〈그림 1〉 차량의 자세

로부터 신호를 수신하지 않기 때문에 지형에 대한 한계점을 극복할 수 있는 장점이 있다. 그러나 시간이 지남에 따라 오차가 누적되는 단점이 있기 때문에 본 연구에서는 GPS와 INS의 장점을 살린 GPS/INS 통합장비를 사용하여 차량의 위치정보(x, y, z)와 자세정보 roll, pitch, yaw인 (ω , ϕ , κ)를 취득하였다.

1. 종단경사 분석을 위한 절차

GPS/INS 통합 장비에서 취득할 수 있는 데이터는 위치정보와 차량의 자세정보를 취득할 수 있고, 종단선형을 분석할 때, 위치정보인 높이차 또는 자세정보인 차량의 기울기를 둘 다 사용할 수 있다. 그러나 차량의 자세 중 기울기를 나타내는 pitch를 사용하여 종단경사 및 종단선형을 분석하기 위해서는 차량이 항상 수평을 유지해야 하는 조건이 수반된다. 그러나 차량은 탑승자나 적재물로 인하여 차량이 수평을 유지하기 어렵기 때문에 실제적으로 좌표 값을 이용하여 종단선형을 분석하였다. 종단선형 분석은 1)데이터 noise 제거, 2)종단 경사

및 곡선구간 개략적 구분, 3)종단경사 모델링, 4)VIP (종단경사 교점) 추출, 5)종단곡선 시종점 판단 및 종단곡선 모델링으로 구분된다.

2. 종단경사 분석 방법론

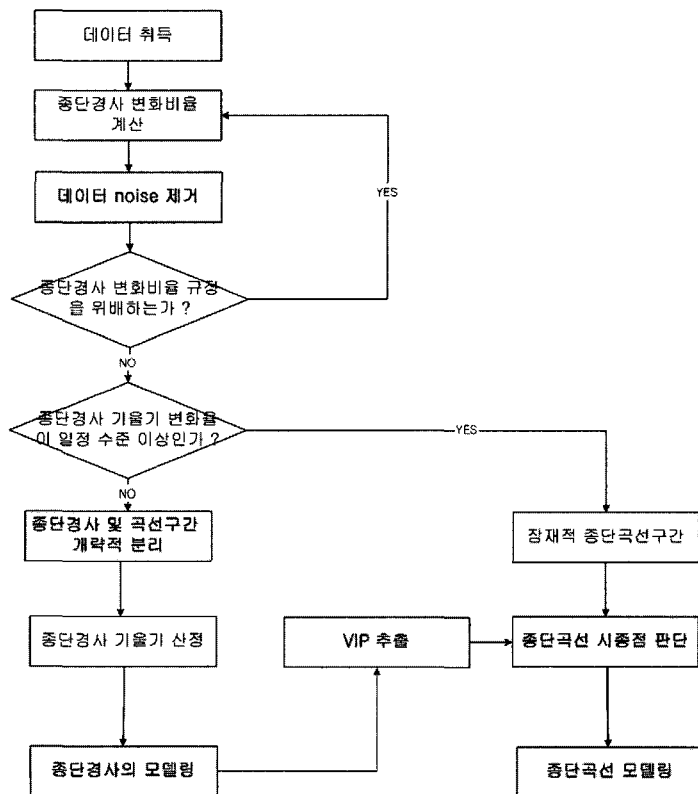
1) 데이터 noise 제거

GPS/INS로부터 취득한 원시 데이터는 차량의 주행 및 노면 특성으로 인해 noise를 포함할 수 있다. 이에 취득한 데이터에서 유효한 데이터만을 추출할 필요가 있다.

일정 거리 간격으로 취득한 연속된 두 좌표간의 데이터를 분석하여 추출된 종단경사 변화비율이 설계기준 값 이하일 경우에는 이 데이터는 noise로 판단을 한다.

