

고층 주거건물 프로젝트에서 발생하는 폐기물 발생패턴 및 발생 유발 요인 분석

Patterns and Factors Causing Construction Waste Generation in High-Rise Housing Projects in Korea : A Case Study

김 지 혜* · 차 희 성** · 신 동 우***

Kim, Jee-Hye · Cha, Hee-Sung · Shin, Dong-Woo

요 약

국내외적으로 환경에 대한 관심과 규제가 강화되고 있는 가운데 건설산업 차원에서도 이에 대응하기 위해 친환경적인 건축 생산시스템을 구축할 필요성이 있다. 친환경적인 건축생산시스템의 일환으로 건설시공단계에서 발생하는 폐기물을 최소화 하고 재활용률을 최대화할 수 있다면 친환경적인 건설생산시스템 구축에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 효과도 얻을 수 있을 것이다. 본 연구는 이러한 효과적인 폐기물 관리시스템 구축을 위한 선행 작업으로써 20층 이상 고층 공동주택단지 에서 발생하는 폐기물의 발생시점부터 처리시점까지의 폐기물 발생패턴을 파악하고, 이를 기반으로 시공단계에서 건설폐기 물 발생을 유발하는 주요 요인을 도출하였다. 사례조사를 통해 폐기물 발생패턴으로서 폐기물 종류, 발생량, 발생위치, 관리 주체, 발생원인, 재활용폐기물, 집적형태, 반출방식을 조사하였고, 이들 항목 중 폐기물 발생에 가장 큰 영향을 미치는 주요 폐기물 발생 유발요인을 제시하였다.

키워드: 친환경 건설, 건설폐기물, 폐기물 발생패턴, 폐기물 발생 유발 요인

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

지구온난화로 인하여 전 세계적으로 기후적, 생태적 문제가 심각하게 발생함에 따라 국내외적으로 환경보호에 대한 관심이 집중되고 있다. 1992년 리오 기후변화협약과 1997년 교토 기후 변화협약을 통해 지구온난화를 일으키는 모든 온실가스의 규제, 주요 선진국들의 온실가스 감축목표 설정, 청정개발제도(CDM), 온실가스 배출권 거래제도(ET) 등을 규정하였고, 선발개도국의 특징을 가진 우리나라에 대해서도 2008년부터 온실가스 감축을 위한 선진국 그룹에 들어올 것을 요구하고 있다. 국제적인 요구 에 발맞추어 국내에서도 온실가스 저감을 위하여 다양한 정책과

조치가 수립되었으며, 에너지, 수송, 농축산, 임업, 폐기물부문 이 주요 정책분야로 선정되었다. 이 중 건설산업과 관련된 정책 으로서 에너지부문에서 건축물의 에너지 효율개선, 폐기물부문 에서 폐기물의 최소화와 재활용이 세부정책으로 제시되었다.¹⁾

이러한 국내외적인 환경보호정책에 대응하기 위해 건설산업 차원에서 친화경적인 건설생산시스템을 구축할 필요성이 있다. 그 일환으로 건축생산단계 시 발생하는 폐기물을 최소화하고 재 활용률을 최대화할 수 있다면 친환경적인 건설생산시스템 구축 에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 효과도 얻을 수 있을 것이다.

그러나 국내 폐기물 발생현황을 살펴보면, 전체 폐기물을 구 성하는 사업장폐기물, 생활폐기물, 건설폐기물 중 건설폐기물의 발생량이 49.3%로서 가장 많은 비중을 차지하고 있을 뿐만 아 니라, 사업장폐기물과 생활폐기물의 매해 발생량 추이가 거의 일정하거나 다소 감소하는 경향인 반면 건설폐기물은 급격히 상

* 일반회원, 아주대학교 건축학부 박사과정(교신저자), kjh1970@empal.com

** 일반회원, 아주대학교 건축학부 조교수, 공학박사 hscha@ajou.ac.kr

*** 종신회원, 아주대학교 건축학부 교수, 공학박사 dshin@ajou.ac.kr

이 연구는 2005년도 과학기술부 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음.
과제번호:R11-2005-056-03004-0

1) 기후변화협약대책위원회, 기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서, 2003

승하고 있다.²⁾ 또한, 이 수치는 미국의 20-29%, 독일 19%, 핀란드 13-15%, 호주 20-30% 등에 비해 현저히 높은 발생량³⁾으로써 건설폐기물로 인한 환경적 피해와 경제적 손실이 심각하다는 것을 암시한다.

위와 같이 환경적·경제적인 문제를 안고 있는 건설폐기물의 저감 및 재활용을 위해서는 폐기물 발생시점부터 처리시점까지 관리해야 할 필요성이 있다.⁴⁾ 그러나 건설폐기물 관리에 대한 구체적인 기준 및 방안이 수립되어 있지 않아 불법투기, 매립, 소각으로 인한 환경오염, 혼합폐기물로 인한 재활용률 감소 및 처리비용 상승 등의 문제가 꾸준히 발생하고 있다.⁵⁾

따라서 본 연구는 효과적인 폐기물 관리시스템 구축을 위한 선행 작업으로써 폐기물 발생시점부터 처리시점까지의 폐기물 발생패턴을 파악하고, 이를 기반으로 시공단계에서 건설폐기물 발생을 유발하는 주요 요인을 도출하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

(1) 연구방법

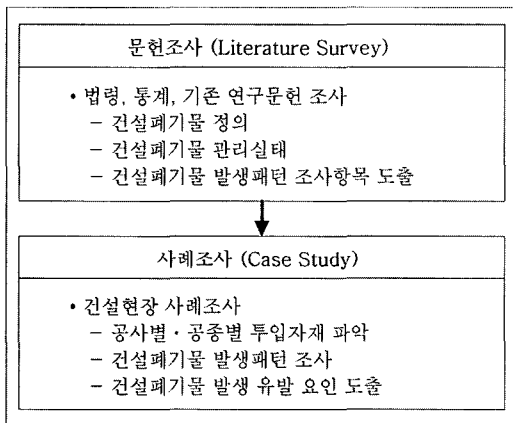


그림 1. 연구방법 및 절차

전반적인 연구방법의 특징은 건축시공단계의 폐기물 발생현상을 기술하고 설명하는 기술조사로서 상황에 대한 특성을 조사하는 연구이다. 먼저 문헌조사를 통해 건설폐기물의 개념 및 관리실태 파악하고, 폐기물 발생패턴 조사항목을 도출한다. 문헌조사를 통해 도출한 조사항목을 기반으로 건설현장 사례조사를

수행하여 폐기물 발생패턴(공종별·자재별 폐기물량, 폐기물형태, 발생원인, 폐기물 집적형태, 반출방식 등)을 파악한다. 마지막으로, 사례조사 현장의 원하도급 현장관리자 면담을 통해 건설폐기물 발생을 유발하는 주요 요인을 도출한다. 그림1은 상세한 연구방법 및 절차를 나타낸다.

