

第 96 回 碩士學位論文

指導教授 李 彥 求

建築物 廢棄段階에서 에너지消費量과
이산화탄소 發生量에 관한 基礎 研究

The Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide
Generation during the Building Demolition Process

中央大學校 大學院

建築學科 建築環境 및 計劃 專攻

李 泓 錫

2001年 12月

建築物 廢棄段階에서 에너지消費量과
이산화탄소 發生量에 관한 基礎 研究

The Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide
Generation during the Building Demolition Process

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2001年 12月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 計劃 專攻
李 泓 錫

李 泓 錫의 碩士學位 論文을 認定함.

審査 委員長 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 計劃 專攻
李 泓 錫
2001年 12月

< 목 차 >

제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	2
제 2 장 이론 고찰	4
2.1 건축물의 전과정평가 (LCA : Life Cycle Assesment)	4
2.1.1 전과정평가의 개념	4
2.1.2 전과정평가(LCA) 방법론	5
2.2 국내 건설폐자재 현황	8
2.2.1 건설폐자재의 정의	8
2.2.2 국내 건설폐자재 발생현황 및 향후예측	8
2.2.3 해체공법	10
2.3 건축물 폐기단계 평가에 관한 국내·외 문헌 연구	13
2.3.1 일본	13
2.3.2 미국 / 캐나다	14
2.3.3 국내	14
제 3 장 건축물 폐기단계의 에너지소비량 및 환경비용 산정을 위한 데이터베이스 구축	16
3.1 폐기단계의 세분화	16
3.2. 폐기단계별 에너지소비량 데이터 수집 방안	18
3.2.1 폐기단계별 에너지소비량 계산을 위한 기준설정	18
3.2.2 폐기단계별 에너지소비량 산정방안	20
3.2.3 폐기단계 소비에너지원의 CO ₂ 발생량 산정방안	21
3.2.4 폐기단계 소비에너지원의 환경비용 산정방안	23
3.3 폐기단계 각 프로세스별 데이터 구축	29
3.3.1 건설폐자재 발생량	29

3.3.2 폐기단계별 에너지소비량 및 CO ₂ 발생량	30
3.3.3 폐기단계별 에너지소비량에 따른 환경비용	35
3.4 국내 기존 데이터와 비교 및 분석	37
3.5 소 결	39
제 4 장 사례연구	40
4.1 대상 공동주택의 폐기단계별 에너지소비량 및 CO ₂ 발생량	40
4.1.1 대상 공동주택의 개요	40
4.1.2 대상 공동주택 폐기단계의 에너지소비량 및 CO ₂ 발생량 계산	42
4.2 재활용 건자재(골재)의 환경친화성·경제성 평가	44
4.2.1 사용 골재별 생산에너지 및 환경비용	45
4.2.2 사용 골재별 생산비용	47
4.2.3 재생골재 활용으로 인한 경제성 분석 및 환경친화성	48
4.3 소 결	51
제 5 장 결 론	53
<참 고 문 헌>	56
<ABSTRACT>	
<감사의 글>	