즉 데이터가 (x, y, z)형태로 취득될 때 noise 분석은 식(1)과 같이 분석될 수 있다.

$$\frac{L_{(i, i+1)}}{|z_{i+1} - z_i|} < K_m \tag{1}$$



〈그림 2〉 종단선형 분석 절차

여기서,

$$L_{(i, i+1)} : \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}$$

(x_i, y_i, z_i) : i 지점에서의 좌표

K_m : 최소 종단경사변화비율(m/%)

즉, 연속된 두 좌표간의 종단경사비율이 설계기준을 만족하지 못한 경우에는 noise로 고려하여 데이터를 삭제하도록 한다.

이 때 적용하는 종단경사변화비율은 일반적으로 볼록 곡선보다 오목곡선의 값이 작게 나오므로 오목곡선의 기준을 적용하도록 하면, 설계속도 80km/h일 때는 35m/%, 설계속도 100km/h일때는 50m/%이다.

2) 종단경사 및 종단곡선구간의 개략적 구분

본 연구에서는 종단선형을 종단경사구간과 종단곡선구간으로 구분하였다. 종단경사구간은 종단경사가 변화가 없는 직선구간을 의미하며 함수식으로 1차 선형함수로 표현되는 구간을 의미하며, 종단곡선구간은 종단경사가 변화하는 구간을 의미하며 일반적으로 2차포물선식으로 표현될 수 있다.

noise를 제거한 데이터를 이용하여 일정 거리 단위로 종단경사변화비율을 계산한다.

$$\frac{L_m}{|z_{end} - z_{begin}|} \geq 1000 \tag{2}$$

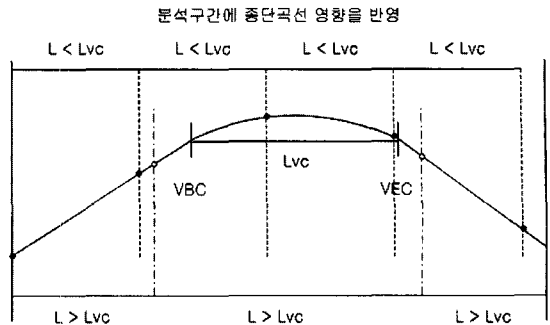
여기서,

L_m : 분석구간 길이, 종단곡선 최소 길이(m)

z_{end}, z_{begin} : 분석구간 시작 및 끝 좌표 z 값

데이터 특성상 두 점의 경사를 계산할 때는 좌표의 시작점과 끝점만을 이용하기 때문에 중간의 점들은 고려되지 못한다. 이 때 분석구간을 길게 할 경우 종단곡선의 특성을 반영하지 못하고 직선간의 영향만을 반영할 수 있기 때문에 종단곡선 최소길이를 분석구간으로 설정하였다. 종단곡선 최소길이를 설정할 경우 분석의 시작 또는 마지막 좌표는 적어도 종단곡선내에 위치를 하게 되어 종단곡선의 영향을 받게 된다. 따라서 일정 거리 단위는 설계기준의 종단곡선 최소 길이(m)를 적용하도록 하며, 설계속도 80km/h일 때는 70m, 설계속도 100km/h일 때는 85m 값을 적용하도록 한다.

만약 위의 분석구간에서 종단경사변화비율의 값이 상



분석구간에 종단곡선 영향을 반영 못함
 (그림 3) 종단경사 구분을 위한 구간 설정

당히 큰 값을 가지는 구간은 종단경사구간으로 고려할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 종단경사비율의 값이 1000이상(100m동안 경사 변화가 0.1%)일 경우에는 확실한 종단경사구간으로 고려하고, 그렇지 않은 경우에는 잠재적인 종단곡선구간으로 고려하였다.

3) 종단경사 모델링

확실히 종단경사로 고려된 구간에 대해 즉, 종단경사 변화비율이 1000이상으로 나온 구간만의 종단경사를 이용하여 종단경사구간을 추출한 후 이를 선형회귀분석을 통하여 종단경사의 선형 방정식을 추출한다.

