

# GPS를 적용한 실시간 굴삭시뮬레이터 개발에 관한 연구

## Research of Real-Time Simulator for Excavator using GPS

박형근<sup>1)</sup>, 하희상<sup>2)</sup>, 양인태<sup>3)</sup>

Park, Hyeong Keun · Ha, Hee Sang · Yang, In Tae

### 1. 서론

현장에서의 공사정보를 사무실에서 신속하게 수집, 분석 및 관리하려는 요구는 근래의 인공위성을 통한 측지기법(GPS-RTK), 원격탐측(R.S)기술, 지리정보기술(GIS), 정보통신기술(IT) 및 기계화 시공기술의 급속한 발전을 통해 현장사무실에서 현장의 모든 정보를 파악할 수 있는 기반으로 점차 확대시켜 나가고 있다. 건설관리(CM)에 대한 효율적인 정착방안은 먼저 현장의 모든 정보가 사무실로 신속히 수집되어야 하며 이에 따라 현장의 살아있는 정보와 함께 분석이 동시에 이루어져야 하고 시각적인 분석을 컴퓨터를 통하여 충분히 제공되어야 함이 중요하다. 이에 실시간 시공관리를 위해서는 건설 중장비의 자동화가 필수적이며 특히, GPS는 그 풍부한 활용범위와 확장성으로 인해 많은 영역에서 사용하고 있다. 하지만 공사현장에서 주로 많이 사용되는 굴삭기에 대한 적용 및 이에 대한 연구는 미흡한 실정이며, 특히 절토에 관한 실시간 작업자료에 대한 분석은 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현장적용에 앞서서 먼저 VR기법을 통하여 가상의 굴삭기에 실시간으로 수신되는 GPS측위자료와 조이스틱 조작에 따라 계속되는 붐과 암 및 버킷의 회전부에 리졸브를 통한 계측자료를 이용하여 버킷 끝단의 궤적정보를 계산 및 전송할 수 있는 굴삭시뮬레이터 프로그램을 개발하고자 하였다.

### 2. GPS 및 동적위치 제어 시스템

GPS의 측위방식에는 단독측위, 상대측위, DGPS측위, 정적간섭측위, 이동측위로 세분할 수 있으며 특히 이동측위의 경우 미리 불확정치를 고려하여, 복수의 점들을 차례차례 측정해 가는 방법으로, 1개의 수신기를 기준점에 고정시키고 다른 수신기를 미지점으로 이동하면서 관측하는데, 건설 중장비의 경우 이동측위 중에서 정밀도가 매우 높은 RTK(Real-Time Kinematic)방식을 적용하였다. GPS로부터 수신된 위치정보는 좌표 투영 및 변환을 통하여 3차원 지역 좌표계로 변환하여 사용하였으며 이와 관련한 식은 다음과 같다. 다음 식 1은 좌표변환 알고리즘(GPS->Bessel)이다.(참고.1)

$$\begin{aligned} X_{GPS} &= (N+h) \cos \phi \cos \lambda \\ Y_{GPS} &= (N+h) \cos \phi \sin \lambda \\ Z_{GPS} &= \left( \frac{b^2}{a^2} N+h \right) \sin \phi \end{aligned} \quad (\text{식 1})$$

1) 현대건설기술연구소 토목기술부 주임연구원 · 공학석사 · 031-280-7217(E-mail:hkpark97@hdec.co.kr)

2) 현대건설기술연구소 토목기술부 선임연구원 · 공학박사 · 031-280-7259(E-mail:hsha@hdec.co.kr)

3) 강원대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 033-250-6235(E-mail: intae@kangwon.ac.kr)

여기서,  $a$ :장반경,  $b$ :단반경,  
 $N$ :횡(묘유선)곡률반경,  
 $\phi$ :위도,  $\lambda$ :경도

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi}}$$

$$\begin{aligned} X_{Bessel} &= (1 + \Delta s) R_z(x) R_y(\phi) R_x(\omega) X_{GPS} + T \\ Y_{Bessel} &= (1 + \Delta s) R_z(x) R_y(\phi) R_x(\omega) Y_{GPS} + T \\ Z_{Bessel} &= (1 + \Delta s) R_z(x) R_y(\phi) R_x(\omega) Z_{GPS} + T \end{aligned} \quad (\text{식 2})$$