<표목차>

<표 2.1> 전과정평가 방법론의 장·단점	7
<표 2.2> 건설폐자재 발생현황	8
<표 2.3> 국내 폐콘크리트 발생예측량	9
<표 3.1> 중간처리업체수 현황	19
<표 3.2> 건축물 폐기단계별 에너지소비량 기준 설정	19
<표 3.3> 각 에너지원별 CO ₂ 발생량	22
<표 3.4> 전력생산량과(1997)과 탄소배출 에너지원의 발열량	23
<표 3.5> 전력의 탄소배출량	23
<표 3.6> 석유환산기준표(IPCC,1993)	25
<표 3.7> 에너지원별 탄소배출계수(IPCC,1993)	26
<표 3.8> 에너지원별 환경비용(지구온난화비용)의 사회적 비용	27
<표 3.9> 건설폐자재 발생 예측량 (공동주택 기준)	29
<표 3.10> 단위 면적당 건설폐자재 발생 예측량 (공동주택기준)	30
<표 3.11> 기계식 공법에 투입되는 장비들의 에너지 소비량	30
<표 3.12> 해체시 에너지소비량 및 CO ₂ 발생량	31
<표 3.13> 중간처리시 에너지 소비량	32
<표 3.14> 중간처리시 CO ₂ 발생량	33
<표 3.15> 매립량과 에너지사용량	34
<표 3.16> 매립시 CO ₂ 발생량	34
<표 3.17> 운송시 에너지소비량 및 CO ₂ 발생량	35
<표 3.18> 단계별 에너지소비량에 따른 환경비용	36
<표 3.19> 국내 기존 폐기단계 에너지 소비량 데이터 (주공)	37
<표 3.20> 본 연구와 주공 데이터의 비교	38
<표 3.21> 본 연구와 주공 데이터의 비교결과	38
<표 3.22> 건축물 폐기단계 에너지소비량, CO ₂ 발생량 및 환경비용	39
<표 4.1> 대상 공동주택의 개요	40
<표 4.2> 대상 공동주택의 건설폐자재 발생량	42
<표 4.3> 대상 공동주택 폐기단계별 에너지소비량 및 CO ₂ 발생량	42
<표 4.4> 대상 공동주택 폐기시 환경비용	43
<표 4.5> 중간처리 재생골재 총생산에너지, CO ₂ 발생량 및 환경비용	45
<표 4.6> 현장처리 재생골재 총생산에너지, CO ₂ 발생량 및 환경비용	46
<표 4.7> 신규골재 총생산에너지, CO ₂ 발생량 및 환경비용	46

<표 4.8> 환경비용을 고려한 골재별 총비용	47
<표 4.9> 혼합비율에 따른 혼합골재 총비용	48
<표 4.10> 국내 폐콘크리트 발생예측량 및 재생골재 예상생산량	48
<표 4.11> 연도별 예상 절감액	49

<그림목차>

(그림 1.1) 연구 흐름도	3
(그림 2.1) 건축물의 전과정 평가 범위	4
(그림 2.2) 건설폐자재별 발생현황 비교	9
(그림 2.3) 건축부재 재활용 에너지 소비량 계산 (일본)	13
(그림 3.1) 건축물 폐기단계의 세분화	17
(그림 3.2) 건축물 폐기단계의 에너지소비량 데이터 계산 방법	20
(그림 3.3) 해체시 에너지소비량 계산과정	21
(그림 3.4) 매립 및 중간처리시 에너지소비량 계산 과정	21
(그림 3.5) 건설폐자재 단위 면적당 발생 예측량 <공동주택기준>	30
(그림 3.6) 중간처리 흐름도	32
(그림 3.7) 중간처리시 업체별 소비에너지 현황	33
(그림 3.8) 건축물폐기단계의 순환 프로세스	39
(그림 4.1) 대상 공동주택의 중간처리장, 매립지, 현장간의 위치	41
(그림 4.2) 대상 공동주택 평면도	41
(그림 4.3) 대상 공동주택 폐기단계별 CO ₂ 발생량	43
(그림 4.4) 대상 공동주택 폐기프로세스별 환경비용 비교	44
(그림 4.5) 재생골재 발생량 및 절감액	49

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1992년 기후변화협약과 1997년 교토의정서로 인해 각 국의 산업정책은 많은 변화를 가져오고 있다. 이에 따라 미국과 유럽연합을 중심으로 건축물의 에너지사용을 지구환경오염의 주요 원인으로 규명하고 건축물에너지절약의 문제를 Green Round의 일환으로 추진하려는 움직임을 보이고 있다. 건축물이 국가 에너지소비의 1/3이상을 차지하는 가장 중요한 에너지사용 분야의 하나이면서도 산업 및 교통분야에서처럼 효율적인 에너지 절약이 이루어지지 않는 문제점을 지니고 있다. 그 중 건축활동이 얼마나 환경에 영향을 주는가는 아직 연구가 더욱 미비하다. 우리나라도 그린빌딩인증제와 에너지 효율 등급제 등 건축물의 에너지절약 정책이 이제 실시되고 있는 단계에서 이러한 정책들이 좀 더 나은 효과를 갖기 위해서는 우리나라 상황에 맞는 건축물 전과정에 대하여 에너지 소비량, CO₂ 발생량, 환경비용 등에 관한 기본 데이터베이스가 구축이 되어야 할 것이다.

