

GPS 실시간 동적측위법을 이용한 도로 편경사 추출 Extraction of Highway's Superelevation Using GPS Real Time Kinematic Surveying

서동주* · 장호식* · 이종출**

Seo, Dong Ju · Jang, Ho Sik · Lee, Jong Chool

요 旨

본 연구는 도로 유지관리차원에서 Data Base 구축을 위한 경제적 방법인 GPS위성측량 방법중 실시간 동적 관측기법을 이용하여 도로 편경사를 추출하였다. 자체 개발한 차대를 이용하여 도로의 중심선과 양단 노선을 측정하고 분석한 결과 충분한 정확도를 얻을 수 있었다. 분석결과로는 원화곡선에서 약 1.3~2.0 cm의 오차, 원곡선구간에서 약 0.8~1.2 cm의 오차가 나타났으며, 이 오차는 시공상의 Lane Marking에 대한 오차로 판단된다. 본 연구의 결과는 Mobile Mapping System에서 도로선형요소 추출에 기본자료로 활용되리라 기대된다.

ABSTRACT

This study is about the extraction of highway's superelevation using real time kinematic surveying among of GPS surveying methods which is economic method to construct data base in the side of highway maintain management. Using the developed vehicle, center line and shoulder of highway are measured and enough precision is obtained after analyzing the result. The result is show that 1.3 cm to 2.0 cm error in the clothoid and about 0.8 cm to 1.2 cm error in the circular curve. Those errors are proved error to lane making during construction. This study is expected to become efficient method for extraction of highway alignment elements in the Mobile Mapping System.

1. 서 론

도로교통은 도로시설물위에 자동차를 사람이 운전하므로써 이루어진다. 여기서 본다면 도로시설물, 자동차, 사람의 세 요소가 모두 안전하여야 비로소 안전한 도로교통이 성립된다.

이 과정에서 도로시설물로써의 안전을 생각한다면 도로시설물의 역학적 또는 구조적 안전도 생각할 수 있지만, 자동차가 곡선부구간을 주행할 때, 원심력에 의하여 곡선부 외측으로 미끄러지려는 힘에 저항하기 위하여 설치되는 편경사의 크기가 중요한 안전요소가 된다.

편경사는 도로설계단계에서는 매우 중요한 설계요소로 취급하면서, 시공후에는 그 크기를 검증하는 절차가 대부분 무시되는 경우가 많고, 사고율이 높아져서 이에 대

한 원인을 찾을 때 그 크기가 검증되는 경우가 종종 발생한다. 이때 재래의 측량기법으로 편경사를 추출할 경우, 측정 간격이 조밀하게 설치된다면 비경제적이 된다.

그러나 GPS실시간동적 측위법으로 편경사를 추출하면, 측정간격을 아무리 조밀하게 설치하더라도 짧은 시간에 경제적으로 편경사를 추출할 수 있다.

근래에는 GPS관측장비의 보급이 일반화 되었으므로, 이를 이용하여 짧은 시간에 손쉽게 편경사를 추출할 수 있어 경제성은 충분히 있다고 할 수 있으나, 정도면에서 실용성 확보가 필요한 단계이다.

그 동안의 연구를 보면, 고속도로설계에서 안전을 고려한 설계기법¹⁾이 연구되기 시작한 이래, 곡선부에 대한 자동차의 운동계적²⁾을 연구하여 도로설계에 적용하였으며, 또한 고속도로 설계에 있어서 시가와 선형과의 관계³⁾는 도로상에서 자동차의 안전주행에 기여하였다. 우리나라의 경우에는 본격적인 자동차시대가 1970년대부터 시작되었으므로, 이 분야에 대한 연구가 선진국에 비하여

*정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정

**정회원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수

늦은 편이며, 도로의 기하구조 설RP의 일관성에 대한 연구⁴가 있었으며, 평면선형 설계기법⁵등이 수행된 바 있다.

