

시뮬레이션에 의한 건설기계 시공능력 산정 ;굴삭기&로우더의 사이클타임

Estimation of Construction Equipment Production Rates based on Simulation;Cycle time of backhoe & loader

한 예 령* 박 희 성** 장 철 기***

Han, Ye-Ryeong Park, Hee-Sung Chang, Chul Ki

Abstract

Construction equipment is a very important factor for successful construction. Also, the cost for construction equipment is a major part of the cost of construction. Therefore, the estimation of the equipment cost is a critical task in construction planning. A formula for production rates shown in 'Standard Unit Labor' has been used to estimate construction equipment capability and cost. Although the performance of the equipment has improved over time, the variables in the formula have not been updated in a timely manner. Therefore, this paper has analyzed the preceding research, and performed several site visits to measure the cycle time of a backhoe and a loader. Construction equipment production rates were calculated with collected cycle times and variables given in 'Standard Unit Labor'. In addition, production rates were estimated considering the circumstances of various sites with the simulation program 'crystal ball.'

Keywords : Heavy equipment, Construction equipment capability, Cycle time, Simulation

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건설 산업은 사회간접자본시설의 확충 및 주택건설 등으로 경제성장과 주거안정에 기여하는 등 국가 경제 발전에 미치는 영향이 매우 크다. 대규모 공사가 활발히 시행되고 있는 건설 산업은 공사기간 단축 및 안전성 확보, 공사비 절감 및 품질향상, 작업영역의 확대 등을 위하여 많은 건설기계가 필요하게 되었다.

성공적인 시공을 위한 중요한 요소인 건설기계산업은 노동력의 확보가 곤란한 현재, 적은 인력으로 효율적인 작업을 위해서 기계화시공의 중요성이 더욱 부각되고 있다(한예령, 박희성 2006). 이러한 기계화시공에 따라 건설기계에 소요되는 비용이 건설공사비에서 차지하는 비중은 점차 증가하고 있는 실정이며, 건설기계의 비용산정은 건설계획 단계에서 매우 중요한 업무이다(박희성 외 2008). 건설기계의 비용증가 요인은 건설기계의 시공능력 향상요인과 비례관계를 가지고 있다.

현재 우리나라는 건설공사비 예정가격 산정을 위해 이를 위해 표준품셈과 실적공사비 제도를 병행하고 있으나, 공사조건에 적절한 기계선정과 기계화 실태 및 운영 체계 등에 대한 연구는 거의 수행되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 논문은 건설 기계공사 원가 절감에 주요한 영향을 미치는 시공요소의 실사를 통해 건설 기계의 시공능력을 산정하였다. 또한 건설공사 표준품셈의 일괄적 값을 적용하는 문제점을 보완하기 위해 시뮬레이션을 실행하였다. 확률적 접근을 함으로써 예측될 수 있는 모든 값을 제시하고, 향후 공공건설사업의 건설원가 예측 및 유사연구 시 비교수단을 제공하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 먼저 건설공사 수행 시 건설기계 시공능력을 산정하는 기본 식에 대한 내용을 검토하였다. 기존 관련 문헌자료를 통해 시뮬레이션 관련 방법론적 연구와 건설기계의 내용 연구에 관련하여 선행연구를 분석하였다. 이 과정을 통하여 건설현장에 주로 사용되는 건설기계 중 토공작업에 가장 많이 활용되고 있는 굴삭기, 로우더를 연구 대상으로 선정하였고, 건설공사 수행 시 건설기계 시공능력을 산정하는 기본 식 요소 중 하나인 사이클타임에 대한 실사를 수행하였다. 장기간의 현장실사를 통

* 한국건설기술연구원 석사후연구원

** 한밭대학교 토목공학과 조교수, 공학박사, 교신저자 (jackdaniel@hanbat.ac.kr)

*** 건설산업연구원 연구위원, 공학박사

하여 자료를 수집하고 분석하는 것이 자료의 신뢰성을 확보할 수 있으나 작업장의 여건 및 기계의 활용, 시간적 문제 등 현실적으로 불가능하여 간격을 두고 몇 번의 현장실사를 수행하였다. 실사 후 측정된 값을 분석한 후 Crystal Ball을 이용하여 시뮬레이션을 실행하고 작업량 산출 및 분포도, 예측차트, 민감도 분석을 실시하였다. 또한 현재 건설공사에 적용되고 있는 값을 이용하여 산출된 작업량과 시뮬레이션 실행 결과 작업량을 비교하여 결론을 도출하였다.