이 때 종단선형의 특성상 좌표가 (x, y, z) 로 3차원이나, 일반적으로 종단선형은 거리에 따른 높이로 표현되므로 수식을 단순화 시킬 수 있다. 또한 본 연구에서 사용하는 RoSSAV의 경우 일정 거리 단위로 데이터를 취득할 수 있어, 이 데이터를 이용하여 종단경사를 식(3)과 같이 모델링 할 수 있다.

$$z = \alpha d + \beta = s_i d + \beta \tag{3}$$

여기서, z : 취득 좌표의 z 값
 d : 조사 시점으로부터의 거리
 α : 종단경사 기울기($=s_i$)
 β : 절편

4) VIP의 추출

종단경사의 선형함수식을 구한 후 서로 인접한 종단경사의 직선함수간의 교차점을 구한다.

5) 종단곡선 시중점 판단 및 모델링

종단경사의 교차점 VIP를 산정한 뒤 종단곡선의 판단 및 종단곡선의 모델링을 수행하도록 한다.

종단곡선의 일반식은 2차포물선 식으로 다음과 같다.

$$y = ax^2 + bx + c$$

그러나 본 연구에서는 종속변수를 높이로, 독립변수를 조사시점으로부터의 거리로 변환하였을 때 일반식은 식(4)와 같다.

$$z = \alpha \cdot d^2 + \beta \cdot d + \gamma \tag{4}$$

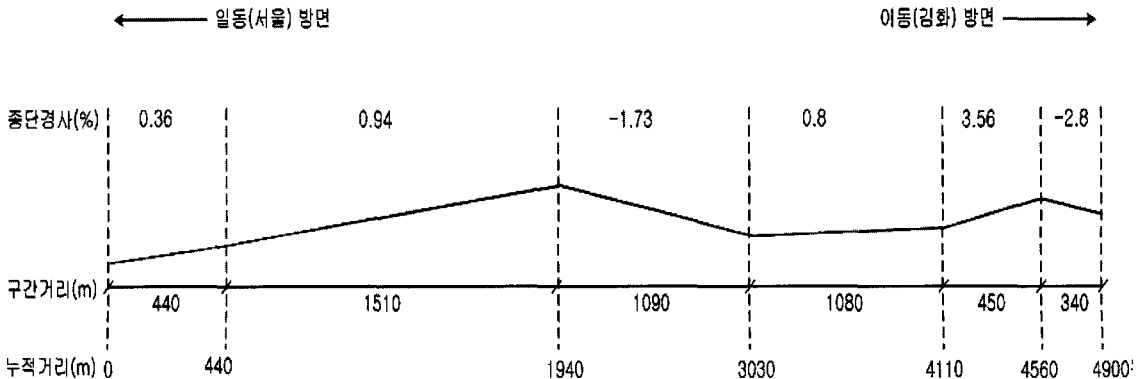
이 때 각 계수인 α , β 는 종단곡선의 시중점 점선의 기울기로 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$z = \left(\frac{s_{i+1} - s_i}{L} \right) \frac{d^2}{2} + \beta d + \gamma \tag{5}$$

여기서, s_{i+1}, s_i : 종단곡선 전 후의 종단경사/100
 d : 조사 시점으로부터의 거리
 γ : 절편

IV. 개발 알고리즘의 현장 검증

본 연구에서는 개발한 알고리즘의 현장 적용성을 평가하기 위해 RoSSAV의 주행 후에 취득한 데이터를 분석하여 도면과 그 결과를 비교하였다.



〈그림 4〉 조사구간의 개요도

1. 조사의 개요

조사는 왕복4차로의 미개통 국도인 국도47호선 경기도 포천군 일동~이동 구간에서 이루어졌으며, 약 5km의 구간에 걸쳐 조사를 수행하였다.

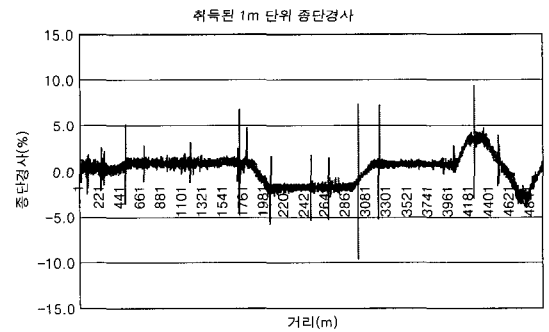
조사구간은 6개의 종단경사 구간과 5개의 종단곡선 구간이 존재하였고, 조사구간의 개요는 〈그림 4〉와 같다.

