

GPS-IMU 통합 시스템을 이용한 도로기하구조 측정에 관한 연구

박재홍* · 윤덕근 · 성정곤 · 이준석

한국건설기술연구원 SOC성능연구소 도로연구실

The Measurement of Road Alignment Using GPS-IMU System

PARK, Jae-Hong* · YUN, Duk-Geun · SUNG, Jung-Gon · LEE, Jun-Seok

Highway Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

Abstract

It is important for highway maintenance and safety assessment to get the accurate highway geometric information. However, it is difficult to acquire good highway geometric information due to missing blueprints or deteriorated highway sections. This research, to get highway geometric information rapidly, has developed a highway geometric analysis algorithm that uses data from vehicles with GPS-IMU integrated system. In conclusion, the result shows that 3.38% of error-ratio for the horizontal alignment and 0.083 absolute value difference for vertical grade comparing with highway drawings. Therefore, the result suggest that the developed method can be applied to the road safety inspection or road safety audit.

도로기하구조정보는 도로의 유지관리와 안전성 평가 등에 중요한 요소로써, 정보를 취득하려는 구간에 대한 정확한 기하구조정보를 취득하는 작업은 중요하다. 그러나, 도면이 부재하거나 선형의 결함이 발생하는 구간에서는 정확한 자료를 수집하는데 한계가 존재한다. 따라서, 이러한 구간에 도면정보를 신속하게 취득하기 위해 본 연구에서는 GPS-IMU 통합시스템이 장착된 차량에서 취득된 자료를 이용하여 도로기하구조를 측정하였다. 연구결과, 정확도의 기준이 되는 도면 값과 평면선형은 3.38%의 오차율이 나타났으며, 종단선형은 0.083의 절대값 오차가 나타났다. 따라서, 본 연구에서 도출된 결과는 도로안전점검 및 진단과 같은 도로관리업무에 활용될 목적으로 적용이 가능한 것으로 판단된다.

Key Words

Horizontal Alignment, GPS, IMU, MMS, Vertical Alignment
평면선형, 전지구측위시스템, 관성항법시스템, 이동측위시스템, 종단선형

* : Corresponding Author

jhpark@kict.re.kr, Phone: +82-31-910-0100, Fax: +82-31-910-0746

Received 2 February 2012, Accepted 11 December 2012

I. 서론

도로기하구조 정보는 교통사고분석, 도로 유지관리 및 도로 안전성 평가 등에 중요하게 사용되므로, 도로기하구조 정보의 취득을 위하여 기존에는 도로 설계시 제작된 도면을 이용하였다. 그러나, 도면의 부재 및 도로의 유지 보수 등에 의한 선형 결함이 발생한 구간에서는 기하구조정보의 수집에 한계가 존재한다. 또한, 도면이 존재하는 구간에서도 인력을 통해 직접 현장에서 조사하였으므로 선형정보 취득에 오랜 시간이 소요되었다. 이러한 선형정보 취득의 한계점을 보완하기 위해 최근에는 GPS(Global Positioning System), IMU(Inertial Measurement Unit), DMI(Distance Measurement Instrument), 레이저 스캐너, 카메라 등의 센서를 이용하여 필요한 정보를 취득한다.

특히, 본 연구에서는 고정식으로 자료를 수집하던 기존 방식과 달리 목적에 맞는 센서를 차량에 장착하여 자료를 수집하는 이동측위시스템을 사용하였다. 또한, 도면 값 도출을 위한 정확한 도로선형측량이 아닌 도면이 없는 현장의 안전점검과 관리목적에 위한 도로기하구조 측정으로 한정하고 연구를 진행하였다.

영동고속도로 및 국도 37호선 일부구간을 도로기하구조 측정 및 검증을 위한 구간으로 선정하였다. 평면선형과 종단선형을 측정하였으며, 평면선형은 직선, 곡선(원곡선, 완화곡선)으로 구분하였으며, 종단선형은 종단경사와 종단곡선으로 구분하였다.

본 연구에서는 센서에서 측정되는 자료의 적절한 선택을 위해 순서형 프로빗(Ordered Probit Model) 모형을 통해 변수를 선택 하였다. 평면선형을 직선, 완화곡선, 원곡선으로 구분하여 종속변수로 설정하고, 차량의 회전과 관계가 깊은 Roll, Heading을 독립변수로 선정하였다. 또한, 이상치를 제거하기 위해 이동평균법(Moving Average)과 각 선형의 구분을 위한 임계값 설정을 위해 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하였다.

본 연구의 2장에서는 도로기하구조 정보 취득을 위한 기존문헌에 대한 고찰, 3장에서는 자료수집, 분석방법에 관한 절차를 제시하였다. 4장과 5장에서는 평면선형, 종단선형에 대한 분석결과를 제시했으며, 6장에서는 본 연구에서 도출된 결론 및 향후 연구 과제를 제시하였다.