여기서,  $T$ :이동량벡터( $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ ),  $\Delta s$ :축척차,  
 $R_z(x) R_y(\phi) R_x(\omega)$ :두좌표계 회전행렬

GPS는 가능한 움직임이 적은 지점에 설치하는 것이 유리하다. 일반적으로 GPS는 해당 장비에 중앙지점이 나 측면의 두 지점에 설치하는데 굴삭기의 경우에는 수평회전에 따른 방향각 계측을 고려하여 굴삭기의 회전중앙부에 설치하게 된다. 회전중앙부에 설치된 GPS는 회전상에서도 항상 중심점에 대한 정보를 제공하므로 봄대 및 암의 회전각 계측과 쉽게 연동할 수 있다. 또한 항상 수준을 유지한 상태에서 작업하기가 곤란하므로 이를 위해 안테나부에 동적 회전장치를 설치하여 어떠한 기울기에서도 항상 중력방향으로 수평을 유지하도록 하였으며 이에 따라 인공위성신호를 항상 일정한 수신각을 통하여 안정된 자료처리를 할수 있게 하였다.

#### 4. 회전각계측 제어시스템

굴삭기에서의 작업정보를 수집하기 위해서는 봄과 암 및 버킷의 움직임을 통하여 최종 버킷 끝단의 궤적을 추적해야 하며 이러한 궤적을 실시간으로 산출하기 위해서는 각각의 회전지점에 회전각 계측기를 설치하여 봄 및 암과 버킷의 움직임에 따라 변하는 각각의 회전각을 계산하고 이를 통하여 굴삭기의 중심점이면서 수직 중앙 점으로부터 버킷 끝단의 상대적 계산치를 산출해야만 한다. VR에서의 회전각 계측은 Z방향에서의 절대각 계측을 기준으로 각각의 회전각을 계측하였으며 개방트래버스 측량에 따른 위·경거로 위치를 계산하였으며, 현장 적용시엔 회전각 계측기로 통해서 나오는 실측값을 RS232로 받아 구현되도록 하였다. 식 3은 굴삭기 최종작업 좌표계산식이다.

$$\begin{aligned} X_{버킷끝} &= L_1 \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_{12}) + L_3 \cos(\theta_{123}) \\ Y_{버킷끝} &= x \sin(\delta_4) \\ Z_{버킷끝} &= L_1 \sin(\theta_1) + L_2 \sin(\theta_{12}) + L_3 \sin(\theta_{123}) \end{aligned} \quad (\text{식 3})$$

여기서,

$$\begin{aligned} \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 &= \theta_{123}, \\ \theta_1 + \theta_2 &= \theta_{12}, \\ Li : \text{길이}, \theta_i &= \delta_i : \text{회전운동각} \end{aligned}$$

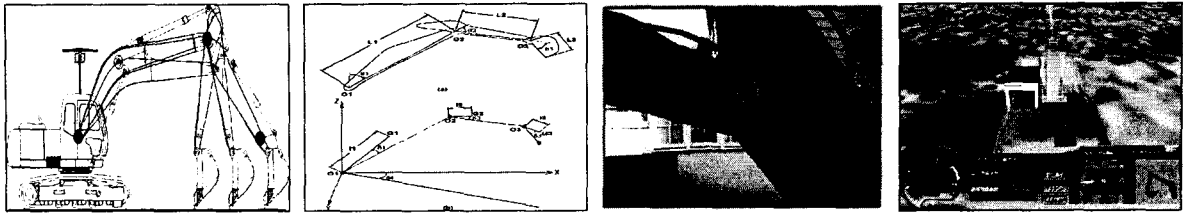


그림 1. GPS굴삭개략도와 굴삭시뮬레이터(우)

