

건설폐기물 재활용 활성화를 위한 시뮬레이션 프로그램 알고리즘 개발

Algorithm for Simulation Program to Revitalization Site-Recycling

안 양 진* · 이 재 성** · 이 경 희*** · 배 기 선**** · 정 종 석*****

An, Yang-Jin · Lee, Jae-Sung · Lee, Kyoung-Hee · Bae, Kee-Sun · Jung, Jong-Suk

요 약

도심의 노후화 등으로 재건축 및 재개발의 활성화, 대규모 택지개발에 의한 신도시 개발, 사회기반시설 확충 등의 증가로 건설폐기물의 발생이 매년 급증하고 있다. 이를 재활용하기 위한 방안중의 하나로써 건설폐기물을 직접 재활용하는 방법이 있다. 현장에서 직접 건설폐기물을 재활용하는 경우, 재활용 자재의 대부분을 차지하는 순환골재의 사용처를 안정적으로 확보할 수 있으며, 건설용 자재의 현장반출입량이 감소됨에 따라서 운송비용, 이산화탄소 발생량, 교통량 등을 감소할 수 있어 경제적, 사회적, 환경적으로 많은 효과를 기대할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 건설폐기물의 “현장재활용” 활성화를 위하여 건설폐기물의 발생에서부터 “현장재활용” 적용까지 일괄적으로 처리할 수 있는 “현장재활용 시뮬레이션 프로그램”의 알고리즘을 개발하고자 한다.

키워드: 현장재활용, 페콘크리트, 시뮬레이션프로그램

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도심의 노후화 등으로 재건축 및 재개발의 활성화, 대규모 택지개발에 의한 신도시 개발, 사회기반시설 확충 등의 증가로 건설폐기물이 매년 급증하고 있다. 이를 재활용하기 위한 방안중의 하나로써 해당 건설공사 현장에서 건설폐기물을 직접 재활용(이하 “현장재활용”) 하는 방법이 있다.

건설공사 현장에서 직접 건설폐기물을 재활용하는 경우, 재활용 자재의 대부분을 차지하는 순환골재의 사용처를 안정적으로 확보할 수 있어 건설폐기물의 실질적인 재활용률을 높일 수 있을 것이며, 또한 건설폐기물의 반출 및 신규 건설용 자재의 현장반입량이 감소됨에 따라서 운송비용, 이산화탄소 발생량, 교통량 등을 감소할 수 있어 경제적, 사회적, 환경적으로 많은 효과를 기대할 수 있을 것이다. 그러나 대다수의 건설폐기물은 중간처리업체를

통하여 재활용되고 있을 뿐, “현장재활용”되는 사례는 찾기 어려운 실정이다. “현장재활용”이 활성화되지 못하는 대표적인 원인으로는 현장에서의 부적정 처리에 대한 우려 및 재활용 자재의 품질에 대한 부정적 인식과 “현장재활용” 시 경제적, 사회적, 환경적 효과의 불투명성이다. 이 중에서도 “현장재활용”을 어렵게 하는 가장 큰 원인은 “현장재활용” 적용에 따른 효과의 불투명성 때문이라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 건설폐기물의 “현장재활용” 활성화를 위하여 사례현장인 P사업지구의 페콘크리트를 “현장재활용” 분석 데이터를 활용하여 건설폐기물의 발생에서부터 “현장재활용” 적용까지 일괄적으로 처리할 수 있는 “현장재활용 시뮬레이션 프로그램”의 알고리즘을 개발하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 개발된 원단위 지표를 적용하여 건설폐기물 발생량을 추정하고, 설계내역서 및 견적자료를 통해 순환골재 소요량을 결정하여 설계수량 및 수량산출내역 확인한 다음, 현장 공종별 순환골재 적용시기를 결정한다. 그리고 경제성 분석방법, 소음진동분진에 따른 환경민원 저감 방안, 이산화탄소 저감에 따른 사회적 비용 등 기존 연구결과를 적용하여 “현장재활용” 활성화를 위한 “현장재활용 시뮬레이션 프로그램”개발을 위하여 알고리즘을 작성하고자 한다.

본 연구의 수행절차 및 방법은 그림 1과 같다.