2. 개발된 알고리즘의 현장 검증

실제 조사한 자료를 이용하여 현장 적용한 절차는 다음과 같다.

1) 데이터 noise 제거

Noise를 제거하기 전의 1m 단위로 취득된 데이터를 이용하여 데이터를 plot 한 결과 〈그림 5〉와 같이 나타났다. 실제 종단경사의 경우 1m동안 변화를 느끼기가 어려



〈그림 5〉 1m 단위의 종단경사 결과

위 1m 데이터를 10m 단위로 묶고, 설계속도 80km/h 일 때 오목곡선 최소 종단경사변화비율이 35m/%이므로, 이 기준에 미달되는 데이터를 판단하여 noise를 제거한 10m 단위 종단경사는 다음과 같이 나타났다.

2) 종단경사 및 종단곡선구간의 개략적 구분

〈그림 6〉처럼 종단경사의 기울기가 변화가 없는 구간은 종단경사 구간, 종단경사의 기울기가 변화가 있는 구간은 종단곡선구간으로 구분할 수 있다.

종단경사 및 종단곡선구간을 개략적으로 구분하기 위해 종단경사의 선형회귀식 판단 및 VIP를 위해 종단경사 구간으로 확실히 판단된 구간만을 추출할 필요가 있다.

설계속도 80km/h일 때 최소종단곡선길이는 70m 이므로 70m 단위로 구간을 구분하여 종단경사변화비율을 판단한 결과는 〈그림 7〉과 같다.

그래프에서 볼 수 있듯이 종단경사변화비율이 1000m/%를 넘는 구간은 확실한 종단경사구간으로 판단이 가능하다. 다시 말해 종단곡선구간에는 종단경사변화비율이

1000m/%를 초과하는 구간이 존재하지 않았다. 이를 이용하여 대략적인 종단경사 구간을 추출하였다.

3) 종단경사의 모델링

확실히 종단경사로 판단된 구간의 데이터를 이용하여 선형회귀를 수행하였다. 이 때 시작점의 표고를 0으로 놓고 분석을 수행하였고 결과는 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 각 경사의 회귀분석 결과

구분	수식	R ²	추정 경사	도면 경사	차이
경사1	$z=0.003842d$	0.99	0.38	0.37	0.01
경사2	$z=0.00957d-2.61517$	0.99	0.95	0.94	0.01
경사3	$z=-0.01738d+49.27787$	0.99	-1.74	-1.73	0.01
경사4	$z=0.00817d-27.9953$	0.99	0.8	0.8	0
경사5	$z=0.0355d-139.807$	0.99	3.55	3.56	0.01
경사6	$z=-0.02731d+144.987$	0.99	-2.73	-2.77	0.04

4) VIP의 계산

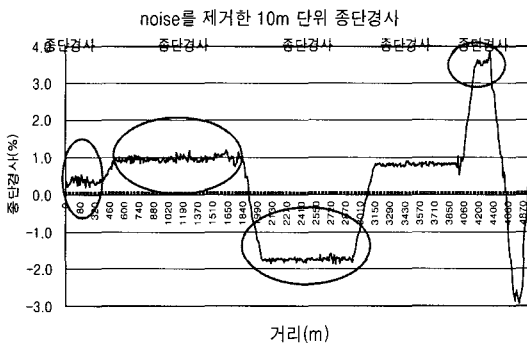
각 종단경사를 나타내는 직선식을 통해 상호 직선식 간의 종단 경사 교차점 즉, VIP(Vertical Intersection Point)를 구한다.