(2) 연구범위

2004년도 국내 용도별 허가면적 통계를 살펴보면 주거용 허가면적이 42.7%로 단일용도 중 가장 많은 비중을 차지하고, 주거용도 중 아파트가 81.1%로써 단일 유형 중 가장 큰 비중을 차지하고 있다.⁶⁾ 또한, 최근 들어 국내 건설회사가 건설한 아파트 평균높이가 20층 이상으로 고층화 되었고 이 추세가 계속될 것이다. 그러므로 고층 공동주택단지에서 발생하는 건설폐기물을 본 연구의 대상으로 하여 연구의 효용성을 증대시키고자 한다. 또한, 건설프로젝트 전 생애(계획부터 해체까지)를 대상으로 폐기물 발생패턴과 발생요인을 분석하는 연구가 필요하지만 본 연구에서는 우선적으로 폐기물관리에 직접적인 영향을 미치는 시공단계에 초점을 두어 연구를 진행하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 건설폐기물의 정의

「폐기물관리법」상의 폐기물은 쓰레기·연소재·오니·폐유·폐산·폐알칼리·동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동 등에 필요하지 않게 된 물질로 광범위하게 정의되어 있다. 「건설폐기물의재활용촉진에관한법」상의 건설폐기물은 건설공사로 인하여 공사를 착공하는 때부터 완료하는 때까지 건설현장에서 발생하는 5톤 이상의 폐기물로서 정의되어 있다. 또한, 영국 정부에서 발간한 건설현장 폐기물 관리계획(Site Waste Management Plans)⁷⁾에서는 폐기물을 버리거나(discard), 버릴 계획이 있거나(intend to discard), 또는 버릴 필요성이 있는(required to discard) 모든 물질로 정의하였고, 폐기된 자재가 재활용을 위해 반출되거나 현장 내에서 재사용되어도 이 자재는 폐기물에 포함된다고 기술하고 있다. 국내 폐기물관리법과 해외 사례의 내용을 종합하면 건설폐기물은 건설현장에서 공사에 직간접적으로 사용된 후 재활용여부에 관계없이 버려지는 모든 물질을 의미한다.

2) 환경부, 2003 전국폐기물 발생 및 처리현황, 2004

3) Bossink B.A.G., Brouwers H.J.H., Construction Waste: Quantification and Source Evaluation, Journal of Construction Engineering and Management, 122, No.1, 1996, pp. 55-60

4) 유일한, 김윤주, 신동우, 건축공사현장의 혼합폐기물 발생원인분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 15권 2호, 1999.2

5) 대한주택공사 주택연구소, 건설폐기물의 처리 및 재활용방안 연구, 1997

6) 건설교통부, 2004년도 건축허가면적, 2005

7) DTI(Department of Trade and Industry), UK., Site Waste Management Plans, 2004

2.2 건설폐기물의 종류

국내 폐기물 관련 법규 및 선행연구⁸⁾를 바탕으로 건설현장에서 주로 발생하는 폐기물 종류를 파악한 결과, 각각의 선행연구마다 약간의 차이가 있으나 표1과 같이 건설시공과정에서 사용되는 거의 모든 종류의 자재로부터 폐기물이 발생하는 것으로 나타났다. 그러므로 건축생산단계 시 발생하는 폐기물의 발생패턴을 보다 정확히 파악하기 위해서는 공사에 투입되는 모든 자재를 대상으로 광범위한 조사가 이루어져야 할 것이다.

표1. 건설현장에서 주로 발생하는 폐기물 종류

구분	폐기물 종류	
건설 폐기물	건설 폐재류	페콘크리트, 페시멘트
		페아스팔트콘크리트
		페벽돌
		페블럭
		페기와, 페타일, 폐석재(화강석, 대리석 등)
	가연성 폐기물	페목재 - 합판, 각재, 동바리, 비계재
		페합성수지 - 스티로폼, PVC제품, PE필름, 석고보드, 수지류
		장판, 페고무류(방수용슈트 등)
		페섬유 - 유리면보온판, 툴카펫트, 부직포, 로프, 의류
		페벽지 - 페지류, 도배지, 종이장판, 포장재불연성
	불연성 폐기물	페기물건설오니, 굴착오니-벤토나이트
		페금속류 - 철근, 헝강, 못, 스텐레스
		페유리
	토사	흙·모래·자갈 등으로서 자연 상태의 것 제외
	혼합건설 폐기물	위의 폐기물 중 2 이상의 건설폐기물이 혼합된 것으로서 토사를 제외
지정폐기물	페페인트 및 페락카페유 - 공사차량	
	페유, 건설장비페유	
	페석면(스레트 등 고형화된 석면제품)-시멘트석면판	

2.3 건설폐기물 관리실태

(1) 법적·통계적 관리실태

「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」에 의해 배출자(발주자 또는 원도급자)는 건설폐기물을 친환경적으로 처리하기 위해 성상별·종류별로 분리하여 배출하고, 재활용을 촉진하기 위하여

노력해야 한다고 명시하였다. 이에 따라 배출자 및 중간처리업체가 건설폐기물 발생예상량, 발생량, 처리량을 시·도지사에게 신고하고, 재활용을 목적으로 일정규모 이상의 도로공사 등에 순환골재를 의무적으로 사용하도록 규정하였다. 전반적으로 건설현장에서 발생하는 폐기물에 대한 관리기준을 제시한다기보다 기발생한 폐기물의 재활용에 초점을 두고 있다. 반면 외국의 사례⁹⁾를 살펴보면 발생 및 처리량에 대한 신고뿐만 아니라 건설현장 내에서의 폐기물관리지침을 제시하고, 이러한 지침을 따를 경우 환경적·경제적 효과가 있음을 보여줌으로써 건설현장의 자발적인 참여를 유도하고 있다.

