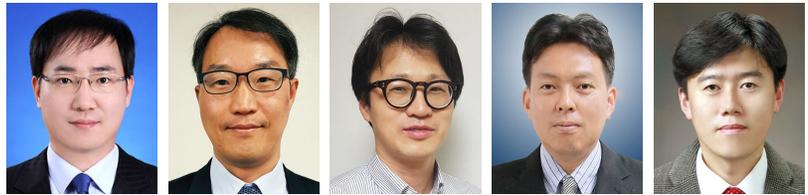


지상 LiDAR를 이용한 고속도로 3차원 데이터구축에 관한 고찰



김 태 길 | (주)대한콘설턴트 부장
 송 연 수 | (주)바우컨설턴트 상무
 노 정 훈 | (주)동명기술공단 상무
 한 상 연 | 도로교통공단 차장
 김 상 현 | (주)하이콘엔지니어링 이사

1. 서론

1.1 연구배경

우리나라 도로의 전체 연장은 10만km를 넘어섰으며, 그 중 가장 높은 등급 도로인 고속도로 연장도 약 4천km에 달하고 있다. 그에 따라, 앞으로는 운영 중인 고속도로의 시설개량(기하구조개선, 차로확장) 및 유지관리(보수·보강)에 대한 비중이 지속적으로 늘어날 것으로 예상되며, 그에 따라 기존 고속도로의 정확한 데이터 확보가 필요한 실정이다.

그러나, 고속도로를 포함한 모든 도로의 데이터는 2차원 CAD도면으로 관리되고 있는 실정이며 특히 구조물(교량, 터널)은 비교적 일정한 단면(표준횡단)이 연속되어 있는 반면 토공구간의 경우 필연적으로 비탈면이 발생되어 모든 횡단면이 각각 다르다.

이번 연구에서는 지상 LiDAR를 통해 고속도로 토공구간의 3차원 데이터를 취득하여 횡단면을 추출한 후 종단지반고, 편경사, 토공량등 다양한 데이터를 GPS 측량 및 준공도면과 비교함으로써 고속도로에 대한 지상 LiDAR 시스템의 활용방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구방법

대상지역은 고속국도 제12호선 88올림픽 고속도로(현 광주대구고속도로) 확장공사 구간 중 신설구간(경북 고령군 쌍림면)으로 토공구간 900m를 연구 대상으로 선정하고 지상 LiDAR를 이용하여 3차원 데이터를 취득하였으며 3개소 이상의 타겟을 설치하여 여러 위치에서 스캐닝된 데이터를 정합하였다. 또한, 기준점 측량을 수행하여 정합된 스캐닝 데이터를

절대좌표로 변환하였으며 횡단면 추출구간에 대한 노이즈를 제거 후 Point Cloud로 TIN(Triangulated Irregular Network)을 구성하였다. 이를 통해 종단 지반고, 편경사, 토공량을 측정 및 산출하였다.

더불어 지상 LiDAR 측량의 정확도를 확인하기 위해 GPS 측량팀을 투입하여 횡단면 측량을 별도로 시행하였으며, 설계와 시공의 차이를 확인하기 위해 준공도면을 입수하여 활용하였다.

이러한 데이터를 바탕으로 연구대상도로의 몇가지 주요요소(종단지반고, 편경사, 토공량)에 대한 지상 LiDAR 측량과 준공도면 및 GPS 측량과의 상호 비교를 통해 정확도를 측정하였다.

2. 지상 LiDAR의 원리

지상 LiDAR의 원리는 3D 레이저 스캐닝으로 측량용 무 타겟 토털스테이션과 동일한 원리로 작동된다. 즉, 근적외선 또는 가시광선 파장대의 레이저를 송신하고 물체에 반사되어 돌아오는 레이저를 수신하여 거리를 측정하고, 거리 측정과 동시에 레이저 빔의 수평, 수직각을 정밀히 측정하여 이를 3차원 좌표로 환산하는 것이다.

또한, 기존의 토털스테이션이 측정하고자 하는 특



그림 1. 지상라이더의 원리

정한 점에 레이저 빔의 각도를 조정하고 그 점을 측정하는데 반하여, 지상 LiDAR는 초당 1,000~10,000 포인트 이상의 측정 속도를 가짐으로 특정하고자 하는 3차원 영역을 원하는 간격으로 조밀하게 측정하고 컴퓨터상에서 원하는 특정 점의 좌표를 계산해내는 방식을 취하고 있다.