이 때 d는 도로 설계에서의 station 개념으로 VIP의 해는 d값, 즉 시점에서부터의 거리만을 구하도록 한다. 각 종단경사 함수간의 교점인 VIP는 〈표 2〉와 같다. 단, 본 연구의 분석데이터는 10m 간격이기 때문에, 실제 계산을 통해 도출된 VIP는 10단위로 반올림을 한 값이다

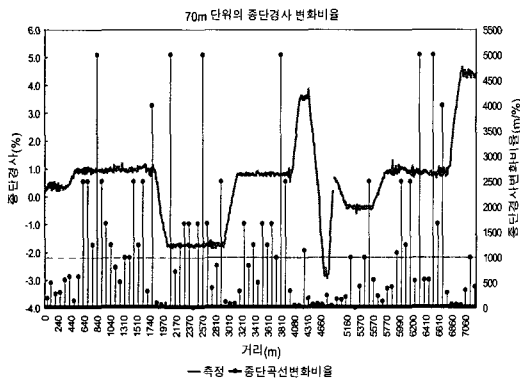
〈표 2〉 도면과 계산된 VIP의 비교

VIP 번호	계산된 VIP d(m)	도면상 VIP 위치(m)	차이(m)
1	440	440	10
2	1930	1940	10
3	3030	3030	0
4	4090	4110	20
5	4540	4560	20

도면상의 VIP와 계산된 VIP를 비교할 때, 최대 20m 가 차이 나는 것으로 나타났다. 이는 데이터의 조사 간격을 10m로 분석하여, 도출된 좌표가 1-2개 정도의 오차를 보여 의미 있는 결과로 고려할 수 있다.



〈그림 6〉 noise를 제거한 10m 단위 종단경사



〈그림 7〉 70m 단위의 종단곡선변화비율

5) 종단곡선 시중점 판단 및 종단곡선 모델링

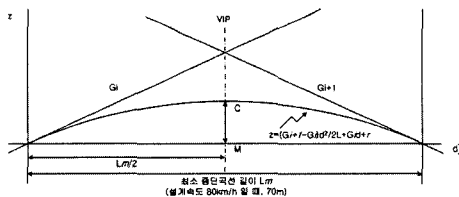
종단곡선 시중점 및 종단곡선 모델링의 단계는 종단곡선을 구성하는 포물선식을 추정하고, 추정된 포물선식과 종단경사 식의 교차점을 찾아, 종단곡선 시점 및 중점을 산출한다.

(1) 종단곡선 포물선식 추정

종단곡선 포물선의 일반식은 식(6)과 같이 정의하였다.

$$z = \alpha \cdot d^2 + \beta \cdot d + \gamma \tag{6}$$

식(6)의 계수인 α, β, γ 를 산정하기 위하여 종단곡선의 내부의 3점을 이용하여 포물선의 식을 산정하게 된다. 이 때, 종단경사 함수식의 교차점인 VIP의 경우 항상 종단곡선을 포함하는 위치에 존재하므로 VIP를 중심으로 좌우 각 최소종단곡선길이를 만족하는 구간의 좌표를 대입하여 식(6)에서의 계수를 구하였다.



(그림 8) 포물선 계수 산정을 위한 종단곡선 분석 구간

(표 4) 종단곡선 시중점 및 종단곡선 길이의 계산 값 및 도면 값의 차이

포물선 번호	계산 값			도면 정보			도면과 계산 값 차이(m)		
	BVC _c	EVC _c	L _c	BVC _d	EVC _d	L _d	BVC _d -BVC _c	EVC _d -EVC _c	L _c -L _d
1	360	490	130	380	500	120	20	10	10
2	1860	2020	160	1840	2040	200	20	20	40
3	2910	3120	210	2930	3130	200	20	10	10
4	4030	4150	120	4050	4170	120	20	20	0
5	4390	4820	430	4360	4760	400	30	60	30

본 연구에서는 총 5개의 VIP를 가지고 있으므로, 5개의 종단곡선을 가지고 있고, 이를 종단곡선의 내부 3점을 이용하여 포물선의 식을 산정한 결과는 (표 3)과 같다.

(표 3) 각 VIP의 종단곡선 포물선식

VIP	포물선의 식
1	$z = 2.22 \times 10^{-5}d^2 - 4.63 \times 10^{-2}d + 1.178$
2	$z = -6.755 \times 10^{-5}d^2 + 0.255d - 225.4$
3	$z = 6.543 \times 10^{-5}d^2 - 0.4008d + 608.89$
4	$z = 1.3 \times 10^{-4}d^2 - 1.042d + 2095.4$
5	$z = -7.32 \times 10^{-5}d^2 + 0.6682d - 1506$

