

건설현장 소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델 개발

Developing an Optimized Scheduling Process Model for Controlling the Noise in Construction Field

이 승 학

손 재 호

이 승 현*

Lee, Seung-Hak Son, Jea-Ho Lee, Seung-Hyun*

School of Architectural Engineering, Hongik University, Jochiwon, Sejong, 339-701, Korea

Abstract

According to the expanding of construction machinery works, the number of civil complaints demanding compensations are increasing continuously from surrounding residents due to the noise from construction fields. However, the noise is usually managed restrictedly during the construction phase rather than prevented in advance. So, the efforts to solve the noise problem are occurring only after complaints have been made. Also, excessive cost and time consuming in order to solve the complaints negatively affects to construction companies. Therefore, the purpose of this study is to develop an optimized scheduling process model for controlling the noise in construction field by considering the planned time, cost, and the number of equipment before construction. In addition, this process model is expected to provide a useful information about the cost comparison between the original planned cost plus compensation and the optimized cost considering noise limitation so that the site managers can manage their projects effectively.

Keywords : noise control, schedule optimization, process model, compensation cost by noise restriction

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 건설공사는 대형화, 기계화로 인하여 많은 장비가 현장에 투입되고, 건축물 건설을 위한 택지가 부족하여 도심지와 같은 거주지 밀집 지구에서 건설공사가 이루어지면서 주변 주민들이 건설현장에서 발생하는 소음으로 인한 피해 보상을 요구하는 민원이 증가하고 있다.

더욱이 현장에서 발생하는 소음은 예방 차원이 아닌 공사 진행과정에서만 제한적으로 관리되고 있으며, 민원이 발생

하고 나서야 대부분의 대처가 이루어지고 있는 실정이다.

또한, 민원이 발생하는 경우에 당사자 간의 대화를 통해 분쟁을 해결하는 방법과 법원의 재판을 통해 분쟁을 해결하는 방법이 있지만, 개인적인 견해 차이로 분쟁의 해결이 쉽지 않고 비용과 시간이 과다하게 소요되기 때문에 현장의 공사일정과 공사비에 부정적인 영향을 미치게 된다.

이에 본 연구에서는 착공 단계 전부터 현장에서 발생 가능한 작업별 합성소음도를 예측하고, 법적 소음제한 기준에 따라 공사를 수행하되 공사기간과 장비투입 조건에 따른 최적 공사비를 찾는 알고리즘 개발하며, 궁극적으로 최적 공정표를 도출할 수 있는 스케줄링 프로세스 모델 개발을 목적으로 한다.

이를 통하여 현장관리자는 초기 공사계획 수립 시 소음발생을 고려하지 못함에 따라 민원이 발생할 때 예측되는 비용정보와 소음제한을 고려할 때의 공사비, 공사기간의 변화 정도를 상대적으로 비교 분석함으로써 보다 합리적이고 경

Received : June 17, 2014

Revision received : July 12, 2014

Accepted : August 6, 2014

* Corresponding author : Lee, Seung-Hyun

[Tel: 82-44-860-2213, E-mail: Slee413@hongik.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

제적인 공사 관리를 수행할 수 있도록 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 각 건설 관련 장비에서 발생하는 소음도와 일일(day)단위 합성소음도를 산출하여 건설 현장의 소음도를 단일작업뿐만 아니라 일일(day)단위로도 산출하고, 이를 활용하여 소음제한을 고려한 최적 공정표를 도출하는 스케줄링 프로세스 모델을 개발한다.

또한, 현장관리자가 소음이 고려되지 않는 공정계획의 예상 공사비(배상액포함)와 소음제한을 고려하여 도출한 최적 공사비를 비교 분석함으로써 합리적인 공정계획을 수립할 수 있도록 한다.

이를 위한 연구의 흐름은 다음과 같다.

첫째, 소음이 건설현장에 미치는 영향을 알아보기 위한 소음 파급효과 분석과 본 모델구축에 필요한 공정관리 최적화 기법 및 정수계획법에 관한 이론적 고찰을 수행한다.

둘째, 각 장비의 소음측정을 위한 거리감쇠식과 최소비용 흐름문제 및 정수계획법을 활용하여 소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델을 개발한다.

셋째, 소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델의 유효성을 검증하기 위하여 A 중학교 교사 신축공사와 B 상가신축공사를 대상으로 사례연구를 시행한다.

마지막으로 본 연구의 결과를 요약, 정리하며 연구의 의의 및 향후 연구 방향에 대하여 제안한다.

2. 기존 문헌 및 연구방법 고찰

2.1 소음 파급효과 분석

건설장비에서 발생하는 소음으로 인하여 현장에 어떠한 영향이 발생하는지 알아보기 위해 중앙환경분쟁위원회에서 제공하는 과거 10년간의 분쟁사례조정집과 기존 연구문헌 고찰을 통하여 소음 파급효과를 살펴보았다.

먼저 환경피해 종류별 구성비와 소음으로 인하여 피해가 많이 발생하는 공사장 현황에 대한 자료를 수집하여 분석한 결과[1], 여러 많은 민원 중 다른 환경 피해(수질, 대기 등)와 비교하여 볼 때, 소음으로 인한 피해가 86%로 큰 비중을 차지하고 있으며, 그 중 76%가 건축, 토목공사장에서 발생하는 결과로 확인되었다.

또한, 환경피해 중 소음으로 인하여 발생하는 민원사례의

발생 분포를 분석하기 위해 기존 연구문헌을 조사하였고 그 결과는 다음과 같다[2].

건설소음 분쟁조정 처리 결과에 대한 당사자 간 배상률은 꾸준한 증가추세의 양상을 보이고 있으며, 피해요구액 또한 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 피해 대상이 사람 뿐만 아니라 축산물의 피해 보상을 요구하는 목소리도 점차 높아지고 있다.

하지만 위 자료는 2007년까지의 자료만 조사되었기 때문에 본 연구에서는 중앙환경분쟁위원회에서 제공하는 환경분쟁조정사례집에서 최근 10년간 발생한 민원 중 소음에 관한 자료를 수집·분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

소음피해로 인한 민원 신청 후에 개연성이 인정되어 배상액을 지급한 경우는 전체 민원 건수 중 70%에 달하며, 배상액의 평균은 약 35백만원 정도임을 확인하였다.

