

폐콘크리트의 현장재활용을 위한 경제성 지표개발 -택지개발사업지구를 중심으로-

The Development of Economical Index for Site Recycling of Waste Concrete - A Case study at Hosing Development District -

정 종 석* 이 재 성** 조 휘 철*** 전 명 훈**** 이 도 현***** 방 종 대*****
Jung, Jong-Suk Lee, Jae-Sung Jo, Whi-Chol Jun, Myoung-hoon Lee, Do-Heun Bang, Jong-Dae

요 약

최근 재건축 및 재개발의 활성화, 대규모 택지개발에 의한 신도시 건설, 사회기반시설 확충 등의 증가로 건설폐기물이 급증하고 있다. 급증하는 건설폐기물 문제를 해결하기 위해 정부는 2003년 12월에 “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”을 제정하였다. 이 법에 의하면 건설폐기물은 중간처리업체뿐만 아니라 건설공사현장에서 배출자가 직접 재활용할 수 있도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 대규모 택지개발사업지구에서 폐콘크리트를 현장재활용하고 있는 사례를 통하여 경제성을 분석하여 현장재활용의 타당성 여부를 규명하였다. 또한 민감도 분석을 통하여 현장재활용비용에 영향을 미치는 요소를 분석하고 그 요소들에 따른 현장재활용의 경제적 손익분기점을 추정하였다.

키워드 : 건설폐기물, 폐콘크리트, 현장재활용, 경제성 분석, 민감도 분석

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 재건축 및 재개발의 활성화, 대규모 택지개발에 의한 신도시 건설, 사회기반시설 확충 등의 증가로 건설폐기물이 급증하고 있다. 2005년도 환경부·국립환경과학원의 “2004 전국폐기물 발생 및 처리 현황”에 의하면 2004년에 발생된 건설폐기물은 5,420만 톤(약 14.8만 톤/일)으로 전체 폐기물의 48.9%에 달하고 있으며 1996년의 1,030만 톤 대비 5.3배 증가하여 연평균 67.5%

라는 경이적인 증가율을 보이고 있다. 급증하는 건설폐기물 문제를 해결하기 위해 정부는 2003년 12월에 “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”(이하 “건폐법”)을 제정하였다. “건폐법” 제7조와 제27조에 따라 건설폐기물을 중간처리업체뿐만 아니라 건설공사현장에서도 배출자가 직접 재활용(이하 “현장재활용”)할 수 있도록 규정하고 있다. 그러나 현재 건설공사현장에서 배출자에 의해 직접 재활용되는 사례는 찾기 어려운 실정이며, 대다수의 건설폐기물은 중간처리업체를 통하여 재활용되고 있다.

또한 “현장재활용”은 “건폐법” 제27조 및 시행령 제11조의 규정에 의하여 배출자가 건설공사 현장에서 건설폐기물처리시설을 설치·운영하여 재활용하는 건설폐기물의 양은 건설폐기물의 발생량에서 제외한다는 규정에 나타나듯이, 건설폐기물의 반출량 감소와 건설공사 현장에서 직접 건설폐기물을 재활용하는 경우, 재활용 자재의 대다수를 차지하는 순환골재의 사용처를 안정적으로 확보할 수 있어 건설폐기물의 실질적인 재활용률을 높일 수 있을 것이다. 그러나 대다수의 건설폐기물은 중간처리업체를 통하여 재활용되고 있을 뿐, 배출자에 의해 현장에서 직접 재활용(이하 “현장재활용”)되는 사례는 찾기 어려운 실정이다. “현장재활용”을 어렵게 하는 대표적인 원인으로서는 제도적 문제점과 “현장재활용” 시 경제적 효과의 불투명성이다. 이 중에서도 “현장재활용”을 어렵게 하는 가장 큰 원인은 “현장재활

* 일반회원, 대한주택공사, 선임연구원, 공학박사, pobyasu@jugong.co.kr
** 일반회원, 대한주택공사, 연구원, 공학석사, paranglove@jugong.co.kr
*** 일반회원, 대한주택공사, 차장, ididid@jugong.co.kr
**** 일반회원, 대한주택공사, 수석연구원, 공학석사, hjun@jugong.co.kr
***** 일반회원, 대한주택공사, 선임연구위원, 공학박사, dhlee@jugong.co.kr
***** 일반회원, 대한주택공사, 수석연구원, 공학박사(교신저자), jdbang@jugong.co.kr

본 연구는 건교부 첨단도시사업개발 “건설폐기물 재활용 기술개발”에 의한 연구의 일부임, 과제번호 05건설핵심D07.

용”에 따른 경제적 효과의 불투명성이다.

따라서 본 연구에서는 대규모 택지개발사업지구에서 폐콘크리트를 “현장재활용”하고 있는 사례를 통하여 경제적 효과 측면에서 “현장재활용”의 타당성 여부를 분석하고, 민감도 분석을 통하여 “현장재활용” 비용에 영향을 미치는 요소를 분석하여 그 요소들에 따른 “현장재활용”의 경제적 손익분기점을 추정하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

폐콘크리트의 “현장재활용”에 따른 경제성 및 민감도 분석방법 및 범위는 다음과 같다.

