

# 사회기반시설 프로젝트내 잠재적 건설 폐기물의 예측 및 관리방안

## Identifying and Addressing Latent Causes of Construction Waste in Infrastructure Projects



김승원 Seung-Won Kim  
강원대학교 건설융합학부 연구교수  
E-mail : inncoms@kangwon.ac.kr

### 1. 서론

도로, 교량, 철도, 항만 등 산업발전의 기초가 되는 사회기반시설물은 일반적으로 그 규모가 크므로 건설 및 해체시 많은 양의 폐기물이 발생하는 것으로 알려져 있다. 특히 사회기반시설물은 설계내구연한이 길며 주기적인 유지보수로 인해 해체에 의한 폐기물의 발생빈도는 일반 구조물에 비해 낮은 편이므로 현재까지 사회기반시설물의 건설 및 해체폐기물 관리는 예측관리보다는 발생이후 처리기술에 관한 연구가 주로 진행되어 왔다.

본 고에서는 프로젝트의 설계시부터 주요 건설폐기물의 발생유형 및 원인을 예측하고 이를 관리하는 방안에 대해 제안한 연구결과 및 적용사례를 소개하였으며, 이를 통해 사회기반시설물의 건설 및 해체시 발생가능한 폐기물에 대한 전주기적 관리 필요성 및 그 가능성을 기술하고자 하였다.

### 2. 연구배경

현재 전 세계적으로 매년 100억 톤 이상의 건설 및 해체폐기물이 발생하고 있으며 이러한 폐기물은 각 국가에서 발생된 고형폐기물의 약 30 ~ 40%를 차지하는 것으로 추정되고 있다. 각 국가별 건설폐기물 발생량 조사결과, 가장 많은 건설폐기물이 발생하는 국가는 중국으로 최근에는 연간 약 20억 톤 이상이 발생되었으며, 유럽에서는 약 8.6억 톤, 미국에서는 약 5.3억 톤이 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 미국, 태국, 포르투갈, 중국, 베트남 및 대부분의 유럽연합의 국가에서는 이러한 건설폐기물의 무분별한 처리를 제한하고 재활용을 위한 연구를 진행하고 있으나 여전히 매립이나 방치로 인한 환경파괴가 발생하고 있으며 현재까지 정립된 제도의 실효성은 높지 않은 것으로 분석되고 있다.

건설 및 해체폐기물의 발생증가는 원가증대, 에너지 소비, 온실가스 배출량 증가를 유발할 뿐만 아니라 중금속, 석면, 휘발성 유기 화합물 등과 같은 유해 물질에 의한 토양 및 수질 오염에 의한 환경오염도 유발할 수 있으며 특히 도로 등과 같은 광범위한 사회기반

시설의 건설시 대량의 건설폐기물이 발생하는 것으로 알려져 있다. 예를 들어, 신규 도로의 건설시 일반적으로 차선 1미터 당 약 8 ~ 15톤의 건설재료가 사용되며, 통계에 따르면 이 중 약 1.7%가 폐기물로 전환되므로 차선 1미터당 발생하는 건설폐기물은 약 130 ~ 250kg으로 추정된다. 특히 배수시설 및 상하수도 배관 등 다른 종류의 기반시설을 동시에 시공하는 경우 발생하는 건설폐기물량은 사용재료의 약 1.9 ~ 2.6%까지 증가한다. 이와 같이 사회기반시설의 건설 및 해체시 발생하는 폐기물의 양은 매우 큰 것으로 알려져 있으나 현재까지 진행된 건설폐기물 관리에 관한 연구 중 프로젝트의 전주기적 시점에서 분석된 연구는 사례가 매우 적다. 따라서 사회기반 시설물의 건설시 발생가능한 건설폐기물의 잠재적 원인을 예측하고, 공정관리를 통해 가장 효과적으로 건설폐기물을 감소시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 필요한 실정이다.

### 3. 관련 연구동향

사회기반시설물의 건설폐기물과 관련된 연구는 건설폐기물의 환경영향성 평가, 건설폐기물의 재활용 기술개발, 건설폐기물의 관리 등 다음과 같은 3가지 범위로 구분되어 진행되고 있으나 대부분 건설폐기물의 환경영향성 평가, 건설폐기물의 재활용 기술개발에 관한 연구가 주로 진행되었으며, 건설폐기물 발생의 초기예측 및 예방에 대한 연구는 아직 진행되지 않은 실정이다.