이는 소음으로 인한 민원이 점차 증가하고 있으며 이에 따른 배상률과 배상액 또한 높게 산정되어 건설 현장에서 소음으로 인한 민원이 발생하지 않기 위한 대책 마련이 시급함을 보여 준다 하겠다.

2.2 공정관리 최적화 관련 선행연구

기존에 공사의 생산성 향상 및 효율적인 자원 활용을 위한 공정관리 최적화에 관한 체계적이고 과학적인 연구가 많이 진행된 바 있으며, 그 중 비용과 시간의 최적관계를 찾는 TCTO에 관한 연구를 기반으로, 본 연구의 스케줄링 프로세스 모델을 개발하고자 다음과 같이 최근까지 선행 연구를 고찰하였다.

Roh et al[3]은 초고층 마감 공정을 대상으로 TACT 공정관리 기법을 활용하여 시간-비용 최적화 모델을 제시하였고, Park and Ah[4]은 효율적인 최적화 알고리즘을 제시하고 공정관리 소프트웨어와 연계한 시간-비용 최적화 모델을 제안하였다. Maeng[5]은 시간-비용 상관관계 분석과 최적화 공정관리를 통한 생산성을 향상하기 위한 의사결정 모델을 개발하였다.

그러나 위와 같은 기존 연구들은 비용-시간의 2가지 조건만 활용하여 최적관계를 찾고 그 이상의 조건을 활용하여 최적관계를 찾는 연구는 미흡한 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 비용-시간의 2가지 조건만 고려된 상관관계 분석이 아닌 비용-시간에 본 연구에서 제한하는 소음을 추가하여 최적관계를 찾는 최적 스케줄링 프로세스 모델을 개발하려 한다.

2.3 최적 스케줄링 프로세스 모델 구축

본 연구에서는 소음-비용-시간의 3가지 조건을 고려하여 최적 대안을 찾고 이를 활용하여 최적 공정표를 도출하고자 하는 데 그 목적이 있다.

이때 최적 대안을 찾는 과정에서 의사결정변수에 정수화 조건이 추가되기 때문에 정수계획법 중 정수화 조건이 붙고 의사결정 변수들이 0 또는 1의 값만을 갖는 0-1 정수계획법(또는 이진 정수계획법)을 활용하여 최적 대안을 찾는 문제를 해결하고자 한다.

또한, 이런 정수계획 모형을 풀기 위하여 본 연구에서는 MS-Excel과 선형계획 프로그램 Solver(해 찾기 프로그램)를 활용 프로세스 모델을 구축하고, 이를 활용하기 위해 제한조건 및 변수를 각각 수립한 후 Linear Programming을 선택하여 최적 공정표를 도출하기 위한 해 찾기를 실시한다.

본 연구의 모델 구축에 정수계획법과 해 찾기 프로그램을 활용하는 이유는 복잡한 여러 의사결정 상황이 정수변수나 0-1 변수로 의사결정이 가능하고 이러한 정수계획 모형은 해 찾기 프로그램으로 모형화가 가능하기 때문에 본 연구에서 제시하는 모델 구축에 이를 활용하였다[6].

3. 소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델

소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델은 다음 Figure 1과 같다.

3.1 공정계획의 각 Activity 별 장비투입에 관한 대안수립

먼저 착공 전 단계부터 소음을 관리하기 위해 시공계획서를 활용하여 장비명, 규격, 대수 등의 정보가 있는 장비의 투입계획을 확인한다.

이를 바탕으로 각 Activity 별 장비 투입 대안을 수립하게 되며, 기존에 투입된 장비의 규격과 대수를 변경하여 대안을 수립하거나, 기존 장비규격은 변경하지 않으면서 대수만 변경하여 장비투입 대안을 수립하게 된다.

대안 수립과정에서 기존에 투입된 장비가 아닌 다른 장비로 대안을 수립해야 하는 경우는 기존에 투입되는 장비가 단일 대수이면서 소음도를 초과하는 경우로서 이러한 경우, 기존 공법을 변경하고 이에 따라 투입되는 장비로 대안을

수립할 수 있다.