도로교통이 고속화되면서 선형불량에 따른 안전사고가 증가함에 따라, 기존도로의 선형 요소검출이 필요하게 되었고, 여기에 새로운 측량기법인 GPS방법이 이용되기 시작하였다. GPS 정적측위방법으로 도로의 선형요소를 검출하는 연구⁶와 GPS 실시간 동적측위방법으로 도로의 선형요소를 검출하는 연구⁷가 수행되었다.

이상 연구들은 도로의 중심선 궤적을 자동차의 운동역학적 특성에 맞도록 설계하는 기법 또는 도로의 중심선 궤적을 선형요소 또는 좌표값으로 추출하는 연구에 국한되었고, 도로곡선부에 설치되어 있는 편경사를 추출하는 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 GPS 실시간 동적측위법을 이용하여 원곡선과 완화곡선이 삽입된 약 2 km구간에 대하여 추출한 후 기존도로에 설치된 편경사의 크기와 비교 분석하여 보다 경제적인 추출 위한 연구를 수행하였다.

2. GPS 관측방법

2.1 GPS 관측원리

GPS에 의한 3차원 관측법은 단독측위법과 상대측위법으로 구분할 수 있으며, 단독측위법은 위성으로부터 수신기까지의 거리를 결정하는 방법에 따라 의사거리관측법(Pseudo-range positioning), 위상관측법(Phase-range positioning), 도플러관측법(Dopler positioning) 등으로 구분하며 주로 실시간 관측에서 사용된다.

그리고 상대측위법은 크게 정적관측방법 및 동적관측방법으로 나누어지고, 정적관측방법에는 정지관측법(Static) 및 급속정지관측법(Rapid static)으로 되어있다. 또, 동적관측방법에는 의사동적관측법(Pseudo kinematic)과 실시간동적관측법(Realtime kinematic)으로 되어 있다. 이들 관측 방법은 반송파의 위상차 측정과 상대측위방법에 근거한 것이다. 이때, 수신기 사이의 거리는 기선이 되며 관측한 결과로는 3차원 직각 좌표의 좌표차인 ΔX , ΔY , ΔZ 가 계산된다.

본 연구에서는 실시간 동적관측법으로 관측하였다.

2.2 Data 취득위한 좌표변환

도로의 편경사를 분석 또는 재현하기 위한 Data취득은 일정한 축척의 선형도(線形圖) 또는 중심선, 노건끝단 궤

적의 좌표값이 필요하다. 선형도를 취득한 경우에도 중심선, 노건끝단에 대하여 일정한 간격으로 측정의 3차원 좌표값이 필요하므로, Total Station 측량이나 GPS 측량 방법이 좋으며, 특히 실시간 동적측위방법은 짧은 시간에 연속적으로 많은 Data취득이 가능하며, 곡선부에서는 곡률에 따라 측정 가능한 가장 좋은 방법이라 할 수 있다. 좌표 변환은 GPS측량의 실용화하는데 매우 중요한 요소이다. 좌표 변환에는 크게 변환요소법(7 Parameter 방법), MRE 방법, Molodensky방법이 있다.

변환요소방법은 측지좌표계의 변환관계를 나타내는 7 Parameter를 최소제곱법으로 산출하여 좌표 변환하는 방법으로 직각좌표계에서만 사용하고, MRE방법은 Tokyo Datum을 WGS84로 변환하는 식이며, 좌표 보정량을 구하여 Tokyo Datum에 기준한 값에 가감하여 WGS 84 좌표계를 취득하는 것이다.

그리고 일반적으로 3차원 좌표변환방법은 2개의 서로 다른 기준좌표계에 의한 각 측정점의 3차원 성과로부터 2개의 기준좌표계간의 이동, 회전, 축척요소를 구하고 이를 다른점에 적용시키는 것으로 사용 공식에 따라 Bursa-Wolf식과 Molodensky-Badekas식이 사용된다.