건설폐기물과 관련된 국내의 통계자료를 살펴보면 주요 폐기물(종이, 나무, 합성수지, 페토사, 콘크리트, 아스팔트콘크리트, 페벽돌, 금속류, 유리류, 기타)에 대해 발생량과 처리현황(매립·소각·재활용)이 건설현장의 종류나 특성에 따른 분류 없이 총량으로 나타나 있다. 이 자료로부터 건설폐기물 관리실태를 파악하는 것은 사실상 불가능하지만, 2003년 현재까지 사업장 폐기물이나 생활폐기물의 발생량이 매해 거의 일정한 것에 비해 건설폐기물은 급격히 상승하고 있어서 건설폐기물에 대한 관리가 필요함을 보여준다.¹⁰⁾

(2) 건설현장 내 관리실태

대부분의 현장에서 폐기물 처리계획을 수립하고 있으나 단순히 발생량 예측, 처리방법 및 소요비용을 예측하는 수준이고¹¹⁾, 다른 업무에 비해 폐기물관리업무의 중요도가 떨어지기 때문에 큰 관심이 없는 것으로 나타났다.¹²⁾ 이로 인해 폐기물 저감이나 재활용을 고려한 계획과 관리가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 실례로, 주요 자재에 대해 표준품셈상의 자재손실률(loss)보다 건설현장의 실제 자재손실률이 더 많은 것(1.6배 초과)으로 조사되었고, 폐기물 처리방법의 대부분이 처리업체를 통한 일괄 반출방식이어서 현장 내 자체처리나 감량화, 재활용을 위한 노력이 미비함을 알 수 있다.¹³⁾

이상과 같이 건설현장 내에서의 폐기물 관리실태는 법에서 규정한 최소한의 사항을 의무적으로 이행하는 수준이고, 건설공사 현장별 특성을 반영한 현장차원의 폐기물 관리시스템이 거의 없는 상황이다.

8) 구해식 외, 건설공사 폐기물의 감량화와 재활용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 21권 1호, 2001.4
 신동우 외, 건축공정과 연계한 현장폐기물 발생패턴 조사연구, 대한건축학회 논문집 16권 6호, 2000.6
 양규영 외, 건설현장에서 발생하는 폐기물의 처리실태 파악에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 19권 2호, 1999.10
 이종일 외, 건설공사현장에서 발생하는 건설폐기물의 관리 및 처리에 관한 조사연구, 대한건축학회 논문집 14권 3호, 1998.3

9) DTI(Department of Trade and Industry), UK., Site Waste Management Plans, 2004
 SCN(Sustainable Communities Network), US., Construction Waste Management Handbook, 2000
 10) 전계서
 11) 전계서
 12) 전계서
 13) 임정수 외, 아파트 건설현장의 폐기물 발생 및 처리에 대한 연구, 대한건축학회 논문집 18권 1호, 1998.4

3. 건설폐기물 발생패턴의 개념 및 조사항목

3.1 건설폐기물 발생패턴의 개념

건설폐기물 발생패턴이란 전 시공단계에 걸쳐 어떤 종류의 공사와 공종에서 어떤 종류의 폐기물이 어느 정도로 발생하고, 그 발생원인이 무엇이며 누가 어떻게 처리하는가 등을 나타내는 폐기물 관련 정보로 정의할 수 있다. 앞서 살펴본 많은 선행연구에서도 다양한 폐기물 관련 정보를 제공하기 위해 설문조사를 통해 다량 발생하는 폐기물의 종류와 발생량을 제시하였으나, 대부분 공사종류별로 조사대상을 명확히 한정하지 않아서 개별 현장 차원에서 이 정보를 활용하여 폐기물관리계획을 수립하기가 쉽지 않다. 그러므로 개별 현장에서 폐기물 저감 및 재활용을 위한 관리계획을 수립하기 위해서는 현장특성에 맞는 폐기물 발생패턴이 제공되어야 한다.

3.2 건설폐기물 발생패턴 조사항목

건설폐기물 발생패턴 조사항목은 건설현장 내에서의 폐기물 관리 및 처리실태를 조사하여 문제점을 파악하는 목적뿐만 아니라 추후 건설폐기물 관리시스템 구축 시 중점 고려사항으로도 쓰일 수 있어야 한다. 종합적인 조사항목을 도출하기 위해 본 연구에서는 선행연구에서 건설현장 폐기물 관리실태 조사 시 사용한 조사항목과 선진 해외사례에 나타난 폐기물 관리시스템 상의 기록항목을 분석하였다.

선행연구는 주로 건설폐기물 처리 및 관리상의 문제점을 파악할 목적으로 다음과 같은 항목에 대해 조사를 실시하였다. 신동우 외¹⁴⁾의 연구에서는 공정과 연계한 폐기물 관리시스템을 제시하기 위해 폐기물 발생량 및 발생시점을 조사하였다. 양극영 외¹⁵⁾, 임정수 외¹⁶⁾, 송태협 외¹⁷⁾ 등의 연구에서는 건설폐기물 발생 및 처리상의 문제를 파악하기 위해 다량 발생하는 폐기물의 발생원인과 처리방법을 조사하였다. 구해식 외¹⁸⁾와 이종일 외¹⁹⁾에서는 건설폐기물 발생 억제 및 감량화 방안을 모색하기 위해 폐기물 종류, 발생량, 처리방법(현장내 관리방식, 반출방식), 폐기물 처리에 대한 관련자 인식을 조사하였다.

영국의 사례²⁰⁾에 나타난 폐기물 관련 기록항목은 폐기물 종류, 폐기물 형태, 현장내 또는 현장외 재활용, 재활용시설 반출, 매립지 반출 여부 등으로 구성되고, 미국의 사례²¹⁾에서는 날짜별로 현장에서 발생한 폐기물과 재활용한 폐기물의 종류와 발생량을 기록하고 있다.

선행연구와 해외사례의 조사항목 중 폐기물 발생패턴의 개념에 해당하는 항목을 도출하면 다음과 같다.

(1) 폐기물 종류

투입자재 중 폐기물이 발생하는 자재를 의미한다.

(2) 폐기물 발생량

자재의 총 투입량 중 폐기물 발생량이 차지하는 비율(%)로서, 공사별·공종별·자재별로 구분하여 파악한다.

(3) 폐기물 발생위치

폐기물이 최초로 발생하는 장소로서 지상층 및 각 작업층으로 구분된다.

(4) 폐기물 관리주체

폐기물의 발생부터 처리까지 일련의 과정에 투입되어 관련 작업을 수행하는 담당자로서, 발생자·처리자·관리자로 구분된다. 발생자는 작업과정 중 투입자재로부터 직접 폐기물을 발생시키는 자이고, 처리자는 발생된 폐기물을 현장 내 집적장소로 운반하여 분류하고 적치하는 자이며, 관리자는 적치된 폐기물을 현장 외로 반출시키고 관련 비용을 처리하는 자를 의미한다.