II. 기존문헌고찰

센서를 이용하여 수집된 자료를 도로선형구분에 사

용한 도로선형 국내·외의 기존연구를 제시하였다.

Lee et al. (2002)은 일반국도 PMS의 동질성 구간 분할 방법을 개선하기 위한 연구를 위해 유전자 알고리즘을 사용하였다. 유전자 알고리즘의 사용을 통해 적합도 함수를 단위구간별 포장특성치와 동질성 구간의 특성치의 편차로 정의하였으며, 유전자 알고리즘에 의해 동질성 구간을 최적화한 결과는 합리적인 것으로 제시하였다. Jung et al. (2006)은 곡선구간의 편경사를 신속하고 안전하게 측정하는 방법으로 GPS-IMU 통합시스템을 제안하고 기존에 건설된 국도의 편경사 측정방법 및 결과를 제시하였다. GPS-IMU 통합시스템을 이용하여 편경사를 측정한 결과, 조사구간 내에서 약 0.4이내의 RMSE 정확도로 노면의 경사를 측정할 수 있다는 결과를 제시하였다. Yun et al. (2006)은 도로안전성 조사 분석 차량을 이용하여 도로의 횡단경사를 측정하는 알고리즘을 개발하였다. 또한 알고리즘의 적용성을 검토하기 위해 편경사가 설치된 곡선구간을 선택하여 편경사를 측정하고 통계적으로 검증하였다. Lee et al. (2007)은 도로에 대한 3D 스캐닝 자료를 이용하여 공간정보와 도로 중심선에 대한 자료를 추출 하였다. 특히, 직선, 원곡선 및 완화곡선의 데이터를 분석하고, 도로선형과 편경사를 산정하였다. Lee et al. (2010)은 도로조사차량에 부착된 GPS-IMU, 회전식 레이저를 이용하여 도로의 횡단경사를 취득하였다. 센서를 이용한 편경사 분석결과, RMSE가 0.44로 정밀한 횡단면 분석이 가능한 것으로 제시하였다. Jung et al. (2011)은 GPS-INS 센서가 탑재된 조사차량을 이용하여 기하구조정보를 수집하여 직선, 원곡선, 완화곡선을 구분하는 알고리즘을 개발하였다. 유전자 알고리즘과 분류정확도를 최대로 하는 알고리즘을 설정했으며, 알고리즘을 평가한 결과 90.48%, 88.24%의 분류정확도를 나타내었다.

Ryu et al. (2002)은 GPS와 IMU를 이용하여 차량자세를 평가하는 방법에 대하여 연구하였다. GPS와 IMU를 센서자료의 간차에 대한 보정을 위해 칼만필터를 사용하였으며, 차량의 횡방향 미끄러짐을 계산하였다. IMU와 GPS센서를 차체에 장착하고, 차량의 움직임과 도로의 영향으로부터의 Roll, Pitch 자료를 취득하였으며, Roll과 경사는 차량의 자세와 일치하다는 결과를 제시하였다. Ryu and Gerdes (2004)는 disturbance observer와 vehicle dynamic model을 사용하여 횡단경사와 차량의 Roll을 정의하기 위한 방법을 제시하였다. 차량자세와 차량모형의 파라미터는 GPS와 IMU센

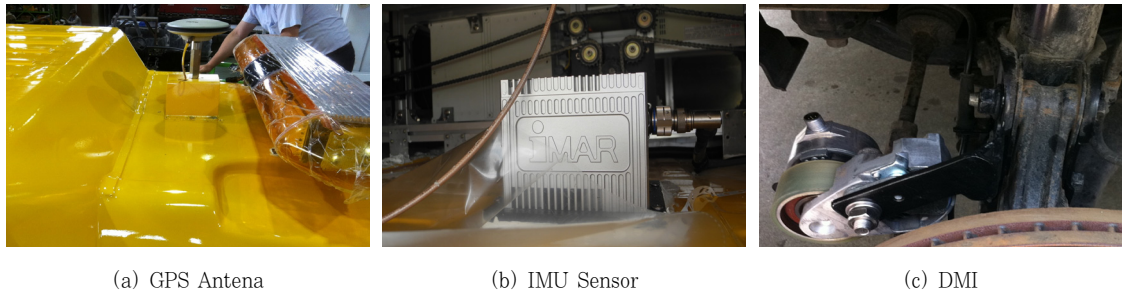


Figure 1. Sensor for data collection

서를 이용하여 정확하게 측정하였다. 실험결과 연구에서 제시된 방법은 차량의 Roll과 횡단경사각을 구분하는데 적절한 평가방법으로 제시하였다. Lamm et al. (1999)은 도로의 곡률변화율과 교통사고의 연관성에 대하여 연구하였다. 연구결과, 도로 선형 변화에 따른 운전자의 주행속도를 추정할 수 있는 모형을 개발하여 제안하였다. Cafiso and Cava (2009)는 운전자 차량 수집시스템(DIVAS)을 이용하여 선형 일관성 평가를 하였다. 분석결과, 주행평가지표로써 사고자료와 통계적으로 유의하게 나타난 '최대 속도의 차이', '구간의 평균속도와 한 지점의 최소 속도'를 제시하였다.

