

시스템 다이내믹스를 활용한 토공량 산정 모형 구축

A Earth-Volume Estimate Model by System Dynamics

황 영 조[○] 원 서 경^{**} 한 충 희^{***} 김 선 국^{****}
Hwang, Young-jo Won, Seo-Kyung Han, Choong-Hee Kim, Sun-Kuk

요 약

모든 건설공사의 기초를 이루는 토공사는 건설기계의 사용으로 오늘날까지 많은 발전을 이루어 왔으나, 공기단축 및 원가절감에 있어 중요한 요소인 토공장비의 적정한 조합시공방안이 체계적으로 정립되어 있지 않고 경험에 의존하여 수행되는 상태로 관련분야에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 합리적인 기계화 토공은 공사에 투입될 장비의 성능 및 특성, 공사의 종류, 규모 및 주위의 여건 등을 사전에 철저히 파악해야 하며, 사용 가능한 몇 가지 규격의 장비를 선정하여 최적조합시공을 계획해야 한다.

이에 본 연구에서는 시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 토공작업의 여러 단계 중 기계화 토공장비의 굴착 후 적재 및 운반단계를 대상으로 토공장비의 최적조합시공에 의한 토공량 산정 모형을 구축한다. 이 연구의 결과로 도출되는 토공장비의 최적조합시공모형은 토공계획을 담당하는 관리자가 토공장비의 선정에 있어 최단시간에 합리적인 판단을 하게 해줄 것으로 기대된다.

키워드: 토공사, 건설기계, 토공량 산정, 시스템 다이내믹스

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

모든 건설공사의 기초를 이루는 토공작업에서 건설기계의 사용으로 오늘날까지 기종의 확대, 보급의 신장으로 많은 발전을 이루어 왔다. 이러한 발전에서 건설공사에 있어 가장 기본적이며 공기단축 및 원가절감에 주요한 요소인 토공장비의 적정 조합시공방안이 체계적으로 정립되어 있지 않은 상태로 관련분야에 대한 연구검토가 필요한 실정이다.

장비의 선정 및 조합은 품질 향상 및 원가절감의 중요한 요소 중에 하나이다. 따라서 공사에 투입될 장비의 성능 및 특성, 공사의 종류, 규모 및 주위의 여건 등을 사전에 철저히 파악해야 하며, 사용 가능한 몇 가지 규격의 장비를 선정하여 조합시공 시뮬레이션을 통하여 최적조합시공을 계

획해야 한다.

이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 토공작업에서 중요한 요소인 적재 및 운반단계에서 고려하게 되는 토공 작업량 및 토사운반 작업거리, 예정 공사소요일수에 따라 고려하게 되는 건설기계의 최적 사용규격 및 소요대수, 기간별 필요작업량, 이에 따라 예상되는 공사기간을 산정하여 장비별로 최적조합시공을 찾아 토공계획을 합리적이고 효율적으로 하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 토공작업의 여러 단계 중 기계화 토공장비의 굴착 후 적재 및 운반단계를 대상으로 하였다. 이 대상을 적재기계에 있어서는 로더를, 운반기계에 있어서는 덤프트럭을 중심으로 조합하여 검토하였다.

토공작업에서 사전에 고려하게 되는 토공 작업량 및 토사운반 작업거리, 예정 공사소요일수에 따른 장비별 최적조합 시공모형을 구축하기 위해 먼저 시스템 다이내믹스 기법에 대한 문헌고찰을 하고, 다음으로 각 장비별로 인과지도를 작성한다. 그리고 작성된 인과지도를 토대로 시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 모델링을 하고 각 영향요인들을 입력하여 건설기계의 최적 사용규격 및 소요대수, 기간별 필요작업량, 예상되는 공사기간을 산정하는 시뮬레이션을 하도록 한다.

* 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 석사과정, dracas35@naver.com
* 일반회원, 경희대학교 대학원 건축공학과 박사과정, 공학석사, kcem@khu.ac.kr
*** 종신회원, 경희대학교 토목건축대학 교수, 공학박사, chhan@khu.ac.kr
**** 종신회원, 경희대학교 토목건축대학 교수, 공학박사, kimskuk@khu.ac.kr
본 연구는 BK 사업 연구비 지원에 의한 연구의 일부임.

2. 이론적 고찰

토공은 토목공사의 기초작업으로 공사계획고보다 높은 곳은 절토하고 낮은 곳은 성토하여 계획 단면고에 맞추는 작업이며, 크게 준비공, 굴착공, 운반공, 성토공, 사면공, 다짐공으로 분류되며, 사전조사, 시공기면의 결정과 현장 토량의 특성을 파악하여 토공을 계획한다.