Bursa-Wolf의 변환모델은,

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta) \begin{bmatrix} 1 & \chi & \phi \\ \chi & 1 & -\omega \\ -\phi & \omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

여기서, X_w, Y_w, Z_w : 위성좌표계상의 좌표(WGS84)

X_k, Y_k, Z_k : 국지 좌표계상의 좌표

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 두 좌표계 중심간의 이동거리

ω, ϕ, χ : 좌표계 축들간의 회전량

$1 + \Delta$: 축척치

Bursa-Wolf의 변환모델은 지구전체로 볼 때 극히 부분적인 지역에만 국한되므로 변환요소간의 상관계수가 커지게 된다. 이러한 문제점을 개선하여 측정점들의 무게 중심 또는 측지원점에서 회전을특하는 Molodensky-Badekas 모델이 고안되었다.

Molodensky-Badekas 변환모델은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1 + \Delta) & \kappa & \phi \\ \kappa & (1 + \Delta) & -\omega \\ -\phi & \omega & (1 + \Delta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_k - X_m \\ Y_k - Y_m \\ Z_k - Z_m \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

식 (2-2)에서 X_m, Y_m, Z_m 은 변환하고자 하는 두 좌표계에 공통적으로 존재하는 지점들의 좌표에 대한 평균값이다. 이 변환 모델은 이동량 매개변수를 기준원점에 대해 적용함으로써 매개 변수들간에 높은 상관관계를 가지는 Bursa-Wolf 방법의 문제를 해결할 수 있다.⁸⁾

본 연구에서는 설계도에 있는 도로중심선에서 각 측점에 대하여 상대적인 편경사의 값을 참값으로 간주하였으므로 도로의 중심선의 좌표가 평면직각좌표계이므로 측지원점에서 회전하도록 하는 Molodensky-Badekas 방법으로 좌표변환하였다.

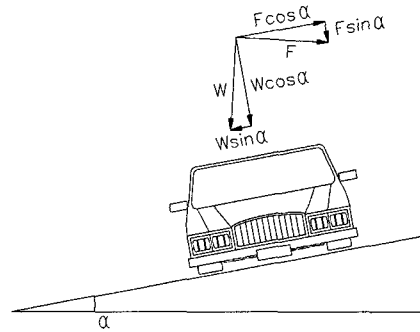


그림 1. 평면곡선부 주행시의 원심력

3. 도로선형과 편경사 이론

도로의 선형이란 도로의 중심선이 입체적으로 그려진 선의 형태를 말하며, 평면적으로 보인 도로의 중심선 형태를 평면선형, 종단적으로 보인 도로의 중심선 형태를 종단선형이라고 한다. 선형설계란, 평면선형과 종단선형을 연계하고, 현지 지형지물에 적합하며, 적절한 크기의 선형요소를 갖는 도로중심선을 결정하는 과정이다.

자동차가 평면곡선부를 주행할 때에는 원심력에 의하여 자동차는 곡선 바깥쪽으로 힘을 받게 되며 이때 원심력은 자동차의 속도 및 중량, 평면곡선반경, 타이어와 포장면의 횡방향마찰력 및 편경사와 관련하여 자동차에 작용하게 된다.

이와 같이 평면곡선부를 주행하는 자동차에 작용하는 힘의 요소들에 대하여 주행의 안전과 쾌적을 확보할 수 있도록 횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값으로 설계속도에 따른 최소 평면곡선반경을 산정하게 된다. 이때 직선부에서와 같이 안전하고 쾌적한 주행이 가능하도록 횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값을 결정하게 되므로 두 요소는 주행의 안전과 쾌적에 가장 큰 영향을 미치는 기본적인 요소라 할 수 있다.⁹⁾

3.1 평면곡선반경

차도의 곡선부의 곡선반경은 클수록 도로선형은 양호하나, 지형 여건상 크게만 하는 경우 도로선형의 전체적인 균형이 잡히지 않고, 경제성이 결여될 수도 있다. 따라서 자동차의 물리적 운동에 안전을 유지할 수 있는 범위 내에서 최소값을 정해두고, 최소값 이상 적용할 수 있는 경우에는 지형 여건에 적합하게 전체적인 균형이 유지되도록 설계함이 이상적이라 할 수 있다.