기존 연구에서는 고정식 레이저 센서를 이용한 선형 추정 및 특정구간에 대한 선형분석 결과를 제시하였다. 레이저를 사용하여 선형정보를 취득하는 경우, 고정식 레이저가 측량이 가능한 지역에 대해서만 선형분석이 가능하며, 포인트 클라우드 개념으로써 많은 양의 데이터가 자료 분석에 사용된다. 또한, 고정식 레이저를 사용하여 측량하는 경우, 레이저 측정한계가 수백 미터에 불과하므로, 수십 km의 도로교통안전진단 및 점검에 활용 시에는 이동 및 시간에 대한 한계가 존재한다. 그러나, 특정지점에 고

정시키지 않는 GPS-IMU 통합시스템을 이용하는 경우, 차량과 같이 고속으로 이동하는 물체에서도 정확한 위치 정보를 취득 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 본 연구에서 사용된 장비는 GPS와 IMU로 GPS는 1초에 5번의 신호수집이 가능하며 IMU는 1초에 200번의 신호수집이 가능하다. 위치정확도는 GPS-IMU 통합시스템의 경우 정적인 상태에서 2-3cm로 되어 있으나 본 연구에서는 동적상황에서 계측된 상황으로 차량의 주행궤적에 따라 정확도가 다르지만 절대 위치정확도는 60cm 이내의 정확도를 가지고 있으며, Figure 1에 제시하였다.

III. 연구수행절차

1. 분석구간 선정

도로기하구조 측정을 위해 영동고속도로 일부구간을 알고리즘 개발을 위한 분석구간으로 선정하였다. 분석구간은 양방향 4차로이며, 제한속도 100km/h로써, 각 구간의 연장은 1.5-4.5km, 곡선반경(R)은 700m-1250m로 나타난다. 또한, 분석구간에는 곡선구간(원곡선, 완화곡선)과 직선구간이 혼재하므로, 분석구간으로 적합하다.

본 연구는 특정 도로가 아닌 간선의 기능을 가지는 도로에서 범용 적으로 도로기하구조를 측정하는데 목적이 있다. 이에 분석구간에서 개발된 값들의 현장 적용성을 판단하기 위해 일반국도에도 적용하였다. 따라서, 분석구간에서 도출된 임계값 등의 적용을 위한 테스트구간은 도로 개통 후, 1년 미만인 신설도로를 선정하였다. 기존 도로의 경우 노선 개통 후, 노면상태 불량, 선형개량에 의한 도로기하구조 변경에 따른 오차가 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 선형개량에 의해 기존의 국도 37호선에서 신설된 약 7km의 구간을 테스트 구간으로 선정하고 Figure 2에 제시하였다.

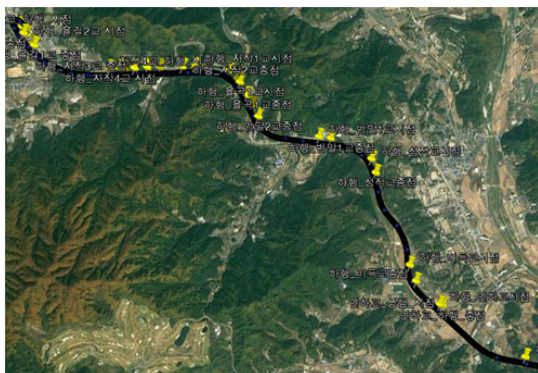


Figure 2. Test section

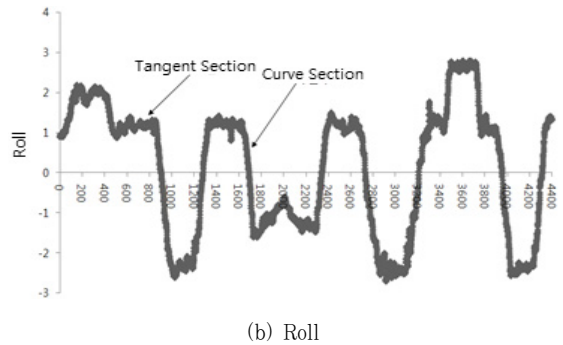
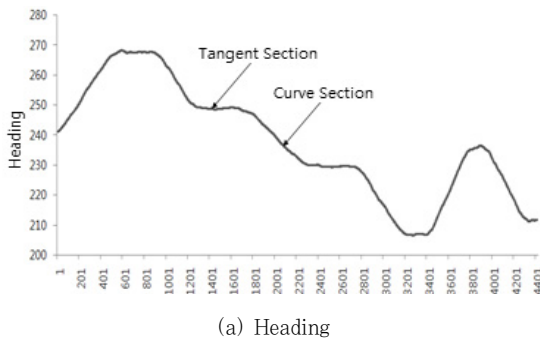


