

위치기반 증강현실 기술에 의한 도로의 선형 결정

김경진*, 엄대용*

*국립한국교통대학교 사회기반공학전공

e-mail:dyum@ut.ac.kr

Road Linearity Determination Using Location-Based Augmented Reality Technology

Kyeong-Jin Kim*, Dae-Yong Um*

*Dept. of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

요 약

본 논문에서는 건설분야에서 증강현실 기술의 활용을 모색하고자 도로의 설계도면 자료를 기반으로 위치기반 증강현실(Location-Based Augmented Reality; LBAR) 기술을 적용하여 도로 선형의 현장 측설에서의 측위 정확도를 분석하였다. 이를 위해 신설 도로(500m 구간)를 대상으로 선정하여 설계도면으로부터 총 26점의 도로 중심점과 중심선을 추출하고 이를 AR 모델로 생성하고 위치기반 증강현실 시스템에 탑재하여 현장에서 직접 중심점을 추적하였다. 추적된 중심점의 좌표를 획득하여 현장 측량에 의해 결정된 중심점의 좌표와 상호 비교 분석하였다. 그 결과, 설계도면의 중심점 좌표를 기준으로 LBARsystem에 의해 추적된 중심점의 좌표는 현장 측량에 의해 결정된 중심점의 좌표와 극히 미소한 편차를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 연구 결과로부터 기존의 건설 현장에서 고가의 장비와 인력 중심으로 이루어졌던 현장 측설 및 모니터링 등의 작업을 설계도면에 기반한 증강현실의 기술을 이용하여 대체함으로써 현장 작업의 효율성을 극대화할 수 있는 스마트 기술로 활용 가능할 것으로 기대된다.

1. 서론

국토교통부는 건설산업 디지털화 및 스마트 건설산업 육성을 위해 건설 전(全) 과정(설계~유지관리)에 걸쳐 BIM 도입을 순차적으로 의무화하여 도로 분야의 경우 1,000억 원 이상에 우선 도입하고 2028년까지 300억 원 이상으로 확대할 방침을 발표하는 등 스마트 건설기술을 확대하고 있다[1]. 이에 건설 분야에서는 프로젝트 라이프 사이클의 모든 단계에 3차원 시각화 및 디지털 트윈 모델의 구축과 활용 기술의 개발 등 스마트 건설기술의 개발과 적용이 활발히 진행되고 있다. 그러나 도로의 건설현장의 경우, 설계 상 도로 선형의 현장 측설과 시공 모니터링, 준공검사 등에서 여전히 고가의 장비와 인력에 대한 의존도가 높은 실정으로 현장 작업의 효율성 개선과 시공 정확도 유지관리를 위한 보다 혁신적인 스마트 건설기술의 도입이 요구되고 있다. 이에 중대형 건설현장을 중심으로 UAV, 로봇, 건설자동화, LiDAR 등 관련 스마트건설 기술의 도입이 활발히 이루어지고 있으나 이들 기술의 효과적으로 지원하기 위한 고정밀 공간정보의 획득, 고가 장비의 운용을 위한 초기 투자비용의 증가와 전문인력의 수급 등의 측면에서 여전히 신기술의 도입에 부담이 되는 것이 현실이다 [2,3].

위치기반 증강현실 기술(Location based Augmented Reality)은 건설 과정에서 구축되는 설계 도면을 이용하여 AR 모델을 생성하고 이를 현장에서 직접 추적(tracking)함으로써 현

장 측설 및 실시간 시공현장 모니터링 등에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 더불어 설계도면에 기반한 AR 모델의 활용으로 별도의 고밀도의 공간정보의 생성 과정을 생략하고 핸드헬드형 시스템에 의한 간편한 운용이 가능하여 현장 작업자들도 쉽게 운용이 가능할 것으로 기대된다[4,5]. 또한 단계별 모니터링을 통해 시공 오류를 줄임으로써 시공의 정확도 유지와 제반 비용의 절감을 유도할 수 있을 것으로 기대되어 기존의 신기술 대비하여 다양한 측면에서 비교 우위의 기술로 기대를 모으고 있다. 본 연구는 도로 건설현장에서 위치기반 증강현실 시스템(LBARsystem)에 의한 도로의 선형의 현장 측설과 시공 모니터링 등 도로 건설의 전주기에 걸친 관리를 위한 새로운 스마트 건설기술을 제안하고 그 활용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. LBARsystem에 의한 도로 선형 결정

