

토공장비 선정 및 조합을 위한 영향요인 연구

Factors Affecting Selection & Combination of Earthwork Equipments

최재휘* 이동훈** 김선형*** 김선국****
 Choi, Jae-Hwi Lee, Dong-Hoon Kim, Sun-Hyung Kim, Sun-Kuk

Abstract

Earthwork is an essential initial work discipline in construction projects and open to significant impacts of several factors such as weather, site conditions, soil conditions, underground installations and available construction machinery, calling for careful planning by managers. However, selection and combination of construction machinery and equipment for earthwork still depends on experience or intuition of managers in construction sites, with much room left for proper management in terms of cost, schedule and environmental load control. This research aims to analyze the performance of earthwork equipment and establish relations among various factors affecting a model for optimizing selection and combination of earthwork equipment as a precursor to the development of such model. We expect the conclusions herein to contribute to optimizing selection and combination of earthwork equipment and provide basic inputs for the development of applicable model that can save costs, reduce schedule and mitigate environmental load.

키워드 : 토공사, 토공장비, 장비 선정 및 조합, 영향요인
 Keywords : Earthwork, Earthwork Equipment, Selection & Combination of Equipment, Affecting Factors

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현장 여건에 적합하고 효율적인 토공장비 선정 및 조합은 공기, 원가, 에너지 사용에 의한 환경부하 관리를 위해 필수적이다. 현재까지 건설공사의 토공장비 선정 및 조합에 대한 연구가 일부 진행되었으나 장비 성능과 영향요인과의 관계성을 정립하지 않고 결과와 방향을 제시하는 수준에 머무르고 있다.

따라서 본 연구는 토공장비를 적절하게 선정 및 조합하기 위해 필요한 영향요인 간의 관계성을 정립하는 것을 목적으로 한다. 본 연구의 결과는 시뮬레이션은 통해 현장 상황에 따른 최적의 장비 선정과 조합을 구하기 위한 모델 구축의 기초자료로 사용될 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 효과적인 연구진행과 객관적인 결과도출을 위해 공동주택 건설을 위해 택지조성이 완료되어 정리된

토지를 대상으로 한다. 따라서 절토 및 성토는 없다. 또한 경암 및 연암이 없는 비교적 굴착이 용이한 모래, 모래질흙, 점질토, 점토 등의 토질로 한정한다. 토공사는 흙파기공사, 흙막이공사, 지반개량공사 등으로 이루어지지만 본 연구는 흙파기공사를 대상으로 하며, 굴착, 상차, 운반의 순서로 토사를 취급한다. 굴착은 타이어식 굴삭기, 상차는 타이어식 로더, 운반은 덤프트럭으로 한다.

연구 방법 및 절차는 먼저 기존의 관련연구고찰을 통해 연구의 필요성을 확인한다. 다음으로 토공사 작업절차를 파악한다. 그리고 각각의 장비의 성능을 분석하여 토공장비의 선정과 조합에 영향을 줄 수 있는 요인들을 도출하고 관계성을 정립한다.

* 경희대학교 건축공학과 석사과정, (chjheda@naver.com)
 ** 경희대학교 건축공학과 박사과정, (donghoon@khu.ac.kr)
 *** 경희대학교 건축공학과 석사과정, (sunhyungk@khu.ac.kr)
 **** 경희대학교 건축공학과 교수, (kimskuk@khu.ac.kr)
 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.
 (NO. R11-2010-0001860)

2. 예비적 고찰

2.1 관련연구동향

황진하(2009)는 다중목적최적화기법(Multiobjective Optimization

Method)을 이용하여 시공단계에서 공사비 및 공사기간, 그리고 환경영향을 동시에 고려한 토공장비조합의 최적화모델의 개념적 설계를 하여 제시하였다. 원서경(2007), 황영조(2006)는 시스템 다이내믹스(System Dynamics)를 활용하여 토공량 및 토공장비의 조합 모형을 구축하였다. 그러나 위의 연구들은 토공장비 조합의 모델 구축을 위한 목적과 결과, 그리고 방향을 제시하는 수준에 머무르고 있으며 장비 성능과 영향요인 간의 관계성을 구체적으로 분석하지 못하였다.