- (1) 관련법 분석 및 관련문헌 조사
- (2) 건설폐기물의 종류별 수량은 K공사에서 지장물 철거 및 건설폐기물 처리를 위해 산출한 발주 수량을 기준으로 하였으며, 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용은 K공사의 견적 자료를 근거하여 2007년 기준으로 산정하였다.
- (3) “현장재활용” 순환골재 생산시스템에 의해 생산된 순환골재는 성·복토용 및 도로의 보조기층용으로 사용되지만, 경제성 분석의 편의상 현장에서 생산된 모든 순환골재는 성·복토용으로 가정하였다.
- (4) 경제성 분석은 P지구에서 “현장재활용”이 되는 폐콘크리트량으로 한정하며, 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용과 중간처리업체 위탁비용을 비교·분석하였다.
- (5) 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용에 영향을 미치는 요소를 분석하였다.
- (6) “현장재활용” 비용에 영향을 미치는 요소에 따른 민감도를 분석하여 그 요소에 따른 “현장재활용” 비용의 손익분기점을 추정하였다.

2. 현장재활용의 관련법규 및 연구동향

2.1 현장재활용 관련 법규

건설폐기물을 “현장재활용”하기 위해서는 “건폐법” 및 “폐기물관리법”(이하 “폐관법”)에 규정되어 있는 배출자에 관련된 조

항, 건설폐기물 처리시설에 관련된 조항, 현장 내에서 생산된 순환골재의 품질에 관련된 조항을 이해해야 한다.

배출자의 의무 및 행정절차는 건설폐기물을 친환경적으로 적정처리 하여야 하며, 자주처리 또는 위탁처리 하여야 한다. 이에 배출자는 종류별 발생예상량을 조사하여 지자체장에게 신고하여야 하며, 재활용실적보고서를 승인권자에게 제출하여야 한다.

건설폐기물 처리시설의 설치 및 운영절차로서 “현장재활용”을 할 경우 시도지사에게 신고하여야 하며, 건설폐기물 처리시설을 적합하게 설치 및 유지관리 하고, 폐기물수집운반 처리상황 등을 기록 보관하며, 사용종료나 폐쇄할 경우에는 환경부 장관에게 신고하여야 한다.

순환골재의 품질기준 및 의무사용으로는 품질기준이 적합한 순환골재를 사용해야 하며, 사용용도로는 도로/건설공사용, 성토/복토용 순환골재로 구분할 수 있으며, “국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률”에 적용을 받는 일정 구조, 규모, 용도의 건설공사의 경우 의무사용을 하여야 하며, 최대지름 100mm 이하, 유기이물질 1% 이하의 순환골재를 재활용 하여야 한다고 규정하고 있다.

건설폐기물의 “현장재활용” 운영 및 절차에 관련 법률을 요약 정리하면 그림 1과 같다.

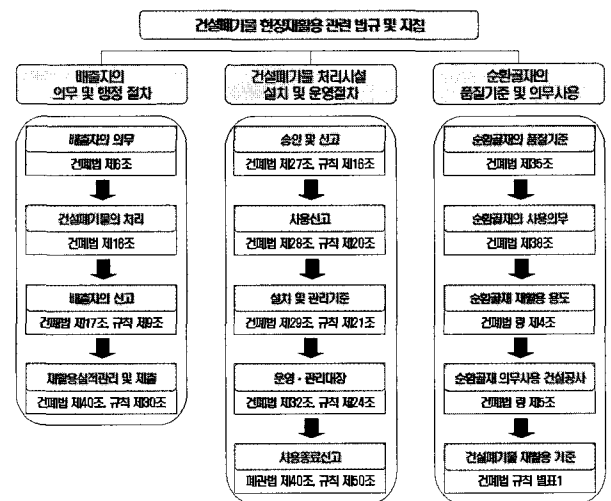


그림 1. 건설폐기물 현장재활용 관련 법규 및 지침

2.2 관련 연구동향

폐콘크리트의 “현장재활용”에 관한 연구는 크게 제도적 문제점에 대한 개선 방안 연구와 경제성 분석에 관련된 연구가 있다.

“현장재활용”의 제도적 개선 방안 연구는 건설폐기물의 용역을 분리 발주해야 하는 건설공사 현장의 경우, 공공기관은 건설폐기물을 실질적으로 현장에서 재활용할 수 없다고 지적하고 있으며, 또한 유기이물질의 정의 또한 나뭇조각, 천, 기타 이물질

등 이라는 부정확한 표현을 사용하고 있어 사용자로 하여금 유해물질과 혼동의 여지가 있다(정종석 외, 2007).

경제성 분석에 관련된 연구는 “현장재활용”의 공종별 비용 계상항목은 현장파쇄시설 설치 및 해체, 폐콘크리트 상차 및 소운반, 파쇄시설 투입 전 소할, 순환골재 생산 및 정리, 순환골재 현장 투입 및 다짐으로 이루어진다고 주장하고 있으며(김창학 외, 3인, 2003), “현장재활용” 비용은 중간처리업체 위탁비용의 35.5%라고 밝히고 있다(이재성 외, 2006).

그러나 순환골재 다짐의 경우 “현장재활용”과 중간처리업체의 공통 비용항목이므로 본 연구에서는 비용 계상항목에서 제외하였다. 또한 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용은 폐콘크리트 재활용량뿐만 아니라 공사차량 속도 및 폐콘크리트 발생지에서 현장 파쇄시설까지의 운반거리, 생산된 순환골재에서 활용장소까지의 운반거리에 따라 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 폐콘크리트의 “현장재활용” 경제성 분석 시 고려해야 할 비용 계상항목은 그림 2에서 보여주듯이, 현장파쇄시설 설치 및 해체, 폐콘크리트 상차 및 운반, 현장 파쇄시설 투입 전 소할파쇄, 폐콘크리트 투입, “현장재활용” 순환골재 생산 및 정리, 그리고 “현장재활용” 순환골재 상차 및 운반 등으로 구성하였다.