3. 지상 LiDAR 측량 및 데이터 처리

3.1 연구대상지 선정

지상 LiDAR를 활용한 고속도로 3차원 데이터 취득을 위해 2015년 11월 말 개통을 목표로 마무리 공사가 진행중이었던 88올림픽 고속도로(현 광주대구고속도로)를 연구대상도로로 선정하였다.

연구대상지역은 설계속도 100km/h의 고속도로로 차량의 유출·입이 없어 지상 LiDAR 측량을하기에 적합하며, 콘크리트포장으로 시공되어 있어 아스팔트포장에 비해 반사강도가 높아 데이터의 취득률이 높은 구간이다.



그림 2. 연구대상지 전경

연구대상 고속도로의 폭원구성은 그림 3과 같이 현재의 표준횡단면도와 같지만 실시설계 시점이 2000년대 초반이기 때문에 L형측구 형태나 길어깨 편경사 등은 현재와는 다소 차이를 보이고 있다.

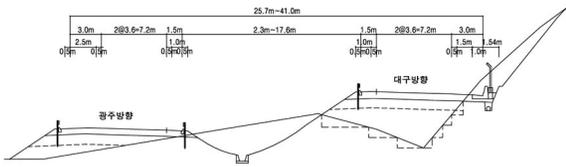


그림 3. 연구대상 고속도로 대표횡단면도

3.2 관측 시스템의 구성

연구에서 대상도로구간의 데이터를 취득하기 위해 사용된 지상 LiDAR는 Leica사의 ScanStation P40이며, 제원은 표 1과 같다.



그림 4. 지상 LiDAR (ScanStation P40)

표 1. Leica ScanStation P40의 제원

Leica ScanStation P40		
측정원리 (Type)	Waveform Digitising (WFD) technology	
거리 (Range)	270m@34% 180m@18% albedo	
속도 (Scan rate)	1,000,000points/sec	
정확도 (Accuracy of single measurement*)	위치 (Position)	3mm at 50m 6mm at 100m
	거리 (Distance)	1.2mm+10ppm
	각도 (Angle)	8"
스캔범위 (Field of view)	수평 (Horizontal)	360°
	수직 (Vertical)	270°
Operating temperature	-20℃ to +50℃	
Camera	4 megapixels	

3.3 고속도로의 지상 LiDAR 스캐닝

3.3.1 지상 LiDAR 데이터 취득

지상 LiDAR장비를 이용하여 3차원 데이터를 취득하였으며 최대 관측거리는 200m 이상이나 고속도로의 경우 레이저의 입사각 및 반사각이 낮으므로 신뢰성 있는 데이터 확보를 위해 1회 데이터 취득 구간을 50m로 제한하여 약 8시간동안 38개의 sub-project 스캐닝을 실시하였다.

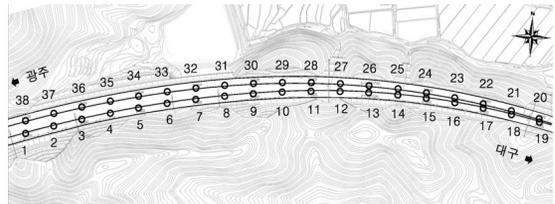


그림 5. 지상 LiDAR 데이터취득 위치(38회)

3.4 스캐닝자료 데이터 처리

3.4.1 Registration 및 Geo-referencing

지상 LiDAR로 취득된 Point Cloud는 Leica사의 Cyclone 9.1 프로그램을 이용하여 정합을 실시하였다. 자료정합 시 가장 중요한 점은 조합하고자 하는 sub-project간의 편차가 최소화되어야 하며, 이를 위해 편차가 큰 타겟을 순차적으로 제거하면서 Registration 작업을 수행하였고, 최종적으로 전체

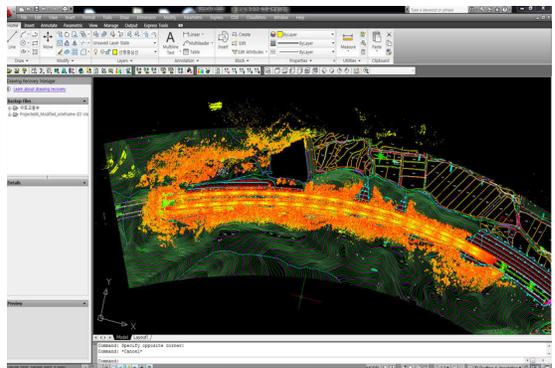


그림 6. Geo-referencing 후 CAD 파일(준공도)와 중첩

38개의 sub-project 간의 최대 오차는 0.003m이다.