2.1 기계화 시공

건설기계는 건설공사에 사용되는 모든 기계를 총칭하는 것으로 중장비 및 공사현장에서 사용되는 기계를 말하며, 기계화 시공의 절차는 작업종류, 지반조건, 운반거리, 작업장소, 사용가능 기계과약의 사전조사와 공사규모와 범용성, 경제적인 운반거리, 장비의 주행성, 건설기계의 작업능력, 기계경비에 따른 건설기계의 선정과 운반거리, 작업종류 등에 따른 조합으로 이루어진다.

2.2 시스템 다이내믹스의 개념

시스템 다이내믹스는 1961년 Jay Forrester 교수가 산업체 재고량과 노동력의 불안정한 변화, 시장점유율의 감소문제들을 다룬 산업동태론을 발표한 이후 기업경영, 공공정책, 공학, 그리고 각종 인간의 의사결정행위에 대한 이해와 문제 해결을 위한 독특한 시각과 방법으로 광범위하게 응용되어 왔다.²⁾

시스템 다이내믹스는 <그림 1>과 같은 연구절차에 의해 이루어진다.

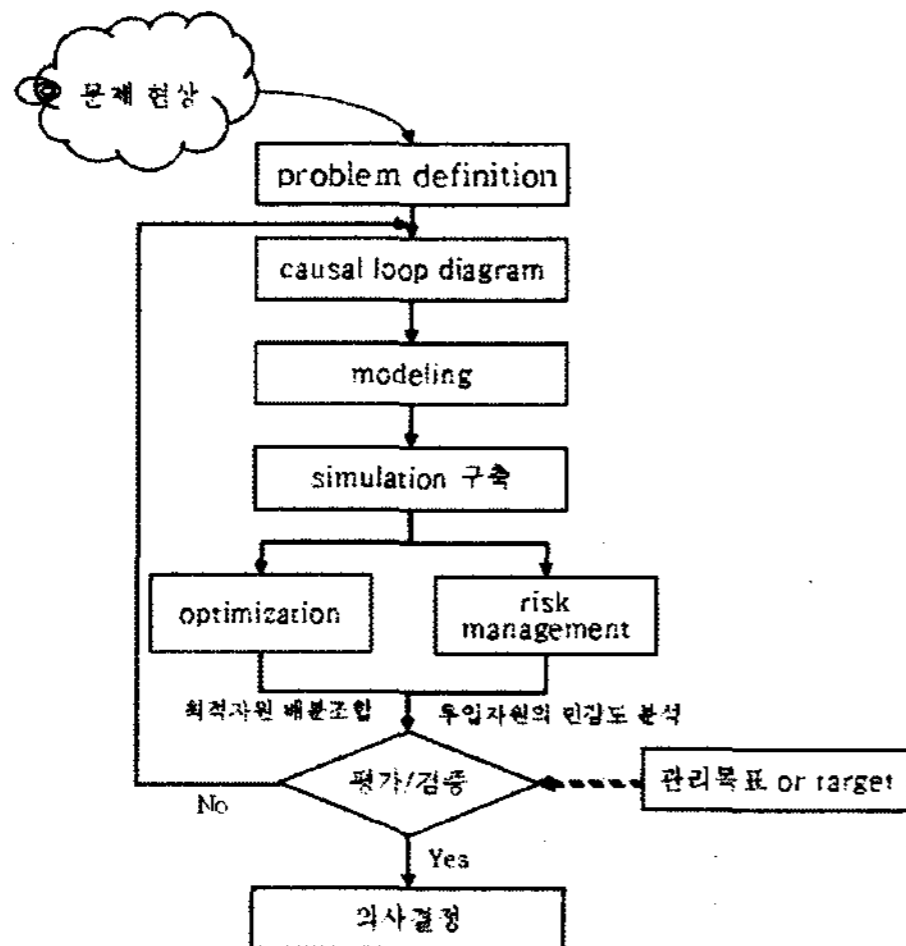


그림 1. 시스템 다이내믹스의 연구절차

3. 토공장비의 선정 및 조합

3.1 토공장비의 특징 및 시공법

2) 시스템 다이내믹스의 개념적인 차원에서의 이해와 방법론상의 유용성은 김도훈 문태훈 김동환 (1999) 을 참조

(1) 로더

로더는 무한케도식과 타이어식이 있으며 무한 케도식 로더는 불도저에서 파생되어 불도저의 배토판 대신에 유압조작에 의한 버킷장치를 한 것으로 차체의 안전성을 향상시키기 위하여 접지 길이를 길게 한 것이 불도우저와 다른 점이고 타이어식은 주행속도가 빠르고 기동성이 좋은 장점을 가지고 있으며 작업 행도의 범위가 넓다.