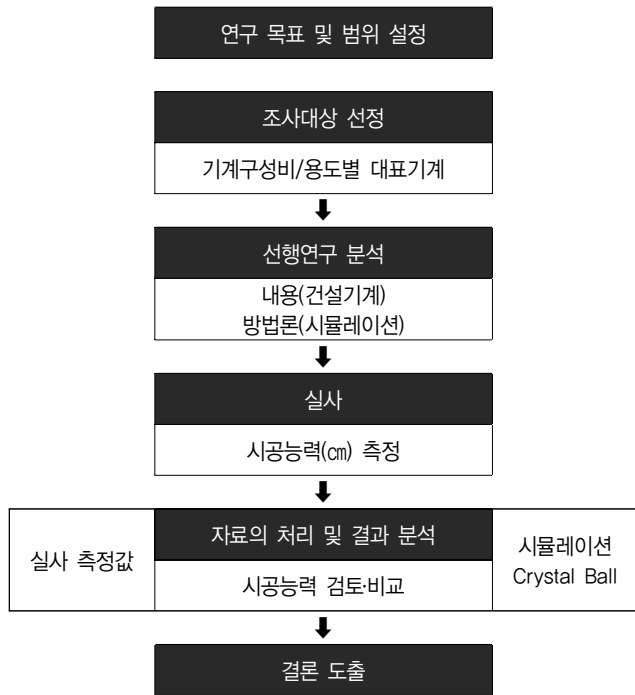


그림 1. 연구 흐름도

2. 이론적 고찰

건설기계의 시공능력과 관련된 기존의 사례와 연구는 매우 미흡하다. ‘건설공사 표준품셈’의 ‘기계경비’ 부문에서 일반적 기준을 제공하고 있지만 이 기준은 1960년대 초 일본 및 미국의 자료를 바탕으로 제정된 이후, 극히 일부만만 제개정되었을 뿐 현재 기계의 성능과 작업여건 변화를 반영하지 못하고 있다.

2.1 건설기계의 시공능력 산정식

2007년 건설공사 표준품셈에 의하면 건설기계 시공능력 산정 식에서의 시공능력이란 “건설기계의 시간당 작업량”을 말한다고 정의되어 있으며, 일반적인 건설기계의 시공능력 단위는 m^3/hr 또는 ton/hr 을 사용한다(건설공사 표준품셈 2006). 미국 캐터필러사는 건설기계의 시공능력은 일반적

으로 건설기계의 시간당 생산성이라고 정의하고 있으며, 일본 코마츠사는 “건설기계 시공능력은 일반적으로 건설기계의 시간당 작업량으로 나타낸다.”라고 하여 국내와 동일하게 정의하고 있다(장인섭 2006).

건설기계 시공능력 산정 기본 식은 다음과 같다.

$$Q = nqfE \tag{1}$$

여기에서 Q는 시간당 작업량으로 m^3/hr 또는 ton/hr 로 표시되며, n은 시간당 작업 사이클 수로 $60/cm(min)$ 또는 $3600/cm(sec)$ 로 표시한다. cm은 사이클타임으로 기계의 작업속도나 주행속도에 따라 분 또는 초로 표시한다. q는 1회 작업사이클당 표준작업량으로 체적부피(m^3) 또는 중량(ton)으로 표시하고, 버킷용량과 버킷계수의 곱으로 산출된다. f는 체적환산계수로 토량의 상태에 따라 값을 산출하며, E는 작업효율로 기계의 표준적인 작업능력에 영향을 미치는 기상, 지형, 토질, 공사규모, 시공방법, 기계 종류 등 작업현장 여건을 고려한 현장작업능력계수와 실작업시간을 운전시간으로 나눈 실작업시간율의 곱으로 나타낸다.

건설기계 시공능력 산정 식 요소 중 버킷용량은 건설기계의 성능에 의해 정해지고, 버킷계수, 체적환산계수는 작업조건에 의해 정해진다. 따라서 실사를 통해 측정 가능한 변수요소는 작업효율 및 사이클타임이다. 그러나 작업효율은 그 정의와 이를 계산하기 위한 공식이 명확하지 않은 실정이다. 따라서 본 논문은 건설기계 성능 개선과 효율적인 공사계획 여부에 따라 차이가 발생하는 사이클타임에 대해서 현장실사를 수행하였다.