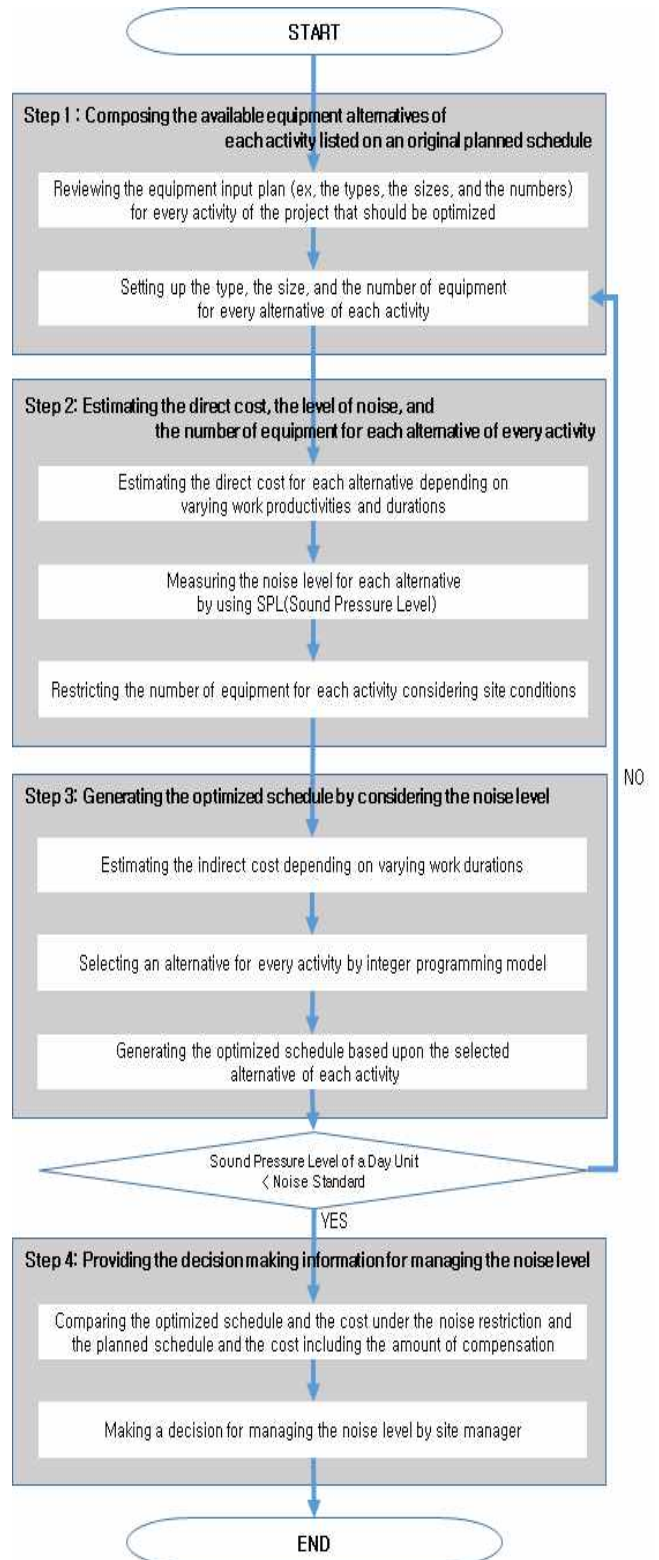


Figure 1. Optimized scheduling process model for controlling the noise in construction field

3.2 각 Activity 별 대안들의 직접비, 소음도, 장비 제한 대수 수립

본 단계에서는 각 Activity 장비투입 대안별 직접비를 산정하게 되며, 비용 산정방식은 다음과 같다.

3.2.1 각 대안의 직접비 산정

Step1에서 수립한 장비 대안의 장비명, 규격, 대수의 정보를 활용하여 직접비를 산정한다.

먼저 시공 단계 전에 작성된 내역서를 활용한 각 작업별 물량정보와 표준품셈을 활용한 각 대안의 장비별 생산성 측정 방식을 확인한다.

본 연구는 착공 전 단계부터 소음을 관리하기 때문에 현장조건이 정확하게 반영되기 어렵다. 따라서 시뮬레이션을 활용한 생산성 측정이 아닌 각 장비의 생산성 측정 공식을 활용하여 생산성을 산정하였다. 다음 (Equation 1)은 여러 건설장비 중 굴삭기의 생산성을 측정하는 수식이다.

$$Q = (3600 \times q \times k \times f \times E) / cm \quad \text{----- (Equation 1)}$$

여기서, q : 버킷용량 (m^3) k : 현장조건(0.55, 1.10)

f : 체적환산계수 E : 실작업시간율

cm : 사이클 타임 (hr)

(Equation 1)과 같은 각 장비별 생산성 측정 공식으로 측정된 단위 생산성과 작업별 물량 정보를 바탕으로 작업별 각 장비투입 대안의 공사기간을 산정(Equation 2)하고 각 대안의 투입장비에 따른 비용정보(장비의 경비+노무비+재료비)와 1일 작업시간(8시간)을 토대로 작업별 대안들의 직접비용을 산정한다(Equation 3).

$$D_{ij} = \frac{Q_{ij}}{P_{ij}} \quad \text{----- (Equation 2)}$$

여기서, i : Activity의 번호, i : {A, B, C..... n}

j : Activity i의 대안, j : {1, 2, 3 m}

D_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 공사기간 (day)

Q_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 물량정보 (m^3)

P_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 장비생산성 (m^3/day)

$$DC_{ij} = 8 \times D_{ij} \times (MC_{ij} + LC_{ij} + OC_{ij}) \quad \text{----- (Equation 3)}$$

여기서, DC_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 직접비

D_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 공사기간

MC_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 재료비

LC_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 노무비

OC_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 경비

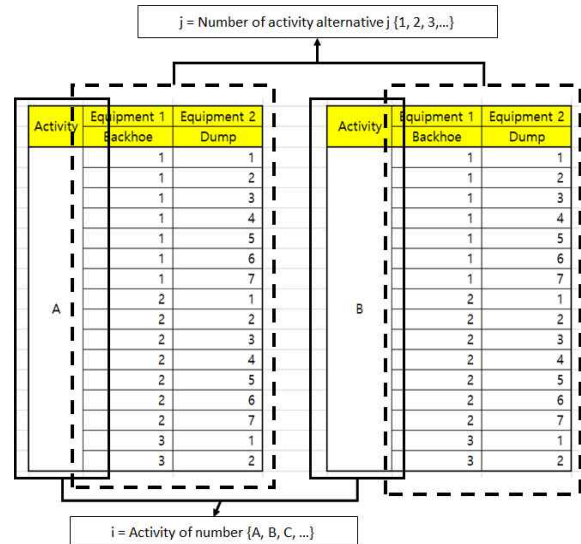


Figure 2. The relationship between i and j

(Equation 2, 3)식에서 i, j 의 관계는 위 Figure 2와 같으며 i 는 각 Activity를 나타내고 A, B, C 순이거나 공중순으로 표시되며, j 는 각 Activity의 장비투입 대안을 나타내고 장비별 대수로 표시된다.

3.2.2 각 대안의 소음도 측정

각 대안별 장비 조합의 장비명, 장비규격, 장비대수와 거리감쇠식을 활용하여 각 대안의 소음도를 측정한다.

아래 (Equation 4)의 거리감쇠식은 단일 장비투입 대안일 경우 사용하며, 단일 장비별 기준거리(7m, 15m)에 따른 소음도와 수음점 사이의 이격거리를 바탕으로 산출하는 소음예측식이다.