(2) 덤프트럭

덤프트럭은 가장 많이 사용되는 운반기계로서 장거리 운반, 공사현장 간의 용이한 이동, 공사 진척에 따른 투입대수 증감에 의한 운반량의 조정, 용이한 정비 등의 장점을 가지고 있다.

덤프방식에 의한 분류는 Rear식, Side식, Bottom식이 있으며, 덤프트럭의 선정은 조합으로 작업하는 적재기계의 구조 및 성능, 도로의 폭과 굴곡, 교량의 허용하중, 구배 등을 고려하여 결정하며, 적재기계의 버킷용량과 덤프트럭의 적재용량의 불균형은 적재 및 운반시간의 손실을 초래하여 경비를 증대시킬 수 있다.

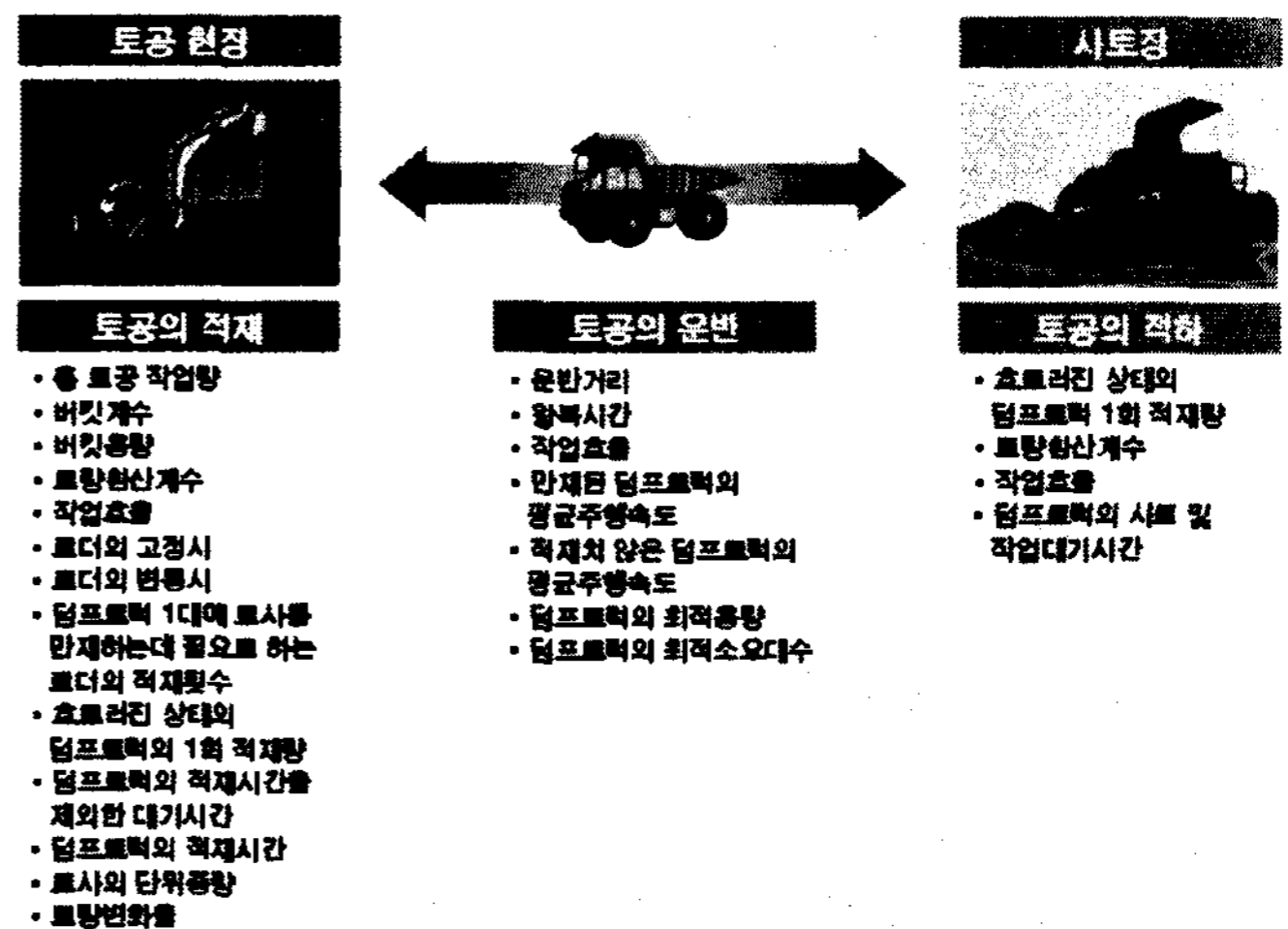


그림 2. 토공작업단계의 고려사항

3.2 시공능력의 산정

건설기계의 작업능력 산정은 작업이 반복되어 시행되므로 일반적으로 다음 식에 의하여 시간당 작업량을 산출하고 있다.

$$Q = n \cdot q \cdot f \cdot E \quad (1)$$

- 단, Q : 시간당 작업량(m³/hr 또는 ton/hr)
 n : 시간당 작업 사이클 수
 q : 1회 작업 사이클당 표준 작업량(m³ 또는 ton)
 f : 토량환산계수
 E : 작업효율

위 식의 각 변수는 일반적으로 적용할 수 있는 표준적인 것으로 작업의 난이도에 따라 수치의 범위를 정하여 적용하나 이것을 객관적으로 정의하는데 여러 가지 어려운 점

이 발생하므로 각 건설기계에 알맞은 공식을 정하여 사용하고 있다.