설계에 적용되고 있는 최소곡선반경은 도로의 곡선부를 주행하는 자동차에 가해지는 원심력으로 인하여 곡선부의 바깥쪽으로 미끄러지거나 전도할 위험을 방지할 수 있도록 타이어와 포장면 사이의 횡방향마찰력이 원심력보다 크도록 함과 아울러 동시에 주행의 쾌적을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

평면곡선부를 주행하는 자동차는 원운동을 하기 위하여 구심력이 필요하며, 그에 반하여 평면곡선반경과 속도에 따라 그림 1와 같은 크기의 원심력이 작용하게 된다.

그림 1에서 보듯이 평면곡선부를 주행하는 자동차의 원심력은 식 (3-1)과 같다.

$$F = \frac{W}{g} \times \frac{v^2}{R} \quad (3-1)$$

여기서, F : 원심력(kg)

W : 자동차의 총중량(kg)

g : 중력가속도(≒9.8 m/sec²)

v : 자동차의 속도(m/sec)

R : 곡선반경(m)

횡방향 마찰력에 의한 횡방향미끄럼계수를 f라 하면 자동차의 안전을 위하여는 식 (3-2)를 만족하여야 한다.

$$(F\cos\alpha - W\sin\alpha) \leq f(F\sin\alpha + W\cos\alpha) \quad (3-2)$$

여기서, α : 노면의 경사각

f : 횡방향미끄럼에 대한 노면과 타이어간의 마찰계수(횡방향미끄럼마찰계수)

식 (3-2)를 $\cos\alpha$ 로 나누어 정리하면 식 (3-3)와 같다.

$$(F - W\tan\alpha) \leq f(F\tan\alpha + W) \quad (3-3)$$

식 (3-3)에서 $\tan\alpha = i$ (편경사)를 대입하면 식 (3-4)와 같이 된다.

$$(F - Wi) \leq f(Fi + W) \quad (3-4)$$

이 식에 식 (3-1)을 대입하고, 양변을 W로 나누어 정리하면

$$R \geq \frac{v^2(1 - fi)}{g(i + f)} \quad (3-5)$$

와 같이 정리되고 fi 는 미소하므로 생략하고 정리하면 다음과 같다.

$$R \geq \frac{v^2}{g(i + f)} \quad (3-6)$$

위의 식에서 속도(v : m/sec)를 설계속도(V : km/hr)로 정리하면

$$R \geq \frac{V^2}{127(i + f)} \quad (3-7)$$

식 (3-7)은 평면곡선부를 주행하는 자동차가 횡방향으로 미끄러지지 않을 조건의 평면곡선반경, 설계속도, 횡방향미끄럼마찰계수 및 편경사의 관련식이다.

3.2 평면곡선반경과 편경사

설계시 평면곡선반경의 크기가 결정되면 그 도로의 설계속도와 평면곡선반경에 따른 적절한 편경사를 결정하여야 한다.

설계속도와 평면곡선반경에 대하여 자동차가 안전하게 주행할 수 있는 편경사와 횡방향미끄럼마찰계수의 크기는 식 (3-7)에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i + f = \frac{V^2}{127R} \quad (3-8)$$

식 (3-8)에 따라, 곡선반경(R)과 $(i + f)$ 와의 관계를 각 설계속도에 따라 도식하면 다음 그림 2과 같다.

식 (3-8)에서 속도가 일정할 경우 $(i + f)$ 의 값과 곡률($1/R$)은 정비례하고 있다. 따라서, 곡률에 대응하는 $(i + f)$ 의 값에서 곡률반경과 편경사의 관계를 결정하는 것이 용이하게 된다. 그리고, 곡률에 대응하는 $(i + f)$ 의 값을 어떻게 분배할 것인가에 대해서는 안전성과 쾌적성을 고려하여 결정된다.