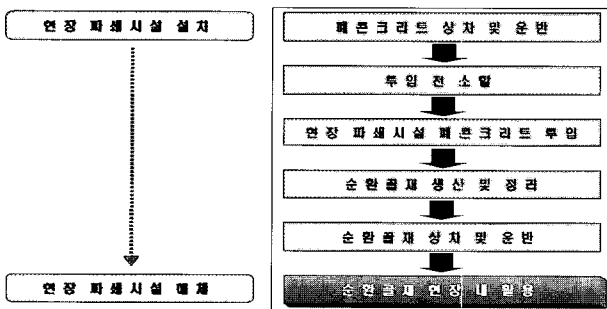


그림 2. 현장재활용의 비용계상항목

3. 폐콘크리트의 현장재활용 시 경제적 효과분석

3.1 P사업지구의 개요 및 건설폐기물 발생현황

(1) P사업지구 건설폐기물 발생량

P사업지구는 K공사가 택지개발을 통하여 신도시를 건설하는 대규모 건설현장이다. 표 1과 같이 사업면적은 약 142만평이고 가옥, 아파트, 공장, 상가, 토목구조물 등 지장물의 면적은 13.6만평이며, 지장물의 수는 4,587개에 달한다. 해체 및 철거 시 발생하는 총 건설폐기물의 양은 약 1,129만³m로 산출되었다.

표 1. P사업지구의 개요

구 분	사업면적 (평)	총발생량 (m ³)	지장물 면적 (평)	지장물 (동)	단위발생량 (m ³ /평)		동수당
					사업면적당	지장물면적당	
1공구	516,296	365,389	47,657	1,817	0.71	7.67	201.1
2공구	391,928	329,010	35,786	1,629	0.84	9.19	202.0
3공구	512,995	435,549	53,442	1,141	0.85	8.15	381.7
총 계	1,421,219	1,129,946	136,885	4,587	0.80	8.25	246.3

(2) 종류별 건설폐기물의 발생량

P사업지구에서는 표 2와 같이 콘크리트류, 아스콘류, 금속·철재류, 혼합폐기물, 생활폐기물이 발생되었으며, “현장재활용” 대상인 폐콘크리트의 양은 약 91.7만³m로 산출되었다.

표 2. 종류별 건설폐기물의 발생량

[단위 : m³]

구 분	총발생량	콘크리트류	아스콘류	금속 철재류	혼합 폐기물	생활 폐기물
1공구	365,389	281,797	61,099	641	20,794	1,058
2공구	329,010	266,750	39,998	470	20,674	1,117
3공구	435,549	369,395	44,741	925	19,469	1,019
총 계	1,129,946	917,941	145,838	2,036	60,936	3,195

(3) 현장재활용 폐콘크리트류의 수량 산출

P사업지구의 “현장재활용” 대상인 폐콘크리트의 경우 지구와 폐콘크리트의 경우 대부분이 순수한 콘크리트로 이루어져있는 옹벽, 도로 등과 같은 토목 구조물로서 순환골재 생산 및 품질확보에 용의하여 발생 수량의 대부분을 재활용하고, 가옥에서 발생하는 폐콘크리트의 경우 이물질 함유량이 높아 품질확보에 어려움이 있다. 수량산정의 경우 현장에서 필요로 하는 순환골

표 3. 현장재활용 폐콘크리트류의 수량산정

[단위 : m³]

구 분	폐콘크리트 발생량			폐콘크리트 재활용량			재활용률 (%)	
	가옥분	지구외	총계	가옥분	지구외	소계	가옥분	지구외
1공구	226,033	55,764	281,797	113,016	49,876	162,892	50	89.45
2공구	212,325	54,427	266,750	106,161	48,782	154,944	50	89.63
3공구	278,832	90,562	369,395	139,417	81,358	220,774	50	89.83
소 계	717,189	200,753	917,941	358,594	180,014	538,610	-	-

재 총생산량에 맞추어 산정하여 표 3과 같이 “현장재활용” 대상이 되는 폐콘크리트의 수량은 가옥에서 발생하는 폐콘크리트의 50%, 지구외에서 발생한 폐콘크리트의 약 90%를 기준으로 하여 전체 폐콘크리트류 발생량 91.7만³m의 58.6%인 53.8만³m으로 산정하였다.

3.2 현장재활용 비용 계상 항목

(1) 현장파쇄시설 설치 및 해체

현장파쇄시설의 종류 및 규모는 현장발생 폐콘크리트량에 따라서 정해지며, P사업지구에서 사용된 현장파쇄시설은 200톤 이동식 크러셔이다. 크러셔 설치 및 해체에 사용된 장비와 현장 파쇄시설 설치 및 해체 비용은 아래의 표 4와 같다.