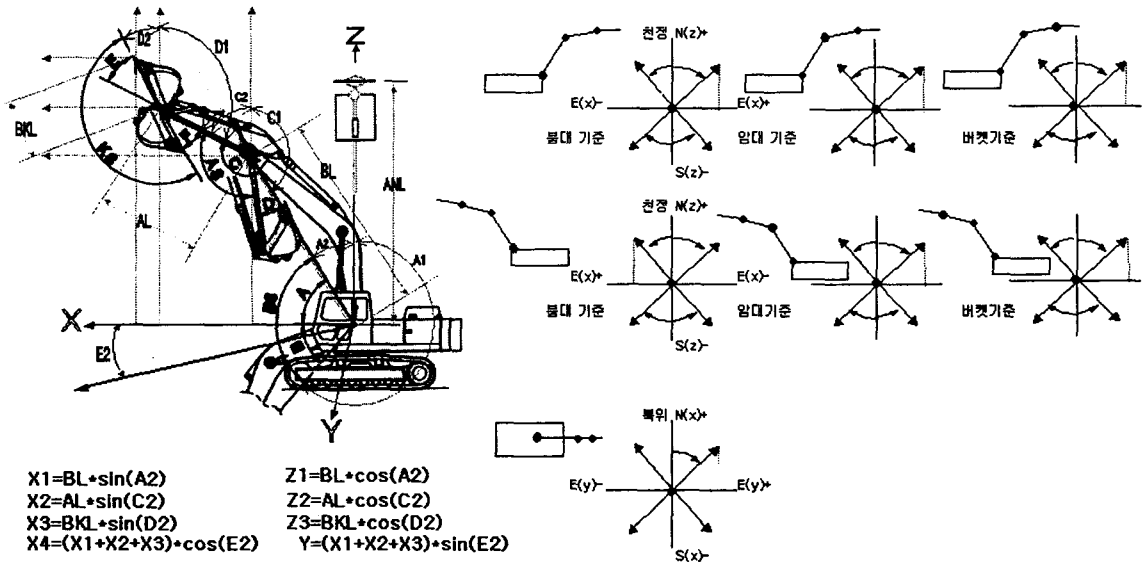


그림 2. 굴삭기 회전기준별 좌표도

### 5. 시뮬레이션 결과분석

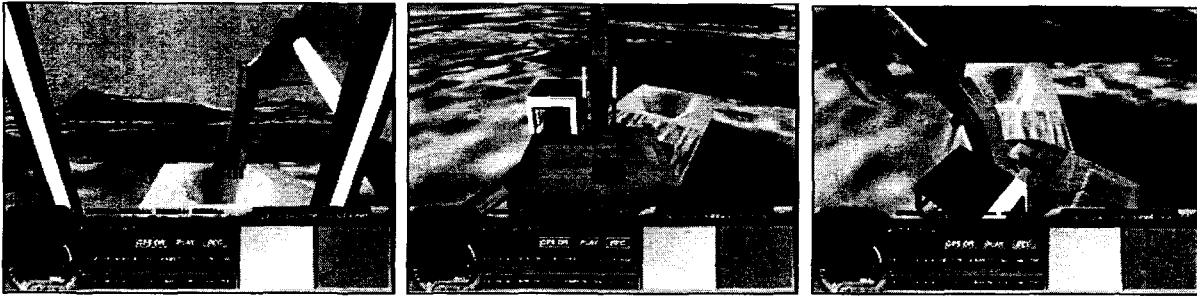
시뮬레이터의 정확도 분석은 사전에 계산된 자료와 시뮬레이터를 통하여 조이스틱에 의해 계산된 자료를 이용하여 처리하였으며 시뮬레이터를 통해 산출된 자료와 동일한 결과치를 이미 계산된 자료에서 검출하여 이에 대한 정확도를 파악하도록 하였다. 최종 현장에 적용 시에는 각각의 리졸브에서 계측되는 앵글을 시뮬레이터에 연결하여 현장사무실에서 작업이 시연되도록 하였다. 이에 따라 사전 계산치와 임의조작에 따른 모의 실험치를 비교분석한 결과는 다음의 표 1과 같다.

표 1. 사전 계산치와 임의조작에 따른 모의실험치의 비교분석 결과

No	Time (GMT+9)	WGS84		Bessel1841		Excavator(°)				TM			
		(λ, δ)	(h)	Y(N) X(E)	Z(h)	Boom	Arm	Bucket	Body	이론치		시뮬레이터치	
										N,E	H	N,E	H
1	13:00:00	36.000000 127.000000	23.220	328720.771 240977.150	66.790	45.0285	35.4528	45.8575	3.0000	328726.666 240982.744	69.948	328726.671 240982.751	69.951
2	13:00:01	36.4585745 127.457854	23.456	328720.882 240977.150	67.026	45.0287	35.4757	45.7458	2.0000	328726.678 240982.747	70.186	328726.688 240982.756	70.195
3	13:00:02	36.4585845 127.457864	23.456	328721.996 240978.041	67.026	45.0785	35.857	46.875	1.0000	328727.729 240983.674	70.155	328727.737 240983.683	70.167
4	13:00:03	36.4585855 127.457865	24.100	328722.108 240978.130	67.670	48.5652	36.584	47.25	1.2500	328728.092 240983.985	70.570	328728.102 240983.988	70.585
5	13:00:04	36.4585865 127.457866	24.900	328722.219 240978.219	68.470	47.5865	36.6845	48.5758	1.2500	328728.173 240984.045	71.405	328728.186 240984.047	71.422