Figure 3. Variation of heading and roll

2. 자료수집

도로기하구조분석에 필요한 위치 및 자세 자료를 수집은 GPS-IMU 통합시스템을 이용하였다. IMU는 가속도계와 자이로 센서를 이용하여 물체의 자세를 측정하는 센서이며, 가속도계는 x, y, z축에 대한 가속도 측정이 가능하다. 그러나, 중력외의 가속이 측정되는 경우 가속도계만으로는 한계가 존재하므로, 회전각을 측정하는 자이로 센서를 이용하여 정확한 기울기를 측정한다.

따라서, GPS-IMU 통합시스템은 GPS 및 IMU 센서가 가지고 있는 단점을 보완하여 장점을 증대시키는 시스템으로써, 음영지역에서 발생하는 GPS 위치오차를 IMU의 자세정보가 보정함으로써 정확한 위치정보 수집이 가능하다.

3. 분석 방법론

GPS-IMU 통합시스템은 Roll, Pitch, Heading의 자세자료를 수집하며, 평면선형과 연관된 자세자료는 Figure 3에 제시한 Roll, Heading이 적합하다. 또한, GPS-IMU 통합시스템에서 수집된 위치자료 중에서, Figure 4에 제시된 z좌표를 이용하여 종단선형을 구분이 가능하다. 위치자료(z좌표)를 사용하는 경우에는 차량 선/후두의 움직임에 의해 오차를 사전에 예방과 더불어 차량의 정확한 높이의 측정이 가능하다. 또한, 위치자료(z좌표)의 변화량은 도로의 기울기를 나타내는 노면경사 값과 일치하므로 종단선형 분석에 적합하다.

본 연구에서는 1m 간격으로 자료 측정하는 DMI를 이용하여, 단위거리(1m)에 따른 변화량의 측정이 가능하다. 따라서, 평면선형 변화와 영향력이 높은 자료를 선택하기 위해 Table 1과 같이 Roll, Heading을 변화시켰다.

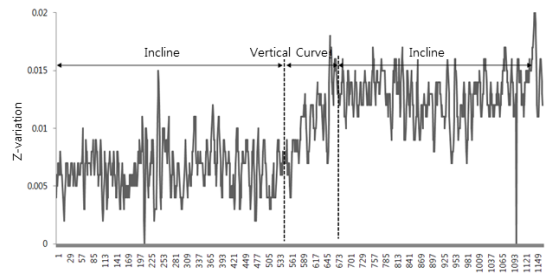


Figure 4. Z-variation

Table 1. Variable description

		Description	Avg.	S.E.
Independent Variable	H_1	$H_i - H_{i-1}$	0.002	0.074
	H_1^{ABS}	$ H_i - H_{i-1} $	0.055	0.050
	H_2	$(H_i - H_{i-1}) - (H_{i-1} - H_{i-2})$	0.000	0.014
	R_1	$R_i - R_{i-1}$	-0.001	0.020
	R_1^{ABS}	$ R_i - R_{i-1} $	0.015	0.014
Dependent Variable	R_2	$(R_i - R_{i-1}) - (R_{i-1} - R_{i-2})$	0.000	0.006
Dependent Variable		0(Line), 1(Transition Curve), 2(Curve)		

* i : Station, H : Heading, R : Roll

순서형 프로빗 모형에서는 여러 독립변수를 함께 투입시켜, 각각의 독립변수가 종속변수에 미치는 영향의 정도에 대한 분석이 가능하다. 따라서, Roll, Heading을 변화시켜 독립변수로 선정하고, 도로기하구조(직선, 완화곡선, 원곡선)를 종속변수로 선정하여 순서형 프로빗 모형에 적용하였다. 또한, 상관분석을 시행하여 변수 선택을 보완하였으며, 각 변수는 센서에서 측정되는 각도(degree)의 결과로써 제시하였다.

GPS-IMU 통합시스템이 장착된 차량에서 수집된 원시자료에는 이상치가 포함되어 있으므로, 평활화(Smoothing)를

통한 이상치 제거가 필요하다. 본 연구에서는 보편적인 평활화 방법으로써 각각의 원시데이터를 일정 구간별로 그룹을 지은 인접 점들 간의 평균으로 대체하는 이동평균법을 사용하였다.