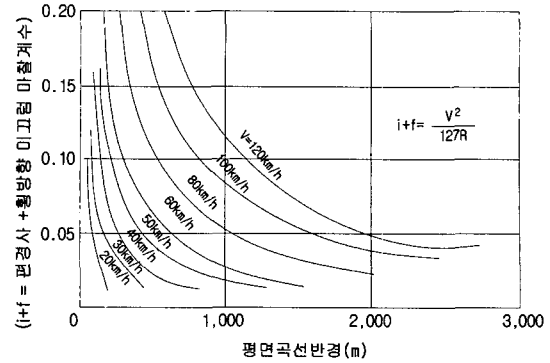


그림 2. $(i + f)$ 와 평면곡선반경의 관계

그리고 자동차가 도로를 주행하는 경우 원심력에 대하여 충분히 안정된 주행을 위해서는 편경사를 크게 취해야 하지만, 주행속도가 설계속도보다 작은 경우 편경사로 인하여 핸들을 강제로 조작하게 되고, 횡방향 활동에 대응하기 위하여 너무 큰 값의 편경사를 둘 필요가 없고 시공성 및 유지관리 측면에서 편경사는 8%를 넘지 않는 것이 적당하다.

우리 나라와 같이 하절기에는 다우 다습한 기상조건하에서 우수에 의하여 횡방향 미끄러짐이 사고의 원인이 되는 사고도 예상되고, 도로가 한냉 지대에 위치하는 경우에는 노면 동결의 영향도 고려할 필요가 있으므로, 지방지역도에 대하여서는 적설, 한냉의 정도가 격심한 지역은 최대편경사값을 낮출 필요가 있다. 따라서, 차도의 평면 곡선부에는 도로가 위치하는 지역, 적설정도, 설계속도, 평면곡선반경, 지형상황 등에 따라 최대 편경사를 붙여야 한다.

평면곡선반경의 크기를 고려하여 편경사가 필요없는 경우나, 설계속도가 시속 60 km 이하인 도시지역의 도로에서는 도로주변과의 접근과 다른 도로와의 접속을 위하여 부득이한 경우에는 편경사를 설치하지 아니할 수 있다.

4. 현장관측

4.1 관측대상지역

본 연구에서는 도로의 편경사를 비교·분석하기 위해서 부산근교의 도로를 선정하여 실시간 동적측위방법으로 평면선형을 관측하고, 관측된 자료로부터 선형의 양부를 실시간으로 분석, 도로의 평면좌표를 획득하였다.

표 1. 관측장비 제원

Modes	Trimble 4600LS	TRIMTALK 450S
	Channels 12	Range 10 km
Specification	Accuracy 1 cm + 1 ppm	Frequency Range single 10 MHz band per unit
	2 cm + 1 ppm	Transmit Power 0.5W

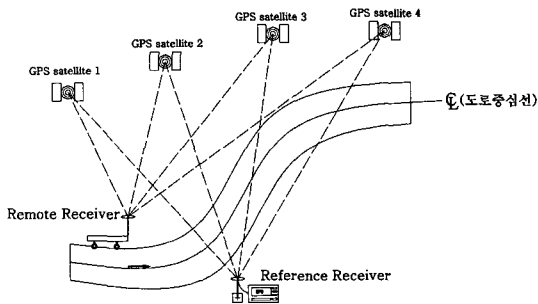


그림 3. 도로 편경사 관측시스템 구성

현장 관측은 2001년 2월 24일~2001년 2월 27일 부산근교의 도로 중, 설계제원을 알고 있는, 국도2호선 ○○-○○구간 중 약 2km구간을 선정하였다.

4.2 관측장비제원

관측에 사용된 GPS 장비의 제원은 표 1과 같다.