2.2 굴삭기의 사이클타임

굴삭기는 주로 관로 굴착, 구조물의 터파기, 준설작업 등에 사용되며 시간당 작업량은 다음 식에 의해 계산한다.

$$Q = 3600qkfE/cm \tag{2}$$

버킷용량 q는 기계에 장착된 버킷의 크기에 따라 결정되고, 버킷계수 k는 현장조건에 따라 0.55~1.10까지 구분되며, 굴착하는 토질과 굴착 작업의 높이 또는 깊이에 따라 다르나 작업현장 조건을 고려하여 기종이 선택되므로 특수한 경우를 제외하고는 굴착 작업의 깊이는 버킷계수에 영향을 주지 않는 것으로 한다. 작업효율 E는 현장조건 및 토질상태에 따라 14가지로 분류되며 0.35~0.90 사이의 값을 갖는다.

표 1. 굴삭기의 사이클타임

규격(㎡)	각도(도)	사이클타임(초)			
		45°	90°	135°	180°
0.12		14	16	19	21
0.2		14	16	19	21
0.4		14	16	19	21
0.7		17	19	21	23
1.0		19	24	23	25
2.0		24	27	29	32

표준품셈에 제시된 굴삭기의 사이클타임은 표 1과 같이 각도 및 규격에 따라 분류되며 최소 14초, 최대 32초이다. 그러나 실제 현장에서 활용중인 굴삭기 규격과 품셈에서 제시된 규격이 상이하고 작업각도도 현장 작업 상황을 반영하기 어려운 실정이다.

2.3 로우더의 사이클 타임

굴착 및 상차작업을 하는 로우더는 무한궤도식과 타이어식이 있으며, 토사 운반거리가 200m 이하일 때는 별도의 운반 장비를 사용하지 않고 로우더로 적입·운반한다. 로우더의 시간당 작업량은 다음과 같다.

$$Q = 3600 \cdot q \cdot k \cdot f \cdot E \tag{3}$$

버킷용량 q는 기계에 장착된 버킷의 크기에 따라 결정되고, 버킷계수 k는 현장조건에 따라 0.55~1.2까지 구분되며, 버킷계수의 적용에 있어 토질 분류에 의한 판단보다는 실제 적재 가능한 양의 판단에 따라 적용하여야 한다. 작업효율 E는 굴삭기와 같이 현장조건 및 토질상태에 따라 14가지로 분류되며 0.25~0.70 사이의 값을 갖는다.

로우더의 사이클타임은 아래 식에 따라 결정된다.

$$c_m = m_l + t_1 + t_2 \tag{4}$$

여기서 m은 계수(초/m)로서 무한궤도식 로우더는 2.0을, 타이어식은 1.8을 적용한다. 그리고 l은 편도주행거리로 표준을 8m로 한다. t₁은 버킷에 토량을 담는데 소요되는 시간(초)으로 다음 표 2와 같이 기종, 작업방법, 현장조건에 따라 구분되며 5 ~ 45초 범위에서 제시되고 있다. t₂는 기어변화 등 기본 시간과 다음 운반기계가 도착될 때까지의 시간으로 14초로 계산한다.

2.4 시뮬레이션

시뮬레이션이란 모델화 한 실제 시스템을 통하여 시스템의 거동을 이해하기 위한 실험을 하거나, 그 시스템의 운영을 개선하기 위해 다양한 전략을 평가하기 위한 과정을 말한다(Shannon 1975). 현실 상황이 너무 복잡하거나 불확실성을 포함하고 있어서 다른 경영과학 기법으로 최적해 도출이 어렵거나 불가능한 경우 시뮬레이션을 적절히 사용함으로써 시스템 운영에 관한 중요한 정보획득이 가능하다(박구현 2006).

건설산업은 불확실성이 크고, 해석이 불가능한 부분이 많아 타 산업에 비해 위험요소가 많다. 시뮬레이션은 가정-결과 접근법(what - if approach)으로 예측 및 분석기법이기 때문에 건설산업에서 유용하게 활용될 수 있다. 시뮬레이션의 적용은 모형개발과 개발한 모형을 반복시켜 결과를 얻는 두 단계를 거치게 된다. 본 연구는 대표적인 엑셀 추가 시뮬레이션 프로그램인 크리스탈볼(Crystal Ball)을 활용하였다.

3. 건설기계의 사이클타임 실사

굴삭기, 로우더의 사이클타임 실사를 위해 현장조건, 토질상태, 작업시간, 규격 등을 분류하여 실사 양식을 작성하였다. 굴삭기의 경우 선회각의 크기에 따라 분류하였고, 로우더의 경우 무한궤도식과 타이어식으로 분류하여 산적 및 지면굴착집토의 상태에 따라 사이클타임과 측정횟수를 기록하였다.