이동평균법을 사용하기 위해서는 분석 범위(Span)를 선정해야 하며, 분석범위의 크기에 따라 평활화 정도에 차이가 난다. 즉, 이동평균법의 Span이 큰 경우에는 자료가 과다하게 스무딩되며, Span이 작은 경우에는 이상치를 적절히 제거하지 못하여 선형분석을 하는데 어려움이 존재한다. 따라서, 도로기하구조를 가장 적절하게 나타내기 위한 적정 Span 및 도로기하구조 분석에 대한 임계값을 결정하기 위하여 유전자 알고리즘을 사용하였다.

유전자 알고리즘은 확률적인 방법과 개체간의 체계적인 정보교환을 통한 탐색공간의 조사를 이용하여 최적의 해를 산출하는 방법이다. 선택, 교배, 돌연변이의 유전학적 연산자들에 의한 선택을 사용하여 염색체의 개체집단에서 새로운 집단으로 이동시키는 방법으로 최적화, 자동 프로그래밍, 경제학, 생태학, 집단 유전학 등에 응용되고 있다 (Mitchell, 1997). 유전자 알고리즘은 적합도에 대한 평가 과정을 거쳐 새로운 집단에 대한 적합도를 산출하여 수렴조건을 만족하면 알고리즘을 종료하고, 수렴조건이 만족되지 않는 경우에는 선택, 교배, 변이과정을 반복한다. 본 연구에서 사용한 유전자 알고리즘의 변수들은 선행연구 (Jung et al., 2011) 및 기존연구에서 일반적으로 사용되는 값을 기본 값으로 선정하고 연구를 진행하였다.

유전자 알고리즘 분석에 사용된 초기 집단 수는 20, 교배확률 80%, 변이확률 50%, 반복횟수는 100회로 설정하였다. 또한, 목적함수를 선형분석 알고리즘을 통해 산출되는 분류정확도로 설정하였다. 분류정확도는 알고리즘을 이용하여 구분된 결과와 도면에 제시된 기하구조와의 일치에 대한 정확도(%)를 의미한다. 본 연구에서는 최대 분류 정확도(알고리즘에 의해 분류 값과 실제 값과의 비교를 통해 정확하게 분류한 비율)가 산출되는 이동평균법의 Span, 기하구조를 분석하는 임계값으로 선택하였다.

IV. 평면선형 분석

1. 변수 선택 결과

순서형 프로빗 모형 및 상관분석으로 분석한 결과를 Table 2에 제시하였다. 독립변수 6개 중에서 4개의 변수

Table 2. Result of horizontal alignment variation

	Coefficient (P-value)	Correlation Coefficient (P-value)
H_1	3.202(0.000)	0.049(0.000)
H_1^{ABS}	59.303(0.000)	0.775(0.000)
H_2	4.618(0.243)	0.001(0.924)
R_1	3.378(0.000)	0.029(0.014)
R_1^{ABS}	-3.436(0.000)	0.061(0.000)
R_2	154.129(0.392)	0.009(0.430)

(H_1 , H_1^{ABS} , R_1 , R_1^{ABS})가 통계적으로 유의(p<=0.05)하며, 변수의 계수 값이 크게 나타나는 것은 각 변수의 변화량은 선형변화 연관성이 높은 것을 의미한다. 각각의 변수에 대한 상관분석 결과, 계수 값이 0.2이하로 나타나므로 변수들의 간의 영향력은 적지만, 종속변수에 대한 상관분석결과 H_1^{ABS} 가 0.775로 높게 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 평면선형을 구분하기 위한 최적의 변수로써, 1m단위의 Heading의 절대값 변화율(H_1^{ABS})을 사용하였다.

2. 원곡선 분석 결과

GPS-IMU 통합시스템에서 취득된 자세자료 중에서 순서형 프로빗 모형분석 결과에 따라 Heading의 절대값 변화율을 이용하였으며, 직선구간과 곡선구간을 구분하는 임계값(K_1)을 유전자 알고리즘을 통해 도출하였다. 영동고속도로 분석구간에서 유전자 알고리즘을 통해 도출된 임계값(K_1)은 0.015로 나타났으며, 취득된 자료의 스무딩을 위한 분석범위(Span)로 20m가 선정되었다. 또한, 직선구간과 곡선구간을 구분하는 임계값($K_1 = 0.015$)에 따른 분류정확도는 93.22%로 나타났다. 즉, GPS-IMU 통합시스템에서 취득된 1m당 Heading의 절대값 변화율이 0.015이하로 나타나는 경우에는 직선, 0.015를 초과하면 곡선으로 구분이 가능하다.

본 연구에서는 GPS-IMU 통합시스템에서 수집된 자료의 효과적인 활용을 위해 임계값(K_1)에 의해 구분된 직선부에 대한 선형방정식의 기울기와 Y절편을 이용하여 교점(IP: Point of Intersection)의 산출하고, 곡선부의 곡선반경(R)을 추가적으로 산출한 결과를 Table 3에 제시하였다.