이러한 데이터 정합과정을 거쳐 동일 좌표계로 형성된 Point Cloud들은 Geo-referencing 과정을 통하여 지상 기준점과 결합된 절대 좌표로 변환된다. 그림 6은 고속도로 900m 구간을 대상으로 취득된 Point Cloud를 정합하고, 최종적으로 Geo-referencing한 결과를 나타낸다.

3.4.2 노이즈 제거

Point Cloud에는 취득 과정에서 지상 LiDAR의 취득 오차에 의한 노이즈 외에 주변시설물 및 수목으로 인한 노이즈가 필연적으로 발생한다. 일반적으로 이러한 노이즈를 제거하기 위해 필터링기법을 이용할 시 일부 수목에 의한 노이즈는 부분적으로 제거할 수 있으나 정확한 3차원 위치정보를 얻기 위하여 횡단면 추출 구간에 대해 수동적 방법으로 노이즈를 제거하였다.

3.4.3 삼각망(TIN)구성

도로설계용 상용프로그램인 RP(Road Projector) 또는 RD(Road Design)를 통해 도로노면의 종단지반고, 편경사 등을 추출하기 위해 Point Cloud를 DXF(Drawing Exchange Format)파일로 내보낸 후 TIN(Triangulated Irregular Network)으로 변환해야 한다. 연구에서는 RP(Road Projector)프로그램을 통해 TIN을 구성하였다.

4. 추출결과 및 분석

4.1 종단지반고 추출 및 결과분석

4.1.1 종단지반고 추출

연구대상 도로는 터널과 인접된 산지 및 구릉지구간으로 전체적인 내리막경사를 이루고 있다. 비탈면, 토공량, 편입용지 등을 최소화하기 위해 상·하행 종단이 분리되어 있으며, 대구방향은 종단곡선 두

개소, 광주방향은 종단곡선 한 개소를 각각 포함하고 종단경사는 S=-2.65%~-4.17%로 이루어져 있다. 본 연구대상도로는 측점에 따른 종단지반고 차이가 크게 나타나 데이터 추출 및 결과분석이 용이할 뿐만 아니라, 상·하행 종단을 각각 비교할 수 있는 구간이다.

우선 준공도에 나타난 종단계획고가 현재 지반고이므로, 준공도에 나타난 대상지역의 종단선형(경사) 및 지반고를 확인하였다. 또한, RP프로그램에 입력된 평면선형과 삼각망(TIN)을 이용하여 표 2와 같이 20m간격으로 지상 LiDAR에 의한 종단지반고를 추출하였다.

표 2. 종단지반고 추출결과

STA.	종단지반고(m)		STA.	종단지반고(m)		STA.	종단지반고(m)	
	대구	광주		대구	광주		대구	광주
0+000	120.16	116.65	0+320	111.37	106.96	0+620	99.97	97.97
0+020	119.61	116.07	0+340	110.75	106.37	0+640	99.14	97.37
0+040	119.07	115.45	0+360	110.09	105.75	0+660	98.31	96.77
0+060	118.53	114.84	0+380	109.42	105.17	0+680	97.50	96.18
0+080	117.99	114.24	0+400	108.76	104.56	0+700	96.71	95.58
0+100	117.45	113.63	0+420	108.00	103.96	0+720	95.93	94.99
0+120	116.92	113.02	0+440	107.26	103.36	0+740	95.17	94.41
0+140	116.39	112.42	0+460	106.51	102.77	0+760	94.42	93.80
0+160	115.86	111.81	0+480	105.74	102.17	0+780	93.69	93.21
0+180	115.32	111.21	0+500	104.99	101.56	0+800	92.98	92.60
0+200	114.79	110.61	0+520	104.12	100.95	0+820	92.28	92.01
0+220	114.25	110.01	0+540	103.29	100.34	0+840	91.59	91.42
0+240	113.72	109.40	0+560	102.47	99.75	0+860	90.90	90.81
0+260	113.15	108.78	0+580	101.64	99.17	0+880	90.25	90.21
0+280	112.58	108.20	0+600	100.80	98.57	0+900	89.60	89.62
0+300	112.02	107.56						