2.1 LBARsystem

위치기반 증강현실 기술은 사용자의 물리적 위치를 실시간으로 추적하고, 그 정보를 기반으로 가상 정보를 현실 세계에 중첩하여 표시하며, 위치 추적, 실시간 가상 객체 렌더링, 환경과의 상호작용 등의 요소가 결합된 복합적인 기술이다[6]. LBARsystem은 GNSS, 가속도계, 자이로스코프, 디지털 콤팩스 등 센서를 이용하여 사용자의 위치

와 방향을 추적하고 증강현실 디스플레이를 통해 사용자에게 필요한 정보를 제공한다[7]. 그림 1은 본 연구에서 활용한 LBAR system(Trimble SiteVision)(정밀도: 10mm H/20mm V)을 나타낸 것이다[8].

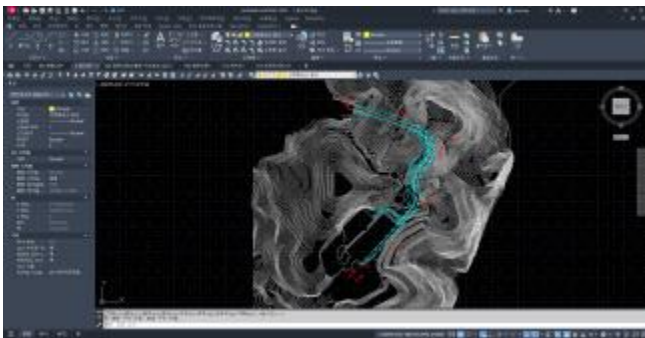
LBARsystem은 사용자 위치 및 센서 데이터 획득, 데이터 처리 및 환경 매핑, AR 콘텐츠 매칭 및 렌더링, 화면 출력 및 사용자 인터랙션 그리고 지속적인 데이터 피드백 및 최적화의 과정에 의해 구동된다.



[그림 1] LBAR 시스템(Trimble SiteVision)

2.2 LBARsystem에 의한 도로 선형 추적

본 연구에서는 도로의 선형 결정을 위해 LBARsystem을 적용하고 그 활용성을 검토하기 위해 도로 중심선에 대한 측위 정확도를 분석하였다. 이를 위해 도로의 신설 구간(500m 구간)을 테스트베드로 설정하였으며, 설정한 LBARsystem의 작업 절차에 따라 우선 대상 도로에 대한 3차원 설계 도면을 수집하였다. 그리고 수집된 설계도면으로부터 지형의 등고선과 도로의 선형 설계 자료(중심선, 경계선, 중심말뚝)만을 추출하여 모델링 자료를 구축하였다(그림 2).



[그림 2] 도로 선형 모델링 자료 추출

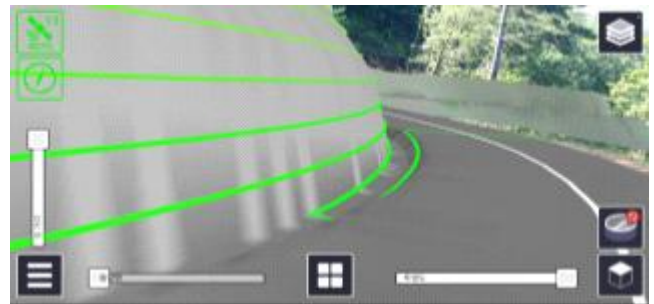
구축한 도로선형 자료는 고정밀 GNSS가 연동되는 LBARsystem에 탑재될 수 있도록 전용 포맷의 AR모델로 제작하였으며, 모델링 지원 S/W인 TBC(Trimble Business Center)를 이용하였다(그림 3).

TBC에 의해 생성된 AR 모델은 전용 클라우드에 업로드하고 LBARsystem과 연동되는 스마트폰의 전용 어플리케이션(Trimble SiteVision)을 구동하여 현장에 직접 도

로의 선형을 투영하여 도로 중심점, 중심선 및 경계선 등을 추적하였다(그림 4).