(5) 폐기물 발생원인

각 자재별로 폐기물이 발생하는 구체적인 원인을 의미한다.

(6) 재활용 폐기물

현장 내외에서 재활용되는 폐기물의 유무 여부를 의미한다.

(7) 집적형태

발생된 폐기물을 현장 내 일정 장소에 집적하는 것으로서 분리 집적과 혼합 집적으로 구분되고, 각각은 다시 층별 집적과 지상 집적으로 구분된다.

(8) 반출방식

현장 내에 집적된 폐기물을 현장 외로 반출하는 방식으로서 폐기물별 별도 수거, 중간처리업체 일괄수거, 쓰레기매립지 반출 등으로 구분된다.

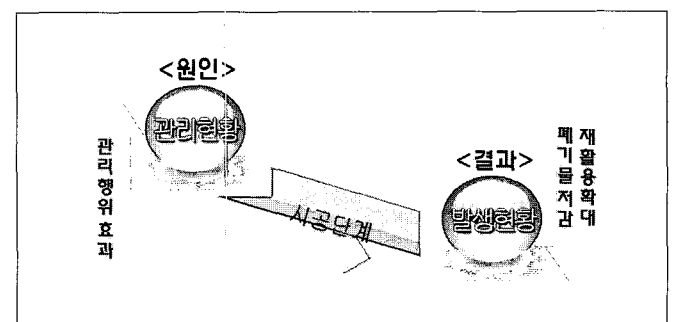


그림 2. 발생패턴 항목간의 연계성

위의 8가지 발생패턴 항목은 크게 발생현황을 나타내는 항목과 관리현황을 나타내는 항목으로 구성된다. 발생현황을 나타내

는 항목에는 폐기물 종류, 발생량, 발생위치, 재활용 폐기물이 포함되고, 관리현황을 나타내는 항목에는 관리주체, 발생원인, 집적형태, 반출방식이 포함된다. 이들 항목을 폐기물 발생을 유발하는 원인과 결과 측면에서 살펴보면 그림2와 같이 관리현황을 나타내는 항목들이 폐기물 저감 및 재활용 확대에 어느 정도 효과적인가에 따라 폐기물 발생을 유발하는 요인으로 작용할 가능성이 클 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이들 간의 관계를 전문가 면담을 통해 정성적으로 파악하여 '건설폐기물 발생 유발 요인'으로서 제시하고자 한다. 반면, 이들 항목간의 관계를 객관적으로 제시하기 위해서는 정량적인 연계성을 파악하기 위한 조사가 별도로 요구되므로, 추후 연구의 필요성이 있다.

3.3 폐기물 발생량 비교 방식

폐기물 발생량을 비교하는 방법에는 두 가지가 있다. 개별 자재의 폐기물 발생량 비교 시에는 자재별로 고유하게 사용되는 취급단위(ton, m³, 평 등)가 있으므로 이들의 비율(%)을 사용할 수 있다. 반면, 공사별, 공종별 폐기물 발생량 비교 시에는 다양한 자재가 투입되므로 전체 발생량을 하나의 단위로 산정하기가 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 공사별, 공종별 폐기물 발생량 비교를 위해 모든 폐기물을 하나의 단위로 산정하는 방법으로서 금액단위를 적용하였다. 공사내역서 항목 중 노무비와 장비비는 건설업체마다 다양한 가격을 제시할 수 있지만 자재비는 대동소이한 특성을 가진다. 그러므로 총 자재비 중 폐기물로 인해 손실되는 금액 비중을 산정하여 비교한다면 공사별, 공종별로 타당한 비교가 가능할 것이고, 더불어 당해 현장의 폐기물로 인한 경제적 영향을 파악할 수 있을 것이다. 폐기물 발생으로 인한 손실액 산정방식은 다음과 같다.

$$TC = \sum(C_i \times P_i)$$

TC : 폐기물로 인한 총 손실액 (원)

C : 자재별 자재비 (원)

P : 자재별 폐기물 비율 (%)

i : 폐기물 발생 자재 수

4. 사례조사 개요

4.1 사례조사 대상

사례조사 현장 선정조건은 첫째, 연구범위인 20층 이상의 초고층 아파트 동이 포함되어 있는 단지이고, 둘째, 가능한 모든 폐기물의 발생패턴을 조사하기 위해 최근 완공되었거나 완공시

표 2. 사례조사 개요

구분	Case1 : A아파트단지	Case2 : B아파트단지
위치	경기도 용인시	경기도 수원시
구조	철근콘크리트조	철근콘크리트조
층수(동수)	15-23층 (20개동)	18-25층 (33개동)
세대수	1,300여 세대	2,300여 세대
평형	39 / 45 / 58 / 75	24 / 30 / 33 / 47
연면적	265,397m ² (80,418평)	325,751m ² (98,539평)
공사기간	2002.4.-2004.9.(29개월)	2003.6.-2006.1.(32개월)
조사기간	2005.12-2006.1	
면담대상	원하도급 현장관리자	
조사방식	실행내역서 분석 / 조사항목 기록 / 현장관리자 면담	
조사자료	실행내역서 / 건설폐기물 발생패턴 조사항목	

점에 가까운 신축 현장이다. 이 조건을 만족하는 수도권 내 건설 현장 3곳의 공사내역서 구성항목을 조사한 결과 공통적으로 건축공사, 부대공사, 토목공사, 조경공사 등의 옥외공사, 전기공사, 기계설비공사로 구성되어 있었다. 이들 공사 중 건축공사와 부대공사에 적용되는 공종과 투입자재가 거의 동일하게 나타났고, 토목공사와 조경공사 등의 옥외공사는 지질 및 지형의 특성에 따라 상이하게 나타났다. 투입자재 측면에서 살펴보면, 건축공사, 부대공사, 토목공사의 투입자재 종류가 전체 투입자재의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 본 연구는 투입자재의 폐기물 발생에 초점을 두고 있으므로 투입자재의 대부분을 차지하는 건축공사, 부대공사, 토목공사를 주요 조사대상으로 선정하였다. 전기공사 및 기계설비공사는 투입자재가 거의 제품화되어 있어서 공장제작 후 현장에서 설치만 하는 경우가 대부분이어서 폐기물 발생비율이 극히 미미하므로 조사대상에서 제외되었다. 또한, 공사내역서 구성항목을 조사한 3개 현장 중 실제 투입된 자재량과 자재비 자료를 공개할 의사가 있는 2개 현장을 대상으로 표2와 같이 사례조사를 실시하였다. 2개 현장 모두 2005년 시공능력평가액 10위 내의 대형 건설업체가 시공하는 1,000세대 이상의 대형 공동주택단지로서 20층 이상의 아파트 동을 포함하고 있다.