4.3 관측시스템 구성

관측시스템은 그림 3과 같이 현장에 기지국을 설치하고, 이동국은 도로의 중앙선을 따라 이동하면서 기준도로 중심선 선형의 각 측정에서의 3차원 좌표를 취득하였다. 도로의 중심선 선형을 GPS로 관측하는 방법에는, 차량에 GPS수신기를 탑재하여 관측하는 방법이 효과적이거나, 도로건설 후 공용중인 도로의 중심선을 따라서 GPS 탑재차량을 운행하는 것은 위험하고, 운전기능에 따라서는 관측값이 크게 달라질 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 그림 4와 같이 차대에 GPS 수신기를 고정시키고, 이 차대 왼쪽 측면을 도로 중심선과 도로 양쪽 측대 끝선에 있는 Lane Marking에 접하도록 하고, 차대를 인력으로 끌면서 측정Data수를 증가시키기 위하여 비교적 천천히 관측하였다.

이 경우 도로의 중심선의 측정위치는 중심선상에서 580 mm Offset되어 측정되어지나, 좌표계산시 X, Y방향으로 Offset량을 감하여 산출하였다. 관측은, 2 km를 관

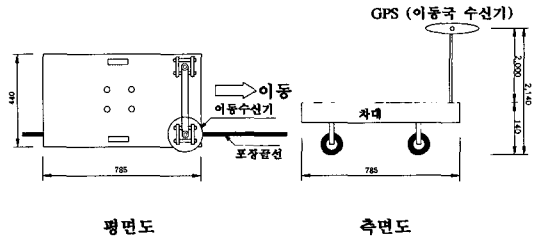


그림 4. 관측시스템 중 차대의 모습



그림 5. Reference Receiver의 모습

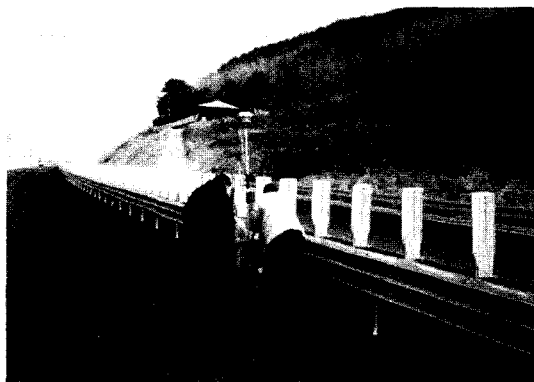


그림 6. 실시간 동적측위방법에 의한 도로선형 관측모습

측하는데 2시간이 소요되었고, 기지국 및 관측모습을 사진으로 나타내면 그림 5 및 그림 6과 같다.

5. 결과 및 분석

대한 편경사의 관측결과는 표 2 및 표 3과 같다.

5.1 관측결과

관측대상지역인 국도2호선 약 2km구간에 대하여 측점간격을 20m로 하여 일부구간의 완화곡선, 원곡선에

5.2 결과분석

본 연구에서 관측값을 이용하여 설계도상에서의 값을 참값으로 가정하여 비교 분석하였다. 완화곡선구간에서

표 2. 완화곡선구간 관측 편경사

측점	관측 결과				
	우 측		중심선 지반고 (m)	좌 측	
	편경사 (%)	지반고 (m)		지반고 (m)	편경사 (%)
BTC	-2.13	14.4938	14.6589	14.4988	-2.07
1+840	-1.26	14.4964	14.5939	14.4119	-2.35
1+860	-0.23	14.4901	14.5056	14.3221	-2.37
1+880	0.51	14.4985	14.4593	14.2810	-2.30
1+900	1.55	14.4912	14.3712	14.1928	-2.30
1+920	1.97	14.4684	14.3157	14.1332	-2.35
1+940	2.08	14.4570	14.2958	14.1059	-2.45
1+960	2.18	14.3999	14.231	14.0197	-2.73
1+980	2.26	14.3398	14.1645	13.9533	-2.73
2+000	2.45	14.2703	14.0803	13.8584	-2.86