#### 3.1 건설폐기물의 환경영향성 평가

전 세계 고형폐기물의 약 35%를 차지하는 건설 및 해체폐기물중 일부는 적절하지 않은 장소에 비공식적 또는 불법으로 매립되는 경우가 많으며 매립된 폐기물은 공기, 지표수 및 지하수의 직접적인 오염을 유발한다. 또한 사회기반시설물의 건설에는 대량의 역청재료, 골재, 시멘트 등의 재료가 사용되며 이러한 재료는 생산시 많은 양의 이산화탄소를 발생시키므로 간접적인 환경영향을 미치게 된다. 관련 문헌에 따르면 건설

과정에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 30%를 차지하는 것으로 분석되었으므로 건설 산업에서 재료의 소비 및 폐기물의 감소는 이산화탄소 배출저감에 있어 중요한 요소이다. 기존 연구결과에 따르면 아스팔트포장과 콘크리트포장시 재료생산, 배합, 시공과정의 환경영향에 대한 LCA분석을 실시한 결과, 동일한 성능의 포장설계인 경우 아스팔트포장이 콘크리트포장에 비해 유해한 건설폐기물의 발생량이 많은 것으로 확인되었다.

#### 3.2 건설폐기물의 재활용 기술개발

건설폐기물의 재활용 기술개발을 위해 현재까지 많은 연구가 진행되었으며, 이중 폐콘크리트에서 추출한 순환골재를 비구조용 프리캐스트 제품에 효과적으로 활용하는 연구가 가장 많이 진행된 것으로 조사되었다. 또한 이러한 폐기물의 재활용을 위해서는 분류 및 선별작업이 필수적이며 분류 및 선별작업은 수집후 분류하는 것보다 폐기물 발생현장에서 바로 분류하는 것이 더 효율적인 것으로 확인되었다. 그러나 이러한 분류작업은 해체 및 철거후 추가적인 작업이 이루어져야 하므로 대부분의 현장근로자는 이를 수행하지 않는 것으로 연구되었다. 홍콩에서는 현장의 분류 및 선별작업을 법제화하여 건설폐기물의 재활용 효율성을 증가시킨 사례가 있다.

#### 3.3 건설폐기물의 관리

관련 연구문헌에 따르면 건설폐기물은 3Rs(Reduction, Reuse, Recycling) 원칙에 따라 관리하는 것이 바람직하며, 이중 폐기물의 발생 및 처리문제를 해결하고 환경영향을 최소화할 뿐만 아니라 비용절감효과까지 유도할 수 있는 관리요소는 폐기물의 감소(Reduction)이다. 시공단계에서 건설폐기물의 발생은 운송중 손상 및 품질변동, 취급 부주의, 환경요인 등과 관련이 있으며, 전기 및 기계 등의 부수적 시설의 설계변경, 오류 등을 통해서도 추가적인 건설폐기물이 발생할 수 있는 것으로 확인되었다.

시공현장에서 공정을 보다 효과적으로 제어하고 추가작업

으로 인한 건설재료의 폐기물화를 감소시키기 위해서는 사회 기반시설 프로젝트의 관리개선이 필요하다. 예를 들어 구조물의 부재를 프리캐스트화 하여 현장에서 조립하는 형태로 시공할 경우 초기건설비용이 증대될 수 있으나 현장에서 발생하는 건설폐기물은 크게 감소시킬 수 있다. 따라서 사회기반시설의 프로젝트에서 주요 건설폐기물의 발생원인을 식별하고 이를 최소화 하는 방안의 도출이 가능함을 예상할 수 있으며, 이를 위해 경제적 측면에서의 분석과 프로젝트 관련자의 이해증진이 필요한 것으로 판단된다.