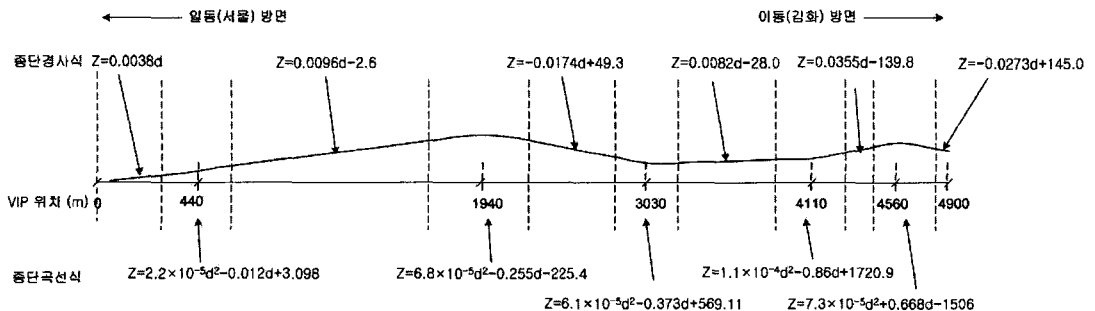
(2) 종단곡선 시·중점 계산

(표 3)에서 산출한 포물선의 식과 (표 1)에서 산출한 직선식의 교차점은 종단곡선의 시·중점을 의미한다. 따라서 VIP 1의 경우 경사 1, 2의 교차점 d_1, d_2 좌표를 구하도록 한다.

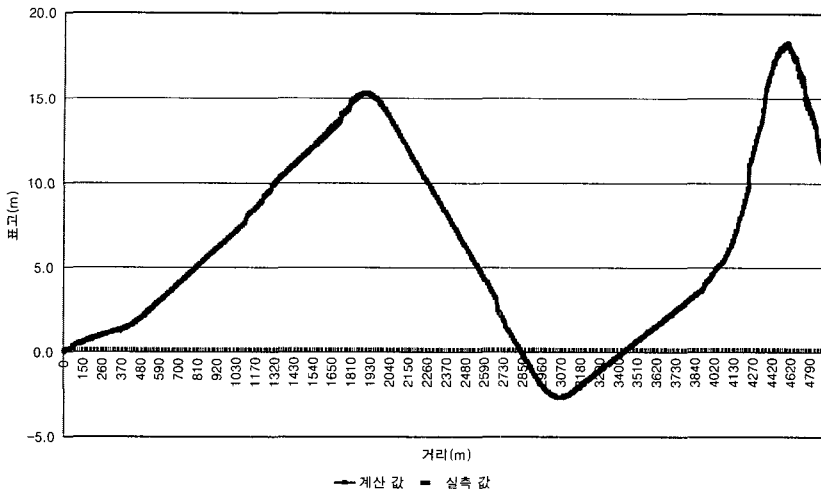
종단곡선 포물선식과 종단경사의 선형 함수식을 이용하여 산출한 종단곡선 시중점 d_i, d_{i+1} 즉, 도면에서의 BVC, EVC의 station 값 및 종단곡선 길이 L은 (표 4)와 같다.

이 때, 데이터의 분석을 10m 단위로 분석하였으며, 실제 도면도 10m 단위로 station이 작성되어 있어 결과는 10m 단위에서 반올림을 하였다.

(표 4)의 결과를 고려할 때 종단곡선의 시·중점의 위치는 도면과 약 0~60m 이내에 위치하고 있으며,



(그림 9) 종단선형의 경사 및 곡선의 모형



〈그림 10〉 종단선형 모델링 값과 실제 취득 데이터간의 비교

VIP 5에 해당하는 마지막 포물선의 경우 실제 조사 자료가 내리막 종단경사 중간에서 종료가 되어 충분치 못한 자료로 오차가 많이 발생함을 고려할 때, 알고리즘을 통해 도출된 값과 도면과의 종단곡선 시·중점은 0~20m사이 존재하는 것으로 나타났다.