표 4. 현장 파쇄시설 설치·해체 시 장비 및 단가

[단위 : 원]

구분	소요공종	장비	소계	재료비	노무비	경비
설치	적재비	트럭크레인 10ton	106,794	6,531	79,054	21,210
	운반비	20ton 트레일러	100,873	16,981	46,186	37,706
	적하비	트럭크레인 10ton	106,794	6,531	79,054	21,210
	조립비	트럭트레일러 10ton	6,937,409	244,913	5,897,121	795,375
해체	철거비	트럭크레인 10ton	4,606,858	146,948	3,982,685	477,225
	적재비	트럭크레인 10ton	106,794	6,531	79,054	21,210
	운반비	20ton 트레일러	100,873	16,981	46,186	37,706
	적하비	트럭크레인 10ton	106,794	6,531	79,054	21,210
총계			12,173,185	451,946	10,288,391	1,432,851

(2) 폐콘크리트 상차

폐콘크리트를 현장파쇄시설로 운반하기 위한 상차비용은 버킷계수(k), 토량환산계수(f), 그리고 작업효율(E)은 작업여건별로 다르게 적용해야 한다. P사업지구에서는 1.0m³용량의 백호우를 이용하여 폐콘크리트를 15ton 덤프트럭에 상차하였다. 상차하기 위한 현장 작업여건은 2006년도 표준품셈 (10-5)을 근거하여 버킷계수(k) 0.55, 토량환산계수(f) 0.71, 작업효율(E) 0.45를 적용하여, 아래의 표 5와 같이 폐콘크리트 상차 비용을 계상하였다.

표 5. 폐콘크리트 상차비용

[단위 : 원]

구분	수량(m ³)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	43,119	2,368	724	902	742
		102,105,792	31,218,156	38,893,338	31,994,298
2공구	41,250	2,368	724	902	742
		97,680,000	29,865,000	37,207,500	30,607,500
3공구	55,509	2,368	724	902	742
		131,445,312	40,188,516	50,069,118	41,187,678
계	139,878	331,231,104	101,271,672	126,169,956	103,789,476

(3) 폐콘크리트 현장 내 운반

폐콘크리트를 15ton 덤프트럭에 상차하여 공차 및 적재차량 속도 10km/h로 현장파쇄시설까지 운반하였다. 2006년도 표준품셈 (10-11)을 근거하여 폐콘크리트의 운반비용은 아래의 표 6과 같다.

표 6. 발생지에서 현장파쇄시설까지 운반비용

[단위 : 원]

구분	수량(m ³)	운반거리(km)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	43,119	0.6	2,404	608	971	825
			103,658,076	26,216,352	41,868,549	35,573,175
2공구	41,250	1.2	3,579	1,168	1,303	1,108
			147,633,750	48,180,000	53,748,750	45,705,000
3공구	55,509	0.8	2,787	787	1,081	919
			154,703,583	43,685,583	60,005,229	51,012,771
계	139,878		405,995,409	118,081,935	155,622,528	132,290,946

(4) 폐콘크리트의 크러셔 투입 전 소할

소할파쇄는 운반된 콘크리트가 해체과정에서 어느 정도까지 파쇄되었는지에 따라 달라진다. P사업지구에서 폐콘크리트의 소할 파쇄비율은 15%로 예상되었다. 사용된 0.7m³용량의 백호우와 대형 브레이크에 의한 소할 파쇄비용은 아래의 표 7과 같다.

표 7. 폐콘크리트 소할 파쇄비용

[단위 : 원]

구분	수량(m ³)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	6,468	6,316	1,254	2,483	2,579
		40,850,941	8,110,684	16,059,672	16,680,585
2공구	6,188	6,316	1,254	2,483	2,579
		39,080,250	7,759,125	15,363,563	15,957,563
3공구	8,326	6,316	1,254	2,483	2,579
		52,589,227	10,441,243	20,674,327	21,473,657
계	20,982	132,520,417	26,311,052	52,097,561	54,111,804

(5) 페콘크리트 투입

페콘크리트의 크러셔 투입비용은 같은 장비를 사용하더라도 현장 작업여건에 따라 버킷계수(K), 토량환산계수(f), 그리고 작업효율(E)은 다르게 적용해야 한다. P사업지구의 작업여건에서는 2006년도 표준품셈 (10-7)에 근거하여 버킷계수(K) 0.55, 토량환산계수(f) 0.71, 작업효율(E) 0.35를 적용하였다. 사용된 3.5m³용량의 타이어로드에 의한 페콘크리트 투입비용은 아래의 표 8과 같다.

표 8. 페콘크리트 투입비용

[단위 : 원]

구 분	수량(㎡)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	43,119	1,924	847	553	524
		82,960,956	36,521,793	23,844,807	22,594,356
2공구	41,250	1,924	847	553	524
		79,360,000	34,938,750	22,811,250	21,615,000
3공구	55,509	1,924	847	553	524
		106,799,316	47,016,123	30,696,477	29,086,716
계	139,878	269,125,272	118,476,666	77,352,534	73,296,072

(6) 현장재활용 골재 생산

페콘크리트의 “현장재활용” 골재생산에 사용된 장비는 200ton 이동식 크러셔이며, 발전기는 250kw를 사용하였다. “현장재활용” 순환골재 생산비용은 페콘크리트 파쇄에 따른 “현장재활용” 순환골재의 부피 증가를 고려해야 한다. K공사의 체적환산계수 1.411을 사용하여 수량을 산출하였으며, “현장재활용” 순환골재 생산비용은 아래의 표 9와 같다.

표 9. 현장재활용 순환골재 생산비용

[단위 : 원]

구 분	수량(㎡)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	60,884	4,070	1,082	794	2,194
		247,797,994	65,876,518	48,341,918	133,579,557
2공구	58,245	4,070	1,082	794	2,194
		237,057,150	63,021,090	46,246,530	127,789,530
3공구	78,379	4,070	1,082	794	2,194
		319,001,342	84,805,762	62,232,694	171,962,885
계	197,508	803,856,486	213,703,370	156,821,142	433,331,973

(7) 현장재활용 골재정리

“현장재활용” 순환골재 정리비용은 같은 장비를 사용하더라도 현장 작업여건에 따라 버킷계수(K), 토량환산계수(f), 그리고 작업효율(E)은 다르게 적용해야 한다. P사업지구의 작업여건에

서는 2006년도 표준품셈 (10-7)에 근거하여 버킷계수(K) 1.0, 토량환산계수(f) 1.0, 작업효율(E) 0.6을 적용하여 하였다. 사용된 3.5m³용량의 타이어로드에 의한 “현장재활용” 순환골재 정리비용은 아래의 표 10과 같다.