#### 4. 연구필요성 및 목적

건설폐기물은 전세계적으로 환경에 중대한 영향을 미칠 수 있으며, 특히 사회기반시설물과 같이 규모가 큰 구조물의 시공시 많은 양의 건설폐기물이 발생할 수 있으므로 이에 대한 감소대책이 필요하다. 그러나 사회기반시설물은 목적에 따라 구조물의 특성이 다르므로 건설폐기물의 발생원인 및 관리방안에 대한 종합적 연구는 미흡한 실정이다.

현재까지의 관련 연구에서는 주로 건설폐기물의 재활용 기술에 대해 연구되었으나 건설폐기물의 발생후 소극적인 관리보다는 건설폐기물의 발생전인 건설프로젝트 설계시부터 폐기물 감소에 관한 관점에서 접근 및 분석이 필요하다. 또한 기존에는 주로 주거 및 상업용 구조물의 범위에서 건설폐기물의 감축 및 활용에 관한 연구가 진행되었으며 사회기반시설물 프로젝트에서 발생하는 막대한 건설폐기물에 대해서는 거의 연구되지 않았다. 이는 주거 및 상업용 구조물은 대부분 사회기반시설물보다 규모가 작아 연구가 용이하였기 때문인 것으로 추정되며 막대한 양의 건설폐기물이 발생하는 사회기반시설물의 건설 및 해체시에도 폐기물의 관리에 관한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 도로포장과 같은 대형 사회기반시설 프로젝트에서 발생가능한 건설폐기물의 원인분석, 예측 및 관리방안에 대한 포괄적인 분석방법을 제시하고자 한다. 나아가 건설폐기물의 발생원인을 분석한 후 이를 감소시키는 방법을 제안

하여 사회기반시설 프로젝트 관련 종사자에게 건설폐기물의 감소필요성 및 가능성을 시사하고자 한다. 또한 공정관리 기반의 작업프로세스와 건설폐기물의 감소측면에서 분석된 프로세스의 융합을 통해 모델링을 구성하였으며 건설재료의 흐름에 따라 정량적인 관리가 가능한 모델링을 제시하였다. 나아가 제시된 모델 및 방법을 검증하기 위해 실제 도로포장 프로젝트에서 획득한 데이터를 기반으로 결과를 도출하고 적정성을 분석하였다.

#### 5. 연구제안방법

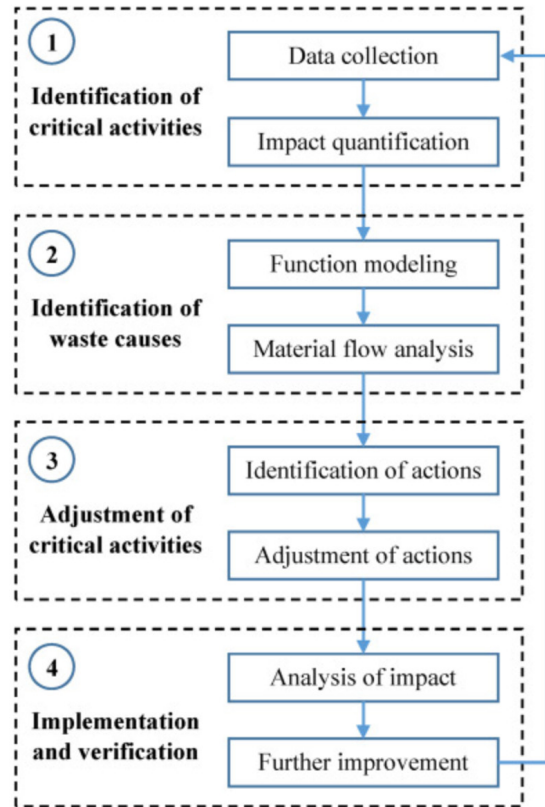


그림 1. 연구제안방법

본 연구에서 제안하는 방법은 다음 <그림 1>과 같이 4가지 주요 단계로 구성되며, 각 단계는 2가지로 세분화 하였다.