* 일반회원, 대한주택공사 연구원, 공학박사 수료, ya9102@hanmail.net

** 일반회원, 대한주택공사 연구원, 공학석사, paranglove@jugong.co.kr

*** 일반회원, 대한주택공사 연구원, 공학박사 수료, khlee@jugong.co.kr

**** 일반회원, 대한주택공사 수석연구원, 공학박사, bks@jugong.co.kr

***** 일반회원, 대한주택공사 책임연구원, 공학박사, pobyasu@jugong.co.kr

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원[05건설핵심D07]에 의해 수행되었음.

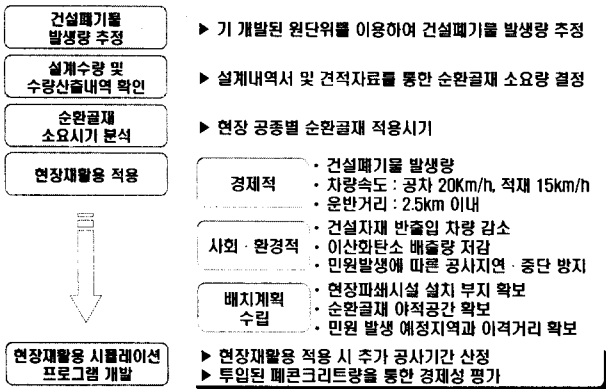


그림 1. 시뮬레이션 프로그램 개발 방법

2. 현장재활용 연구동향

2.1 기존 연구동향

“현장재활용”관련 연구로는 건설폐기물 원단위, 현장재활용에 따른 경제적·사회적·환경적 효과에 대한 연구가 있으며, “현장재활용” 관련 프로그램 개발에 대한 연구는 진행되지 않았다. 하지만 본 연구와 일부 관련된 건설폐기물 물량 산정 시스템 개발 연구는 진행 중에 있다.

손병훈 외 2인(2007)은 “건축폐기물 원단위 산정을 위한 주거환경개선지구 내 건설폐기물 발생 종류에 관한 연구”에서 건축물의 해체 시에 건설폐기물의 종류별 발생량을 현장 실측을 통하여 조사하여, 객관성 높은 건설폐기물의 발생원단위를 산출하였다.

정중석 외 5인(2007)은 “폐콘크리트 현장재활용을 위한 경제성 지표개발”에서 사례현장의 경제성을 분석하여 현장재활용의 타당성 여부를 규명하고, 민감도 분석을 통해 현장재활용 비용에 영향을 미치는 요소를 분석하여 현장재활용의 경제적 손익분기점을 추정하였다.

권순범 외 4인(2007)은 “폐콘크리트 현장재활용 사례를 통한 이산화탄소 배출에 따른 사회비용 분석”에서 재활용 방법별 이산화탄소 배출량을 각각 산정하여 천연골재 생산 시 발생하는 이산화탄소 배출량과 비교·분석하여 현장재활용으로 인한 사회적 효과를 검증하였다.

정중석 외 4인(2008)은 “현장파쇄시설의 환경민원 발생 저감방안 연구”에서 현장파쇄시설의 소음, 진동, 분진 발생량을 측정하고 분석하여, 현장파쇄시설에서 발생하는 환경민원의 예방대책을 마련하였다.

김창학·김효진(2007)은 “건설폐기물의 물량 자동화 산정 시스템 개발”에서 공동주택을 대상으로 원단위 및 CAD도면을 활용하여 건설폐기물의 발생량을 쉽고 정확하게 예측·관리할 수 있는 시스템을 개발하였다.

위와 같이 건설폐기물 원단위와 “현장재활용” 효과에 관련된 연구들이 수행되었으나, 폐콘크리트의 “현장재활용” 활성화화를 위한 종합적인 연구는 수행

되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 “현장재활용” 적용을 고려할 시 필요한 모든 요소를 “현장재활용 시뮬레이션 프로그램”에 적용하여 건설폐기물의 발생량과 현장재활용 효과를 사용자가 쉽게 확인하여 “현장재활용”의 활성화에 기여하고자 한다.

3. 건설폐기물의 재활용 현황분석

3.1 건설폐기물의 재활용률

환경부 통계자료에 따르면, 건설폐기물의 재활용률은 그림 2와 같이 1996년에 58.4%에서 2004년에는 90.7%가 재활용되는 것으로 나타났다. 국내 건설폐기물의 재활용률은 수치적으로 상당히 높게 나타났지만, “건폐법”의 국가자원의 효율적 이용 측면에서 본다면, 건설폐기물의 실질적인 재활용률은 높지 않는 것으로 판단된다. 여기서 실질재활용률은 도로의 보조기층용 골재 이상으로 재활용 되는 경우를 말한다.