3.3 토공장비의 선정 및 조합

어떠한 공사에 어떠한 장비를 사용하는 것이 좋은가는 크게 두 가지 요인으로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 외적 조건으로 공사 요구인 시공법, 지형, 지질, 기상조건, 주위 환경, 공기 등이 있으며, 둘째로 장비고유의 특질로서 성능이 안정되고 신뢰성이 높은 것, 경제성이 높은 것, 조합효율이 높은 것, 용도가 다양하고 범용성이 좋은 것 비교적 간단히 입수할 수 있는 것 등이 있다. 이에 따라 위의 조건을 충분히 검토한 다음 그 조건에 맞는 것 중 가장 공사비가 적게 드는 것을 선정하여야 한다.

기종의 선정과 조합은 조합되는 장비들의 능력이 일체를 이루는 것이기 때문에 조합되는 장비의 작업능력이 균형을 이루고 전체적으로 각각의 장비가 최대 능력을 발휘하도록 조합시키는 것이 중요하다.

4. 토공장비 최적조합에 따른 토공량 산정 모형 구축

4.1 토공장비별 작업량 산정

(1) 로더의 시간당 작업량 산정

인과지도를 활용하여 분석한 결과 <그림 3>과 같이 로더의 시간당 작업량은 크게 버킷용량과 버킷개수, 토량환산계수, 작업효율, 사이클 타임에 영향을 받는다.

로더의 작업방법은 일반적으로 많이 채택하는 V형으로 하며, 버킷개수는 쉽게 버킷에 적재할 수 있는 조건이 좋은 모래 보통토로, 작업효율은 토질에 따른 작업조건이 양호한 값으로 가정하여 산정한다.