표 3. 원곡선구간 관측 편경사

측점	관측 결과				
	우 측		중심선 지반고 (m)	좌 측	
	편경사 (%)	지반고 (m)		지반고 (m)	편경사 (%)
BC	2.90	14.1560	13.9312	13.6821	-3.21
2+060	2.94	14.1192	13.8914	13.6394	-3.25
2+080	2.84	14.0658	13.8454	13.5911	-3.28
2+100	2.95	13.9982	13.7697	13.5150	-3.29
2+120	2.97	13.9233	13.6931	13.4579	-3.03
2+140	2.85	13.8677	13.6469	13.4008	-3.18
2+160	2.92	13.8102	13.5842	13.3502	-3.02
2+180	2.82	13.7410	13.5221	13.2824	-3.09
2+200	2.99	13.6803	13.4489	13.2081	-3.11
2+220	2.85	13.6138	13.3932	13.1652	-2.94

표 4. 완화곡선구간의 편경사 비교분석

좌 측			측 점	우 측		
관측편 경사 (%)	설계편 경사 (%)	Cant (m)		Cant (m)	설계편 경사 (%)	관측편 경사 (%)
-2.07	-2.00	0.005	BTC	0.010	-2.00	-2.13
-2.35	-2.00	0.027	1+840	0.003	-1.22	-1.26
-2.37	-2.00	0.029	1+860	0.002	-0.22	-0.20
-2.30	-2.00	0.023	1+880	0.021	+0.78	+0.51
-2.30	-2.00	0.023	1+900	0.018	+1.78	+1.55
-2.35	-2.11	0.019	1+920	0.011	+2.11	+1.97
-2.45	-2.25	0.016	1+940	0.013	+2.25	+2.08
-2.73	-2.38	0.027	1+960	0.016	+2.38	+2.18
-2.73	-2.52	0.016	1+980	0.020	+2.52	+2.26
-2.86	-2.66	0.016	2+000	0.016	+2.66	+2.45

표 5. 원곡선구간의 편경사 비교분석

좌측			측 점	우측		
관측편 경사 (%)	설계편 경사 (%)	Cant (m)		Cant (m)	설계편 경사 (%)	관측편 경사 (%)
-3.21	-3.00	0.016	BC	0.008	+3.00	+2.90
-3.25	-3.00	0.019	2+060	0.005	+3.00	+2.94
-3.28	-3.00	0.022	2+080	0.012	+3.00	+2.84
-3.29	-3.00	0.022	2+100	0.004	+3.00	+2.95
-3.03	-3.00	0.002	2+120	0.002	+3.00	+2.97
-3.18	-3.00	0.014	2+140	0.012	+3.00	+2.85
-3.02	-3.00	0.002	2+160	0.006	+3.00	+2.92
-3.09	-3.00	0.007	2+180	0.014	+3.00	+2.82
-3.11	-3.00	0.009	2+200	0.001	+3.00	+2.99
-2.94	-3.00	-0.005	2+220	0.012	+3.00	+2.85