- [1단계] 주요 프로젝트 활동의 선정 및 분석  
: 다양한 활동에서 발생가능한 건설폐기물에 대한 데이터를 수집하고, 건설폐기물이 미치는 경제적 및 환경적 영향을 정량화하는 단계
- [2단계] 폐기물의 발생원인 분석  
: 프로젝트내 사용되는 건설재료의 기능적 모델링 구성 및 건설재료의 활용단계에 대해 분석하는 단계
- [3단계] 폐기물의 발생과 관련된 주요 프로젝트 활동의 조정  
: 건설폐기물이 생성되는 구체적인 활동단계와 원인을 파악한 후 조정가능한 방법을 도출하는 단계
- [4단계] 제안된 방법의 적용 및 검증  
: 3단계에서 제안된 방법을 적용하고 적용결과에 대한 분석을 실시하며, 추가적인 활동조정을 통해 지속적으로 개선하는 단계

### 5.1 주요 프로젝트 활동의 선정 및 분석

건설폐기물 발생측면에서 프로젝트 공정내 활동의 중요성은 폐기물에 의한 경제성 변화, 온실 가스 배출량에 대한 환경적 영향, 토양 및 수질 오염에 대한 영향과 같은 다양한 요소에 의해 결정된다. 타 활동의 중요성과 비교하기 위해 상기와 같은 요소는 정량적 매개 변수를 통해 개별 또는 조합적으로 평가되어야 하므로 본 연구에서 각 활동의 중요도는 경제적 및 환경적 영향(CO<sub>2</sub> 배출량 기준)을 기준으로 선정하였다.

계획과 다르게 소모되는 건설재료를 관리함으로써 건설폐기물의 발생량을 감소시킬 수 있으며 이는 건설폐기물에 의한 경제성 변화를 예측하고 조정할 수 있으므로 매우 중요한 요소이다. 또한 필요이상으로 소모되는 건설자재의 간접비용도 중요한 요소이나 간접비용과 관련된 환경적 영향은 현장에서 시공 프로젝트와 직접적인 관계에 있지 않은 것으로 간주되는 경우가 많으므로 이에 대한 별도의 해결방안을 모색하여야 한다.

건설폐기물의 직접적인 소모 비용을 평가하기 위해 주문 및 운송되는 건설자재의 잔여량을 산출하여야 하며 이러한 건설자재의 잔여량은 다음과 같이 예상잔여량과 실제잔여량으로 구분하여 산출하여야 한다.

예상 잔여량 : 프로젝트 설계에 따라 프로젝트에서 특정 시공 활동을 실행하는 데 필요한 건설자재량과 주문된 건설자재량의 차이로 일반적으로 예상 잔여량은 계약자가 공정관리중 건설폐기물의 발생에 따른 부족량을 채우기 위해 추가 구매하여 발생한다.

실제 잔여량 : 프로젝트의 특정 건설 활동을 실행하는 데 실제로 사용되는 재료의 양과 필요한 재료의 차이로 실제 잔여량은 주로 실행의 비효율성을 반영하고 있다.

본 연구에서는 상기 두 가지 잔여량이 모두 고려된다. 일부 활동에서는 보수적인 평가로 인해 예상 잔여량이 더 크며 다른 프로젝트에서는 예상치 못한 비효율적인 실행으로 인해 실제 잔여량이 더 클 수 있다. 건설폐기물의 감소관점에서는 해당 재료의 재활용 또는 재사용에 관계없이 초기부터 감축이 가능한 최대 폐기물량이 중요한 수치이므로 두 가지 중 더 큰 값을 실제 폐기물량으로 간주한다. 상기 잔여량을 산출하기 위해서는 다음과 같은 데이터를 수집하여야 한다.

- 설계에 따라 활동에 필요한 재료의 양
- 주문 및 공급된 자재의 수량 및 원가
- 실행에 사용된 실제 재료량(수동 또는 레이저 측정 도구를 사용하여 현장측정)
- 입고상태를 기준으로 남은 자재의 처리비용 산출

상기 데이터와 다음과 같은 식을 통해 두 가지 유형의 잔여량을 산출한다.

$$W_j = \max \left\{ \begin{array}{l} M_{oj} - M_{dj} \\ M_{uj} - M_{dj} \end{array} \right\}$$