4.2 사례조사 절차

조사절차는 실행내역서 분석, 현장관리자 조사항목 기록, 현장관리자 면담 순으로 진행되었다. 1차적으로, 사례조사 대상인 고층 공동주택단지의 실행내역서를 분석하여 투입되는 모든 자재를 파악한 후 이를 표3의 폐기물 발생패턴 조사양식에 공사별·공종별로 나열하였다. 2차적으로, 현장관리자로 하여금 표3의 조사양식에 기록하게 하였다. 조사항목 기록의 목적은 두

표 3. 건설폐기를 발생패턴 조사양식

공종	공종	투입자재		폐기물 발생량 (%)	발생 위치	관리주체			발생원인	재활용폐기물		폐기물집적형태		반출방식	
		자재명	자재량			발생자	처리자	관리자		현장내	현장외	개별집적	혼합집적	중간처리업체	쓰레기매립지
		-	-	-	1.지상층 2.작업층	직접 발생자	운반·분류·적치자	반출 및 비용 처리자	1.필수적 발생 2.공법특성상 발생 3.자재특성상 발생 4.현장관리상 발생	-	-	1.총별집적 2.지상집적	1.총별집적 2.지상집적	-	-
건축공사 및 부대공사	가설공사														
	철근콘크리트공사														
토목공사	파일공사														
	CIP공사														
														

가지가 있다. 첫째, 조사항목 분석을 통해 폐기물 발생패턴을 파악할 수 있고, 둘째, 현장관리자가 각 투입자재별로 조사항목을 기록하면서 당해 현장의 폐기물 발생으로부터 처리과정을 인지함으로써 다음에 수행될 면담에 준비하도록 하는 것이다. 마지막으로, 폐기물의 발생과 처리과정을 인지한 현장관리자를 대상으로 면담을 실시하여 조사항목 중 폐기물 발생에 가장 큰 영향을 미치는 요인(폐기물 발생 유발 요인)을 파악하였다.

5. 사례조사 결과

표 4. 폐기물 발생 자재종류 및 배출비율

(단위:%)

폐기물 발생 자재	폐기물 배출 비율 ¹⁾	
	Case 1	Case 2
철근	0.1	3.0
콘크리트(레이콘)	4.5	0.3
방진망·낙하물방지망	100.0	100.0
섬유류(부직포 등)	100.0	100.0
합판거푸집	1.0	2.0
종이류(벽지 등)	3.0	2.0
타일	3.0	3.0
석고보드	5.0	2.0
목재(목공사 자재)	1.0	3.0
온돌마루판	1.0	1.0
시멘트	1.0	3.0
모래	1.0	3.0
시멘트벽돌	1.0	3.0
시멘트블럭	3.0	3.0
스티로폼, 아이소핑크	3.0	5.0
PVC자재	3.0	1.0
천연대리석, 화강석	1.0	2.0
도료(뽁칠재 등)	5.0	0.5
유리	1.0	1.0
포장재	100.0	100.0

주 : 1)폐기물배출량은 투입되는 자재 중 폐기물로 버려지는 자재의 비율임. 자재별 비교 단위는 각 자재의 고유 취급단위임.(ton, m², m³, 등)

5.1 폐기물 발생패턴

(1) 폐기물 종류

표4는 폐기물 발생으로 인한 손실액을 기준으로 손실액이 큰 주요 자재와 자재별 폐기물 발생비율을 보여준다. 철근, 콘크리트, 방진망, 섬유류, 합판거푸집 등 주로 철근콘크리트공사와 가설공사에 투입되는 자재의 손실액이 큰 것으로 나타났다. 사례간에 자재별 폐기물 배출비율 분포에 차이가 큰 원인은 현장의 작업방식과 폐기물 관리방식이 상이하기 때문에 발생하는 차이로 추정된다. 예를 들어, 현장관리자 면담을 통해 case1과 case2의 콘크리트 폐기물 발생비율에 큰 차이가 나타난 원인을 조사한 결과 case1에서 재작업이 다량 발생했기 때문에 밝혀졌다. 그러나 공통적으로 방진망, 부직포 등의 1회성 가설자재와 포장재는 사용 후 전량 폐기물로 배출되고, 석고보드, 스티로폼 등 현장 내 관리과정에서 손상이 쉬운 자재의 폐기물 배출량이 상대적으로 높게 파악되었다.

(2) 폐기물 발생으로 인한 손실액

① 자재별 손실액

표5의 자재별 폐기물 발생으로 인한 손실액을 살펴보면 전체 손실액이 case1의 경우 약 12억 원, case2의 경우 약 10억 원으로 나타난다. 이는 순수한 자재비만을 산정한 것으로서, 폐기물 처리에 드는 간접비용까지 고려하면 더 큰 경제적 손실을 가져오는 것을 알 수 있다. 자재별로는 case1에서는 콘크리트, 가설재, 철근 등이, case2에서는 철근, 합판거푸집, 콘크리트 등이 폐기물로 인한 손실이 큰 자재로 파악되었다. 즉, case1은 골조공사용 자재와 가설자재에서, case2는 골조공사용 자재에서 폐기물로 인한 손실액이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다.