현재 건축물 전생애과정의 에너지 소비량에 대한 데이터 베이스화 작업이 진행 중에 있지만, 상대적으로 적은 에너지 소비량을 갖고 있는 폐기단계의 연구는 미비한 실정이다. 그러나 건축물의 전생애평가, 건설폐자재의 재활용 측면과 생태계보존의 중요성 등을 본다면 결코, 폐기단계의 중요성은 무시될 수 없다. 단순한 경제논리로서의 중요도보다는 장기적인 안목으로서 건축물의 폐기단계를 평가하여야 할 것이며, 지속가능한 건축을 위해서는 건축물의 생산, 시공, 사용단계와 더불어 폐기단계에 대한 관심과 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

따라서, 본 연구는 현재 재건축 요구가 높아져 가는 공동주택을 대상으로 건축물의 전생애과정 중 폐기단계에서 LCA와 재건축계획에서 활용 될 수 있는 에너지 소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용에 관한 기초 데이터와, 이를 활용한 사례연구를

실시한다. 이를 통하여 폐기단계에서 재활용 가능한 건축자재의 경제성 및 환경친화성을 평가한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 건축물의 전생애과정 중 폐기단계에서 LCA와 재건축계획에서 활용될 수 있는 에너지소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용을 개별적산법을 이용하여 수집하고 이를 LCA, 재활용 및 재건축과정에서 이용할 수 있는 기초 데이터를 제공하고자 한다. 또한 사례연구를 통하여 기초 데이터의 활용 방안을 제시하였다.

본 연구의 방법 및 범위를 요약하면 다음과 같다.

1. 문헌조사

- (1) LCA 평가시 사용되는 평가방법을 조사한다.
- (2) 현재 국내에서 사용되고 있는 해체공법 및 건설폐자재의 현황을 조사한다.
- (3) 국내·외 문헌을 조사하여 폐기단계 평가에 관한 동향을 파악한다.

2. 공동주택의 폐기단계 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용 데이터 수집방안 마련

- (1) 건축물 전생애과정 중 건축물 폐기단계를 세분화하고 개념을 재인식한다.
- (2) 폐기단계별 에너지소비량 데이터 수집방안을 마련한다.

⇒ 에너지소비량 데이터는 개별적산법을 이용하여 수집하였으며, 여기서 각 폐기단계별 CO₂ 발생량, 환경비용을 산출한다.

- (3) 수립된 방안을 통하여 폐기단계 데이터를 구축한다.

⇒ 데이터의 활용범위는 수도권 (서울, 경기, 인천)지역으로 한다.

- (4) 본 연구를 통하여 산출한 데이터를 기존의 데이터와 비교한다.

⇒ 비교시 사용되는 데이터는 주공 데이터로 한다.