4.1.2 GPS 측량과 비교분석

지상 LiDAR의 정확도를 검증하기 위해 표 3과 같이 GPS 측량을 대구방향 STA.을 기준으로 100m 간격으로 총 6단면 시행하였으며, 광주방향 STA.은 대구방향에 수직으로 대응하는 STA.으로

표 3. 지상 LiDAR 측량과 GPS 측량의 지반고 비교

대구방향				광주방향			
STA.	LiDAR (m)	GPS (m)	GPS-LiDAR (m)	STA.	LiDAR (m)	GPS (m)	GPS-LiDAR (m)
0+000	120.16	120.16	0.00	0+005.44	116.82	116.79	-0.03
0+100	117.45	117.46	0.01	0+095.53	113.76	113.79	0.03
0+200	114.79	114.84	0.05	0+196.48	110.72	110.80	0.08
0+300	112.02	112.02	0.00	0+297.40	107.64	107.72	0.08
0+400	108.76	108.77	0.01	0+398.30	104.61	104.73	0.12
0+500	104.99	105.01	0.02	0+499.27	101.57	101.68	0.11
최대			0.05	최대			0.12
최소			0.00	최소			0.03
평균			0.015	평균			0.07
RMSE			0.022	RMSE			0.083

표현하였다. 또한 지상 LiDAR와 GPS 측량결과를 나타내었으며, 분석 결과 대구방향의 경우 오차가 0cm~5cm로 GPS 측량값을 참값이라고 가정할 시 지상 LiDAR 측량의 정확도가 높은 것으로 분석되었다.

광주방향의 경우 -3cm~12cm로 대구방향보다 오차가 크게 발생하였는데 그 이유는 GPS 측량 시 광주방향 횡단면이 대구방향 선형의 수직방향에서 다소 어긋났기 때문으로 판단된다. 또한, 각 방향별 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error)를 산정한 결과, 대구방향은 2.2cm, 광주방향은 8.3cm로 산출되었다.

4.2 편경사 추출 및 결과분석

4.2.1 편경사 추출

연구에서는 지상 LiDAR를 통해 20m간격으로 대구, 광주방향의 횡단면을 추출한 후 표 4와 같이 본선 편경사를 산출하였다.

준공도면 확인결과 현재 설치된 완화곡선의 길이(L)가 편경사 접속설치를 위한 총길이(TL)보다 크며 해당구간의 편경사가 대구방향은 -3%에서 -4%로 변화되며 광주방향 +3%에서 +4%로 변화되어 경사가 작은구간(표준 횡단경사 구간~역표준 횡단

표 4. 본선 편경사 추출결과

측점	대구 방향(%)	광주 방향(%)	측점	대구 방향(%)	광주 방향(%)	측점	대구 방향(%)	광주 방향(%)
0+000	-2.87	2.78	0+320	-2.72	3.36	0+620	-3.78	3.71
0+020	-2.92	2.49	0+340	-2.76	3.25	0+640	-3.75	3.67
0+040	-2.87	2.59	0+360	-2.82	3.43	0+660	-3.64	3.64
0+060	-2.73	2.72	0+380	-2.91	3.56	0+680	-3.64	3.70
0+080	-2.76	2.60	0+400	-3.14	3.66	0+700	-3.78	3.78
0+100	-2.64	2.72	0+420	-3.10	3.67	0+720	-3.79	3.67
0+120	-2.72	2.75	0+440	-3.20	3.63	0+740	-3.74	3.64
0+140	-2.80	2.71	0+460	-3.46	3.62	0+760	-3.80	3.69
0+160	-2.81	2.71	0+480	-3.38	3.56	0+780	-3.80	3.82
0+180	-2.70	2.80	0+500	-3.48	3.83	0+800	-3.85	3.88
0+200	-2.84	2.82	0+520	-3.67	3.80	0+820	-3.95	4.03
0+220	-2.70	2.85	0+540	-3.57	3.72	0+840	-4.13	3.87
0+240	-2.66	2.89	0+560	-3.83	3.85	0+860	-3.75	4.05
0+260	-2.71	2.96	0+580	-3.83	3.64	0+880	-3.88	3.92
0+280	-2.75	2.65	0+600	-3.74	3.72	0+900	-3.77	4.00
0+300	-2.74	3.20						

경사 구간)에 해당되지 않으므로 배수를 고려할 필요 없이 완화곡선의 길이 전체에 걸쳐 편경사 접속 설치가 되어 있다.