표 10. 현장재활용 순환골재 정리비용

[단위 : 원]

구 분	수량(㎡)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	60,884	844	371	243	230
		51,386,120	22,587,974	14,794,819	14,003,326
2공구	58,245	844	371	243	230
		49,158,780	21,608,895	14,153,535	13,396,350
3공구	78,379	844	371	243	230
		66,151,630	29,078,501	19,046,026	18,027,103
계	197,508	166,696,529	73,275,370	47,994,380	45,426,779

(8) 현장재활용 골재상차

P사업지구의 작업여건에서는 2006년도 표준품셈 (10-7)에 근거하여 버킷계수(K) 1.2, 토량환산계수(f) 1.0, 작업효율(E) 0.6을 적용하였다. 사용된 3.5m³용량의 타이어로드에 의한 “현장재활용” 순환골재 상차비용은 아래의 표 11과 같다.

표 11. 현장재활용 골재 상차비용

[단위 : 원]

구 분	수량(㎡)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	60,884	705	310	203	192
		42,923,240	18,874,049	12,359,458	11,689,733
2공구	58,245	705	310	203	192
		41,062,725	18,055,950	11,823,735	11,183,040
3공구	78,379	705	310	203	192
		55,256,989	24,297,399	15,910,878	15,048,712
계	197,508	139,242,954	61,227,398	40,094,070	37,921,485

(9) 현장재활용 골재운반

“현장재활용” 순환골재를 15ton 덤프트럭 상차하여 적재속도

표 12. 현장재활용 골재 운반비용

[단위 : 원]

구 분	수량(㎡)	소계	재료비	노무비	경비
1공구	60,884	2,787	787	1,081	919
		169,683,786	47,915,730	65,815,634	55,952,422
2공구	58,245	2,787	787	1,081	919
		162,328,815	45,838,815	62,962,845	53,527,155
3공구	78,379	2,787	787	1,081	919
		218,441,459	61,684,043	84,727,383	72,030,033
계	197,508	550,454,060	155,438,588	213,505,863	181,509,609

및 공차속도 10km/h로 활용장소까지 운반하였다. 공구별 평균 운반거리 0.8km로 예상되며 2006년 표준품셈 (10-11)을 근거하여 “현장재활용” 순환골재 운반비용은 아래의 표 12와 같다.

3.3 현장재활용 비용 산출결과 및 분석

P사업지구의 각 공구별 및 비용계상 항목별 “현장재활용” 비용 및 항목별 단가를 요약하면 아래의 표 13과 표 14와 같다. 페콘크리트의 “현장재활용” 비용은 1공구 약 8억 6천만원, 2공구 약 8억 7천만원, 3공구 약 11억 2천만원이며, 총 약 28억 4천만원이다.

표 13. 공구별 현장재활용비 단가

[단위 : 원]

구 분	소계	재료비	노무비	경비
현장파쇄시설 설치/해체	12,173,188	451,946	10,288,391	1,432,851
페콘크리트 상차	2,368	724	902	742
페콘크리트 현장 내 운반	0.6	2,404	608	971
	1.2	3,579	1,168	1,303
	0.8	2,787	787	1,081
투입전 소할	6,316	1,254	2,483	2,579
페콘크리트 투입	1,924	847	553	524
현장재활용 골재생산	4,070	1,082	794	2,194
현장재활용 골재정리	844	371	243	230
현장재활용 골재상차	705	310	203	192
현장재활용 골재운반	0.8	2,787	787	1,081

표 14. 현장재활용비용 산출결과

[단위 : 원]

구 분	1공구	2공구	3공구	계
현장파쇄시설 설치/해체	12,173,185	12,173,185	12,173,185	36,519,555
페콘크리트 상차	102,105,792	97,680,000	131,445,312	213,231,104
페콘크리트 현장 내 운반	103,658,076	147,633,750	151,703,583	405,995,409
투입 전 소할	40,860,941	39,080,250	52,589,227	132,520,418
페콘크리트 투입	82,960,956	79,366,000	106,799,316	269,125,272
현장재활용 골재생산	247,797,994	237,057,150	319,001,342	803,856,486
현장재활용 골재정리	51,386,120	49,158,780	66,151,630	166,696,530
현장재활용 골재상차	48,323,240	41,062,725	55,256,989	144,642,954
현장재활용 골재운반	169,483,786	162,328,815	218,441,459	550,254,060
총계	868,740,090	865,539,655	1,116,562,043	2,840,841,788

3.4 현장재활용과 중간처리업체 위탁 처리비용 비교 · 분석

(1) 중간처리업체 위탁 처리비용

K공사가 P사업지구에서 페콘크리트의 중간처리업체 위탁 건

적단가는 21,000원/ton이며, 이를 K공사의 중량환산계수 1.96을 이용하여 환산하면 41,160원/m³이다. 이 금액은 건설폐기물의 분별, 상차 및 운반, 그리고 처리비용이 포함된 금액이다. 그러나 중간처리업체들과 건설폐기물 위탁처리용역의 실제 계약 단가 현황은 표 15와 같다.