$j = 1, 2, \dots, n$

$j$  : 재료의 유형

$n$  : 분석된 재료의 수

$W_j$  : 해당 유형( $j$ )의 폐기물량

$M_{oj}$  : 주문된 유형( $j$ )의 재료량

$M_{dj}$  : 설계시 산출된 유형( $j$ )의 재료량

$M_{uj}$  : 사용된 유형( $j$ )의 재료량

건설폐기물의 가치 평가는 폐기물을 대체하기 위해 소요되는 추가적 재료 비용과 폐기물의 처리 비용을 고려하여야 한다. 계약자는 건설폐기물이 발생하지 않은 경우 이러한 비용을 절감할 수 있으므로 건설폐기물의 관리를 감소시키기 위한 활동을 유도할 수 있다.

$$C_j = W_j \times c_j$$

여기서  $C_j$ 는 폐기물( $j$ )에 의해 발생하는 비용이고  $c_j$ 는 단가이다. 각 자재의 단가  $c_j$ 는 건설 프로젝트에서 일반적으로 사용되는 자재의 평균 단가를 적용하며, 생성된 건설폐기물의 양( $W_j$ )을 곱하여 총 비용을 산출한다.

$$S_j = W_j \times s_j$$

여기서  $S_j$ 는 폐기물( $j$ )을 처리할 때 발생하는 비용이며  $s_j$ 는 단가이다. 각 유형의 폐기물을 처리하는 단가는 과거 유사 또는 동일 프로젝트의 평균 처리 비용을 적용한다.

$$F_j = C_j + S_j$$

여기서  $F_j$ 는 폐기물( $j$ ) 발생에 의한 총 소요비용으로 폐기물의 처리비용과 폐기물 발생만큼 추가된 재료구입 비용의 합으로 산출되며 폐기물 저감을 위한 경제적 지표를 의미한다. 각 활동에서 생성된 폐기물의 최종비용을 비교하여 해당 활동의 중요도를 평가한다.

폐기물 발생에 따른 경제적 손실뿐만 아니라 이산화탄소 배출량 측면에서는 환경 영향에 대한 평가도 필요하다. 일부 재료는 직접적인 경제적 손실에 대한 영향이 낮을수도 있으나 현장에 공급하기 위한 제조 및 운송과정에서 심각한 환경영향을 미칠 수 있으므로 이러한 고려가 필요하다. 각 유형의 재료의 폐기물 양을 측정하고 산출할 경우 환경 영향성은 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$E_{ij} = W_j \times CO2_j$$

여기서  $E_{ij}$ 는 재료의 환경영향이며  $CO2_j$ 는 재료의 생산 및 운송 과정에서 배출되는 이산화탄소의 양이다. 이 후 각 활동에서 생성된 폐기물의 환경영향을 비교하고 활동에 대해 분석된 다양한 유형의 재료로 구성된 활동의 중요도를 평가한다. 나아가 의사결정자의 우선 순위를 반영하는 특정 가중치를 각 측정값에 곱하여 두 가지 요소(경제적 및 환경적 영향)를 종합하여 분석하게 된다.

## 5.2 폐기물의 발생원인 분석

프로젝트에서 폐기물의 발생원인을 분석하기 위해 이전 단계에서 선별된 중요한 활동이 상세하게 모델링되어야 한다. 이를 위해 화학 공정 시스템에 사용되는 공정관리기법을 적용할 수 있으나 건설 프로젝트에 대해 화학 공정관리기법의 동일한 적용은 제한적인 경우가 많다. 이를 가능하게 하기 위해 프로세스에 대해 각 활동 내에서 자재의 주문, 운송, 보관, 처리 및 구형과 같은 다양한 조치를 포함하는 자재 공급망 개념을 적용할 수 있다.

시스템 엔지니어링을 위한 가장 중요한 도구는 해당 시스템의 공식적인 모델링이다. 본 연구에서는 프로젝트내 공급망에서 재료의 흐름을 분석하기 위해 정량적 모델이 정의되며 이를 통해 정확성과 효율성을 평가하고 반복되는 오류를 분석할 수 있다.