4.2.2 결과 분석

가. 준공도와 비교분석

지상 LiDAR를 통해 추출된 20m간격의 편경사를 준공도와 비교한 결과 대구방향의 편경사는 -2.64%~ -4.13% 범위로 나타났으며 준공도와 비교 시 최대 0.36%, 평균 0.21%의 오차가 발생하였고 RMSE는 0.23%로 산출되었다. 광주방향의 편경사는 2.59%~4.05% 범위로 나타났으며 준공도와 비교 시 최대 0.44%, 평균 -0.26%의 오차가 발생하였고 RMSE는 0.28%로 산출되었다. 즉, 준공도와 유사하게 실제 편경사가 시공되었고 준공도에 비해 대부분 약간 작은 편경사 값을 가지는 것을 확인하였다.

나. GPS 측량과 비교분석

지상 LiDAR의 정확도 검증을 위해 종단지반고와 마찬가지로 표 5와 같이 GPS 측량과 비교하였으며, 대구방향의 경우 오차가 0.01%~0.26%로 GPS 측

량을 참값이라고 가정할 시 지상 LiDAR 측량의 정확도가 높은 것으로 분석되었다. 광주방향의 경우 0.14%~0.32%로 대구방향보다 오차가 크게 발생하였는데 그 이유는 GPS 측량 시 대구방향 선형을 기준으로 측량했기 때문에 광주방향 횡단면은 광주방향 선형에 정확한 수직방향이 아니기 때문으로 판단된다. 각 방향별 RMSE를 산정한 결과 대구방향은 0.12%, 광주방향은 0.24%로 산출되었다.

4.3 횡단면 추출 및 결과분석

4.3.1 횡단면 추출

지상 LiDAR를 통한 횡단면 추출은 어느 단면에 서나 가능하지만 포장면에 비해 비탈면은 녹화로 인해 필연적으로 많은 노이즈가 발생되어 노이즈제거에 상당한 시간이 소요되며, GPS 측량값을 참값이라고 가정하여 비교해야 하는데 안전상의 문제로 GPS 측량을 6단면 시행한 점을 고려하여 그림 7과 같이 100m간격으로 깎기비탈면을 포함한 6개의 횡단면을 추출하였다.

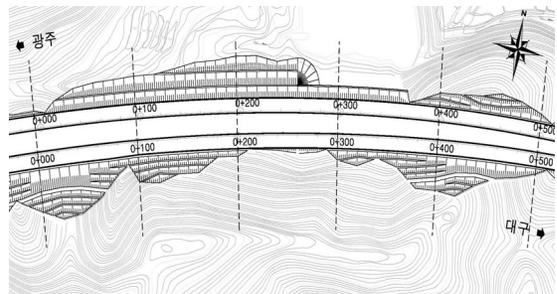


그림 7. 횡단면 추출 지점

표 5. 지상 LiDAR 측량과 GPS 측량의 편경사 비교

대구방향				광주방향			
STA.	LiDAR (m)	GPS (m)	GPS-LiDAR (m)	STA.	LiDAR (m)	GPS (m)	GPS-LiDAR (m)
0+000	-2.87	-3.13	-0.26	0+005.44	2.82	2.98	0.16
0+100	-2.64	-2.65	-0.01	0+095.53	2.77	2.97	0.20
0+200	-2.84	-2.85	-0.01	0+196.48	2.81	3.13	0.32
0+300	-2.74	-2.65	0.09	0+297.40	3.24	2.97	-0.27
0+400	-3.14	-3.06	0.08	0+398.30	3.65	3.94	0.29
0+500	-3.48	-3.56	-0.08	0+499.27	3.86	4.00	0.14
최 대(절대값)			0.26	최 대(절대값)			0.32
최 소(절대값)			0.01	최 소(절대값)			0.14
평균			-0.03	평균			0.14
RMSE			0.12	RMSE			0.24