표 15. 중간처리업체 위탁 처리비용

구 분	중간처리업체 위탁 처리비용		
	수량(m ³)	단가(원/m ³)	금액(원)
1공구	43,119	31,801	1,371,227,319
2공구	41,250	31,909	1,316,238,000
3공구	55,509	31,589	1,753,491,564
계	139,878	31,766	4,443,416,769

따라서 총 위탁 처리비용은 약 44억 4천만원이다. 그러나 중간처리업체 위탁 처리비용은 낙찰률에 따라 차이가 날 수가 있으며, 지역 및 운반거리에 따라 다르게 나타난다.

(2) 공사비 비교

표 16은 P사업지구의 페콘크리트 “현장재활용” 비용의 단가에 의한 “현장재활용” 비용 산출결과를 보여준다. “현장재활용” 비용의 단가는 “현장재활용” 비용에 페콘크리트량을 나누어 산정한다.

표 16. 현장재활용비용 산출결과

구 분	현장재활용비용		
	수량(m ³)	단가(원/m ³)	금액(원)
1공구	43,119	19,916	858,758,004
2공구	41,250	20,983	865,548,750
3공구	55,509	20,115	1,116,563,535
계	139,878	20,309	2,840,870,289

표 15와 표 16에서 보듯이, 페콘크리트의 중간처리업체 위탁 처리비용은 약 44억 4천만원이고 “현장재활용” 비용은 약 28억 4천만원이다. 이는 중간처리업체 위탁 처리비용의 63.9%이며, 공사비 절감액은 16억원이다. 이 금액은 현장에서 필요한 성·복토재 반입비용을 제외한 것이다.

순환골재 반입비용을 고려할 경우, P사업지구에서 순환골재 반입비용은 ton당 5,100원이며 이를 K공사의 중량환산계수 1.96을 이용하여 환산하면 표 17과 같이 순환골재 반입비용은 약 14억원이며, 총 중간처리업체 위탁 처리비용은 약 58억 4천만원이다. 따라서 순환골재 반입비용을 고려할 경우, “현장재활용” 비용은 중간처리업체 위탁 처리비용의 48.6%에 불과하며, 공사비 절감액은 약 30억원이다.

표 17. 순환골재 반입비용

구 분	순환골재 반입비용		
	수량(㎡)	단가(원/㎡)	금액(원)
1공구	43,119	9,996	431,017,524
2공구	41,250	9,996	412,335,000
3공구	55,509	9,996	554,867,964
계	139,878	9,996	1,398,220,488

표 18. 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	$y = 1144.9x + 1220.6 (r^2=1)$

4. 현장재활용비용의 민감도 분석에 의한 지표산정

폐콘크리트의 “현장재활용” 비용은 표6과 표12에서 보듯이 운반단가는 운반거리가 늘어남에 따라 증가한다는 것을 알 수가 있다. 또한 폐콘크리트 재활용량이 늘수록 “현장재활용” 비용은 줄어든다는 연구결과가 있다(김창학 외, 2003). 따라서 운반거리 및 폐콘크리트 재활용량에 대한 “현장재활용” 비용의 민감도를 분석하여 “현장재활용” 비용의 손익분기점을 추정하고자 한다.

4.1 운반거리 및 속도에 따른 운반단가 분석

P지구 사례분석에서 폐콘크리트 발생지에서 현장파쇄시설까지의 평균 운반거리는 각각 0.6km, 0.8km, 1.2km이며, 생산된 “현장재활용” 순환골재를 활용 장소까지 평균운반거리는 0.8km이다. 그리고 공차 및 적재 차량속도는 10km/h로 적용하여 운반단가를 산정하였다. 그러나 이는 현장여건에 따라 운반거리 및 덤프트럭의 속도가 달라진다. 따라서 본 연구에서는 현장여건을 고려하여 운반거리 및 3가지 차량속도 조합에 따른 운반단가를 산정하였다. “현장재활용”을 하는 현장에서는 비포장도로이며, 차량속도는 안전 및 사고방지를 고려하여 20km/h를 넘지 않는 것이 일반적이다.

그림 3은 운반거리 및 3가지 차량속도 조합에 의한 운반단가를 보여주며, 차량속도가 빠를수록, 운반거리가 짧을수록 운반단가가 떨어지는 것을 알 수가 있다.

운반거리 및 차량속도에 따른 운반단가를 편리하게 적용하기 위하여 선형회귀분석을 수행하였으며, 결과는 표 18과 같다. 여

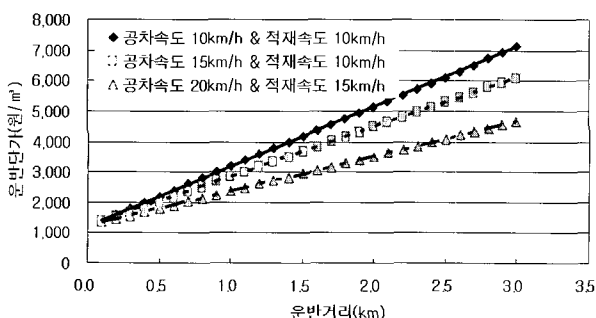


그림 3. 운반거리 및 속도에 따른 운반단가

기서 y는 운반단가(원/㎡)이며, x는 운반거리(km)이다.