각 프로젝트 활동의 활동과 공급망에서 수반되는 재료 흐름의 정량적 모델링은 IDEF0(Integrated computer aided manufacturing DEFinition for function modeling-0) 공식 모델링 방법론을 기반으로 한다. IDEF0은 미국 공군에서 개발한 기술로 데이터 흐름, 시스템 제어 및 수명주기 프로세스의 기능 흐름을 표시하기 위해 주로 활용되고 있다. IDEF0 방법론은 이전에 오토바이 산업, 화학 산업 등과 같은 여러 산업의 폐기물 감소를 위한 연구를 통해 개발되었으며, 건설 산업에서 폐기물을 감소시키기 위한 방법으로는 현재까지 적용된 사례가 없다. 본 연구에서는 다음 <그림 2>와 같이 현재 실행되는 중요한 활동을 모델링하고 분석하는 공식적이고 계층적인 프로세스의 기초로 IDEF0을 활용하였다. 각 재료의 흐름에



대한 기호는 다음과 같다.

[ $M_0$ ] : 처음 주문한 자재의 양(다이어그램에서 녹색으로 표시)

[ $R_k$ ] :  $k$ 번째 활동에서 재사용된 폐기물의 양이며  $m$ 은 모델링 된 전체 조치 수(빨간색으로 표시)

[ $I_k$ ] : 재사용되지 않은  $k$ 번째 활동에서 남은 폐기물량(빨간색으로 표시)

[ $M_k$ ] :  $k$ 번째 작업완료후 남은 재료의 양(녹색으로 표시)

$$M_k = M_{k-1} + R_{k-1} - I_k - R_k$$

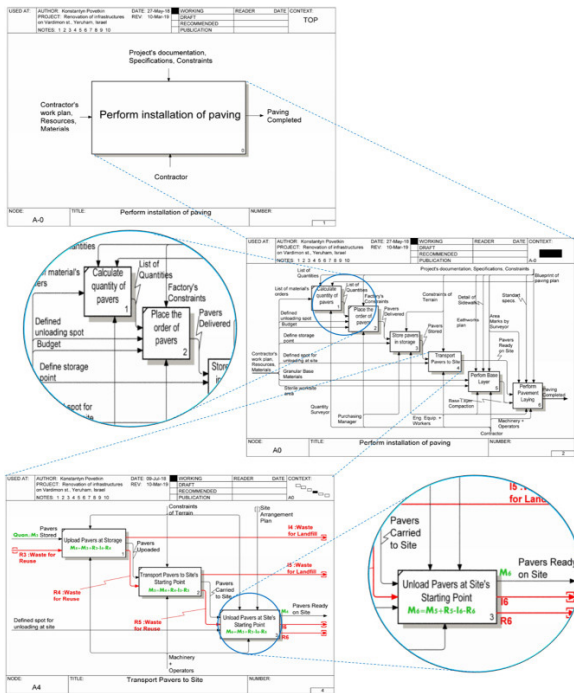


그림 2. IDEF0를 통한 주요 활동 모델링 과정

### 5.3 폐기물 감소요소의 선별

IDEF0 기반으로 생성된 다이어그램은 중요한 활동내에서 특정 활동이 실행되는 방법을 의미하며, 발생된 폐기물량을 포함한 활동내 재료의 흐름을 나타낸다. 따라서 프로젝트 관

리자는 다이어그램을 사용하여 실행되는 활동을 수정하여 폐기물을 감소시킬수 있는 방안을 선택할 수 있다. 많은 양의 폐기물이 발생하는 활동에 대해 투입, 산출, 통제 수단 및 매커니즘을 파악할 수 있으므로 건설폐기물이 발생하는 근본적인 원인에 대해 선별이 가능한 장점이 있다.

### 5.4 제안된 방법의 적용 및 검증

폐기물을 감소시키기 위한 방법을 선별한 후, 제안된 방법의 실효성에 대해 판단하여야 한다. 즉 활동의 개선이 실질적 효과를 나타내지 않는 경우도 있으므로 지속적인 개선을 통해 건설폐기물의 추가적 발생원인과 대처방안을 강구하여야 한다. 일반적으로 사회기반시설 프로젝트는 세부 섹션이 반복적으로 수행되므로 이에 대한 적용이 간편하다. 상기 5.1과 같은 방법에 따라 산출된 폐기물의 양은 적용전 발생된 폐기물과 비교하여 적절성을 판단할 수 있으므로 프로젝트 관련자는 해당 프로젝트 전체를 나타내는 최소 두 개의 섹션(사전검토 및 사후발생량)을 선택하여야 한다. 제안된 두 번째 섹션의 구성이 완료되면 다음과 같이 두 섹션에서 발생된 폐기물의 양을 비교할 수 있다.