<그림3. GPS연동 굴삭시뮬레이터 조정모습>



<그림4. GPS연동 시뮬레이션 프로그램>

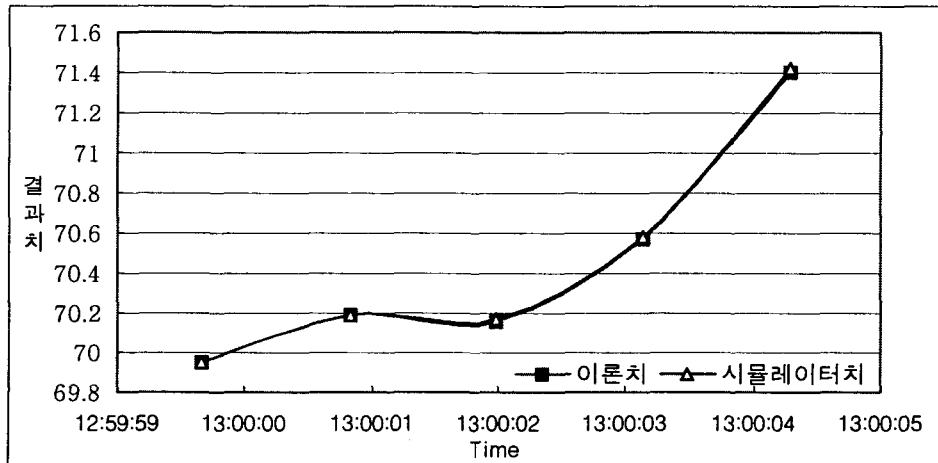


그림 3. 이론치와 시뮬레이터 결과치 사이의 비교

표 1과 그림 3,4 에서와 같이 이 연구에서 실시한 사전 계산치와 임의조작에 따른 모의 실험치를 비교분석한 결과 이론치와 시뮬레이터 결과치와의 차이는 0.003에서 0.017로 나타났다. 이러한 오차의 발생원인은 시간상의 비동기화로 인한 지연에 따라 발생하는 것으로 사료된다.

## 6. 결론

이 연구에서는 GPS를 적용한 실시간 굴삭시뮬레이터 개발하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

- ▶ VR기법을 이용하여 현장에서 적용 가능한 GPS와 회전계측기를 조합한 굴삭시뮬레이터를 개발할 수 있었다.
- ▶ GPS측위자료와 절토계측자료의 동기화를 위한 인자로서 시간이 중요함을 알 수 있었다.
- ▶ 현장에서 절개지에 대한 빈번한 측량없이 굴삭작업이 가능함을 알 수 있었다.

이 연구는 GPS를 적용한 절성토 시공관리 시스템 개발과제 중의 제2단계 연구과제이며 시공현장에서 반드시 필요하지만 아직까지 구현하지 못한 전체적인 토공작업에 있어서의 절토에 대한 실시간 시공관리를 실현할 수 있는 기반을 마련하였다고 할 수 있다.

#### 참고문헌

1. 양인태, 현대측량학, 진영사, pp.145-149, 2000. 3.
2. 유복모, 측량학원론( I ), 개문사, pp.172-173,284~291. 1986.
3. 최승필, "3차원 측량을 이용한 측지좌표 결정에 관한 연구", 연세대학교 대학원, 1993.
4. 한경숙, "운전자 교육을 위한 PC기반의 굴삭기 시뮬레이터의 개발", 한국시뮬레이션 논문지 제9권 제1호, pp.88, 2000.
6. 손권, 최경현, 유창훈, "건설 차량 실시간 그래픽 주행 시뮬레이터," 한국정밀공학회지, 제16권 제7호, pp.289,2000.
7. 김정동, "실시간 동적 GPS 측량에 의한 해안 지형 해석", 동아대 대학원, 2001
8. 조영수, "단일 안테나 GPS를 이용한 무인항공기 자세 결정 및 제어 가능성에 관한 연구", 서울대 대학원, 2002.