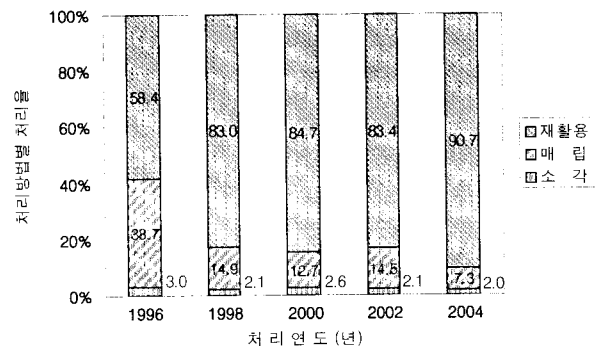


그림 2 건설폐기물의 재활용률 변화 추이

3.2 폐콘크리트의 재활용 현황분석

국내 중간처리업체의 용도별 순환골재 생산량을 보면, 표 1과 같이 성토·매립용이 58.3%로서 매우 높은 비율을 점유하였으며 도로용은 18.7%로 나타났다. 레미콘용으로 사용된 순환골재는 12.0%이며, 이들 중 대부분은 순환모래인 것으로 분석되었다. 이러한 순환골재의 기존 사용현황은 “건폐법”의 재활용 촉진을 통한 국가자원의 효율적 이용이라는 목적에 부합되지 못하고 있어 이에 대한 장기적인 대책이 필요하다.(최민수 2006)

표 1. 용도별 순환골재의 생산량

구분	생산량(톤)	점유비(%)
성토·매립용	5,967,326	58.3
도로용	1,913,609	18.7
레미콘용(모래)	1,222,332	12.0
레미콘용(40mm)	163,465	1.6
레미콘용(25mm)	387,106	3.8
기타	574,215	5.6
계	10,228,054	100

4. 현장재활용 시뮬레이션 알고리즘 개발

4.1 시뮬레이션 프로그램 프로세스

여러 입력요소와 경제성 분석 tool 등을 고려한 현장재활용 시뮬레이션 프로그램의 프로세스는 그림 3과 같다.

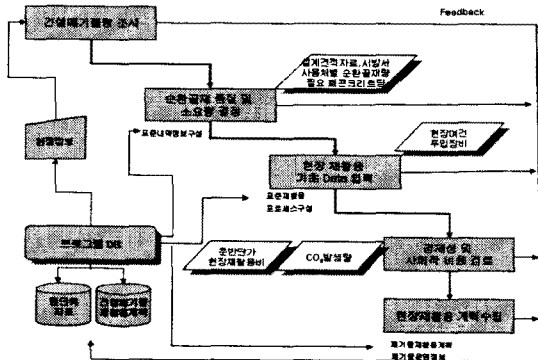


그림 3. 시뮬레이션 프로그램 프로세스

4.2 기초자료 입력 요소(Input)

(1) 건설폐기물 발생량

표 2는 본 연구에서 기 개발한 원단위를 기본으로 하여 건축물 구조, 건축물 용도, 연면적, 지장물 수량 등을 입력하고, 입력된 원단위를 통해서 자동으로 건설폐기물 종류별 발생량이 산출된다. 한국건설자원협회의 건설폐기물 처리단가를 입력 시 발생량에 따른 폐기물 처리 비용이 산정되도록 한다.

표 2. 건설폐기물 발생량 입력 예

사업지구	건축물 구조	연면적 (㎡)	지장물 수량 (톤)	원단위										
				콘크리트	블록	벽돌	목재	기타	유리	도기	합성수지	철물	기타	
주거환경 개선지구	RC조	1970	주택	0.09	0.09	0.38	0.004	0.002	0.03	0.004	0.001	0.003	0.06	0.02

(2) 소요수량

표 3은 설계 건축자료 및 기타 시방서를 참고하여 m²당 순환골재 사용량과 순환골재 사용처 넓이를 입력한다. 입력된 수치를 통하여 사용처별 순환골재 소요량을 산정하며, 골재 품질별 폐콘크리트 소요량을 산정한다.