또, 산정한 종단곡선의 시중점을 기반으로 종단곡선의 길이는 0~40m까지 차이가 나타났다. 이는 데이터를 10m 단위로 조밀한 분석이 이뤄지지 않은 오차와 도로의 시공시 발생할 수 있는 시공오차와 여러 단계를 거쳐 선형을 모델링 하면서 발생한 오차로 판단되었다.

실제 취득한 좌표와 모형을 통해 도출된 결과를 비교한 내용은 〈그림 9〉 같이 나타났으며, RMSE(Root Mean Square Error)는 0.01로 나타나, 종단 선형의 모형은 실제 취득한 좌표와 일치하는 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 각종 센서를 장착한 차량을 이용하여 취득한 데이터를 이용하여 종단선형을 모델링하는 알고리즘을 개발하였고 개발된 알고리즘을 실제 현장에서 적용하였다.

본 연구에서 개발한 알고리즘은 우선 취득된 데이터로부터 noise를 제거하는 방법론을 개발하였다. 그리고, 종단경사와 종단곡선 구간을 구분하여 종단경사에 대한 선형 함수식을 추정하고, 종단곡선구간의 포물선 식을 추정함으로써 종단선형 전체를 구분된 함수식으로 모델링을 하였고, 이러한 함수식을 이용하여 종단경사 교차

점인 VIP와 종단곡선의 시·중점을 구분하였다.

종단선형을 모델링한 결과를 도면과 유사한 패턴을 보여 알고리즘의 적용이 타당함을 나타냈다.

그러나 모델링 결과 도면과 차이가 나는 부분은 시공 오차인지 아니면, 측량 오차인지를 명확히 구분하지 못한 점은 과제로 남아있다.

또 종단곡선을 모델링할 때 종단곡선의 내부의 임의의 점을 취득할 때 값이 다소 다르게 나올 수 있으므로, 개별 데이터보다는 곡선에 속해있는 모든 점을 고려하여 모델링하는 방법론에 대해 향후 연구가 요구되고 있다.

또 noise를 제거하기 위해 10m 단위로 분석을 수행하였는데, 효과적인 noise 분석 방법론을 개발하여 좀 더 조밀한 간격으로 분석하는 방법론이 요구된다.

본 연구에서 개발된 알고리즘을 더 많은 현장에 적용하여 현장 적용성을 확보하여 일반화 하게 될 경우, 도면이 없는 구간에서 도면 작성 등 도로 유지관리 측면에서 활용 가능할 것으로 판단된다. 또 기하구조 정보를 센서를 탑재한 차량으로부터 추출이 가능할 경우 도로의 결합구간 파악 등 도로 안전성 분석 분야 등에도 활용 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), "도로의 구조 및 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침".
2. 노태호(2001), "위성측량에 의한 도로 편경사 자동 추출 알고리즘 개발", 대한토목학회 2001 학술발표회 논문집.

대한토목학회.

3. 서동주(2002), "GPS 실시간 동적 측위법을 이용한 도로 편경사 추출", 한국측량학회지, 제20권 제2호, 한국측량학회, pp.183~190.
4. 이종출·차성렬·이영도·김세준(2004), "수치영상을 이용한 도로편경사 추출", 2004 한국측량학회 춘계학술 발표회 논문집, 한국측량학회.
5. 한국건설기술연구원(2004), 도로안전성 조사분석 차량개발 연구보고서 (2차년도).
6. Jihan Ryu(2004), "Estimation of vehicle Roll and Road Bank Angle", 2004 American

- Control Conference, Boston, Ma road bank angle", Vehicle System.
7. Michael Cramer(1997), "GPS/INS Integration", Photogrammetric Week 1997, Institute for Photogrammetry", University of Stuttgart.
8. Naser El-Sheimy(2000), "Integrated Systems and their Impact on the Future of Positioning, Navigation, and Mapping Applications", FIG Working Week 2000, Prague.
9. Tomas F. Hickerson(1964), "Route Location and Design", McGraw-Hill.

✉ 주 작성 자 : 윤덕근
 ✉ 교 신 저 자 : 윤덕근
 ✉ 논문투고일 : 2006. 12. 8
 ✉ 논문심사일 : 2007. 1. 29 (1차)
 2007. 2. 6 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2007. 2. 6
 ✉ 반론접수기한 : 2007. 8. 31