② 공종별 손실액

표5. 폐기를 발생으로 인한 손실액 비교 : 자재별

자 재 명	Case 1		Case 2	
	폐기물로 인한 손실액	비율	폐기물로 인한 손실액	비율
합계	1,155,021,008	100.00	991,340,067	100.00
콘크리트	468,117,194	0.41	62,581,324	0.06
가설재	250,813,013	0.22	20,134,900	0.02
철근	173,906,900	0.15	351,827,445	0.35
기타 목재	59,893,419	0.05	40,099,153	0.04
온돌마루판	41,067,000	0.04	13,587,360	0.01
합판거푸집	37,460,356	0.03	87,258,852	0.09
타일	35,559,605	0.03	43,913,397	0.04
종이류(벽지 등)	17,210,964	0.01	60,247,104	0.06
석고보드	13,833,315	0.01	6,528,585	0.01
시멘트	10,953,814	0.01	51,740,526	0.05
PVC 자재	10,578,894	0.01	23,948,049	0.02
페인트류	8,573,580	0.01	4,644,625	0.00
유리	7,301,972	0.01	1,796,353	0.00
스치로폼	5,906,412	0.01	14,647,196	0.01
시멘트벽돌	3,079,340	0.00	10,421,995	0.01
모래	1,980,691	0.00	10,547,520	0.01
시멘트블럭	1,839,690	0.00	8,173,316	0.01
석재	1,378,727	0.00	55,937,436	0.06
아이소핑크	860,936	0.00	5,567,120	0.01
적벽돌	92,054	0.00	800,255	0.00
레미탈	6,400	0.00	24,219,606	0.02
기타 자재	-	-	227,029,786	0.10

공종별 폐기물 발생으로 인한 손실액 비교는 손실액의 70% 이상을 차지하는 건축공사를 중심으로 비교하였다. 그림 3의 공종별 폐기물 발생으로 인한 손실액을 보면 두 사례 모두 철근콘크리트공사가 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타난다. 철근콘크리트공사의 손실액 비중이 가장 큰 원인은 합판거푸집, 각재 등 쉽게 손상되는 가설자재의 사용이 가장 많고, 주요 자재인 철근과 레미콘의 손실량(loss)이 많은데서 기인하는 것으로 보인다. 또한, 두 사례 간에 약간의 차이는 있으나 가설공사, 목공사, 타일 및 석공사, 미장공사, 수장공사 등의 공종이 주요한 폐기물 배출 공종으로 나타난다.

③ 공사별 손실액

그림4의 공사별 폐기물 발생으로 인한 손실액을 기준으로 폐기물 발생량을 살펴보면, 두 사례 모두 건축공사가 부대공사나 토목공사에 비해 폐기물로 인한 손실액이 월등히 많은 것으로 나타난다. 폐기물은 대부분 자재로부터 발생하는데 건축공사에 가장 많은 자재가 투입되고, 투입자재의 폐기물량도 타 공사에 비해 많이 발생하는데 그 원인이 있는 것으로 파악된다.

(3) 폐기물 발생위치

가설자재를 제외한 대부분의 폐기물은 작업자가 자재를 사용

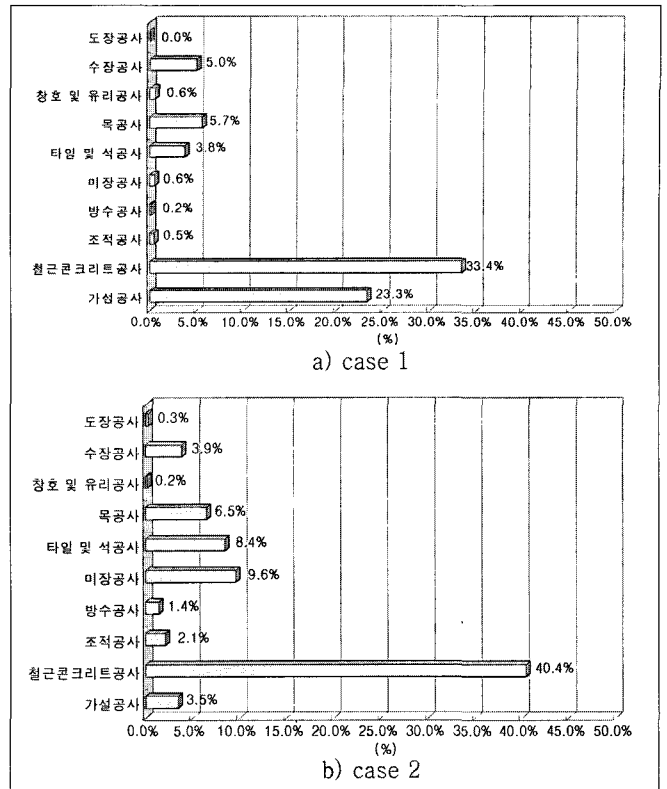


그림 3. 폐기를 발생으로 인한 손실액 비교 : 공종별

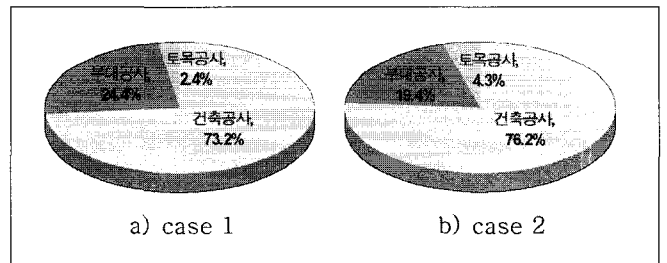


그림 4. 폐기를 발생으로 인한 손실액 비교 : 공사별

하는 위치에서 최초로 발생하였고, 공종과 공정에 따라 각 층별로 발생하는 것으로 조사되었다.(그림 5 참조) 건설공사의 특성상 폐기물 발생 즉시 적치 장소로 운반되는 것이 아니라 일정량의 작업이 끝난 후 마대자루에 넣어져 각 층의 작업장소로부터

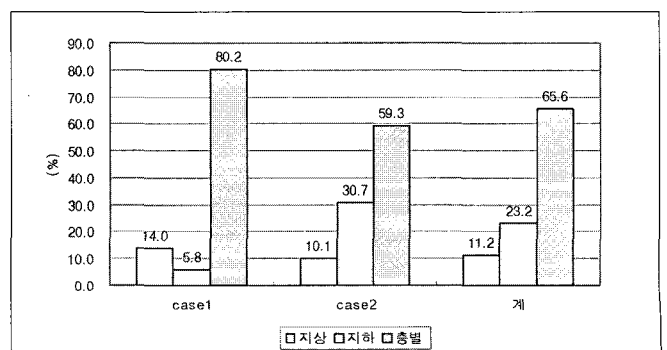


그림 5. 폐기물 발생위치

적치 장소로 한꺼번에 운반되므로 이 시점에서 폐기물의 혼합이 발생하는 것으로 파악되었다.