(Equation 5)는 (Equation 4)를 활용하여 2가지 이상의 장비가 투입될 경우와 그 당일에 투입되는 장비의 총 소음도를 나타내는 일일(Day) 단위 합성소음도를 산출할 때 사용하는 거리감쇠식이다[7].

$$SPL = SPL_0 - 20 \log(r/r_0) \quad \text{----- (Equation 4)}$$

여기서, SPL : 예측지점에서의 장비소음도(dB(A))

SPL_0 : 소음원으로부터 기준거리(7.5m, 15m)

떨어진 지점에서의 장비소음도 (dB(A))

r : 소음원으로부터 예측지점까지의 거리 (m)
 r_0 : 소음원으로부터 기준 측정지점까지의 거리 (m)

$$\overline{SPL} = 10 \log(10^{SPL_1/10} + 10^{SPL_2/10} + \dots + 10^{SPL_n/10}) \text{ --- (Equation 5)}$$

여기서, \overline{SPL} : 합성소음도 (dB(A))

$SPL_{1,2,\dots,n}$: 각 장비별 발생소음도 (dB(A))

예를 들어 장비 대안이 굴삭기1대와 덤프트럭1대이며 예측지점까지의 거리가 100m일 경우 각 장비별 소음도와 총 합성 소음도는 (Equation 4)와 (Equation 5)를 활용하여 다음과 같이 측정하게 된다.

먼저 (Equation 4)를 활용하여 각 장비의 소음도를 측정하기 위해 기준거리(7.5m, 15m)에서의 장비 소음도를 먼저 측정하게 되며, 굴삭기의 소음도 SPL_0 은 r_0 이 7.5m일 경우는 74.5dB(A), 15m일 경우는 68.5dB(A)이다.

이 중 기준거리 r_0 를 7.5m로 설정하여 단일 장비 소음도 및 합성소음도를 측정하기 때문에 74.5dB(A)만 활용하여 굴삭기의 소음도를 측정하게 되며 그 값은 52.0dB(A)이다.

또한, 덤프트럭의 소음도도 위와 같은 방식으로 산정하게 되며 이때 덤프트럭의 소음도 SPL_0 은 r_0 이 7.5m일 경우는 84.7dB(A), 15m일 경우는 78.7dB(A)이며 위와 같이 기준거리 조건이 7.5m일 때 덤프트럭의 소음도는 62.2dB(A)이다.

다음 (Equation 4)로 측정한 굴삭기 소음도 52.0dB(A), 덤프트럭 소음도 62.2dB(A)와 (Equation 5)를 활용하여 합성 소음도를 측정하게 된다. 이때의 합성 소음도의 측정은 $\overline{SPL} = 10 \log(10^{52.0/10} + 10^{62.2/10})$ 과 같으며, 합성소음도는 51.6 dB(A)이다.

위와 같은 방법으로 각 장비투입 대안에 따른 소음도를 측정한다.

3.2.3 각 대안의 소음 및 장비제한 초과 여부 판단

측정한 대안의 소음도와 장비제한(현장에서 유용 가능한 장비대수에 따른 제한) 초과 여부를 판단하여 위 2가지 조건 중 1가지 조건이라도 초과할 경우에는 그 해당 대안을 최적 대안에서 제외한다.

장비제한(현장에서 유용 가능한 장비대수에 따른 제한)의 경우는 현장관리자가 현장조건에 맞는 장비제한 대수를 선정하여 초과 여부를 판단한다.

각 대안의 소음도 및 장비 대수가 법적기준 및 장비제한

대수를 초과할 경우, 그 해당 대안을 최적 대안 선정에서 제외시키고, 나머지 대안 중에서 최적 대안을 찾기 위해서 복수의 공급지에서 수요지까지 수요-공급량(제한조건)을 만족하며 비용이 최소가 되는 경로를 찾는 최소비용흐름 문제를 활용하였다.

본 연구에선 초과여부를 판단하는 변수를 Y_{ij} 로 결정하고, 각 장비투입 대안의 직접비에 곱하여 소음도와 장비제한 대수의 초과 여부를 판단한다(Equation 6).

각 Activity의 여러 장비 대안 중 소음도를 초과하거나 장비제한 대수를 초과하는 경우와 2가지 조건을 모두 초과하는 경우에 모두 $Y_{ij}=1,000,000$ 으로 결정하고, 해당하는 장비대안의 직접비에 매우 큰 값을 곱함으로써 소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델의 최적 공정표 산정에 해당 대안을 제외시켜 나간다.

또한, 2가지 조건을 모두 만족하는 대안의 경우에만 $Y_{ij}=1$ 로 줌으로써 해당하는 장비대안의 직접비에 1을 곱함으로써 최적 공정표 산정의 대안으로 선택되게 된다.

아래 Figure 3은 Y_{ij} 를 활용한 소음-비용-시간의 상관관계를 보여준다.

3.3 소음제한을 고려한 최적 공정표 수립

위와 같이 각 Activity 별 수많은 장비 대안을 수립할 경우 MS-Excel을 활용하여 최적 공정표를 찾는 작업에 제한이 있기 때문에 많은 데이터양의 등록 및 처리에 용이한 가상분석 도구 Solver를 MS-Excel과 함께 활용하여 최적 공정표를 찾는 최적 스케줄링 프로세스 모델을 구축하였다.

$$C_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m DC_{ij} Y_{ij} \text{ --- (Equation 6)}$$

여기서, C_{ij} : 소음, 장비제한을 고려한 Activity i의 대안 j에 대한 직접비

DC_{ij} : Activity i의 대안 j에 대한 직접비

$Y_{ij} = \{ 1, 1,000,000 \}$

Y : 대안 수립과정에서 소음초과여부 및

장비대수 초과여부를 판단하는 제한조건

$Y=1$: 소음 및 장비제한 조건을 초과하지 않는 경우

$Y=1,000,000$: 소음이나 장비제한 조건 중 하나라도 초과하는 경우 ‘

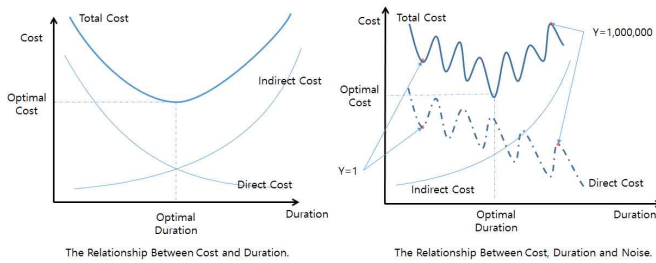


Figure 3. The relationship between duration, cost and noise

다음 (Equation 7)은 수립한 대안의 직접비와 1일 간접비를 활용하여 소음제한을 고려한 최적 스케줄링 프로세스 모델로 최적 대안을 찾기 위한 목적함수이다.

$$Min = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (DC_{ij} \times X_{ij} \times Y_{ij}) \right) + (IDC_D \times D_T) \text{ --- (Equation 7)}$$

여기서, i : Activity의 번호, i : {A, B, C.....n}
 j : Activity i 의 대안, j : {1, 2, 3m}
 DC_{ij} : Activity i 의 대안 j 에 대한 직접비
 IDC_D : 1일 간접비
 D_T : 전체 공사기간
 X_{ij} : Activity i 의 대안 j 에 대한 선택여부 결정
 $Y_{ij} = \{1, 1,000,000\}$, 소음 및 장비대수 초과여부 판단

위 목적함수에서 DC_{ij} 는 Activity i 의 대안 j 에 대한 직접비로써 위에서 언급한 (Equation 4)와 같이 산출한다.