4.3.2 결과 분석

지상 LiDAR 측량, GPS 측량을 상호 비교·분석하기 위하여 우선 횡단면을 중첩하여 그림 8과 같이 횡단면을 CAD로 작성하였다. 도로포장면 및 녹지 대형상은 지상 LiDAR 측량과 GPS 측량의 오차가 거의 없어 높은 정확도를 보였으나 깎기비탈면의 경우 수목 등에 의한 노이즈가 완벽히 제거되지 않아 GPS 측량과는 다소 차이가 발생함을 알 수 있다.

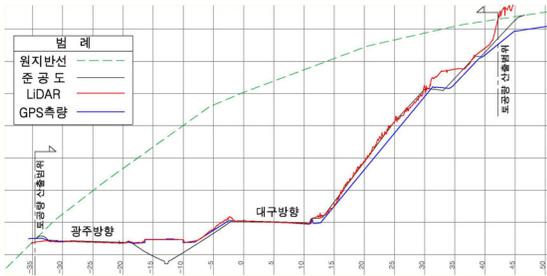


그림 8. 지상 LiDAR 측량, GPS 측량, 준공도의 횡단면 중첩 (STA. 0+000)

가. 토공량(깎기량) 산출

정확도를 평가(정량화)하기 위한 첫 번째 방법으로 원지반을 기준으로 토공량(깎기량)을 산출하였다. 지상 LiDAR 측량의 깎기량이 GPS 측량에 비해 단면별로 최소 3.83%에서 최대 17.77% 적게 산출되었으며, 암이 노출되거나 비탈면보강이 이루어진 단면의 오차범위는 3.83%~9.84%로 10%이내였으나 녹화가 이루어진 비탈면에서는 최대 17.77%까지 오차가 발생하여 녹화 시 노이즈 발생에 의해 오차가 증가함을 확인하였다.

표 6. 지상 LiDAR 측량과 GPS 측량의 깎기량 비교

STA.	비탈면 토질 조건	깎기비탈면 녹화여부	LiDAR (m ²)	GPS (m ²)	GPS-LiDAR (m ²)	GPS/(GPS-LiDAR) (%)		
						수평	수직	
0+000	암	암노출+ 일부녹화	1,064.78	1,107.20	42.42	3.83		
0+100	암	암노출	41.16	45.65	4.49	9.84		
0+200	암	중자분사 파종	6.71	8.16	1.45	17.77		
0+300	암	중자분사 파종	36.66	43.65	6.99	16.01		
0+400	암	FRP+ 콘크리트블럭	835.37	893.04	57.67	6.46		
0+500	토사	수목식재	268.40	288.32	19.92	6.91		
					최대	57.67	17.77	
					최소	1.45	3.83	
					평균	22.16	10.14	
					RMSE	30.53	11.35	

나. 공공측량 작업규정의 허용오차와 비교

정확도를 평가하기 위한 두 번째 방법으로 GPS 측량을 참값으로 가정하여 지상 LiDAR 측량 횡단면의 수직 및 수평위치오차를 좌·우측 도로끝단(포장과 측구경계)을 기준으로 산출한 후 공공측량 작업규정의 허용범위와 비교하였다. 대구방향 선형 중심선에서 광주방향 좌측 도로끝단까지 연장이 최대 30m이므로, 공공측량 작업규정에 의거 수평오차 허용범위 ±10.0cm, 수직오차 허용범위 ±13.2cm를 기준으로 하였다.

측정결과, 수평오차 13.4cm, 수직오차 8.8cm로 산출되어 공공측량작업규정 오차 허용범위를 수평위치오차는 다소 상회하였으며, 수직위치오차는 오차 허용범위를 만족하였다.