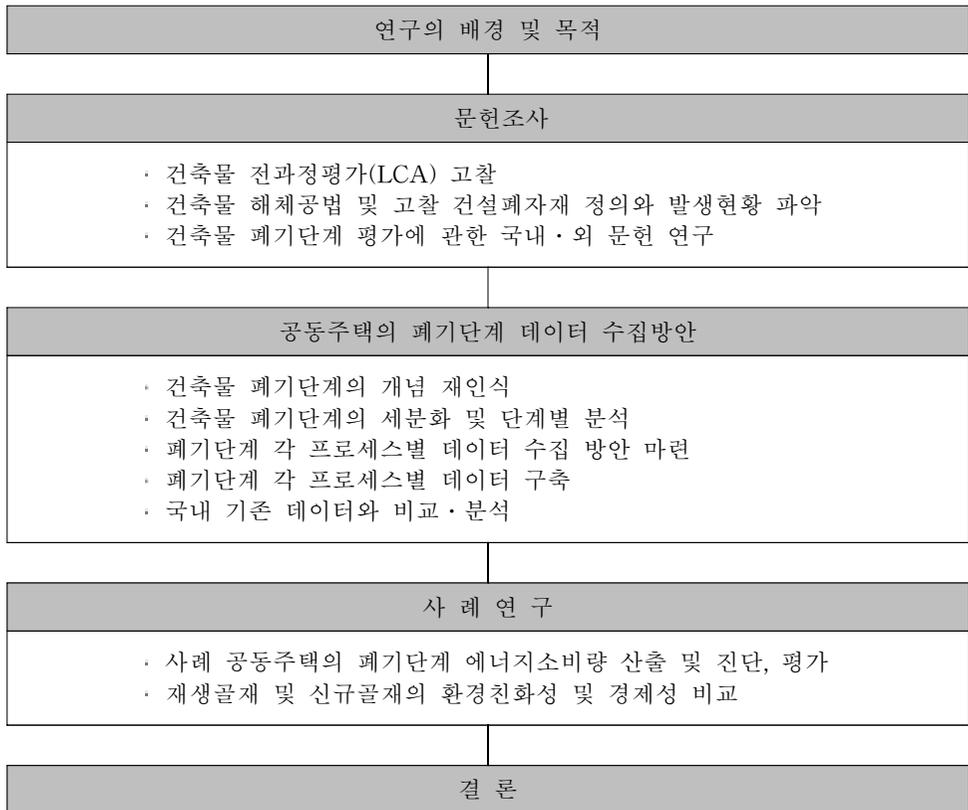
3. 사례연구를 통한 폐기단계 데이터 활용

(1) 재건축을 위해 실제 폐기를 준비중인 수도권 지역의 공동주택을 대상으로 본 연구의 데이터를 활용하여 폐기단계를 단계별 진단, 평가한다

(2) 재생골재 적용성을 고찰하고 신규골재와 비교한다.

⇒ 건축물 폐기단계에서 재활용되는 재생골재의 경제성, 환경친화성을 정량적으로 분석·평가한다.

다음 (그림 1.1)은 본 연구의 흐름을 보여준다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

제 2 장 이론 고찰

본 장에서는 공동주택 폐기단계 평가를 위한 이론 고찰로 건축물 폐기단계에 관한 건축물의 LCA 평가방법, 국내·외 문헌 연구, 국내 건설 폐자재 발생현황 및 건축물 해체 공법에 대해서 조사하였다.

2.1 건축물의 전과정평가 (LCA : Life Cycle Assesment)

2.1.1 전과정평가의 개념

전과정 평가란 제품 또는 제품의 제조과정 자체가 소모하는 자원이나 발생시키는 오염, 그리고 제품의 전과정에 걸쳐 소모된 자원과 발생된 오염이 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법이다¹⁾. 건축물에서 전과정평가는 (그림 2.1)과 같이 건축 자재의 생산, 건축물의 시공, 건축물의 사용(유지보수), 폐기단계에 이르는 4단계의 전과정에 걸쳐 이루어진다.



(그림 2.1) 건축물의 전과정 평가 범위

1) “공동주택의 생애총에너지 소비량 산정에 관한 연구(1)”, 대한주택공사 부설주택연구소, 1998, p.16

LCA에 대한 정의는 국제표준화위원회(ISO/TC 207/SC5), 미국 환경청(U.S EPA), 세계 대기업 등에서 다양하게 이루어지고 있으며, 이를 종합해보면 제품, 재료, 공정 및 각종 경제·산업·서비스활동, 정책들이 에너지·자원소비 및 환경에 미치는 각종 부하를 전과정에 걸쳐 가능한 정량적으로 분석·평가하여 현재 인류가 직면하고 있는 자원의 고갈 및 생태계 파괴현상, 지구환경문제 등을 근본적으로 해결하기 위한 각종 개선방안을 모색하는 기술적·체계적 과정(Technical & Process)이라고 할 수 있다²⁾.

2.1.2 전과정평가(LCA) 방법론³⁾

전과정평가(LCA) 방법은 다음과 같이 크게 개별적산방법, 산업연관분석법 그리고 혼합방법의 세 가지로 나눌 수 있다. 이들은 목록분석단계에서 시스템으로의 투입·산출데이터의 수집방법 등에서 차이점을 보인다.