IDC_{ij} 는 해당 사례의 1일 간접비, D_T 는 선택된 대안으로 인하여 산정된 전체 공사기간을 의미하며, 이 2가지 값을 활용하여 전체 간접비를 구하고, 선택된 직접비의 총합과 간접비를 활용하여 소음-비용-시간을 고려한 최적 공정표를 작성하게 되며, 아래의 (Equation 8, 9)는 (Equation 7)을 활용하여 최적 공정표를 찾기 위한 변수와 제한조건을 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \quad X = \{0,1\} \text{ --- (Equation 8)}$$

여기서, X_{ij} : Activity i 의 대안 j 에 대한 선택여부 결정
 $X=1$, 대안을 선택한다.
 $X=0$, 대안을 선택하지 않는다.

$$SPL_{D_z} < SPL_l \text{ --- (Equation 9)}$$

여기서, SPL_{D_z} : 공사날짜 z 의 일일(day) 단위 합성소음도
 $z = \{ 1, 2, 3, 4, \dots, D_T \}$
 SPL_l : 법적소음초과기준

(Equation 8)의 X 는 수립한 여러 대안 중 직, 간접비를 고려하여 소음이 초과하지 않고 (Equation 7)의 목적함수에 맞는 대안의 미선택/선택 조건을 0/1의 값으로 갖도록 하는 제한 조건이며 (Equation 9)의 SPL_{D_z} 는 선택한 대안이 단일 Activity의 소음도와 일일(day)단위 합성소음도가 법적 기준을 초과하지 않기 위한 제한조건이다.

위와 같은 목적함수와 변수 및 제한조건으로 수립한 대안 중 각 Activity 별 1가지 대안을 선택하고, 이를 활용하여 소음제한을 고려한 최적 공정표를 도출한다.

3.4 소음관리용 공정관리 의사결정 정보제공

최종적으로 소음제한을 고려한 최적 공정표를 도출한 후 이를 활용하여 현장관리자가 보다 합리적이고 효율적인 공사 관리를 수행할 수 있도록 공사비, 공사기간, 배상액, 공정표 등의 정보를 제공한다.

착공 전 공정계획을 활용하여 측정한 소음도가 법적 초과 기준을 초과할 경우 발생하는 배상액의 금액이 확인 가능하며 최적화 전, 후의 공사비를 비교하여 민원신청 인원수의 범위를 도출할 수 있다.

또한, 최적화 전, 후의 공정표 및 공사기간과 장비 투입대수를 비교분석이 가능하다. 위와 같은 정보를 활용하여 새로운 공정계획을 수립하기 위하여 현장관리자는 현장 주변 주민의 거주 분포 분석이 필요하게 된다.

4. Case Study

4.1 사례연구(1)를 통한 검증

사례(1)은 A 중학교 신축공사로써 총 공사기간 중 토공사 기간인 35일로 대상을 한정하였고, 이에 해당하는 공사비용은 190백만 원이며, 공사장과 가장 가까운 민원 신청인과의 거리는 30m, 1일 간접비는 약 2,265,000원이다.

사례(1)의 경우는 각 단일작업의 소음도는 법적 기준을 초과하지 않지만, Activity C와 D가 동시에 작업을 진행하는 27일부터 35일 사이에 소음이 법적 기준을 초과하는 구