오차율은 도면에 제시된 곡선반경과 본 연구에서 제시한 알고리즘에 의해 산출된 곡선반경과의 차이의 백분율을 오차율로 선정하였다. 테스트구간에서의 각 곡선구

Table 3. Analysis result(horizontal alignment)

Section		Floor plan_R	Result_R	Error(%)		
Analysis Section	Young-Dong Highway	Sta.167.500 - Sta.163.061	Curve1	1000	1001.486	0.15
			Curve2	700	705.596	0.79
			Curve3	800	842.161	5.01
		Sta.189.600 - Sta.188.240	Curve1	910	912.816	0.31
			Curve2	920	1015.387	9.39
		Sta.209.940 - Sta.206.440	Curve1	1100	1139.601	3.47
	Curve2		1250	1309.612	4.55	
	Sta.227.300 - Sta.229.060	Curve1	850	829.671	2.45	
		Curve2	1200	1105.984	8.50	
	Test Section	Arterial 37	To Seoul	Curve1	440	442.132
Curve2				680	678.781	0.18
Curve3				530	553.124	4.18
Curve4				420	403.950	3.97
Curve5				420	417.347	0.64
Curve6				420	411.499	2.07
Arterial 37		To Hyeonri	Curve1	420	408.838	2.73
			Curve2	420	454.197	7.53
			Curve3	420	407.083	3.17
			Curve4	530	571.804	7.31
			Curve5	680	635.641	6.98
			Curve6	440	434.256	1.32

간에 대한 평균 오차율은 3.38%로 나타났다. 도면에서는 도로중심선을 기준으로 곡선반경을 계산하여 나타내지만, 본 연구에서는 주행차로에서 취득한 자료를 이용하여 곡선반경을 도출한 점 등이 오차의 원인으로 판단된다.

3. 완화곡선 분석 결과

곡선구간으로 구분된 구간에서 원곡선과 완화곡선을 구분하기 위하여, 곡선반경(R)과 완화곡선을 구분하는 임계값(K_2)을 산출하였다. 완화곡선은 기준지침(국토해양부, 2009)에서 '직선부와 곡선부 또는 곡선부와 곡선부사이에서 자동차의 원활한 주행을 위하여 설치하는 곡선으로써 곡선상의 위치에 따라 곡선 반지름이 변하는 곡선'으로 정의되어 있다. 따라서, 곡선구간을 원곡선구간과 완화곡선구간으로 구분하기 위하여 원곡선의 곡선반경(R)과 원의 중심에서 실제 주행궤적(X_1, X_2, \dots) 차이($\overline{OX_n} - R$)의 평균을 이용하였다. 원의 중심을 O (x_0, y_0), 차량의 주행궤적을 $X_1(x_1, y_1), X_2(x_2, y_2), X_3(x_3, y_3), \dots$ 라고 정의하는 경우, 이정량($\overline{OX_n} - R$)의 산출이 가능하며, Figure 5에 이정량 산출 개략도를 제시하였다. 그러나, 차량의 실제 주행시에 발생할 수 있는

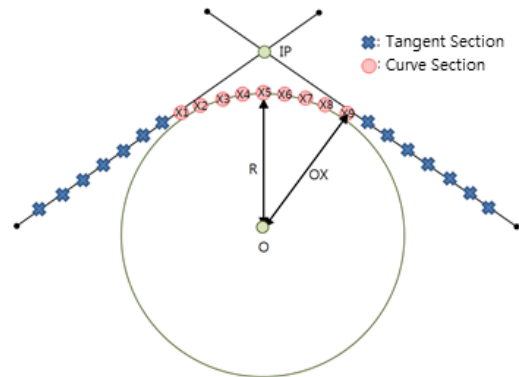


Figure 5. Outline of curve section

오차로 인해 발생하는 이정량을 보완하기 위하여 주행원 곡선과 완화곡선을 구분하는 임계값(K_2)은 완화곡선을 구분할 수 있는 최대 이정량을 적용하였으며, 적용결과를 Table 4에 제시하였다.

곡선반경과 원의 중심과의 이정량을 구분하는 임계값(K_2)을 0.06으로 선정하는 경우, 모든 구간에서 완화곡선을 구분하는 것으로 나타났다. 즉, 원의 중심에서 주행궤적간의 거리($\overline{OX_n} - R$)가 0.06이하로 나타나는 구간에서는 원곡선으로 판단되며, 0.06초과로 나타나는 구간에서는 완화곡선으로 판단이 가능하다.