3.1 실사 현장 및 방법

굴삭기의 경우 아파트 현장을 방문하여 오전, 오후 각 3시간씩 4대의 굴삭기를 대상으로 사이클타임을 실측하였다. 해당 현장에서 작업중인 1.0㎡ 및 1.8㎡규격을 실측하였으며, 45°, 90°, 135°, 180°에 대한 선회각별 사이클타임을 측정하였다. 1.8㎡ 굴삭기는 45° 및 90°에서의 작업만 진행되었다.

로우더의 경우 고속도로 현장에서 3시간, 레미콘현장에서 6시간 동안 실측하였다. 사이클타임은 시뮬레이션 분포추정을 위해서 실사하였고 이를 위해 충분한 실사가 이루어진 것으로 판단된다.

3.2 실사 결과

굴삭기는 현장조건 보통에서의 1.0㎡ 규격 4대와 1.8㎡ 규격 1대를 선회각별 실측하였다. 그 값은 다음 표 3과 같으며, 선회각이 커질수록 사이클타임의 평균값이 증가한다. 따라서 현장에서는 굴삭기 작업효율의 극대화를 위해 대부분의 경우 90° 이내의 작업을 수행하고 있다.

표 2. 굴삭기의 사이클타임 실사결과 (단위 : 초/회)

선회 각	초/횟수	굴삭기 I (1.0m³)	굴삭기 II (1.0m³)	굴삭기 III (1.0m³)	굴삭기 IV (1.0m³)	계	굴삭기 V (1.8m)
45°	최소값	7	8	9	7	7	10
	최빈값	10	12	11	9	11	14
	최대값	15	15	13	15	15	18
	평균값	13	12	11	9	11	14
	측정 횟수	110	290	290	135	825	145
90°	최소값	10	12	10	8	8	12
	최빈값	13	15	12	12	13	17
	최대값	20	20	15	16	20	21
	평균값	13	16	13	12	14	18
	측정 횟수	298	184	171	225	878	144
135°	최소값	10	-	-	10	10	-
	최빈값	14	-	-	13	13	-
	최대값	18	-	-	18	18	-
	평균값	15	-	-	14	15	-
	측정 횟수	138	-	-	190	328	-
180°	최소값	14	-	-	-	14	-
	최빈값	19	-	-	-	19	-
	최대값	22	-	-	-	22	-
	평균값	18	-	-	-	18	-
	측정 횟수	75	-	-	-	75	-

1) 로우더의 사이클타임

로우더는 타이어식 로우더를 대상으로 산적상태에서 실측하였으며, 현장조건은 용이와 보통의 두 가지 조건에서 측정하였다. 현장조건이 용이할 경우 작업이 수월하기 때문에 보통일 경우에 비해 사이클타임을 적게 측정되었다. 표 3과 같이 작업조건이 용이할 경우는 총 273회 측정하여 최소 4초에서 최대 8초였으며 평균 6초가 걸리는 것으로 나타났다. 그리고 작업조건이 보통일 경우는 최소 6초에서 최대 25초로이며 평균 9초로 조사되었다.

표 3. 로우더의 사이클타임 실사결과 (단위 : 초/회)

기종	타이어식/산적상태					
	작업방법 현장조건	최소값	최빈값	최대값	평균값	측정 횟수
용이	용이	4	6	8	6	273
	보통	6	9	25	9	157

4. 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션 실행에 앞서 스프레드시트 모형을 설정하고, 가정셀과 예측셀을 지정해 주었다. 크리스탈볼의 난수 발생 함수가 입력된 모든셀을 의미하는 가정셀은 작업효율 및 사이클타임을 정의하였고, 시뮬레이션을 하는 목표가 되는 셀로 시뮬레이션 실행시 통계량 및 보고서 작성을 위해 값의 변화를 계속 추적하는 대상이 되는 셀을 의미하는 예측셀은 작업량을 정의하였다.