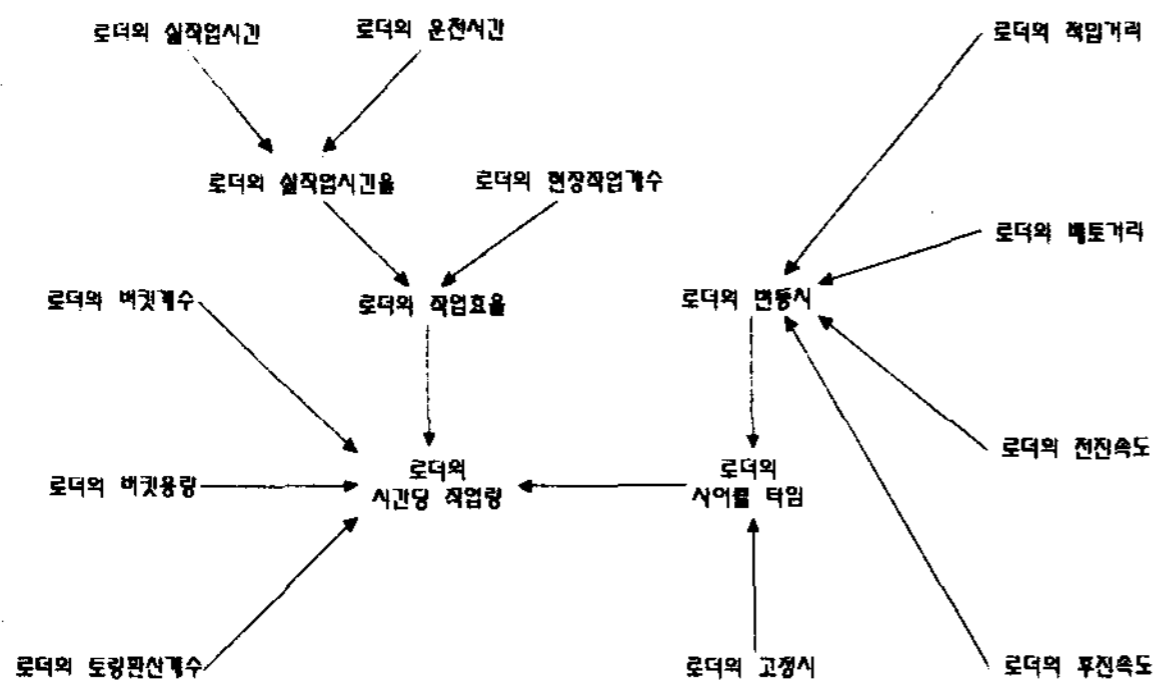


그림 3. 로더의 시간당 작업량 산정 인과지도

(2) 덤프트럭의 시간당 작업량 산정

덤프트럭의 시간당 작업량은 <그림 4>와 같이 호트러진 상태의 덤프트럭 1회 적재량, 토량환산계수, 작업효율, 사이클 타임에 영향을 받는다.