Table 4. Result of critical value(K_2)

			Critical Value				Floor plan	
			0.04	0.05	0.06	0.07	R	Transition Curve
Analysis Section	Young-Dong Highway	Sta.167.500 - Sta.163.061	Classification	Classification	Classification	Classification	1000	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	700	Exist
		Sta.189.600 - Sta.188.240	Classification	Classification	Classification	Not	800	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	910	Exist
		Sta.209.94 - Sta.206.44	Classification	Classification	Classification	Classification	920	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	1100	Exist
		Sta.227.300 - Sta.229.060	Classification	Classification	Classification	Classification	1250	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	850	Exist
Test Section	Arterial 37	To Seoul	Classification	Classification	Classification	Not	440	Exist
			Classification	Classification	Classification	Not	680	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	530	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	420	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	420	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	420	Exist
		To Hyeonri	Classification	Classification	Classification	Classification	420	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	420	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	420	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	530	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	680	Exist
			Classification	Classification	Classification	Classification	440	Exist

V. 종단선형 분석

1. 종단선형 분석결과

분석구간에서의 종단경사와 종단곡선을 구분하는 임계값(K_1)을 평면선형에서 사용한 방법과 동일하게 적용하

Table 5. Span, critical value, CCR(%)

Span	Critical Value(K_1)	CCR(%)
51	0.05	79.21
50	0.05	77.22
49	0.05	75.97
48	0.05	75.17
46	0.04	72.08
43	0.04	63.92
42	0.04	61.87
40	0.04	51.73
39	0.04	48.05
33	0.03	29.61
32	0.03	28.14
19	0.02	16.75
18	0.02	16.31
16	0.02	16.31
14	0.01	16.31
5	0.00	16.31

였다. 분류정확도가 가장 높은 임계값(K_1)은 0.05로 나타났다. Table 5에는 분석범위(Span)와 임계값(K_1) 따른 분류정확도를 제시하였다. 또한, 취득된 자료의 스무딩을 위한 분석범위(Span)는 51로 선정하였으며, 직선구간과 곡선구간을 구분하는 임계값($K_1 = 0.051$)에 따른 분류정확도는 79.21%로 나타났다. 종단경사는 특정구간의 노면상태 불량(소성변형, 덧씌우기 포장 등)으로 인한 도면과의 차이로 인해 분류 정확도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

종단경사는 도면에 제시된 종단경사와의 절대값 차이로써 평균오차를 제시하였다. 테스트 구간의 도면과의 평균차이는 0.083, 최소 0.01, 최대 0.37로 나타났으며, Table 6에 제시하였다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

도로기하구조정보는 교통사고분석, 도로 유지관리 및 도로 안전성 평가 등에 중요하게 사용된다. 그러나, 도면의 부재 및 도로의 유지 보수 등에 의한 선형 결함이 발생한 구간에서는 기하구조정보의 수집에 한계가 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 GPS-IMU 통합시스템이 장

Table 6. Analysis result(vertical alignment)

				Floor plan		Result		Difference in Absolute Value
				Grade (%)	Length (m)	Grade (%)	Length (m)	
Analysis Section	Young-Dong Highway	167.050 -163.380	Grade 1	-3.915	450	-3.705	520	0.21
			Grade 2	-1.485	160	-1.605	260	0.12
			Grade 3	-4.995	1210	-5.155	1040	0.16
		189.600 -188.240	Grade 1	-1.113	580	-1.130	580	0.02
			Grade 2	-2.427	500	-2.450	440	0.02
		209.940 -206.440	Grade 1	-4.998	2520	-4.885	2520	0.11
227.300 -229.060	Grade 1	-5.000	1510	-5.020	1540	0.02		
Test Section	Arterial 37	To Seoul	Grade 1	0.595	560	0.57	560	0.03
			Grade 2	1.328	520	1.475	940	0.15
			Grade 3	1.627	400	-	-	-
			Grade 4	2.188	1120	2.17	1140	0.02
			Grade 5	3.14	740	3.175	380	0.03
			Grade 6	3.963	400	3.84	300	0.12
			Grade 7	1.607	150	1.235	160	0.37
		To Hyeonri	Grade 1	-1.607	150	-1.57	140	0.04
			Grade 2	-3.963	400	-4.045	340	0.08
			Grade 3	-3.14	740	-3.195	300	0.05
			Grade 4	-2.188	1120	-2.11	1240	0.08
			Grade 5	-1.627	400	-1.555	320	0.07
			Grade 6	-1.328	520	-1.36	280	0.03
			Grade 7	-0.595	500	-0.605	480	0.01

착된 차량에서 취득된 자료를 통한 도로기하구조(평면선형, 종단선형) 측정에 관한 연구를 진행하였다. 도로기하구조의 측정을 위해 이동 평균법의 Span과 기하구조를 구분하는 임계값을 찾는 유전자 알고리즘을 사용하고, 분류정확도를 이용하여 평가하였다.