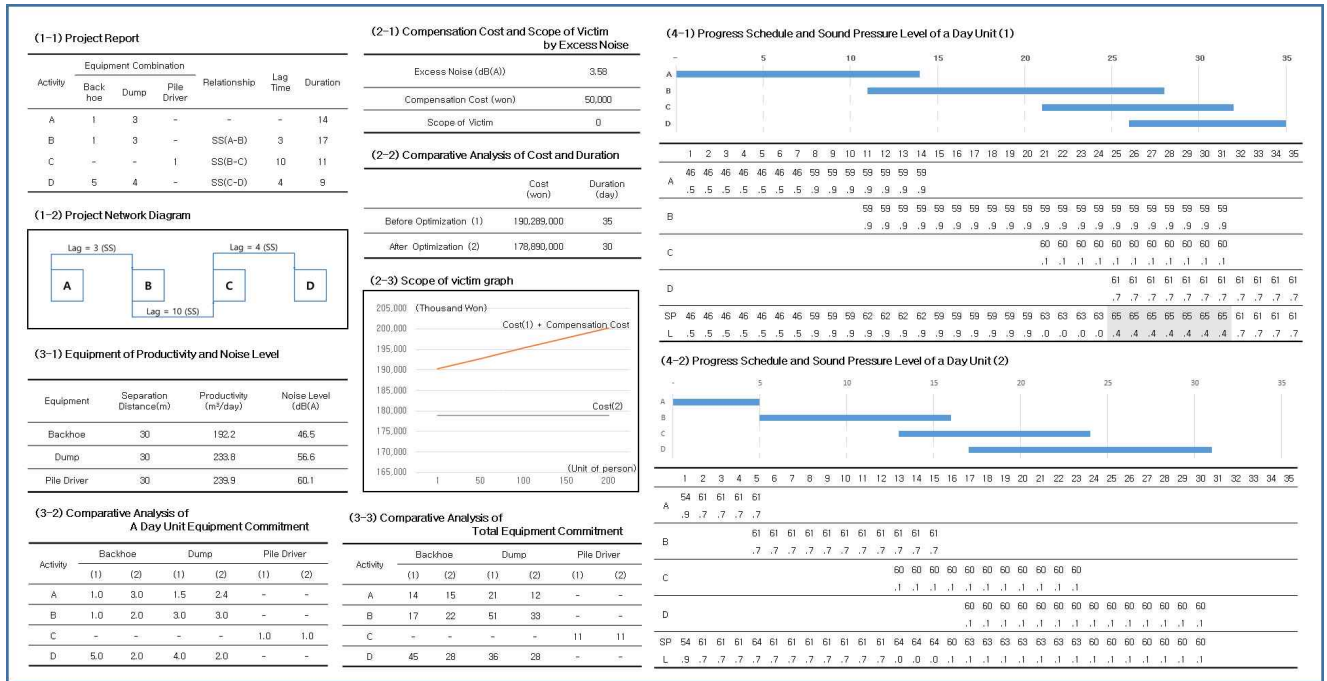


Figure 4. Providing the decision making information for managing the noise level (Example 1)

간이 발생하고 이를 기준 미만으로 줄이기 위하여 본 연구에서 제시한 모델로 사례연구를 수행하였다.

위 Figure 4는 A 중학교 신축공사 사례 (1)를 본 연구에서 제시한 모델을 활용하여 현장관리자의 의사결정을 위한 정보를 도출한 결과이다.

Figure 4의 (1-1), (1-2)에서는 본 사례의 Activity별 장비투입대수와 공정표를 확인할 수 있으며, (2-1), (2-2), (2-3)에서는 초과된 소음으로 인해 발생하는 민원, 최적화 전후의 공사기간 및 공사비 정보를 확인할 수 있다.

또한 (3-1), (3-2), (3-3)을 활용하여 각 Activity별 장비 투입현황을 최적화 전과 후로 비교분석하여 확인할 수 있으며, (4-1), (4-2)를 활용하여 최적화 전 후의 공정표 및 일일 소음도 변화량을 확인할 수 있다. 위와 같은 정보를 활용하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다.

기존 공정계획에서 측정한 소음도는 65.4dB(A)로 법적 초과기준(65.0dB(A))을 초과하여 1인당 50,000원이라는 소음 피해배상액이 발생하게 되는데 이는 환경부 산하 중앙환경분쟁조정위원회에서 공개한 배상기준과 본 사례의 초과소음도 및 피해기간을 활용하여 산정하였다.

본 연구의 모델을 활용하여 산정한 최적 공사비는 170백만 원이며 시공 전 계획된 공정계획보다 소음이 초과하지

않으면서 공기를 5일 단축하였고, 이에 따른 총 투입장비 대수는 굴삭기는 11대, 덤프트럭은 25대가 감소하였다.

위와 같은 소음관리용 공정관리 의사결정 정보를 통해 소음이 법적기준을 초과하지 않으면서 공사비와 공사기간이 감소한 정보를 확인할 수 있었다.

하지만 사례 (1)과 같이 장비제한이 없는 경우는 현장조건이 반영되지 않았다는 문제점과 최적 대안 산정 과정에서 무조건 적은 장비가 투입되는 대안을 찾기 때문에 현장관리자가 현장조건을 반영하여 장비제한 대수를 선정하고 이를 바탕으로 다시 최적화를 실시해야 하며, 그 결과를 다음 사례(2)와 같이 도출하였다.

4.2 사례연구(2)를 통한 검증

아래 Figure 5는 사례(1)에서 Activity A와 B만 굴삭기 1대, 덤프트럭 4대의 장비제한 대수를 선정한 후 최적화를 진행한 결과이다.

이때 찾은 최적 공사비는 198백만 원이며, 기존 공정계획보다 공사기간이 1일 증가하였고, 투입장비 대수는 굴삭기는 12대, 덤프트럭은 22대가 감소하였다.