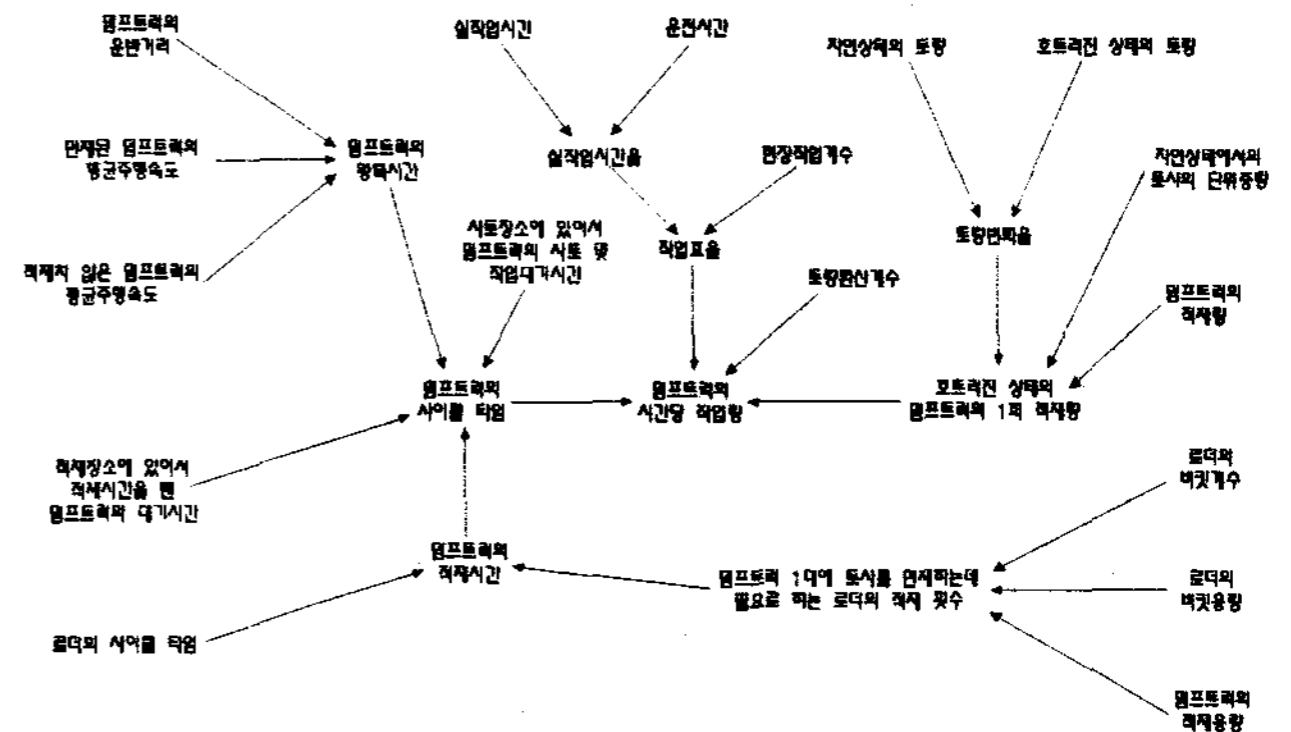


그림 4. 덤프트럭의 시간당 작업량 산정 인과지도

호트러진 상태의 덤프트럭의 1회 적재량은 자연상태에서의 토사의 단위중량, 덤프트럭의 적재량, 토량변화율에 의해 나타나게 되며, 사이클 타임은 덤프트럭의 적재, 왕복, 적하, 대기시간의 합으로 산정된다. 그리고 덤프트럭의 작업효율은 양호의 값으로, 트럭 1대에 토사를 만재하는데 필요로 하는 로더의 적재 횟수는 덤프트럭의 대기시간을 최소로 줄이는 4회로 가정한다.

4.2 토공장비의 최적조합 산정

(1) 로더에 따른 덤프트럭의 최적용량 산정

로더의 장비 선택에 따른 덤프트럭의 필요용량의 최적톤수의 종류는 <그림 5>와 같이 덤프트럭의 적재량에 의해 선택하게 된다.

덤프트럭의 적재되는 토사량은 로더의 버킷용량, 버킷개수, 토사의 단위중량, 토량변화율과 덤프트럭 1대에 토사를 만재하는데 필요로 하는 로더의 사이클 횟수에 의해 산정하게 된다.

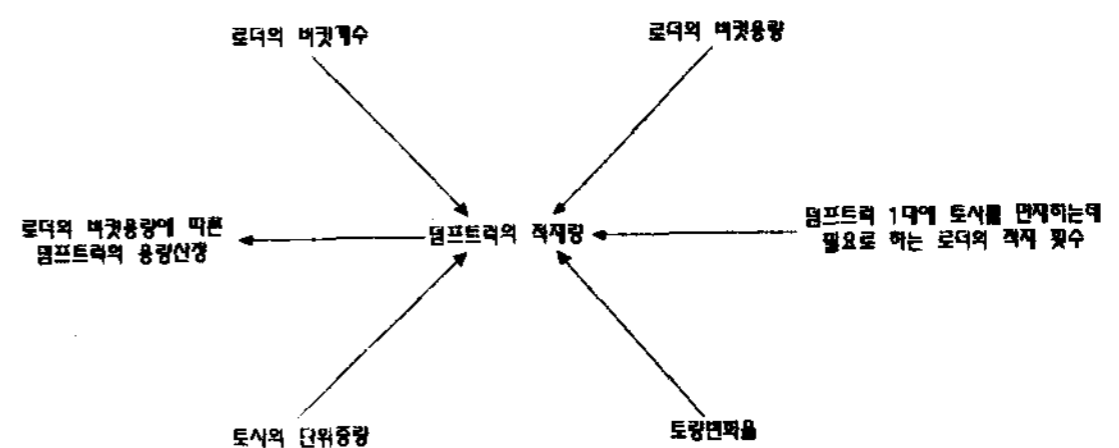


그림 5. 덤프트럭의 최적용량 산정 인과지도

(2) 로더에 따른 덤프트럭의 최적소요대수 산정

로더 1대에 대한 덤프트럭의 소요대수는 <그림 6>과 같이 로더의 굴삭 및 적재작업과 함께 덤프트럭의 운반작업이 불필요한 대기시간 없이 이루어지는 최적소요대수가 산정된다.

(3) 토공장비의 최적조합에 따른 토공량 산정 모형

토공작업에 있어 로더와 덤프트럭의 용량 및 소요대수의 최적조합으로 <그림 7>과 같은 인과지도를 작성하였다.

로더와 덤프트럭의 최적조합은 <그림 7>과 같이 로더의 시간당 작업량과 덤프트럭의 시간당 총운반토량이 같아지는 등식이 성립될 때 이루어진다.