(4) 폐기물 관리주체

폐기물 관리주체는 발생자와 처리자의 경우 100% 하도급 작업자로 나타났고, 관리자의 경우 역시 100% 원도급 현장기사로 나타났다. 폐기물은 현장 내에서 발생, 운반, 분류, 적치, 반출의 과정을 거쳐 처리된다. 이 중 폐기물 발생 및 운반·분류·적치는 하도급 작업자에 의해 처리되고, 현장 외 반출 및 비용처리는 원도급 관리자에 의해 처리된다. 이처럼 폐기물 관리주체의 이원화로 인해 폐기물이 다량 발생하는 것으로 조사되었다. 현재 현장 내에서 별도로 폐기물 관련 교육이 실시되지 않는 실정이므로 하도급과 원도급 사이에 폐기물관리에 대한 공동의식이 부족하게 되고, 이로 인해 폐기물 발생량이 증가하는 것으로 분석된다.

(5) 폐기물 발생원인

자재별로 다양한 발생원인에 의해 폐기물이 다량 발생하는 것으로 조사되었다. 그림 5와 같이 발생원인을 특성별로 분류하면 필수적 발생(예: 포장 및 운반용기), 공법상 발생(예: 조적공사 시 벽돌 자투리 또는 스티로폼 자투리), 자재특성상 발생(예: 방진망이나 합판 등의 1회성 자재), 현장관리상 발생(예: 운반 및 적치 시 파손, 재작업)으로 구분된다. 공법적용의 문제와 현장관리상의 부주의로 인해 폐기물이 다량 발생한다는 의견이 주요 원인으로 파악되었다.

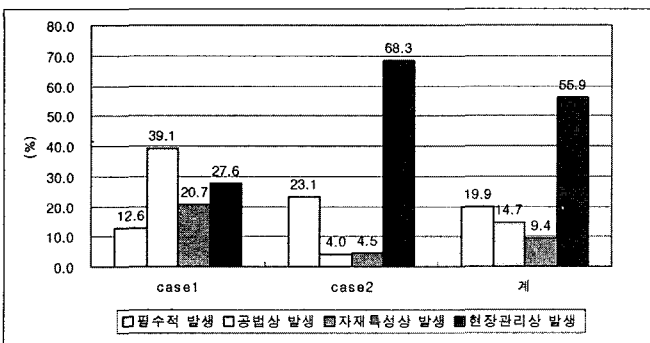


그림 6. 폐기물 발생원인

(6) 재활용 폐기물

두 사례 모두 현장 내에서 재활용되는 폐기물이 거의 없었고, 현장관리자의 재활용 자재 사용에 대한 관심 역시 낮게 나타났다. 또한, 현장 내에서 폐자재를 재활용한다는 것 자체가 불가능하다는 인식이 대부분이었다.

(7) 집적형태

지상층과 각 작업층에서 폐기물이 발생하지만 각 층에는 별도

의 폐기물 적치시설이 없고 지상층에 중간처리업체가 설치한 수거함에 운반·적치하는 것으로 조사되었다. 그림 6에 나타난 응답결과에서 알 수 있듯이 전반적으로 폐기물 종류별로 개별 집적되는 비율보다는 혼합 집적되는 경우가 많은 것으로 나타났다. 또한, 면담 결과 콘크리트, 고철, 폐목재와 같이 재활용 가능성이 높은 자재는 분리 집적하지만 기타 자재는 일반적으로 혼합 집적하는 것으로 조사되었다. 이는 반출방식과도 연계되어 유상 및 무상으로 반출되는 자재의 경우 현장에 이익이 되므로 분리 집적하여 반출하지만, 중간처리업체가 일괄적으로 수거하는 자재는 처리업체가 현장에 설치한 폐기물 적치함(물트럭)에 혼합 집적하는 경향을 보인다.

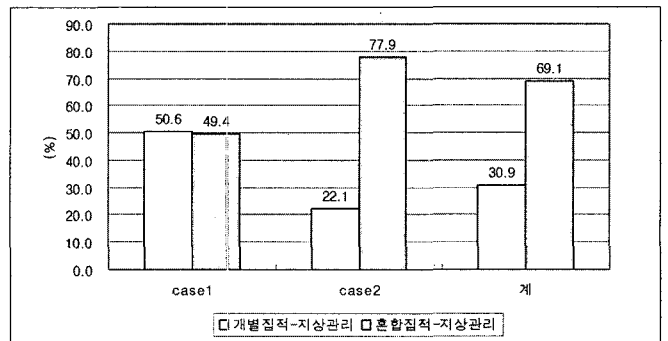


그림 7. 폐기물 집적형태

(8) 반출방식

두 case 모두 중간처리업체와의 계약을 통해 일괄 처리하는 방식으로 폐기물을 반출하는 것으로 나타났다. 하도급 작업자들이 발생한 폐기물을 중간처리업체가 폐기물집적용으로 현장 지상층에 비치한 수거함(물트럭)에 운반하여 적치한다. 수거함은 폐콘크리트, 혼합폐기물, 가연성폐기물, 불연성폐기물로 구분하여 비치한다. 중간처리업체와의 계약방식은 분류된 폐기물별로 처리비용이 다르므로 각각의 처리비용단가에 발생물량을 곱한 금액을 정산하는 방식이다. 폐목재와 고철의 경우 현장 내에 따로 정리해 놓으면 별도의 폐기물처리업체가 재활용을 목적으로 유상 또는 무상으로 수거한다.

5.2 건설폐기물 발생 유발 요인

건설폐기물과 관련된 대부분의 선행연구에서는 폐기물 종류 및 발생량, 그리고 폐기물 발생을 줄일 수 있는 현장 내·외적인 해결책을 연구결과로서 제시하고 있다. 그러나 폐기물이 발생하는 원인이 무엇인지 파악하는 단계를 생략하고 효과적인 폐기물 저감방안이 나오기는 어렵다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 위와 같이 현장에서 폐기물이 발생되고 처리되는 발생패턴과 발생원인을 파악하는데 초점을 맞추어 분석하였다. 따라서 지금까지

지 조사항목 분석을 통해 공동주택 건설공사의 시공단계에서 일어나는 폐기물의 발생부터 처리까지의 폐기물 발생패턴을 파악하였다. 앞서 3.2절에서 언급한 바와 같이, 발생패턴 항목을 구성하는 발생현황과 관리현황 간의 관계를 전문가 면담을 통하여 다음과 같이 정성적으로 파악하였다.