표 3. 순환골재 사용처별 소요량의 예

구분	사용처	순환골재 소요량	비고
1	공사용도로	0.5t/m ²	현장여건에 따라 다름
2	성/복토용	0.5t/m ²	현장여건에 따라 다름
3	우수/오수관 하부	0.3t/m ²	예) 토목 시방서 기준 : 30cm 잠석다짐

(3) 현장 여건

해체현장에서 현장파쇄시설까지 운반거리와 현장파쇄시설에서 순환골재 사용처까지의 운반거리, 현장여건 및 도로 상태에 따른 차량속도를 입력한다. (표준품셈 2005)

표 4. 현장여건/도로상태에 따른 차량속도

도로상태	평균속도(km/h)	
	적재	공차
1차선의 교차대기가 필요한 공사용 가설도로	10	10
2차선 이상의 공사용 가설도로	20	20
2차선 이상의 유지관리 상태가 양호한 공사용 도로	25	25

4.3 경제적 분석 tool

(1) 현장재활용 공중 및 사용기계

현장재활용 비용은 폐콘크리트의 재활용량뿐만 아니라 공사차량 속도 및 운반거리도 영향을 받는다. 따라서 본 프로그램에서는 “현장재활용”공중별 투입장비에 따른 경제성 분석을 행하며 그 항목은 표 5의 예와 같다.

표 5. 현장재활용 공중별 투입장비의 예

현장재활용 공중	투입장비
폐콘크리트 상차 및 운반	백호(1m ³), 15t트럭
파쇄시설 투입 전 소할파쇄	백호(0.7 m ³)
폐콘크리트 투입	타이어로더(3.5 m ³)
현장재활용 골재 생산 및 정리	이동식 크러셔(200t), 타이어로더(3.5 m ³)
현장 재활용 골재 상차 및 운반	타이어로더(3.5 m ³), 15t 트럭

(2) 폐콘크리트 운반단가

폐콘크리트 발생지에서 현장파쇄시설까지의 운반거리 및 공차 및 적재 차량속도에 따른 운반단가를 분석한다. 표 6은 운반거리 및 차량속도에 따른 운반단가를 편리하게 적용하기 위하여 선형회귀분석을 사용한 예를 나타낸다. 여기서 y는 운반단가(원/m³)이며, x는 운반거리(km)이다.

표 6. 차량속도 및 운반거리에 따른 운반단가 회귀식

차량속도(km/h)		선형회귀식
공차	적재	
10	10	y = 1962.6x + 1220.6 (r ² =1)
15	10	y = 1635.5x + 1220.6 (r ² =1)
20	15	y = 1144.9x + 1220.6 (r ² =1)

(3) 현장재활용 비

폐콘크리트의 “현장재활용” 비용은 현장파쇄시설의 설치 및 해체비용과 비용 계상항목 단가에 폐콘크리트 재활용량을 곱하여 결정된다. 따라서 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용을 식으로 나타내면 [식 1]과 같다.

$$C = A + B/V \quad \text{[식 1]}$$

여기서, V는 폐콘크리트 재활용량, C는 “현장재활용” 비용의 단가이고, A는 “현장재활용” 골재 생산에 드는 제반비용, 그리고 B는 현장파쇄시설의 설치 및 해체비용이다. (정종석 외 2007)

4.4 사회적 분석 tool

사회적 환경적 필요에 의해 국제 환경기준 준수를 위한 CO₂ 저감은 필수요소이므로, 현장재활용 장비의 경우 에너지사용(경유)량에 따라 CO₂가 발생하게 된다. 현장재활용 공중 및 투입장비, 총 작

업시간, 총 연료소모량에 따라 총 이산화탄소 발생량이 달라지며 사회적 비용 공식을 간략화하면 다음과 같다.

$$\text{총 이산화탄소발생량} = \text{총 연료 소모량(경유)} \times 2.824 \text{ kg/l}$$

$$\text{총 사회적 비용} = \text{총 이산화탄소발생량} \times \text{탄소배출권 가격}$$

4.5 환경적 분석 tool

소음민원 예방 및 대책으로는 현장파쇄시설에서 인접 구조물과의 일정 이격거리를 유지하고, 추가로 공사장 주위에 방음벽을 설치하는 방법을 제시할 수 있다. 소음기준에 대한 적절한 이격거리는 표 7과 같다.