백경근(2009)은 토공사에서 덤프트럭에 의한 운반경로를 결정하기 위하여 AHP기법으로 외부 운반로의 노선 선정 시 부정적인 영향을 끼치는 요소들을 사전에 파악하였다. 박현용(2007)은 현장의 덤프트럭 주행속도의 자료 수집을 통하여 각 도로유형별 주행 속도에 영향을 미치는 요소를 파악하고 적정 주행 속도 산정에 관한 방법을 제시하였다. 그러나 이는 덤프트럭에 한정된 연구로 토공장비의 효율적인 선정 및 조합과는 거리가 멀다.

2.2 토공사 작업절차

토공사의 준비단계에서는 지질조사를 통해 지하매설물과 토질을 분석하고 처리 방법 및 절차에 대해서 계획한다. 이후 토공장비가 반입된다. 본 연구는 공동주택 건설공사에서 주로 사용하는 토공장비인 굴삭기, 로더, 덤프트럭을 대상으로 굴착 및 토사처리를 한다. 다음 그림 1은 토공사의 작업 절차 및 내용을 나타낸 것이다.

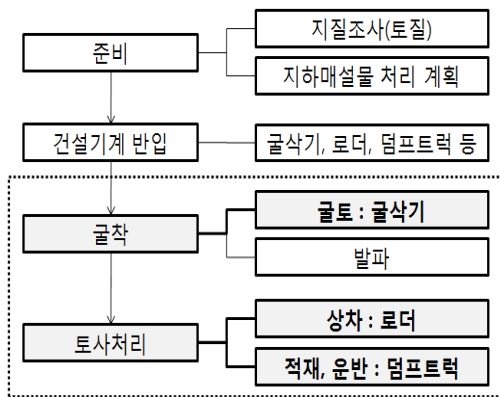


그림 1. 토공사 작업 절차 및 내용

3. 토공장비 선정의 영향요인

3.1 토공장비의 성능

1) 굴삭기

버킷계수, 체적환산계수, 작업효율, 1회 사이클 시간은 주어진 현장 상황이나 작업여건에 따라 결정된다. 버킷용량은 시간당 작업량에 가장 큰 영향을 미치는 중점요소이다. 다음 그림 2는 굴삭

기의 시간당 작업량 산정식이며, 표 1은 시간당 작업량을 결정하는 요소들의 조건에 대한 값을 나타낸 것이다(건설공사 표준품셈, 2008). 버킷용량은 다양하게 취급되지만 일반적으로 현장에서 많이 사용하는 4가지(0.3, 0.6, 0.8, 1.0m³)를 대상으로 하며, 체적환산계수는 체적의 변화율의 평균값을 체적환산계수표에서 제시한 식에 대입하여 산정하였다. 굴삭 및 적입시간, 배토하는 시간, 위치를 변경하는 시간은 굴삭기 운전자 5인의 면담에 의한 평균값이다.

$$Q = \frac{3600 \times q \times k \times f \times E}{cm}$$

Q: 시간당 작업량(m³/hr)
 q: 버킷용량(m³)
 k: 리퍼 또는 버킷계수
 f: 체적환산계수
 E: 작업효율
 cm: 1회 사이클 시간(초)

그림 2. 굴삭기의 시간당 작업량 산정식

표 1. 굴삭기의 시간당 작업량 결정요소 및 조건 값

시간당 작업량 결정요소	조건	값	
버킷용량(q: m ³)	-	0.3, 0.6, 0.8, 1.0	
버킷계수(k)	연한 토질	1.10	
	약간 단단한 토질	0.90	
체적환산계수(f)	모래	0.87	
	모래질흙	0.80	
	점질토	0.77	
	점토	0.76	
작업효율(E)	현장조건 양호	0.75	
	보통	0.60	
1회 사이클 시간(cm: 초)	굴삭 및 적입 시간	10	
	선회각으로 회전하는 시간	45°	27
		90°	30
		135°	33
		180°	36
	배토하는 시간	10	
	선회각으로 반전하는 시간	45°	27
		90°	30
		135°	33
		180°	36
위치를 변경하는 시간	10		