평면선형 분석결과, 임계값($K_1 = 0.015$)에 따른 분류정확도는 93.22%로 나타났으며, 테스트구간에 적용하여 검증시, 평균 오차율이 3.38%로 나타났다. 또한, 곡선구간에서 원곡선과 완화곡선을 구분하기 위한 임계값(K_2)을 0.06으로 설정하는 경우에, 곡선구간에서 전구간의 완화곡선을 구분하였다.

종단선형 분석결과, 임계값($K_1 = 0.051$)에 따른 분류정확도는 79.21%로 나타났으며, 테스트구간에 적용하여 검증시, 종단경사의 절대값 차이는 0.083으로 나타났다.

따라서, 본 연구결과를 통해 도출되는 평면선형 및 종단선형 분석결과는 도로안전점검 및 진단과 같은 도로관리업무에 활용될 목적으로 적용 가능한 것으로 판단된다. 그러나, 도로기하구조 측정시 발생한 오차의 정확도

에 대한 향상을 위해서는 다음과 같은 향후연구가 필요하다.

본 연구에서는 1개의 고속도로(평면곡선 9개, 종단경사 7개)와 일반국도(평면곡선 6개, 종단경사 7개)에서 알고리즘을 개발하고, 현장 적용성을 판단하였다. 그러나, 향후 연구에서는 S자형, 복합곡선 등의 다양한 선형에 대한 적용이 필요하다.

또한, 도면과의 정확도 비교시에 현장적용에 가능한 오차범위를 도출하였지만, 평면선형과 종단선형의 임계값 선정을 위한 유전자 알고리즘 결과의 분류정확도 향상에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

마지막으로, 연구결과를 도로기능 및 운영조건이 상이한 고속도로와 국도를 대상으로 연구를 진행함으로써, 현장적용의 타당성을 높였다. 그러나, 교통운영조건이 상이한 구간(신호교차로 등)은 대상에 포함되지 않았으므로, 이에 대한 추가연구가 필요하다.

본 연구에서 도출된 결과물을 활용하여 도로기하구조 분석을 실시하는 경우, 조사 및 분석시간 단축에 효과가 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by a grant(10-03) from Implementation of More Efficient Transportation System Program funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of the Korean government.

REFERENCES

Cafiso S., Cava G. L. (2009), Driving Performance, Alignment Consistency, and Road Safety, TRR: J. TRB, No.2102, pp.1-8.

Jeong D. H., Yun. D. G., Sung, J. G. (2006), A Study on the Superelevation Measuring Accuracy using GPS-INS Integrated System, J. Korean Soc. Transp., Vol.24, No.2, Korean Society of Transportation, pp.79-89.

Jung E. B., Joo S. H., Oh C., Yun D. G., Park J. H. (2011), Algorithm for Identifying Highway Horizontal Alignment using GPS/INS Sensor Data, Int. J. Highw. Eng., Vol.13, No.2, pp.175-185.

Lamm R., Hiersche E. U, Mailaender T. (1999), Examination of the Existing Operating Speed Background of the German Guidelines for the Design of Roads, Highway Design and Traffic

Safety Engineering Handbook, McGraw-Hill.

Lee J. C., Lee Y. H., Ha D. H., Jung Y. H. (2007), Extraction of Superelevation on Road Using Surface Laser Scan Data, 2007 Korean Society of Civil Engineers, pp.3586-3589.

Lee J. S., Yun D. G., Sung J. G. (2010), The Cross Section Evaluation With The Rotational Laser Scanner, Int. J. Highw. Eng., Vol.12, No.4, pp.71-78.

Lee U. J., Lim Y. H., Jo Y. H. (2002), Division of Homogeneous Sections by Genetic Algorithms, J. Korean Soc. Civ. Eng., Vol.22, No.4-D, pp.659-667.

Mitchell Cramer (1997), GPS/IMU Integration.

Ryu J., Gerdes J. C. (2004), Estimation of Vehicle Roll and Road Bank Angle, 2004 American Control Conference, Boston, MA.

Ryu J., Rossetter E. J., Gerdes J. C. (2002), Vehicle SideSlip and Roll Parameter Estimation using GPS, Symposium on Advanced Control, Hiroshima, Japan.

Yun D. K., Jung D. H., Sung J. G., Lee S. H. (2006), A Study for Measuring of Cross Slope Using Instrument Vehicle with Multiple Sensors, Int. J. Highw. Eng., Vol.14, No.2, pp.105-116.

- ☞ 주 작 성 자 : 박재홍
- ☞ 교 신 저 자 : 박재홍
- ☞ 논문투고일 : 2012. 2. 2
- ☞ 논문심사일 : 2012. 6. 6 (1차)
2012. 8. 19 (2차)
2012. 9. 23 (3차)
2012. 10. 11 (4차)
- ☞ 심사판정일 : 2012. 10. 11
- ☞ 반론접수기한 : 2013. 2. 28
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필