가정셀을 정의할 때는 분포도를 선택하여야 하는데, 이는 불확실한 변수에 대해 확률분포를 가정함으로써 불확실변수가 확률변수로 전환되고 이 확률변수를 이용해 모델의 예측값에 대한 분포를 얻을 수 있기 때문이다. 확률분포도 내의 난수들은 무작위로 조합되어 예측값을 도출한다. 작업효율은 건설공사 표준품셈에 제시된 값을 이용하였으며, 그 빈도가 일정하여 균등분포를 적용하였다. 사이클타임을 실사 시 측정된 시간 및 측정 횟수를 이용, 빈도로 나타낸 결과 삼각분포형태(대칭 및 비대칭)로 나타나 최소값, 최빈값, 최대값을 지정하여 이를 적용하였다. 굴삭기와 로우더의 작업량 산정 시, 버킷계수와 체적환산계수는 고정변수로 놓았다.

4.1 굴삭기

규격이 1.0m³, 45°의 작업을 하는 굴삭기의 스프레드시트는 표 5와 같으며, 버킷계수 0.9, 체적환산계수 1을 적용하였다. 가정값인 작업효율과 사이클 타임의 base case는 0.775와 12.095, 예측값인 작업량은 202.241m³/hr로 나타났다.

표 4. 굴삭기의 스프레드시트

입력자료			시뮬레이션		
버킷 용량	버킷 계수	체적환 산계수	가정값		예측값
			작업효율	사이클타임	작업량
1	0.9	1	0.755	12.095	202.241

사이클타임을의 분포는 현장 조사 결과를 근거로 최소값 7초, 최빈값 11초, 최대값 15초의 삼각분포를 적용하였으며, 작업효율은 최소값 0.35, 최대값 0.90의 균등분포를 적용하였다. 시뮬레이션의 횟수는 시뮬레이션 모의실험의 유효성과 직결되는 중요 요소이며, 본 연구는 1,000회의 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행 결과, 사이클타임과 작업효율의 조합으로 인한 작업량과 각 작업량의 누적 작업량은 그림 2와 같다. 최소작업량 84.65m³/hr, 최대작업량 398.18m³/hr, 그리고 발생빈도가 가장 높은 작업량의 값은 186.52m³/hr로 나타났다.

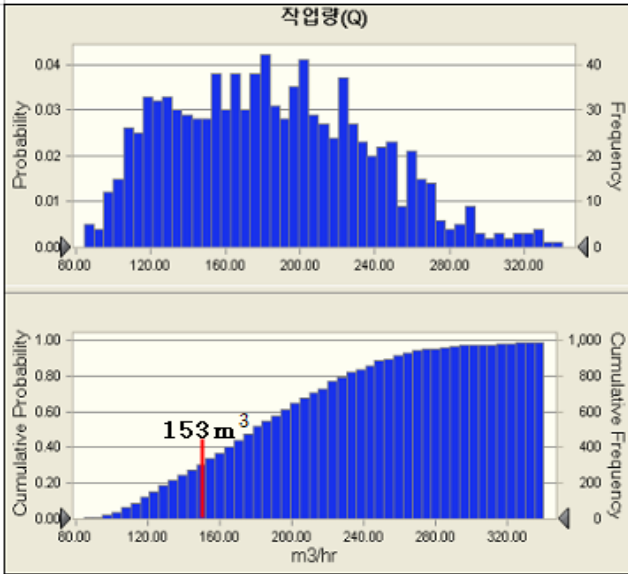


그림 2. 굴삭기의 예측차트 및 누적 예측차트

건설공사 표준품셈에 제시된 작업효율과 사이클타임을 적용한 규격 1.0m³, 45° 의 작업을 하는 굴삭기의 시간당 작업량 Q = 153m³/hr로 산정된다. 버킷용량, 버킷계수, 체적환산계수는 크리스탈 볼 실행 시 입력값과 동일하며, 작업효율은 최대값 0.90을 적용하였고 사이클타임은 45° 작업시의 19초를 적용하였다. 산정된 시간당 작업량은 그림 2의 굴삭기의 누적 작업량 30% 정도에 해당하는 것을 확인할 수 있다. 이는 표준품셈에서 제시하는 굴삭기의 시간당 작업량이 실제 현장에서의 작업량보다 적은 경향을 보이고 있음을 의미한다.