2) 로더

로더의 시간당 작업량은 굴삭기와 같은 식에 의해 산출된다(그림 3 참조). 단지 장비 특성에 따른 계수, 버킷용량, 1회 사이클 시간의 차이가 있다(표 2 참조). 본 연구에서 로더는 굴삭기 작업에 의해 산적된 호트러진 상태의 토사를 덤프트럭에 담는 역할을 수행한다. 따라서 이와 같은 상황을 적용하여 값을 정하였다. 또한 버킷용량은 3가지(2.87, 3.50, 5.00m³)로 한정하였다(2008 건설공사 표준품셈 발췌 및 참고).

표 2. 로더의 시간당 작업량 결정요소 및 조건 값

$$Q = \frac{3600 \times q \times k \times f \times E}{cm}$$

Q: 운전시간당 작업량(m³/hr)
 q: 버킷용량(m³)
 k: 버킷계수
 E: 작업효율
 f: 제적환산계수
 cm: 1회 사이클 시간(초)

$$cm = m \cdot l + t_1 + t_2$$

m: 계수(초/m) 무한케도식 : 2.0
 타이어식 : 1.8
 l: 권도주행거리(표준을 8m로 한다.)
 t₁: 버킷에 토량을 담는데 소요되는 시간(초)
 t₂: 기어변화 등 기본 시간과 다음 운반기계가 도착될 때까지의 시간(14초)

그림 3. 로더의 시간당 작업량 산정식

시간당 작업량 결정요소	조건	값	
버킷용량(q: m3)	-	2,87, 3,50, 5,00	
버킷계수(k)	조건 좋은 모래, 모래질흙	1,2	
	점질토, 점토	1,0	
1회 사이클 시간(cm: 초)	현장조건	용이	34,4
		보통	37,4

표 3. 덤프트럭의 시간당 작업량 결정요소 및 조건 값

시간당 작업량 결정요소	조건		값	
흐트러진 상태의 덤프트럭 1회 적재량 (q: m3)	덤프트럭 적재용량(T: 톤)		15, 20, 25, 32	
	체적환산계수에서의 체적변화율(L)	모래	1,15	
		모래질흙	1,28	
		점질토	1,30	
		점토	1,33	
	습윤밀도(rt: 톤/m3)	모래	1,68	
		모래질흙	2,00	
		점질토	1,60	
	점토	1,60		
	작업효율(E)	-		0,90
1회 사이클 시간(cmt: 분)	덤프트럭 1대의 토량을 적재하는데 소요되는 로더 사이클 횟수(n)	모래	15톤트럭	8,93
			20톤트럭	11,90
			25톤트럭	14,88
			32톤트럭	19,05
		모래질흙	15톤트럭	7,50
			20톤트럭	10,00
			25톤트럭	12,50
			32톤트럭	16,00
		점질토, 점토	15톤트럭	9,38
			20톤트럭	12,50
			25톤트럭	15,63
			32톤트럭	20,00
	양복시간(t2: 분) (운반거리: km)	2차로 이상의 공사용도로		(13·운반거리)/210
		2차로 시가지 포장도로(7,000~2,000대/일)		(11·운반거리)/150
		4차로 이상의 시가지 포장도로(40,000대/일 미만)		(13·운반거리)/210
		2차로 교외 포장도로(2,000대/일 이상)		
4차로 이상의 교외 포장도로(40,000대/일 이상)		(2·운반거리)/35		
2차로 교외 포장도로(2,000대/일 미만)				
4차로 이상의 교외 포장도로(40,000대/일 미만)		(21·운반거리)/550		
2차로 고속도로 또는 교통량(편도) 1일 40,000대 이상의 4차로 고속도로				
4차로 고속도로(편도 교통량 1일 40,000대 미만)		운반거리/30		
적하시간(t3: 분)	모래역	사토장 넓음	정지된 상태에서 적하 움직이는 상태에서 적하	0,50 0,80
		사토장 넓지 않음	천천히 움직이는 상태에서 적하	1,10
	점질토, 점토	사토장 넓음	정지된 상태에서 적하 움직이는 상태에서 적하	0,60 1,05
		사토장 넓지 않음	천천히 움직이는 상태에서 적하	1,50
적재장소 도착 후 적재작업이 시작될 때까지의 시간(t4: 분)	적재장소 넓음		0,15	
	적재장소 넓지 않음		0,42	
	적재장소 좁음		0,70	
적재함 덮개 설치 및 해제시간(t5: 분)	인력		3,77	
	자동덮개 시설의 경우		0,50	