$$K_{j1} = \frac{W_j}{M_{0j}}$$

$$K_{j2} = \frac{\sum_1^m I_k + \sum_1^m R_k}{M_{0j}}$$

여기서,

$K_{j1}$  : 첫 번째 섹션에서 발생한 폐기물과 주문한 재료에 대한 비율

$K_{j2}$  : 두 번째 섹션에서 발생한 상대적인 폐기물량

$j = 1, 2, \dots, n$  :  $j$ 는 재료의 종류,  $n$ 은 분석된 재료의 수

$W_j$  : 유형  $j$ 의 폐기물량

$M_{0j}$  : 주문된 유형  $j$ 의 재료량

$I_k$  :  $k$ 번째 활동에서 재사용되지 않은 남은 폐기물량

$R_k$  :  $k$ 번째 활동에서 재사용된 폐기물량

$K_{j1} > K_{j2}$  인 경우 적용방법을 통해 폐기물량이 감소했음을 의미하며  $K_{j1} < K_{j2}$  인 경우 폐기물의 양이 감소되지 않았음을 의미한다. 이 방법을 통해 지속적이고 반복적인 개선이 진행될 수 있으며 가장 낮은 수준의 IDEF0 분석부터 시작하여 더 높은 수준으로 향상시킬 수 있다.

- 첫 번째 반복에서는 발생된 폐기물의 근본적 원인을 제거하기 위한 방안 제시
- 두 번째 반복에서는 추가 원인의 식별 가능
- 세 번째 반복에서는 더 자세한 활동이 추가된 모델의 성립 가능

## 6. 적용사례

본 연구에서는 실제 도로건설 프로젝트에 연구제안방법을 적용하여 적정성을 검증하고 효용성을 분석하고자 하였다. 해당 도로건설 프로젝트에서는 약 850m 구간의 아스팔트포장, 보도 포장, 경계석 설치 등 세 가지 특정 활동에 대한 데이터를 수집하여 적용하였다. 수집된 자료는 다음 [표 1]과 같다.

포장시 발생하는 폐기물의 경제적 영향은 매우 크므로 이는 중요한 활동으로 정의할 수 있다. 이와 마찬가지로 아스팔트포장 및 연석 설치로 발생하는 폐기물에 대한 환경적 영향을 비교한 결과는 [표 2]와 같다.

아스팔트포장재로 인한 폐기물은 타 재료에 비해 환경적

영향이 크므로 아스팔트포장은 중요한 활동으로 정의할 수 있다. 중요한 활동을 식별한 후에는 IDEF0 기반 방법론을 사용하여 세부적인 모델링을 하여야 하며, 현장 엔지니어가 작성한 다이어그램을 사용하여 발생된 폐기물의 원인과 이를 감소시키기 위한 적절한 방안을 선택하여야 한다.

예를 들어, 본 연구에서 검토한 도로건설 프로젝트의 경우 콘크리트 포장재의 적재, 운송 등은 현장관리자의 감독없이 기본교육만 이수한 직원이 수행하였으며 이로 인해 작업중 다양한 손상이 발생하여 관련 폐기물이 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 원인에 의한 폐기물 발생은 재료의 손상이 발생하지 않도록 관리자 또는 현장관리자의 모니터링 횟수증가를 통해 감소시킬 수 있다. 또한 보도블럭의 설치중 장비의 노후화 또는 조작불량으로 보도블럭이 손상되어 폐기되는 상황이 발생하기도 하므로 이러한 폐기물의 감소는 현장관리자의 감독 또는 장비점검을 통해 유도할 수 있다.