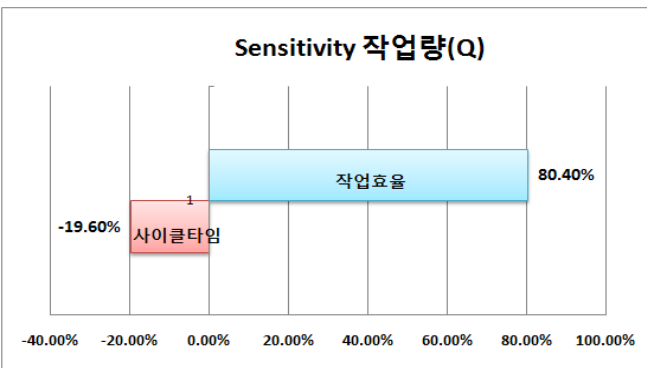


그림 3. 굴삭기의 민감도 차트

특정 예측값에 대한 각 입력값의 영향력을 보여주는 민감도 분석 결과는 그림3과 같다. 크리스탈볼은 민감도에 따른 가정값의 순위를 매기는데, 이 순위들은 바 차트로 나타내어지며, 본 논문에서 가정값으로 정의한 작업효율과 사이클타임의 민감도를 보여준다.

작업효율의 작업량에 대한 민감도는 80.4%, 사이클타임에 대한 민감도는 -19.6%가 나왔으며, 제시된 % 값은 각 요인과 작업

량 사이의 상관관계를 나타낸다. 작업효율이 양의 값, 사이클타임은 음의 값을 나타냈는데, 이는 다른 변수 값이 일정하다면 사이클타임이 커질수록 작업량이 적어진다는 것을 의미한다. 민감도 차트에서 볼 수 있듯이 작업효율은 사이클타임에 비해 작업량에 더 많은 영향을 미치는 요인이라는 것을 확인할 수 있다.

4.2 로우더

규격이 2.4m³, 현장조건 보통에서의 작업을 하는 로우더의 스프레드시트는 표 5와 같으며, 버킷계수 1, 체적환산계수 0.71을 적용하였다. 가정값인 작업효율과 사이클타임의 base case는 각 0.695와 19,223, 예측값인 작업량은 89,538m³/hr로 나타났다.

표 5. 로우더의 스프레드시트

입력자료				시뮬레이션		
버킷용량	버킷계수	체적환산계수	사이클타임	가정값		예측값
				작업효율	t ₁	작업량
2.4	1	0.71	47,623	0.695	19,223	89,538

사이클타임은 최소값 6초, 최빈값 9초, 최대값 25초를 적용한 삼각분포를 적용하였고, 작업효율은 최소값 0.25, 최대값 0.75의 균등분포를 적용하였다. 1,000회의 시뮬레이션 수행 결과, 그림 4와 같이 최소작업량 31.63m³/hr, 최대작업량 127.90m³/hr로 나타났다.

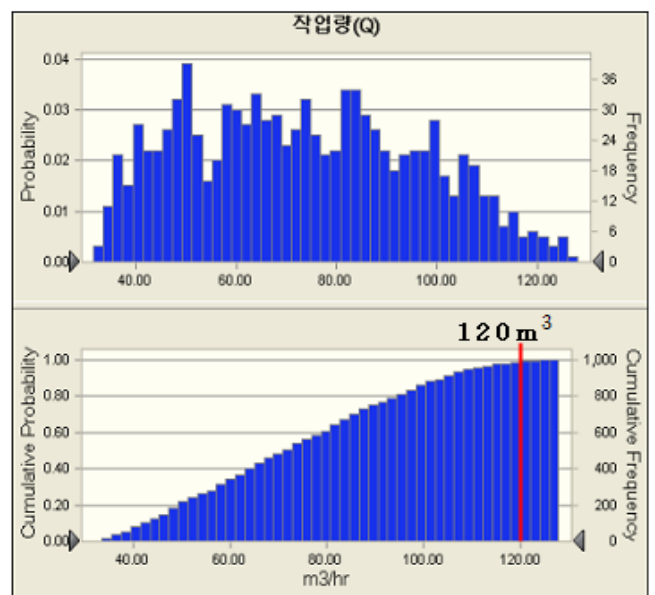


그림 4. 로우더의 예측차트 및 누적 예측차트

건설공사 표준품셈에 제시된 작업효율과 사이클타임을 적용한 로우더의 시간당 작업량 $Q \approx 120\text{m}^3/\text{hr}$ 로 산정된다. 버킷용량, 버킷계수, 체적환산계수는 크리스탈 볼 실행 시 입력값과 동일하며, 작업효율은 최대값 0.75를 적용하였다. 사이클타임은 타이어 식산적상태-현장상태 보통일 때의 t_1 값 10초를 적용하였고, t_2 값은 14초를 적용하였다. 산정된 시간당 작업량은 표 8. 로우더의 누적작업량의 90~100% 사이에 해당하는 것을 확인할 수 있다. 이는 표준품셈에 의해 제시되는 로우더의 시간당 작업량이 현장에서 최대능력을 발휘하는 경우에 달성할 수 있는 수준의 작업량으로 나타났다.

