

혼합 정수 비선형 계획법 기반 토공사 최적 장비 선정 방법 제시

A Mixed Integer Nonlinear Programming Approach towards Optimal Earthmoving Equipment Selection

고용호¹ · 키앙² · 이수민² · 신도형³ · 한승우^{4*}

Ko, Yong-Ho¹ · Ngov, Kheang² · Lee, Su-Min² · Shin, Do-Hyoung³ · Han, Seung-Woo^{4*}

Abstract : Optimal fleet management in the planning stage is one of the most critical activities that guarantee successful construction projects. In South Korea, the construction standard production rate database (CSPRD) is normally employed. However, when it comes to a trade-off problem that involves decision-making on optimal sets of equipment to perform a certain task, the method will require the planners' in-depth knowledge and experience regarding the target process and a time consuming estimation of the performance of every possible scenario must be conducted for the deduction of the optimal fleet management. On this account, this research paper proposes a lightweight method of using mixed integer nonlinear programming (MINLP) in multi-objective problems based on CSPRD-based mathematical equations to assist planners in the preplanning stage of choosing the optimal sets of types and size machinery to efficiently arrange the construction scheduling and budgeting.

키워드 : 혼합 정수 비선형 계획법, 최적 장비 선정, 표준품셈

Keywords : mixed integer nonlinear programming, optimal fleet management, construction standard production rate

1. 서론

1.1 연구의 목적

건설 프로젝트를 수행함에 있어 최적 자원 투입 계획 수립은 프로젝트 성패에 큰 영향을 미친다. 국내의 경우, 표준품셈을 기반한 비용 산출이 수행되며, 현장 관리자의 경험에 의한 공기 산정이 계획 단계에 적용된다. 이런 문헌 기반 공기 및 비용 산정은 의사결정의 리스크를 최소화하기 위해 사용되는 것으로 조사되었다 [1]. 특히 토공사의 경우, 대규모 건설 장비가 투입됨에 따라, 계획의 성과는 전체 공기 및 비용에 큰 영향을 미친다. 도로공사의 토공사는 전체 비용에 차지하는 비율이 최대 30%이며 투입되는 자원의 효율에 따라 크게 증가될 수 있다[2,3,4]. 이에 본 연구에서는 현장 관리자에게 주어진 예산과 투입 가능한 장비의 대수 및 종류에 대해 가장 비용 효과적인 대안을 최적 장비 조합이라 정의하고 혼합 정수 비선형 계획법 기반으로 최적의 장비 조합을 도출하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 혼합 정수 비선형 계획법 기반 토공사 최적 장비 선정

2.1 혼합 정수 비선형 계획법 기반 토공사 최적 장비 선정 방법 입력값

본 연구에서 제시하는 최적 장비 조합 방법의 절차는 다음과 같다: 1) 토공사 예산 및 투입 가능 장비 대수 및 규격 설정, 2) 표준품셈 기반 시나리오 설정, 3) DES (Discrete Event Simulation) 기반 시나리오 별 장비 조합 생산성 데이터 생성, 4) 장비 손료 기반 비용 데이터 생성, 5) 시나리오 별 단위 비용 데이터 생성, 6) 혼합 정수 비선형 계획법 기반 최적 장비 조합 선정

2.2 혼합 정수 비선형 계획법 기반 토공사 최적 장비 선정 방법 입력값 출력값

본 연구에서는 표준품셈의 장비 시공능력 산식을 기반으로 시나리오를 생성한다. 각 시나리오의 입력값은 표준품셈에 제시된 작업 조건 k : 장비계수, f : 체적환산계수, E : 작업효율, cm : 1회사이클소요시간과장비규격 q_{loader} : 로더버킷규격, $q_{dumptruck}$: 덤프트럭적재용량. 으로 설정하였다. 입력된 장비 규격 및 작업 조건을 기반으로 다음 식 (1)과 (2)에 의해 적재시간 및 운반시간이 계산된다.

1) 인하대학교, 박사과정
2) 인하대학교, 석사과정
3) 인하대학교, 교수
4) 인하대학교, 교수, 교신저자(shan@inha.ac.kr)

$$\text{적재시간} = \frac{q_{\text{dumptruck}}}{\frac{3600q_{\text{loader}} \cdot k \cdot f \cdot E}{cm}} \quad (1)$$

$$\text{운반시간} = \frac{\text{운반거리}}{\text{운반속도}} \times 60 \quad (2)$$

여기서, 적재시간 [min] : 적재장비로 운반장비에 토사를 가득 적재하는 시간 / cm [min] : 적재장비로 운반장비에 토사를 1회 적재하는 시간

여기서, 운반시간 [min] : 적재된 토사를 운반장비로 쌓기 또는 사토 목적으로 운반하는 시간 / 운반속도 [km/hr] : 운반장비의 평균 이동 속도

위 입력값을 기반으로 적재 및 운반 작업의 소요시간을 기반으로 DES를 구동하여 생산성 및 단위비용 데이터를 아래 표 1과 같이 출력한다. 표 1의 시나리오별 데이터는 혼합 정수 비선형 알고리즘의 입력되어 최적 장비 조합이 도출된다.

표 1. 생산성 및 단위비용 데이터 예시

시나리오	투입 장비				생산성 [M3/HR]	단위 비용 [원/M3]
	적재장비 규격 [M3]	운반장비 규격 [TON]	적재장비 [EA]	운반장비 [EA]		
A	10	15	1	1	10	50
			1	2	20	42
			1	3	... (계속)	
B	7	10	1	1	5	30
			1	2	12	23
			1	3	... (계속)	
C	15	25	1	1	15	65
			1	2	25	57
			... (계속)			
... (계속)				... (계속)		

3. 결론

본 연구는 혼합 정수 비선형 계획법 기반 토공사 최적 장비 선정 방법 제시에 관한 것으로, 현장의 예산과 투입 가능한 장비의 규격 및 대수에 따른 다양한 시나리오를 기반으로 최적의 대안을 제시하는 방법을 제시한다. 연구의 수행 결과, 혼합 정수 비선형 계획법이 최적 대안을 성공적으로 도출할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원이 시행, 한국도로공사가 총괄하는 “스마트건설기술개발 국가R&D사업(과제번호 21SMIP-A158708-03)”의 지원으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Czarnigowska, A., &Sobotka, A. Estimating construction duration for public roads during the preplanning phase. Journal of Engineering, Project, and Production Management. 2014. Vol 4 No 1. pp. 26-35.
2. Hare, W. L., Koch, V. R., &Lucet, Y. Models and algorithms to improve earthwork operations in road design using mixed integer linear programming. European Journal of Operational Research. 2011. Vol 215 No 2. pp. 470-480.
3. Parente, M., Cortez, P., &Correia, A. G. An evolutionary multi-objective optimization system for earthworks. Expert Systems with Applications. 2015. Vol 42 No 19. pp. 6674-6685.
4. Alshboul, O., Shehadeh, A., Tatari, O., Almasabha, G., &Saleh, E. Multiobjective and multivariable optimization for earthmoving equipment. Journal of Facilities Management. 2022.
5. 국토교통부. 한국건설기술연구원. 2021 건설공사 표준품셈. 2021. pp. 273-349.