이와 같이 관련 활동에 대한 IDEF0기반 다이어그램에서 발생예상되는 폐기물을 감소시키기 위해 <그림 3>과 같이 해당 활동을 조정하기 위한 방안을 선택할 수 있다. 일반적으로 건설폐기물의 발생은 관리자가 인지하지 못하는 사소한 결함에 기인하고 있을 수 있으므로 이를 식별하고 제어할 수 있어야 한다. 본 사례에서와 같이 일반적으로 상기와 같은 원인에 의한 조치사항은 비교적 관리가 용이하며 별도의 추가비용이 발생하지 않는 경우가 많다.

[표 1] 2가지 폐기물의 경제적 영향

폐기물 종류	$W_j$	$c_j$	$s_j$	$C_j$	$S_j$	$F_j$
경계석	38.69 m	86 NIS/m	4.9 NIS/m	3,328 NIS	188 NIS	3,517 NIS
포장	183.33 m <sup>2</sup>	92 NIS/m <sup>2</sup>	6.5 NIS/m <sup>2</sup>	16,866 NIS	1,188 NIS	18,054 NIS

[표 2] 2가지 폐기물의 환경적 영향

폐기물 종류	$W_j$	$CO_2$	$EI_j$
경계석	4.18 ton	0.104 ton/ton	0.43 ton
아스팔트	26.4 ton	0.3 ton/ton	7.9 ton

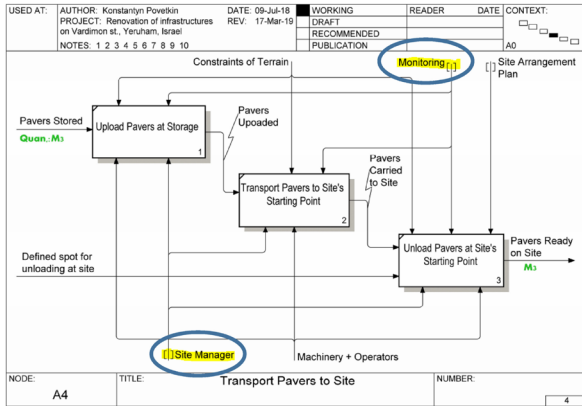


그림 3. 폐기물 감소를 위해 조정된 다이어그램

## 7. 결론

과거 관련 연구에서는 주로 재활용 및 재사용을 통해 사회 기반시설 프로젝트에서 발생하는 폐기물의 반응성 처리기술 정립에 목표를 두고 있으며, 건설폐기물을 예방하기 위한 방법은 논의된 사례가 없다. 또한 이전에 수행된 사회기반시설 프로젝트에서 건설폐기물을 실질적으로 예방하고 처리한 사례는 거의 없다. 그러나 사회기반시설 프로젝트의 특성상 규모가 크고 반복적으로 수행되므로 프로젝트의 검토를 통해 건설폐기물의 양을 예측하고 제어할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 건설폐기물의 예방적 관리를 위해 사전식별

및 조정과 같은 방안을 제시하였다. 특히 사회기반시설 프로젝트에서 주로 발생하는 건설폐기물의 유형, 원인을 식별하는 방법을 제안하였으며, 해당 원인을 제거하여 건설폐기물을 감소시키는 방안을 개발하였다. 이를 통해 프로젝트 담당자가 공정관리 및 폐기물 관련 전문 지식 없이도 쉽게 현장에 적용할 수 있는 기능적 모델링과 건설자재의 흐름을 정량적으로 분석할 수 있도록 하였다.

실제 프로젝트의 사례 연구에 본 연구에 의한 개선방법을 적용한 결과, 비교적 쉽고 추가 비용이 거의 발생하지 않는 검토를 통해 폐기물의 발생요인을 식별한 후 제어가 가능함을 확인하였다. 또한 사회기반시설 프로젝트의 관리개선을 위해 IDEF0 다이어그램을 적용하는 방법을 제안하고 검증하였으며 향후 안전 관리 및 품질 관리와 같은 추가 영역에 제안된 모델링을 적용할 경우 다양한 경제 및 환경적 효과를 유발할 수 있을 것으로 예상된다.

집필자 주 : 본 기사는 2020년 9월 Journal of Cleaner Production(Volume 266)에 게재예정인 'Identifying and addressing latent causes of construction waste in infrastructure projects'의 내용을 참고하여 작성되었음.

담당 편집위원 : 김용재(강원대학교)