3) 덤프트럭

덤프트럭은 로더와 연동하여 작업이 진행되므로 로더의 요소들에 대한 값이 반영되어 덤프트럭의 1회 사이클 시간을 결정한다. 토사의 습윤밀도는 건조하거나 습기가 있는 형상의 평균값으로 정한다. 적재용량은 12톤 이상으로 현장에서 일반적으로 많이 사용하는 15, 20, 25, 32톤의 덤프트럭을 대상으로 하였다. 다음 그림 4는 덤프트럭의 시간당 작업량 산정식이며, 표 3은 덤프트럭의 시간당 작업량 결정요소의 조건에 따른 값을 나타낸 것이다 (2008 건설공사 표준품셈 발췌 및 참고).

$$Q = \frac{60 \times q \times f \times E}{cmt}$$

$$q = \frac{T}{r_t} \cdot L$$

$$cmt = \frac{cms \cdot n}{60 \cdot Es} + (t_2 + t_3 + t_4 + t_5)$$

$$n = \frac{Qt}{q \cdot k}$$

Q: 1시간당 작업량(m³/hr)
 q: 호트러진 상태의 덤프트럭 1회 적재량(m³)
 r_t: 자연상태에서의 토석의 단위 중량(습윤밀도)(ton/m³)
 T: 덤프트럭의 적재용량(ton)
 L: 체적환산계수에서의 체적변화율
 $L = \frac{\text{호트러진상태의체적}(m^3)}{\text{자연상태의체적}(m^3)}$
 f: 체적환산계수
 E: 작업효율(0.9)
 cms: 덤프트럭의 1회 사이클시간(분)
 cms: 적재기계의 1회 사이클시간(초)
 Es: 적재기계의 작업효율
 n: 덤프트럭 1대의 토량을 적재하는데 소요되는 적재기계의 사이클 횟수
 Qt: 덤프트럭 1대의 적재토량(m³)
 q: 적재기계의 덤퍼 또는 버킷용량(m³)
 k: 리퍼 또는 버킷계수

그림 4. 덤프트럭의 시간당 작업량 산정식

3.2 영향요인 간의 관계

토공사 현장상황과 작업여건에 따라 굴삭기는 선회각, 덤프트럭은 사토장의 크기, 적하방법, 적재장소의 크기, 적재함 덮개 설치 및 해체 방법, 도로상태, 운반거리가 결정된다. 그리고 총토공량, 일일 평균 작업시간, 토질조건, 현장작업의 용이성은 모든 장비에 공통적으로 적용되어 시간당 작업량 산정에 영향을 미친다. 굴삭기와 로더의 버킷용량, 덤프트럭의 적재용량은 종류가 다양하므로 시간당 토공량 산정을 위해 가장 큰 영향을 줄 수 있는 변수이다. 따라서 중점적으로 관리해야할 요인이다. 각각의 장비의 종류(버킷용량, 적재용량)에 따른 시간당 임대료 및 노임단가는