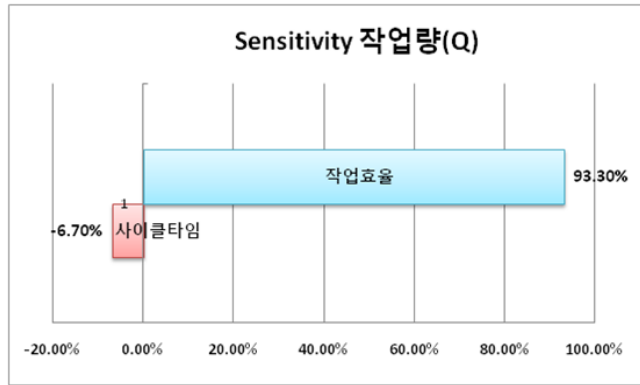


그림 5. 로우더의 민감도 차트

작업효율의 작업량에 대한 민감도는 93.3%, 사이클타임을 대한 민감도는 -6.7%로 나타났으며, 작업효율이 사이클타임의 약 14배에 해당하는 민감도를 나타내는 것을 알 수 있다.

4.3 결과분석

위와 동일한 분석을 굴삭기의 규격 및 선회각별로 반복 수행한 결과는 표 6과 같다. 규격 1.0 m^3 굴삭기의 작업량은 선회각 180° 일 경우 최소 55.45 m^3/hr 에서 선회각 45° 일 경우 최대 398.18 m^3/hr 범위 내에서 산출되었다. 그리고 규격 1.8 m^3 의 굴삭기의 작업량은 최소 98.31 m^3/hr 에서 최대 498.22 m^3/hr 범위 내에서 산출되었다. 선회각이 작을수록 동선이 짧아 작업이 용이하므로 작업량이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

작업량에 대한 작업효율의 민감도는 평균 80%, 사이클타임의 민감도는 평균 -20%로 나타났으며, 건설공사 표준품셈에 제시된 값을 적용한 규격 1.0 m^3 , 1.8 m^3 굴삭기의 선회각 별 시간당 작업량은 시뮬레이션 실행 결과로 나타난 굴삭기 누적작업량의 약 40%에 해당되었는데, 이는 작업효율의 최대값을 적용한 점을 고려한다면 다소 낮은 값이라고 판단된다.

표 6. 굴삭기 결과 총괄 표

구 분	규격/선회각	1 m^3				1.8 m^3	
		45°	90°	135°	180°	45°	90°
작업량 (m^3/hr)	최소값	84.65	63.43	65.10	55.45	122.24	98.31
	최빈값	186.52	152.24	151.67	111.38	266.44	219.60
	최대값	398.18	339.53	272.61	191.43	498.22	420.99
민감도 (%)	작업 효율	80.4	68.9	81.4	88.3	85.2	87.7
	사이클 타임	-19.6	-31.1	-18.6	-11.7	-14.8	-12.3

로우더의 시뮬레이션 결과는 표 7과 같다. 작업조건이 용이할 때 작업량은 최소 43.48 m^3/hr 에서 최대 438.46 m^3/hr 범위 내에서 산출되었으며, 작업조건이 보통일 때 작업량은 최소 31.63 m^3/hr 에서 최대 127.90 m^3/hr 범위 내에서 산출되었다.

표 7. 로우더 결과 총괄 표

구 분	작업조건	용이	보통
		작업량 (m^3/hr)	최소값
	최빈값	88.38	73.34
	최대값	438.46	127.90
민감도 (%)	작업효율	99.7	93.3
	t_1	-0.3	-6.7

작업량에 대한 작업효율의 민감도는 평균 96%, 사이클타임(t_1)의 민감도는 평균 -4%로 나타났다. 로우더의 사이클타임은 $ml + t_1 + t_2$ 인데 예측가능한 t_1 만 고려하였기 때문에 사이클타임의 민감도가 낮게 나타났다. 표준품셈 값을 적용한 작업조건 보통-용이에서 로우더의 시간당 작업량은 시뮬레이션 실행 결과로 나타난 로우더 누적작업량의 약 95%에 해당되었다. 이는 t_1 값이 로우더의 사이클타임에 적용되는 다른 계수에 비해 미치는 영향이 적기 때문이며 작업효율의 민감도가 평균 96%라는 것을 감안한다면, 작업효율의 최대값을 적용하여 산정된 값이기에 높게 나왔다고 판단된다.