각 Activity의 기존공정계획과 최적화된 장비투입대수를 살펴보면 소음도가 법적초과기준보다 적게 산출된

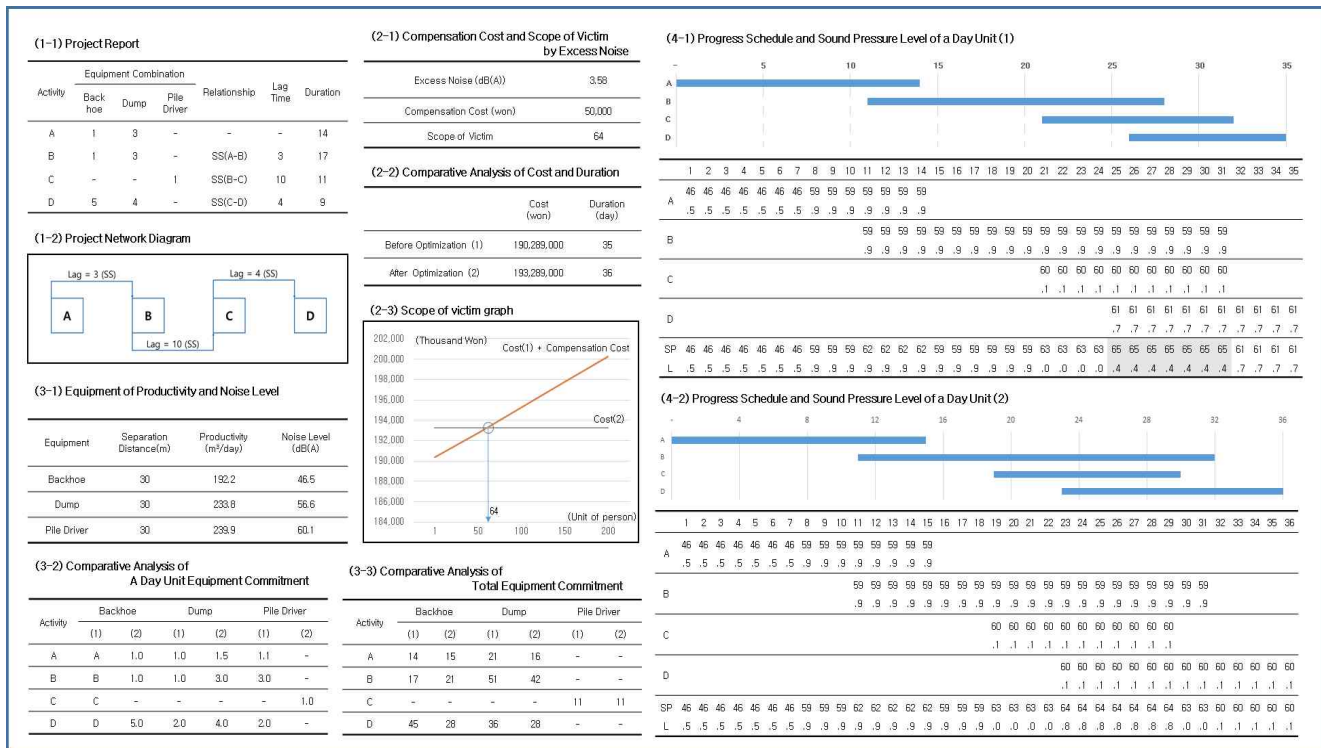


Figure 5. Providing the decision making information for managing the noise level (Example 2)

Activity A와 B는 법적초과기준과 장비대수 제한을 고려하여 장비대수가 기존 공정계획보다 증가하였다.

소음이 초과하는 Activity C와 D를 살펴보면 Activity C는 투입 장비 대수가 1대이기 때문에 장비 대수의 변화는 없으며, Activity D는 장비의 대수를 줄여 소음도를 법적 초과기준에 넘지 않게 하였다.

이에 따라 장비의 대수가 증가한 Activity A와 B는 공사 기간이 감소하였고 장비의 대수가 감소한 Activity D는 공사기간이 증가하였기 때문에 기존 공기보다 최적공기가 1일 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

다음으로 공사비용을 비교 분석한 결과, 기존 공사비보다 최적 공사비가 초과하였으며 이에 따른 배상액 인원범위는 64명임을 확인할 수 있다.

위와 같은 정보와 현장 주변 주민의 거주 분포를 분석하여 소음이 초과하여 배상액에 대한 위험요소가 존재하는 기존 공정계획과 기존 공사비보다 공사비가 더 투입되지만, 배상액에 대한 위험요소가 존재하지 않는 공정계획 중 선택하여 공사를 진행하도록 본 연구의 모델이 현장관리자의 의사결정을 위한 정보를 제공한다.

4.3 사례연구(3)를 통한 검증

사례(3)은 B 상가 신축공사로써 총 공사기간 중 토공사 기간인 31일로 대상을 한정하였고, 이에 해당되는 공사비용은 204.2백만 원이며 공사장과 가장 가까운 민원신청 인과의 거리는 40m이며 1일 간접비는 약 1,120,000원이다.

사례(3)의 경우는 각 작업의 소음도가 법적 기준을 초과하지는 않지만, Activity C와 D와 E가 같이 진행되는 16일부터 22일 사이에 법적기준을 초과하는 구간이 발생하고 이를 법적기준 미만으로 줄이기 위해 소음제한을 활용한 공정 계획 프로세스 모델을 진행하였다.

아래 Figure 6은 사례(3)에서 현장관리자가 현장조건을 반영하여 장비제한 대수를 선택한 후 본 연구에서 제시한 모델로 현장관리자의 의사결정을 위한 정보도출 결과이다.

장비 대수 제한은 현장관리자가 현장조건을 반영하여 선정하며 본 사례에는 Activity A, B는 굴삭기2대, 덤프트럭 3대 D와E는 굴삭기5대, 덤프트럭5대로 선정하였다.

이때 찾은 최적 공사비는 204.6백만 원이며 기존 공정계획보다 공사기간이 4일 증가하였고, 투입장비 대수는 굴삭기는 6대가증가, 덤프트럭은 14대가 감소하였다.

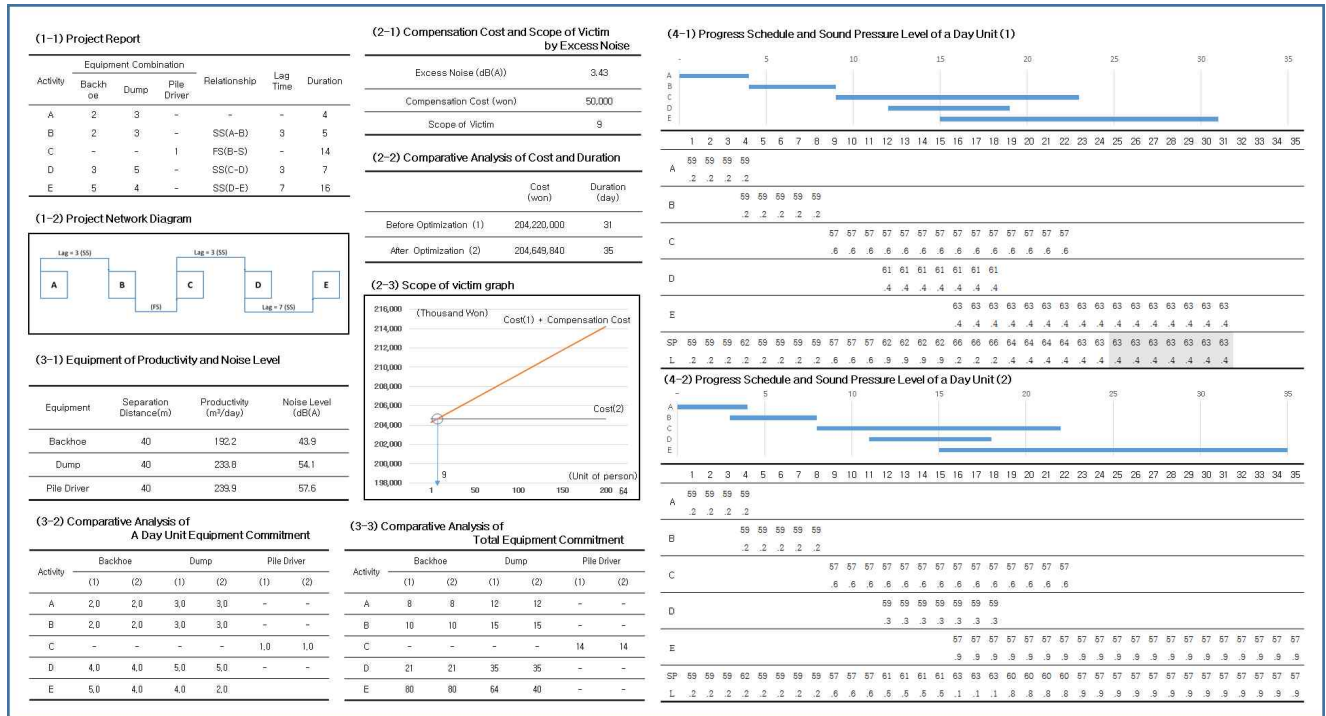


Figure 6. Providing the decision making information for managing the noise level (Example 3)