[그림 3] LBARsystem 시스템에 의한 도로의 선형 추적



[그림 3] AR용 모델 생성

LBARsystem에 의한 도로선형의 추적 결과의 정확도를 분석하기 위하여 분석 데이터 세트를 구성하였다. 우선 설계 도면에서 대상 도로의 도로 중심선을 기준으로 시점부터 종점까지 총 26점의 좌표(20m간격)를 추출하였다. 그리고 LBARsystem에 탑재된 AR모델의 현장 추적에 의해 결정된 26개 도로 선형 중심점에 대해 GNSS Network-RTK(VRS)에 의해 좌표를 측정하였다. 더불어 시공과정에서 현장 측설된 도로의 중심점을 현장에서 동일한 방법으로 측량하였다.

2.3 도로선형 결정의 정확도 및 적용 가능성 분석

구축된 세개의 데이터 세트를 상호 비교하여 LBARsystem에 의한 도로 중심점의 현장측설의 정확도 및 시공 정확도를 분석하였다(표 1).

우선 현장에 측설한 도로의 중심점은 설계 도면의 도로 중심점의 좌표를 기준으로 하여 X, Y, Z 좌표별 평균편차는 0.040m, 0.039m, 0.036m이었으며, 각각에 대한 표준편차는 $\pm 0.014m$, $\pm 0.014m$, $\pm 0.018m$ 이었다. 그리고 설계도면의 중심점 좌표를 기준으로 LBARsystem에 의해 추적된 결과를 비교한 결과 X, Y, Z 좌표별 평균편차는 0.040m, 0.037m, 0.038m이었으며, 각각에 대한 표준편차는 $\pm 0.012m$, $\pm 0.011m$, $\pm 0.010m$ 이었다. 따라서 도로 중심점의 결정에 있어 현장 측량에 의해 결정된 26개의 중심점의 좌표와 LBARsystem에 의해 추적된 중심점의 좌표와의 편차는 극히 미소한 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있

었다. 더불어 중심선 및 경계선에 대하여 LBARsystem에 의해 추적된 결과를 동일하게 분석한 결과, 중심점의 분석결과와 대동소이한 결과를 도출할 수 있었다.

[표 1] Results of road alignment analysis (Unit : m)

Point	No	Deviation					
		Design Map-Field Surveying			Design Map-LBAR Tracking		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	0+00	0.054	0.048	0.014	0.042	0.035	0.028
2	0+20	0.046	0.034	0.023	0.023	0.039	0.027
3	0+40	0.061	0.026	0.036	0.036	0.031	0.042
4	0+60	0.023	0.056	0.038	0.038	0.026	0.045
5	0+80	0.052	0.054	0.057	0.045	0.048	0.028
6	0+100	0.033	0.046	0.056	0.051	0.042	0.034
7	0+120	0.032	0.042	0.046	0.062	0.041	0.061
8	0+140	0.026	0.022	0.055	0.034	0.035	0.042
9	0+160	0.041	0.032	0.006	0.012	0.025	0.042
10	0+180	0.049	0.043	0.023	0.023	0.012	0.029
11	0+200	0.042	0.042	0.004	0.034	0.031	0.026
12	0+220	0.063	0.023	0.012	0.045	0.039	0.037
13	0+240	0.013	0.042	0.023	0.034	0.035	0.033
14	0+260	0.031	0.051	0.033	0.045	0.043	0.052
15	0+280	0.071	0.061	0.035	0.035	0.047	0.042
16	0+300	0.056	0.023	0.039	0.056	0.028	0.043
17	0+320	0.043	0.046	0.051	0.051	0.036	0.038
18	0+340	0.038	0.043	0.034	0.042	0.031	0.034
19	0+360	0.028	0.041	0.042	0.044	0.058	0.026
20	0+380	0.022	0.022	0.062	0.047	0.062	0.028
21	0+400	0.054	0.013	0.066	0.046	0.048	0.027
22	0+420	0.044	0.008	0.064	0.034	0.039	0.034
23	0+440	0.033	0.023	0.045	0.035	0.037	0.048
24	0+460	0.026	0.056	0.043	0.061	0.038	0.049
25	0+480	0.042	0.053	0.012	0.047	0.008	0.056
26	0+488.09	0.027	0.055	0.022	0.014	0.035	0.025