5. 결 론

건설기계의 시공능력은 건설공사의 작업계획 및 시공방법 결정에 중요한 요인이지만 현재 국내 공공공사에 적용되는 시공능력 산정식 및 이와 관련된 계수에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따

라서 본 논문은 현대 표준품셈에서 제시하는 건설기계의 작업량이 실제 작업량과의 차이를 분석하였다. 표준품셈에 제시된 사이클타임은 오랜기간동안 변동되고 있지 않은 실정이므로 본 연구는 현장실사를 통해 사이클타임을 조사하고 이를 반영하여 실제 작업현장의 작업량을 시뮬레이션을 통해 추정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

참 고 문 헌

1. 대한건설협회, 건설공사 표준품셈, 대한건설협회, pp.1~66, 2006
2. 박구현, 경영과학(엑셀활용), 교보문고, pp.509~557, 2006
3. 박희성, 한예령, 허영기, 안방울, 건설기계 시공능력 산정에 관한 연구 : 작업효율 중심으로, 대한토목학회논문집, pp.67~72, 2008
4. 장인섭, 건설기계경비, 시공능력 및 시공성능과의 관계, 건설기계, 대한건설기계협회, pp.52~57, 2006
5. 한예령, 박희성, 건설기계 작업효율의 한일 비교, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.195~198, 2006
6. Shannon, R. E, Systems Simulation : the art and Science, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J, 1975

(접수 2009. 8. 30, 심사 2009. 9. 28, 게재확정 2009. 10. 5)

- 1) 굴삭기의 작업량(Q)에 대한 작업효율(E)의 민감도는 80%, 사이클타임(cm)의 민감도는 -20%로 나타났고, 로우더의 경우 작업효율(E)의 민감도는 96%, 사이클타임 t₁의 민감도는 -4%로 나타났다. 작업효율은 작업량 산정 시 계수에 곱해서 미치는 영향이 크다. 그러나 사이클타임은 계수 전체를 나눠주므로 작업량에 미치는 영향이 작업효율에 비해 아주 적다.
- 2) 표준품셈에 제시된 작업효율의 최대값을 적용한 굴삭기의 작업량은 시뮬레이션 실행 결과로 나타난 굴삭기 누적작업량의 약 40%에 해당되었으며, 로우더의 경우 약 95%에 해당되었다. 굴삭기의 경우 기계 성능 향상의 고려와 함께 작업효율이 작업량에 미치는 민감도 %가 사이클타임에 비해 미치는 영향이 크다는 것을 감안했을 때 현 건설공사 예정 가격 산정에 적용되는 작업량이 적다고 할 수 있다.

본 연구 결과로 제시된 건설기계의 시간당 작업량은 공사계획 단계에서 표준품셈에서 제시된 작업량과 상호보완하며 사용 가능할 것으로 사료된다. 그러나 본 연구를 통해 작업효율이 작업량에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 작업효율의 경우 계산방법과 정의가 명확하지 않고 제시된 작업효율이 도출된 기초자료도 없는 상태이다. 따라서 추후 기계능력 향상에 따른 사이클타임의 업데이트와 함께 작업효율의 개정·보완을 위해 장기·지속적인 자료 분석 및 연구가 이루어져야할 것이다.

요 약

건설기계는 건설사업의 성공적인 수행의 중요한 요인이며, 건설기계에 소요되는 비용이 건설공사비에서 차지하는 비중은 점차 증가하고 있다. 우리나라는 표준품셈에 제시된 건설기계 시공능력 산정식을 이용하여 건설기계의 시간당 작업량을 계산하고 있다. 건설기계 성능은 개선되고 있으나 시공능력 산정식에서 활용되고 있는 요소들은 이를 반영하지 못하고 있는 실정이며 극히 부분적으로만 재·개정되었다. 본 연구에서는 건설기계 시공능력 산정식 요소 중 사이클타임에 대해서 조사하였다. 이를 위해 먼저 관련 선행연구를 분석하였고, 건설공사에 주로 사용되는 건설기계인 굴삭기와 로우더의 사이클타임을 실시하였다. 수집된 자료와 현행 표준품셈의 시공능력 산정식에 적용되는 수치를 바탕으로 시뮬레이션 프로그램인 크리스탈볼을 활용하여 건설기계의 시공능력을 산정하였다.

키워드 : 건설기계, 시공능력, 사이클 타임, 시뮬레이션