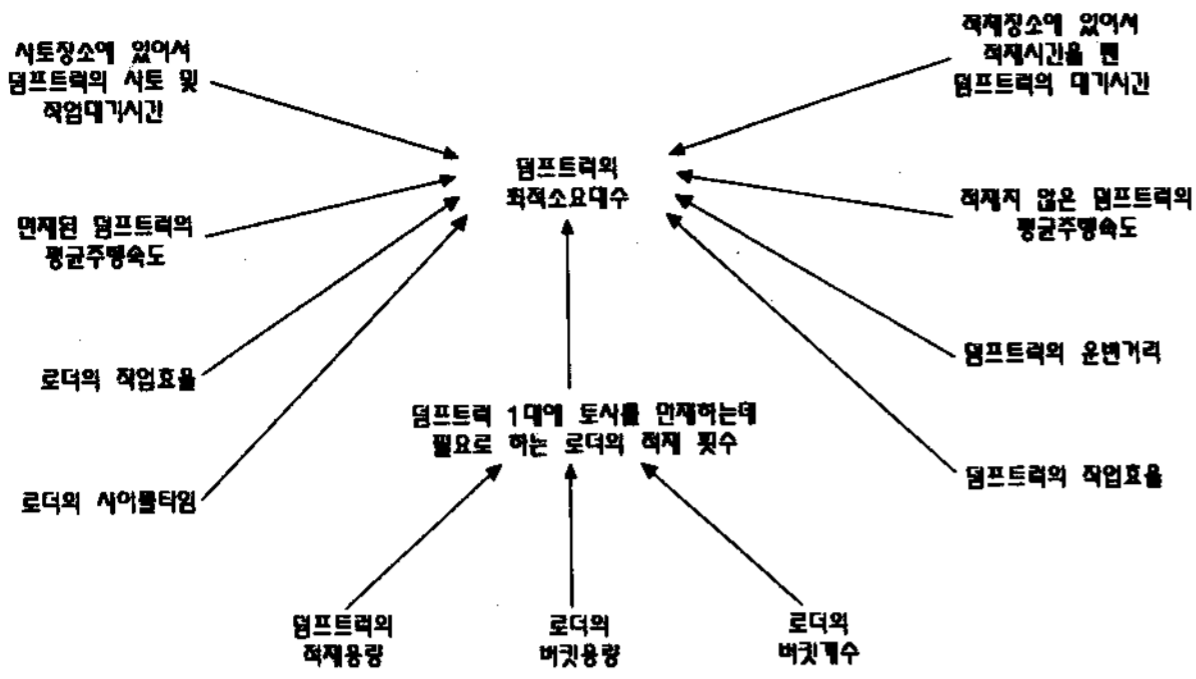


그림 6. 덤프트럭의 최적소요대수 산정 인과지도

토공량 산정 모형에서 초기 입력값은 작업할 총토공량과 예정하는 공사소요일, 일일 실 작업시간, 작업장으로부터 사토장까지의 덤프트럭의 운반거리를 입력하게 된다.