이러한 분석 결과는 LBARsystem을 이용하여 현장 측설이 가능함을 나타내는 결과로서 도로의 신설시 기존의 TS 및 GNSS에 의한 현장측설의 과정을 위치기반 증강현실의 기술을 적용하여 대체할 수 있음을 의미한다. 따라서, 기존의 건설현장에서 고가의 장비와 인력 중심으로 이루어졌던 현장 측설의 작업을 설계도면에 기반한 증강현실의 기술을 이용하여 대체함으로써 현장 측량을 위한 시간과 경비를 대폭 절감할 수 있어 효율성을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구의 결과를 토대로 도로의 신설 등 건설현장에서 위치기반 증강현실 기술의 적용 가능성을 제시할 수 있었다. 다만, 본 연구의 결과는 LBARsystem에 의한 현장 추적을 위한 GNSS의 신호수신 환경이 매우 양호한 상태에서 진행된 연구 결과로서 위성신호 수신 환경(차폐 등) 및 현장의 지형적 조건에 따라 측위 정확도는 차이가 발생할 수 있다는 점을 고려하여야 한다.

3. 결론

본 연구는 도로의 신설을 위한 건설 현장을 대상으로 위치기반 증강현실 기술에 의한 도로의 선형 결정의 가능성을 검토한 것이며, 연구 결과를 토대로 건설 현장에 새로운 스마트 기술인 증강현실 기술의 활용 가능성을 검토하기 위한 것이다. 연구 결과 다

음과 같은 결론을 얻을 있었다.

첫째, 도로의 선형 결정에 위치기반 증강현실 기술의 적용을 위한 프로세스를 설정하였다. 둘째, 설정한 프로세스에 따라 대상 도로의 중심점을 기준으로 설계도면의 중심점의 좌표와 LBARsystem에 의한 추적결과에 대한 측위 정확도를 분석한 결과, 현장 측설 자료와 매우 근접한 정확도로 측설이 가능함을 확인할 수 있었다. 셋째, LBARsystem에 의한 도로 중심점의 추적 결과에 대한 측위 정확도를 분석한 결과를 토대로 도로건설에 있어 도로 중심점, 중심선, 경계선 등의 현장 측설에 증강현실의 기술의 적용 가능성을 확인할 수 있었으며, 고가의 장비와 인력 중심의 현장 측위 작업을 증강현실 기술로 대체함으로써 작업의 효율성과 제반 시간 및 경비를 크게 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 건설 전주기에 걸친 시공의 모니터링에 위치기반 증강현실 기술의 적용 가능성을 검토하기 위한 연구를 지속적으로 진행할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 2025년 국립한국교통대학교의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

- [1] 국토교통부, “「건설산업 BIM 시행지침」”, 2022년
- [2] 서희창, 박은수, 이안용, “건설현장에서의 3차원 공간정보 생성에 관한 기초 연구”, 한국산학기술학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 919-920, 2021년
- [3] 정태원, 지현욱, 복진훈, “도로 건설현장의 디지털트윈 구현을 위한 디지털 건설정보구조에 관한 연구”, 한국ITS학회 논문지, 23권, 1호, pp.153-166. 2024년
- [4] M. Billingham, A. Clark, G. Lee, "A Survey of Augmented Reality", Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction, Vol.8, No.2-3, pp.73-272, 2015.
- [5] T. Burch, The Surveyor and Augmented Reality-Ready for the Future, GPS World, 2021.
- [6] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", Teleoperators and Virtual Environments, Vol.6, No.4, pp.355-385, 1997.
- [7] I. P. Lee, K. A. Choi, "Spatial Information and Augmented Reality: Giving Wings to the Utilization of Spatial Information", Korea Land and Geospatial Informatix Corporation, 2019
- [8] GEOsystem, Trimble SiteVision, <https://geosys.co.kr/products/trimble-sitevision/> (accessed Mar. 02, 2025)