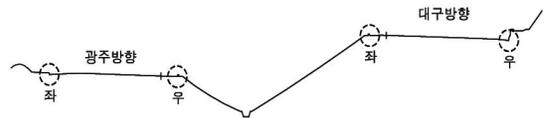


그림 9. 횡단측량 오차측정 위치

표 7. 지상 LiDAR 측량과 GPS 측량의 도로끝단 오차(cm)

STA.	대구방향 오차				광주방향 오차				STA. 오차평균	
	좌		우		좌		우		수평	수직
	수평	수직	수평	수직	수평	수직	수평	수직		
0+000	7.0	3.1	6.3	2.3	19.5	9.9	11.5	1.1	11.1	4.1
0+100	15.2	6.3	5.0	5.8	7.3	8.7	22.9	10.2	12.6	7.8
0+200	28.0	4.6	11.9	3.7	2.4	10.2	4.1	4.3	11.6	5.7
0+300	7.8	5.4	12.2	0.9	6.3	11.3	3.1	6.2	7.4	6.0
0+400	16.5	8.8	10.7	7.7	31.8	10.4	0.0	12.5	14.8	9.9
0+500	33.3	11.8	12.0	5.6	31.0	24.3	3.0	17.9	19.8	14.9
최대									19.8	14.9
최소									7.4	4.1
평균									12.9	8.1
RMSE									13.4	8.8

5. 결론 및 기대효과

침단측량장비인 지상 LiDAR를 이용하여 88올림 픽고속도로(현 광주대구고속도로) 토공구간 900m의 3차원 데이터를 취득하고 이를 준공도면 및 GPS 측량과 중첩·분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 종단지반고의 경우 준공도면과 비교해서 양방향 모두 측점별로 최소 8cm, 최대 21cm, RMSE 16cm로 준공도면에 비해 전체적으로 낮게 시공되어 있음을 확인하였다. 또한, GPS 측량과 비교한 정확도 평가에서는 대구방향의 경우 최소 0cm, 최대 5cm, RMSE 1.5cm, 광주방향의 경우 최소 3cm, 최대 12cm, RMSE 8.3cm로 정확도가 높은 것으로 나타났다.
2. 편경사의 경우 준공도면과 비교해서 대구방향은 최소 0.05%, 최대 0.36%, RMSE 0.23%, 광주방향은 최소 0.00%, 최대 0.44%, RMSE 0.28%로 준공도면에 비해 편경사가 다소 작으나 상당히 정확도가 높게 시공되었음을 확인하였다. 또한, GPS 측량과 비교한 정확도 평가에서는 대구방향의 경우 최소 0.01%, 최대 0.26%, RMSE 0.12%, 광주방향의 경우 최소 0.14%, 최대

0.32%, RMSE 0.24%로 정확도가 높은 것으로 나타났다.

3. 횡단면 추출 후 GPS 측량과 비교한 정확도 평가 결과 중 첫 번째, 깎기량의 경우 GPS 측량에 비해 최소 3.83%~최대 17.77% 적으며, RMSE는 11.35%의 값을 얻었으며 두 번째, 공공측량 작업규정의 오차허용범위인 수평오차 $\pm 10.0\text{cm}$, 수직오차 $\pm 13.2\text{cm}$ 와 비교에서는 수평오차 $\pm 13.4\text{cm}$, 수직오차 $\pm 8.8\text{cm}$ 로 수평오차는 오차범위를 다소 상회하나 수직오차는 공공측량 작업규정을 만족하는 것으로 나타났다.

다만, 지상 LiDAR 측량은 고속도로 공용 이후에는 불가능하므로 개통전 측량이 이루어져야 하며 방대한 데이터를 심플화하는 방법과 비탈면에 많이 발생하는 노이즈를 자동적으로 필터링하는 기법에 대한 연구가 향후 필요할 것으로 보인다.

앞으로 고속도로를 비롯한 모든 도로에 지상 LiDAR 측량을 활용 시 도로의 종단지반고, 편경사 및 비탈면 등이 계획대로 시공되었는지 검증할 수 있을 뿐만 아니라 시설개량 또는 유지관리 시에 필요한 특정지점의 횡단면 추출이 가능하므로 준공도면(CAD)과 함께 활용하거나 지상 LiDAR시스템으로 대체가 가능하여 활용도가 클 것으로 기대된다.

회비 납입 안내

회원 여러분께서 납부하시는 회비는 학회 운영의 소중한 재원으로 쓰이고 있습니다.
회원 제위께서는 체납된 회비를 납부하시어 원활한 학회운영에 협조하여 주시기 바랍니다.

- 회비납부는 한국씨티은행 : 102-53510-243
(예금주(사)/한국도로학회)

〈학회사무국〉