4.2 폐콘크리트량에 따른 현장재활용비용 분석

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

$$V * C = V * A + B \quad \text{[식 1]}$$

여기서, V는 폐콘크리트 재활용량이며, C는 “현장재활용” 비용의 단가이며, A는 “현장재활용” 골재 생산에 드는 제반비용이며, B는 현장파쇄시설의 설치 및 해체비용이다. 이를 “현장재활용” 비용의 단가로 [식 1]을 정리하면 [식 2]와 같다.

$$C = A + B / V \quad \text{[식 2]}$$

[식 2]를 분석하면, 폐콘크리트량이 늘어날수록 현장파쇄시설의 설치 및 해체비용이 낮아져 전체적으로 “현장재활용” 비용의 단가가 낮아지며, 폐콘크리트량이 어느 수준으로 넘어서면 “현장재활용” 비용 단가가 수렴된다는 것을 알 수가 있다.

4.3 운반거리 및 폐콘크리트량에 따른 민감도 분석

운반거리 및 차량속도와 폐콘크리트량이 “현장재활용” 비용에 영향을 크게 미치는 요소이며, 이들 요소에 따라서 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용의 손익분기점을 추정하고자 한다.

(1) Case 1 : 공차 10km/h & 적재속도 15km/h

그림 4와 같이 운반거리 늘어남에 따라 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용이 증가하며, 5,000㎡이후로 운반거리별로 “현장재활용” 비용이 수렴됨을 알 수가 있다.

“현장재활용” 비용의 손익분기점은 견적단가 기준으로는 폐콘크리트량과 운반거리에 관계없이 “현장재활용”이 중간처리업

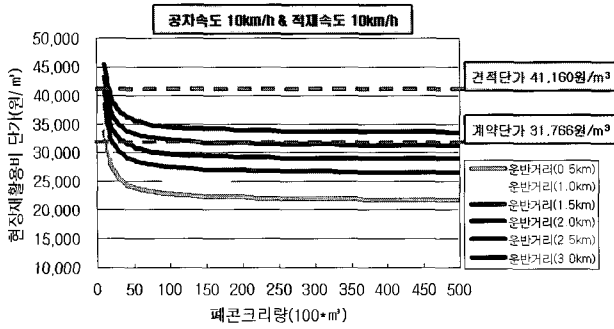


그림 4. 운반거리 및 폐콘크리트량에 따른 현장재활용비용
Case 1 - 공차 10km/h & 적재 10km/h

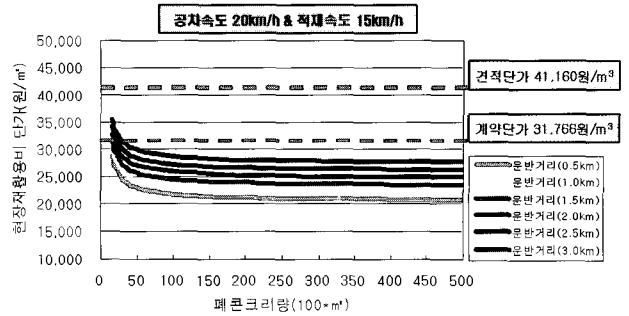


그림 6. 운반거리 및 폐콘크리트량에 따른 현장재활용비용
Case 3 - 공차 20km/h & 적재 15km/h

체 위탁 처리비용에 비해 경제성이 있으며, 계약단가 기준으로 운반거리가 폐콘크리트 발생지에서 현장파쇄시설까지 거리 및 현장파쇄시설에서 활용장소까지 거리가 각각 2.5km를 넘어서면 “현장재활용” 비용의 단가가 중간처리업체 위탁 처리비용을 초과 하는 것을 알 수가 있다.

(2) Case 2 : 공차 15km/h & 적재속도 10km/h

그림 5와 같이 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용을 약간 감소시키지만, Case 1의 경우와 비교하여 볼 때 차이가 크게 나지 않는다. 이는 Case 1과 Case 2의 속도차이가 적기 때문으로 판단 된다.

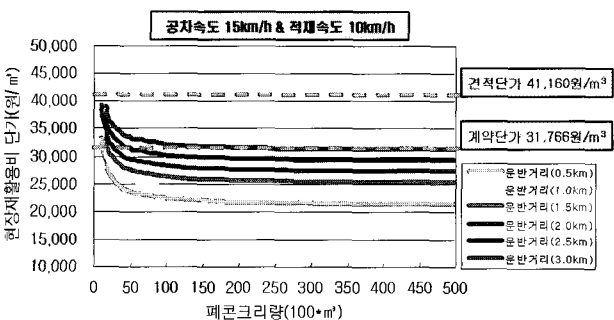


그림 5. 운반거리 및 폐콘크리트량에 따른 현장재활용비용
Case 2 - 공차 15km/h & 적재 10km/h

(2) Case 3 : 공차 20km/h & 적재속도 15km/h

그림 6과 같이 Case 2와 달리 차량의 속도의 증가는 “현장재활용” 비용을 상당히 감소시키는 것을 알 수가 있으며, 운반거리에 따른 “현장재활용” 비용의 단가에도 영향을 미치는 것을 알 수가 있다. Case 3의 경우 “현장재활용” 비용은 운반거리 및 폐콘크리트량에 관계없이 중간처리업체 위탁 처리비용보다 경제성이 있음을 알 수가 있다.

(4) 현장재활용 비용의 손익분기점

운반거리 및 속도와 폐콘크리트량에 따른 “현장재활용” 비용의 단가가 중간처리업체 위탁 처리비용에 비해 경제적으로 타당성을 가지기 위한 폐콘크리트량은 표 19와 같다. 이는 낙찰률 77.17%인 계약단가 31,766원/m³을 기준으로 한 것이다.