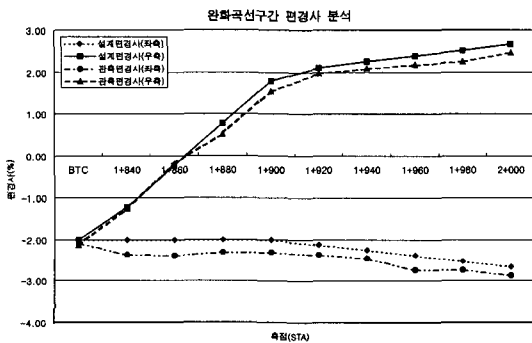


그림 7. 원곡선구간의 편경사 분석값

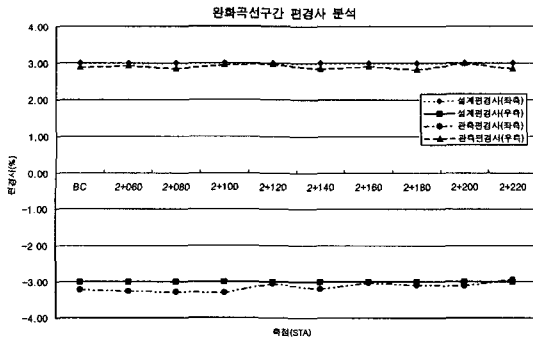


그림 8. 원곡선구간의 편경사 분석값

의 편경사는 표 4와 그림 7에서 보는 바와 같이 좌측차로에서는 평균오차가 약 2 cm, 우측차로에서는 평균오차 $\pm 1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$ 약 1.3 cm로 나타났으며, 좌측차로에 비교적 많은 오차가 보이는데 그것은 진입차로가 있어 Lane Marking의 불명확성 때문에 발생된 오차로 생각된다. 그리고 원곡선 구간에서의 편경사는 표 5와 그림 8

에서 보여지는 것처럼 좌측차로에서는 평균오차가 1.2 cm 이며, 우측차로에서는 0.8cm 정도로 아주 양호하게 나타났다.

6. 결 론

도로시설물의 효과적인 유지관리 및 도로선형개량을 위한 설계기술향상에 기여하기 위하여 실시간 동적측위 방법을 이용한 도로의 편경사를 추출함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실시간 동적측위방법으로 취득한 도로의 계획고를 이용한 편경사를 계산 및 분석하여, 실제 설계제원과 비교함으로써 시공허용오차에 가까운 정확도로 편경사를 추출할 수 있었다.
- 2) 관측결과, 원곡선구간의 경우 약 1.3~2.0 cm의 오차, 원곡선구간의 경우 약 0.8~1.2 cm의 오차를 나타내었으며, 오차의 원인은 시공시에 흔히 발생할 수 있는 시공오차, Lane Marking에 의한 오차, GPS 이동국이 이동할 때 도로중심선과 노면에 일치하지 않으므로 발행하는 오차 및 Modem의 성능에 따른 오차도 수반된다고 된다.
- 3) 실시간 동적측위방법으로 손쉽게 편경사의 크기를 산출할 수 있어, 교통사고율이 높은 구간에서 편경사에 의한 위험요소를 규명할 수 있다고 사료된다.
- 4) 앞으로, 첨단정보이용에 필요한 도로시설물의 위치선정 및 선형설계가 필요하게 되므로, 본 연구의 결과는 Mobile Mapping System에 맞추어 선형설계 및 시설물유지관리차원에서 기초자료로 제공되리라 판단된다.

참고문헌

1. Glennon, J.C., "State of the Art Related to Safety Criteria for Highway Curve Design", Texas Highway Department. Report 134-4, 1971.
2. Glenoon, J.C. and Weaver, G.D., "The Relationship of Vehicle Paths to Highway Curve Design", Texas Highway Department., Report 134-5, 1971.
3. 河島, 恒 市川義博, 倉澤眞也, 井口 浩, 江頭泰生, "高速道路の計劃と設計", 山海堂, 1981, pp.313-317.
4. 황영도, "도로의 기하구조 설계의 일관성에 대한 연구", 서울시립대학교 도시행정대학원 석사학위논문, 1992, p8.
5. 박도병, "국도 24호선과 35호선 도로 선형에 관한 연구", 울산대학교 대학원 석사학위논문, 1995, pp. 9-12.
6. 김주현, "도로의 평면선형 설계기법에 관한 연구", 한양대학교 산업대학원 석사학위논문, 1996, pp. 5-6.
7. 문정환, "GPS에 의한 도로의 평면선형분석", 부경대학교 대학원 석사학위논문, 2000, p.31.
8. 이종출, "동적GPS관측에 의한 도로의 평면선형 분석", 한국측량학회, 제19권, 제1호, 2001, pp. 39-45.
9. 조규전, 전재홍, 차득기, 어수창, "소지역에서 GPS좌표 변환에 관한 연구", 한국측지학회, 제15권, 제2호, 1997, pp. 253-261.
10. 건설교통부, "도로 구조·시설기준에 관한 규칙", 1999, pp. 108-151.

(2002년 1월 29일 원고접수)