표 7. 소음에 관련한 민원 발생기준 및 대책

공사장 소음규제기준	소음 민원 대책
현재 기준 (70dB)	현장파쇄시설에서 60m이상 이격
2009년 이후 기준 (65dB)	현장파쇄시설에서 90m이상 이격

진동의 경우 현장파쇄시설의 진동레벨을 측정할 결과 지반이 흙 또는 콘크리트와 상관없이 15m이상 떨어질 경우 관련기준 70dB에 만족하는 것으로 나타났으며, 미세먼지(PM10) 환경기준은 연간평균치는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간평균치는 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 기후조건에 많은 영향을 받으므로 민원발생 예상지역과 최소 15m이상, 최대한 이격 배치하는 것이 좋다.(정종석 외 2008)

5. 결론

건설현장에서 발생하는 건설폐기물의 상당량은 재활용용도, 사용량, 재활용 기준의 미비 등으로 당해 현장재활용이 불가능한 경우가 대부분으로 건설폐기물의 실질적인 재활용을 위해서는 종류별 활용용도 및 기준, 소요량 등에 대한 체계적인 정립이 요구되어지고 있다. 본 연구에서는 건설폐기물의 발생에서부터 현장재활용 적용까지 일괄적으로 처리할 수 있는 현장재활용 시뮬레이션 프로그램을 개

발하기 위하여 시뮬레이션 프로그램 알고리즘을 작성하였다.

그 결과는 다음과 같다.

- (1) 시뮬레이션 프로그램을 통하여 해당지구의 정확한 건설폐기물 발생량 예측이 가능하다.
- (2) 폐콘크리트량과 운반거리 및 운반속도를 통하여 현장재활용의 경제적 효과를 간단히 계산할 수 있다.
- (3) 현장재활용을 적용할 경우 사회적비용 저감으로 인하여 국가경제에 이바지한다.

현장에서의 건설폐기물 처리계획 수립시 중간처리업체와 현장재활용 경제적, 사회적 효과 비교를 통하여 건설폐기물 처리방법 결정시 활용될 수 있을 것이다. 따라서 향후 연구에서는 현장재활용 활성화를 위하여 2009년 하반기 국가기관에 프로그램 배포를 목표로 개발된 프로그램을 먼저 K공사 실무부서에 배포 후 실무자 의견을 반영하여 프로그램 업데이트를 통하여 정확도 및 효율성을 높여나갈 예정이다.

참고문헌

1. 손병훈 외 2인(2007), "건축폐기물 원단위 산정을 위한 주거환경개선지구 내 건설폐기물 발생 종류에 관한 연구", 대한건축학회 논문집(계획계) v.22 n.11, pp.305
2. 정종석 외 5인(2007), "폐콘크리트 현장재활용을 위한 경제성 지표개발-택지개발사업지구를 중심으로", 한국건설관리학회 논문집, v.8 n.4, pp.146
3. 권순범 외 4인(2007), "폐콘크리트 현장재활용 사례를 통한 이산화탄소 배출에 따른 사회적비용 분석", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.459
4. 정종석 외 4인(2008), "현장파쇄시설의 환경민원 발생 저감방안 연구", 한국건설관리학회 논문집, v.9 n.5, pp.176
5. 김창학·김효진(2007), "건설폐기물의 물량 자동화 산정 시스템 개발", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.743
6. 최민수(2006), "건설폐기물 발생·처리실태 및 재활용 촉진방안", 건설폐기물 및 순환골재 생산과 활용기술, 한국건설순화자원학회·대한주택공사, 제1회 기술강좌, pp.6
7. 대한건설협회(2005), "2005 건설공사 표준품셈", pp.247

Abstract

The construction wastes rapidly increase because of redevelopment, the development of new urbanization of large-scale land development, the expansion of social infrastructure. As one of the ways to recycle construction waste to be recycled directly. This case, recycling of materials uses up most of recycled aggregate can be secured reliably. As a result, a decrease in the amount of materials brought in or taken out of the site, the cost of transportation, carbon dioxide emission, and traffic can be reduced. Economic, social and environmental effects can be expected.

Therefore, this study of the construction waste "Site-Recycling" to enable the construction waste from the occurrence of "site-recycling" that can be processed in batches to apply the "Site-Recycling Simulation Program" is to develop the algorithms.

Keywords :Site-recycling, Waste Concrete, Simulation program