원하도급 현장관리자 면담을 통해 조사한 결과 조사항목 중 '발생원인', '관리주체', '반출방식', '집적형태'가 폐기물 발생을 유발시키는 주요 요인으로 파악되었다. 첫째, '발생원인'은 그 특성별로 필수적 발생, 공법상 발생, 자재특성상 발생, 현장관리상 발생으로 구분된다. 이 중 현장관리상 발생하는 폐기물은 현장의 폐기물 관리시스템이 향상될 경우 저감될 가능성이 있지만 나머지 세 가지 발생특성은 설계과정, 건설자재 제조업체, 공법 측면 등에서 다양하게 고려되어야 하므로 현장 내에서 관리하는 데 한계가 있고, 그로 인해 다량의 폐기물이 발생한다는 의견이었다. 둘째, '관리주체'는 하도급 작업자와 원도급 관리자 간에 이원화되어 폐기물 발생에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 공통적인 폐기물 관리 의식을 함양하기 위해서는 폐기물관리시스템이 구축되어야 하고, 그에 따른 작업자 교육이 수반되어야 하지만, 이에 대한 관심이 다른 관리업무에 비해 상대적으로 낮아서 일원화된 폐기물 관리가 어렵다는 의견이었다. 마지막으로, '반출방식'과 '집적형태'의 경우 건설업체와 수거업체에 이익이 되는 소수 자재는 분리 집적 및 별도 반출되어 재활용 가능성을 높이지만, 나머지 대부분의 자재는 혼합 직접 및 일괄 반출되어 재활용 가능성이 낮다는 의견이었다.

6. 결론

본 연구는 효과적인 폐기물 관리시스템 구축을 위한 선행 작업으로써 고층 공동주택단지에서 중점을 둔 건설폐기물 발생패턴과 발생 유발 요인 도출을 목적으로 하였다. 사례조사를 통해 초고층 공동주택단지 시공단계에서 발생하는 폐기물의 발생패턴을 조사하였고, 세부 조사항목으로서 폐기물 발생으로 인한 손실액, 주요 자재 폐기물 발생량, 발생위치, 관리주체, 발생원인, 재활용폐기물, 집적형태, 반출방식이 조사되었다. 조사 결과 폐기물 발생으로 인한 손실액은 건축공사, 철근콘크리트공종이 가장 크게 나타났고, 자재 역시 철근콘크리트공종에 투입되는 자재의 손실액이 크게 나타나는 경향을 보였다. 주요 자재 폐기물 발생량은 현장 간 작업방식과 관리방식이 다르기 때문에 사례 간에 약간의 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 또한, 발생위치, 관리주체, 발생원인, 재활용폐기물, 집적형태, 반출방식 항목에 대해서는 사례조사 현장 모두 유사한 발생패턴을 보이는 것으로 조사되었으며, 그 원인은 공동주택단지 건설공사의 경우 적용되

는 건설공법, 작업공종, 작업절차가 유사할 뿐만 아니라 투입자재의 종류도 거의 유사하기 때문에 폐기물 발생패턴도 유사하게 나타나는 것으로 분석되었다. 마지막으로, 현장관리자 면담을 통해 건설폐기물 발생 유발 요인을 조사한 결과 폐기물 발생패턴 조사항목 중 발생원인, 관리주체, 반출방식, 집적형태가 폐기물 발생에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구는 연구범위에서 언급한 바와 같이 '고층 공동주택단지 시공단계'를 초점으로 2개의 대형 공동주택단지에 대한 case study를 통해 폐기물 발생패턴과 발생요인을 분석하였으므로 이 연구결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 좀 더 일반화된 발생패턴과 발생요인을 분석하기 위해서는 건설폐기물에 대한 실질적이고 구체적인 자료를 얻을 수 있는 통계적 기반이 구축되어야 하고, 이를 위한 향후 연구가 절실하다. 좀 더 구체적인 자료를 바탕으로 공사 특성별로 일반화된 폐기물 발생패턴과 발생요인이 파악 가능할 것이고, 저감 방안으로서 보다 효과적인 건설폐기물 관리시스템이 구축될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 구해식, 허길양, 건설공사 폐기물의 감량화와 재활용에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 21권 1호, 2001.4
2. 송태협, 이세현, 건설폐기물의 재활용 촉진방안 도출을 위한 실태조사 연구, 대한건축학회논문집 22권 1호, 2002.4
3. 신동우, 윤종일, 건축공정과 연계한 현장폐기물 발생패턴 조사연구, 대한건축학회논문집 16권 6호, 2000.6
4. 양극영, 윤여완, 이형택, 유현주, 김용준, 건설현장에서 발생하는 폐기물의 처리실태 파악에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 19권 2호, 1999.10
5. 유일한, 김윤주, 신동우, 건축공사현장의 혼합폐기물 발생원인분석에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 15권 2호, 1999.2
6. 이종일, 신승상, 건설공사현장에서 발생하는 건설폐기물의 관리 및 처리에 관한 조사연구, 대한건축학회 논문집 14권 3호, 1998.3
7. 임정수, 박선규, 김상규, 이도현, 김무한, 아파트 건설현장의 폐기물 발생 및 처리에 대한 연구, 대한건축학회논문집 18권 1호, 1998.4
8. 조균형, 배은배, 건축폐기물의 재활용을 고려한 철골 및 철근콘크리트 구조체의 전과정 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 16권 9호, 2000.9
9. 건설교통부, 2004년도 건축허가면적, 2005 (<http://www.moct.go.kr>)

10. 환경부, 2003 전국폐기물 발생 및 처리현황, 2004
11. 기후변화협약대책위원회, 기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서, 2003
12. 대한건설협회, 건설통계연보, 2003
13. 대한주택공사 주택연구소, 건설폐기물의 처리 및 재활용방안 연구, 1997
14. DTI(Department of Trade and Industry), UK., Site Waste Management Plans, 2004
(<http://www.dti.gov.uk/DTI/Pub7361/0.5k/06/04/NP.URN04/595>)
15. SCN(Sustainable Communities Network), US., Construction Waste Management Handbook, 2000
(<http://www.sustainable.org>)
16. Bossink B.A.G., Brouwers H.J.H., Construction Waste: Quantification and Source Evaluation, Journal of Construction Engineering and Management, 122, No.1, 1996, pp. 55-60

논문제출일: 2006.02.23

심사완료일: 2006.06.15

Abstract

In order to respond to interest and regulations in sustainable environment which is increasing, construction industry needs to establish a sustainable production system. When generation of wastes can be diminished and recycling of them raised in the construction site as a part of a sustainable production system, it might contribute to not only establishing a sustainable production system but also gaining economical profit. This study is a preliminary research for establishing a sustainable production system, which aims to identify construction waste generation patterns and factors causing construction waste generation. Case studies were implemented to investigate these patterns and factors.

Keywords : Sustainable Construction, Construction Waste, Waste Generation Pattern, Factors causing Waste Generation