표 19. 폐콘크리트량에 따른 현장재활용비용의 손익분기점

운반거리(km)	폐콘크리트량의 경제적 손익분기점(m³)		
	Case 1	Case 2	Case 3
0.5	1,500	1,200	1,100
1.0	1,750	1,500	1,250
1.5	2,250	1,850	1,500
2.0	4,000	2,600	1,750
2.5	19,000	5,000	3,000

앞서 언급했듯이, 중간처리업체 위탁 처리단가는 지역 및 운반거리뿐만 아니라 낙찰률에 따라 차이가 난다는 것을 유의해야 한다. 따라서 본 연구의 결과를 이용할 때는 실제 중간처리업체 위탁 처리단가를 적용하여 “현장재활용” 비용의 손익분기점을 산정하여야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 건설폐기물의 “현장재활용” 관련 법규 및 관련 문헌을 분석하여, 대규모 택지개발사업에서 실시한 폐콘크리트의 “현장재활용”에 대한 경제성을 분석하였으며 이를 근거로 “현장재활용” 비용의 민감도를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) P사업지구에서 경제성 분석한 결과, 토사반입비용을 제외한 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용은 실제계약기준으로 중간처리업체 위탁 처리비용의 63.9%로 분석되었으며, 순환골재 반입비용을 고려한 경우는 중간처리업체 위탁 처리

비용의 48.6%에 불과한 것으로 분석되었다.

- (2) 민감도 분석에 따르면 “현장재활용” 비용은 현장 내 운반 거리, 차량속도, 폐콘크리트량에 따라 크게 영향을 받는다. 따라서 운반거리 감소, 차량속도의 증가, 폐콘크리트량의 증가는 “현장재활용” 비용을 크게 감소시킨다.
- (3) “현장재활용” 비용은 운반거리 및 차량속도에 상관없이 5,000m³초과 후 일정한 값으로 수렴되는 것을 알 수가 있다.
- (4) 폐콘크리트의 “현장재활용” 비용의 손익분기점은 표 19와 같다. 이는 P사업지구 실제계약단가를 기준으로 한 것이다. 따라서 본 연구의 결과를 이용하기 위해서는 실제 중간처리업체 위탁 처리비용을 적용하여 손익분기점을 재산정하여야 한다.

위 결과와 같이 폐콘크리트를 “현장재활용” 하는 것이 중간처리업체에 위탁 처리하는 것보다 경제적인 측면에서 훨씬 유리한 것으로 분석되었다. 이외에도 “현장재활용”을 활성화하면, 건설폐기물의 반출량이 줄어 운송차량의 운행 횟수를 줄일 것이다. 차량운행 횟수의 감소는 이산화탄소 발생량 및 교통량 등을 줄여 궁극적으로 국가의 사회적 비용을 경감시킬 것이다.

따라서 건설폐기물의 재활용률을 제고하고, 국민경제의 발전과 국가의 사회적 비용을 줄이기 위해서는 “현장재활용”을 활성화해야 할 것이다. 이를 위해서는 “현장재활용”에 대한 관련자들의 인식전환과 “현장재활용”을 촉진하기 위한 정책들이 입안되어야 할 것이다.

본 연구결과는 “현장재활용”을 활성화하기 위한 정책수립 및 “현

장재활용” 여부를 판단하는 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 그러나 본 연구의 경제성 분석은 대규모의 택지개발지구만을 대상으로 했기 때문에 다양한 여건을 갖는 사업지구에서 “현장재활용” 여부를 판단하기 위한 자료로 활용하는데 한계가 있을 수 있다.

따라서 향후 사업여건 및 사업규모에 따른 “현장재활용”의 경제성 여부가 다양한 관점에서 분석되어야 하고, “현장재활용”에 따른 사회적, 환경적 비용이 분석되어야 할 것이다. 이와 동시에 “현장재활용”의 장애요인 분석과 대안 수립을 위한 연구들이 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. “건설표준품셈 2006”, 건설연구사, 2006
2. “2004 전국폐기물 발생 및 처리현황”, 환경부·국립환경과학원, 2005
3. 김창학 외 3인(2003). “폐콘크리트의 현장재활용 경제성 분석연구(2)”, 대한토목학회 학술발표 논문집
4. 이재성 외 5인(2006). “폐콘크리트의 현장재활용 시 경제성 분석 - 택지개발사업지구를 중심으로-” 한국건설관리학회 정기학술발표대회 논문집
5. 정종석 외 5인(2007). “건설폐기물의 현장재활용 활성화를 위한 제도적 방안 연구”, 대한건축학회 논문집 제23권 제5호

논문제출일: 2006.12.18

심사완료일: 2007.06.29

Abstract

Recently, the construction wastes increase rapidly due to the revitalization of reconstruction and redevelopment, the development of new urbanization of large housing development, the expansion of social infrastructure, and so on. To solve rapid increase of construction waste, the government established "the rule on the promotion of recycling of construction waste" in December, 2003.

According to the rule, construction wastes can be recycled by either processing on commission or discharger of construction waste. This study proved the validation of site recycling for construction waste as economic efficiency is analyzed through the case study of site recycling at large housing development district. Using the sensitivity analysis, factors affecting the cost of site recycling was analyzed and the break-even point for the cost of site recycling was estimated according to the factors

Keywords : Construction Waste , Waste Concrete, Site Recycling, Economic Analysis, Sensitivity Analysis