사례(2)와 마찬가지로 기존 공사비보다 최적공사비가 초과하였으며 이에 따른 배상인원이 9명으로 나타났다.

사례(3)의 경우는 인원범위가 매우 적은 범위이기 때문에 현장 주변 주민의 거주 분포를 분석 후 소음이 초과하여 배상액에 대한 위험요소가 존재하는 기존 공정계획보다 소음 제한을 고려한 공정관리 스케줄링 모델로 도출한 공정계획을 활용하여 공사를 진행하도록 한다.

5. 결 론

본 연구는 착공 전 단계 전부터 현장에서 발생하는 소음을 예측한 후 공사기간과 장비투입 관계를 활용하여 최적 공사비를 찾는 알고리즘 기법으로 최적 공정표를 도출할 수 있는 스케줄링 프로세스 모델을 개발하였다. 또한 본 모델을 활용하여 현장관리자의 의사결정에 도움을 주는 정보를 도출하였고, 사례 검증을 실시하여 본 연구 모델의 유효성과 타당성을 검증하였다.

사례검증 결과 소음도가 초과한 기존 공정표에서 소음도가 초과하지 않는 공정표와 최적공사비, 최적공사기간, 최적 장비대수를 도출하였고, 이를 분석하여 현장관리자의 의

사결정을 위한 정보를 도출하여 현장에서 민원의 위험요소가 없이 공사를 진행할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구의 모델 구축에서 활용한 방법론을 통해 최적 공기 산출 시 사용자가 원하는 제한조건을 활용하여 목적에 맞는 공정계획 수립이 가능함을 보여주었다.

끝으로 본 연구결과를 활용할 경우 소음이 초과하지 않는 최적 공정계획을 수립함으로써 민원으로 인한 배상액을 발생시키지 않을 수 있는 방법을 제시하였으며, 이는 공사를 진행하는 건설사의 입장에서 민원 발생으로 추가되는 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 향후에는 소음 뿐만 아니라 다른 환경피해(진동, 분진)도 본 연구에서 개발한 모델을 활용해서 관리가 가능할 것으로 생각한다.

요 약

최근 건설공사의 기계화로 인한 많은 장비 투입으로 인하여 주변 주민들이 현장 소음에 인한 피해보상을 요구하는 민원이 증가하고 있다. 하지만 현장소음은 예방차원이 아닌 공사 진행과정에서만 제한적으로 관리되며 민원이 발생하고 나서야 대부분의 대처가 이루어지고 있는 실정이다. 또

한, 이러한 민원을 해결하기 위해서는 비용과 시간이 과다하게 소요되는데 이는 건설사에 부정적인 영향을 미치게 된다. 이에 본 연구는 착공 전부터 계획된 공사기간과 장비투입 조건을 활용하여 최적 공사비를 찾는 알고리즘을 제안하고 최적 공정표를 도출할 수 있는 스케줄링 프로세스 모델을 개발하는 데 그 목적이 있다. 또한, 이를 활용하여 현장 관리자가 공사계획 수립 시 소음발생 여부에 따라 민원이 발생할 때 예측되는 비용정보 및 소음제한에 따른 공사비와 공사기간의 변화 정도를 비교 분석함으로써 보다 합리적이고 효율적인 공사 관리를 수행할 수 있도록 한다.

키워드 : 소음제한, 공정최적화, 프로세스모델, 환경 분쟁 비용

Acknowledgement

This research was supported by a grant(11 CTIP 04) from Construction Technology Innovation Program funded by Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs of Korean government.

References

1. Song JY, Noise a Construction Sites and Vibration Management a Best Casebook, Sejong : Ministry of Environment (KR);2012 Mar. 4 p. Report No.: 11-1480000-001217-01
2. Jung EJ, Kim JS, A Case Study of Dispute Mediations on Construction Noise and Vibration Damages for Environmental Dispute Mediation - Focused on the 1993-2004 Years, Proceeding of Korean Society for Environmental Engineers ; 2006 Oct No. - ; Gyeongju, Korea, Seoul (Korea) : Korean Society of Environmental Engineers ; 2006. p. 987-92.
3. Roh S, Lee HS, Park MS, Ryu HG, Focused on High-rise Building Finishing Work : Scheduling Method by Using Genetic Algorithms to Solve time-cost Trade-off Problems, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2006 Jun;22(6):157-64.
4. Park UY, An SH, A Study on Optimization Model of Time-cost Trade-off Analysis Using Particle Swarm Optimization, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2006 Jun;8(6):91-8.
5. Maeng JC, Development of Progress Management Decision Making Model Considering Time-cost Trade off, [Master's Thesis]. [Seoul (Korea)]: Korea University; 2011. 88 p.
6. Hong SJ, Choi BD, Lee IS, Lee YJ, An SJ, Introduction to Management Science : A Modeling and Case Studies Approach with Spreadsheets, Seoul: Hankyungsa; 2012. 63 p.
7. Kim JS, Noise and Vibration Control, 4th ed, Seoul: Sejinsha 2013. 31-49 p.
8. Atilla D, David A, Gul P, Multi Resource Leveling in Line-of-balance Scheduling, Journal of Construction Engineering and Management, 2013 Sep;139(9):1108-16.
9. Hegazy T, Kassab M, Resource Optimization Using Combined Simulation and Genetic Algorithms, Journal of Construction Engineering and management, 2003 Dec;129(6):698-705.