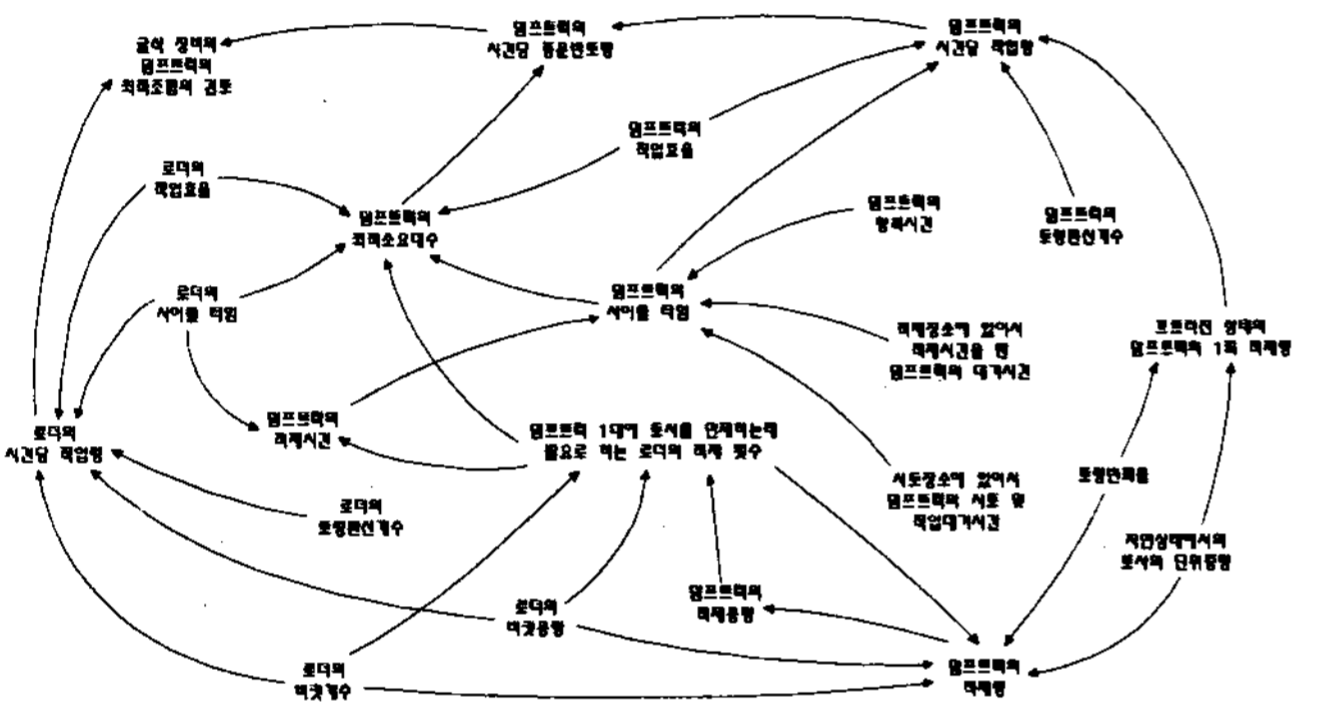


그림 7. 토공장비 최적조합의 검토 인과지도

결과값으로는 토공작업에 있어서 입력값에 의한 로더의 최적규격 및 그에 따른 공사소요일수, 덤프트럭의 최적용량톤수의 산정 및 불필요한 지연시간이 없는 최적 소요 대수,

로더의 시간당 적재 작업량 및 1일당 작업량, 덤프트럭의 시간당 작업량 및 필요대수와 왕복횟수, 시간당 운반 작업량 및 1일당 작업량, 그에 따라 장비별 시간당 단가를 입력하면 장비별 사용단가 등을 산출할 수 있게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 토공 작업의 여러 단계 중 기계화 토공장비의 굴착 후 적재 및 운반단계를 대상으로 각 장비별 인과지도를 작성하여 체계적으로 분석하였다. 이를 토대로 궁극적으로 토공장비의 최적조합시공에 의한 토공량 산정 모형을 구축하고자 한다.

토공계획에 있어서 사전에 고려하게 되는 토공 작업량 및 토사운반 작업거리, 예정 공사소요일수에 따라 최적조합시공 모델링을 통한 시뮬레이션으로 건설기계의 최적 사용규격 및 소요대수, 기간별 필요작업량, 예상되는 공사기간을 산정하게 된다. 이 연구의 결과로 도출되는 토공장비의 최적조합시공모형은 토공계획을 담당하는 관리자가 토공장비의 선정에 있어 최단시간에 합리적인 판단을 하게 해줄 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김동환 (2000). 인과지도의 시뮬레이션 방법론, 한국 시스템 다이내믹스 연수, 제1권, 제2호, pp. 91-111
2. 김도훈 외 2인 (1999). 시스템 다이내믹스, 대영문화사
3. 남기천, 김치화, 유광호, 김상환, 강보순, 김종민 (2005). 현장 실무를 위한 토목시공학, 한솔아카데미, pp. 167-197
4. 권기태 (2002). 건설기계와 시공, 동명사, pp. 36-114
5. 권기태 (1999). 토목시공학, 동명사, pp. 14-28
6. Jay W. Forrester (1961). Industrial Dynamics, Portland, OR: Productivity Press

Abstract

The earth volume which is the basis of all the construction has gone through great development so far with the use of construction machine; however, systematic studies on the related area is in need since the appropriate compound engineering method of earth volume equipments which is a key factor for shortening the project duration and cost reduction is not systematically established and it is dependent on experience. Reasonable mechanical earth volume should take into consideration of performance and characteristics of the equipment, the kind of project, scale and conditions in advance. Also, the optimum compound engineering should be planned by selecting several available scales of equipment.

In this study, the earth volume estimate model is established for optimum compound engineering of earth volume equipment for mechanized earth volume equipment loading and moving stage among many stages of earth volume task using system dynamics technique. The optimum compound engineering model of the earth volume equipment produced as a result of this is expected to make reasonable decisions in the shortest time in selecting earth volume facility.

Key Word: Earth Volume, Construction Machine, Earth Volume Estimate, System Dynamics