장비 선정 및 조합을 위한 원가요인으로 관리에 따라 공기뿐만 아니라 원가를 절감할 수 있는 장비 조합을 가능하게 한다. 장비별 시간당 에너지사용량을 조사하여 연료에 따른 CO₂배출계수를 적용하면 CO₂배출량을 산정할 수 있다. 이로 인하여 장비 선정 및 조합에 따른 환경부하 정도를 평가할 수 있다. 표 4는 토공장비 선정 및 조합에 영향을 주는 요인을 장비별로 나타낸 것이다. 그림 6은 토공장비 선정 및 조합의 영향요인들 간의 관계를 나타내고 있다.

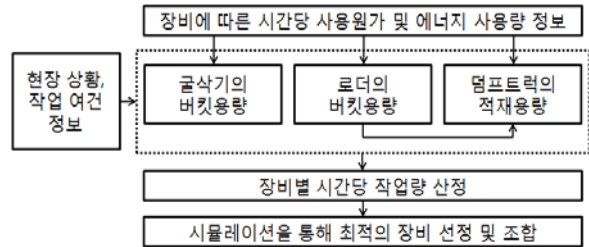


그림 6. 토공장비 선정 및 조합의 영향요인 간의 관계

4. 결론

본 연구는 토공장비 선정 및 조합을 위한 영향요인들을 알아보고 관계성을 정립하였다.

- 1) 현장상황 및 작업여건에 따라 장비별 시간당 토공량 산정을 위한 고정값이 결정된다.
- 2) 시간당 토공량 산정의 중점요인은 버킷용량 및 적재용량이다.
- 3) 장비별 시간당 임대료 및 노임단가는 원가절감에 영향을 주는 요인이다.
- 4) 장비별 시간당 에너지 사용량은 CO₂배출량을 평가하여 CO₂ 저감 관리를 실현시킬 수 있는 요인이다.

영향요인 간의 관계성의 정립은 장비별 시간당 작업량을 산정할 수 있고, 시뮬레이션을 통해 공기단축, 원가절감, CO₂ 저감을 동시에 만족시킬 수 있는 최적의 장비 선정 및 조합을 가능하게 한다.

표 4. 토공장비 선정 및 조합의 영향요인

토공장비	현장상황 및 작업여건에 따른 결정요인	시간당 토공량 산정의 중점요인	원가요인	CO ₂ 배출요인
굴삭기	선회각	버킷용량		
로더	-			
덤프트럭	사토장 크기 적하방법 적재장소 크기 적재함 덮개 설치 및 해체 방법 도로상태 운반거리	총토공량 일일 평균 작업시간 토질조건 현장작업 용이성	장비별 시간당 임대료 및 노임단가	장비별 시간당 에너지 사용량

참 고 문 헌

1. 건설공사표준품셈, 대한건설협회, 2008.1
2. 박현용, 태용호, 우성권, 운반작업의 영향요소분석을 통한 덤프트럭의 운반속도 산정방법에 관한 연구, 한국건설관리학회 논문집, 제8권 제3호, 한국건설관리학회, pp.97~105, 2007.6
3. 백경근, 강상혁, 백현기, 박형기, 서종원, 토공사의 운반경로 결정을 위한 영향요소에 관한 연구, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, pp.899~902, 2009.11
4. 원서경, 김선국, 한충희, 시스템 다이내믹스를 활용한 토공장비 조합 모형 연구, 한국건설관리학회 논문집, 제8권 제4호, 한국건설관리학회, pp.194~202, 2007.8
5. 황영조, 원서경, 한충희, 김선국, 시스템 다이내믹스를 활용한 토공량 산정 모형 구축, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, pp.467~210, 2006.11
6. 황진하, 황현우, 김병수, 다중목적최적화기법을 이용한 토공장비조합 최적화 모델의 개념적 설계, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 한국건설관리학회, pp.205~210, 2009.1