(1) 개별적산법(Process Analysis)

개별적산방식은 제품이 시스템을 설계도서와 견적서 등으로부터 제조공정·소재 등으로 구분하여 각각의 제품이 어떻게 제조되어 폐기되는지를 제품마다 조사해나가는 방법으로 주로 제품의 LCA에 이용되며, 이를 위해 해외에서는 원단위 정보 등의 축적이 진행되고 있다⁴⁾. 누적방식을 이용하여 에너지 소비량 및 이산화탄소의 발생량을 정량화한 일본의 (社)建築業協會에서 수행한 연구에서는 건축활동의 각 단계마다 에너지 소비량 및 이산화탄소의 발생량을 계속적으로 누적하는 방식을 이용하여 건설분야의 에너지 소비량, 이산화탄소발생량을 계산하였고 모델건축물에서의 고정자본 형성에 따른 에너지 소비량 및 이산화탄소의 발생량을 계산하였다. 개별적산방식은 필요에 따라 상세한 부문구분이 가능하고 이산화탄소의 발생의 실체와 원인의 검토가 명확하며 생산, 시공, 사용 및 폐기에 따른 여러 환경부하 대책의 정량적 검토와 평가가 가능하다.

2) 김선희, "LCA(Life Cycle Assessment)의 이론적 접근", 전과정 분석(LCA)을 위한 전문가 양성교육, 한국생산성본부, 1994, pp 2~3

3) 건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 계산에 관한 연구, 한국과학재단, 2002, pp. 21-22

4) 서성원, "住居用 建築物의 全過程에 따른 CO₂ 排出量 評價 및 電算體系 構" 중앙대학교 박사학위논문, 1998 pp.21~22

(2) 산업연관방식 (Input-Output Analysis)

한 나라의 국민경제는 각 산업에서 생산된 재화 및 서비스가 다른 산업의 생산을 위한 원재료로 투입됨으로써 산업들이 간·직접으로 서로 밀접한 연관관계를 맺고 있다. 이러한 산업간의 상호 연관관계를 수량적으로 파악하고자 하는 분석방법이 산업연관분석(Interindustry analysis 또는 투입산출분석 (Input-output analysis))이다⁵⁾. 약 405개 항목에 걸친 산업연관표를 사용하여 부문간의 금액기준으로 특정 제품 제조시 직·간접으로 관계되는 에너지와 부하를 계산하는 것으로 거시적인 수준에서 분석할 수 있는 특징이 있다⁶⁾.

이 방식의 장점은 생산활동 등에 따라 직접적인 에너지 소비량 및 환경 부하량과 함께 간접적으로 소비되는 에너지 및 배출되는 환경부하량을 빠짐없이 산출 할 수 있기 때문에 환경부하를 종합적으로 도출할 수 있고, 결과 또한 객관적이라는 점 때문에 개별적산방식의 결점을 보완할 수 있다. 하지만 산업연관표 작성 시 산업구조와 생산활동이 단순화·평균화 되어있기 때문에 각각의 제품과 기술분석에는 불충분한 점이 있다.

(3) 혼합방식(Integrated Correlation Analysis)

이 방식은 상세한 부문구분이 가능하고 데이터의 범위가 포괄적이라는 장점이 있는 반면에 작업량이 너무 방대하고 선정된 프로세스의 목록이 어떤 특정조건하의 값이기 때문에 객관성이 결핍될 수 있다는 단점을 갖고 있다. 하지만 산업연관방식을 확장시킨 에너지투입산출방식과 개별적산방식을 조합시킨 새로운 혼합방식이 최근에 가장 일반적인 방안으로 적용되어 이용되고 있다.

<표 2.1>은 전과정 평가 방법론 중 가장 많이 사용되고 있는 산업연관방식과 개별적산방식의 장·단점을 비교한 것이다.

5) 1993년 산업연관표(연장표), 한국은행, 1996, p.11

6) “공동주택의 생애총에너지 소비량 산정에 관한 연구(1)”, p.17

<표 2.1> 전과정평가 방법론의 장·단점

	산업연관방식	개별적산방식
장점	· 분석범위의 확대 가능	· 각 조사대상의 공정분석이 가능하다.
	· 분석과 계산시간이 개별적산 방식에 비해 상당히 줄어듦.	· 각 제품의 기술적 분석이 가능
	· 분석과정의 재현성이 높음	· 신기술/재활용등 산업연관표에 누락된 항목에 대한 평가가 가능
	· 분석노력이 절약	
	· 개별적산법에 비해 종합적인 분석이 가능	
단점	· 산업구조와 생산활동이 단순화·평균화됨	· 시간·인력·비용의 투입이 광범위하다.
	· 각 제품의 기술적 분석에는 불충분함	· 수집데이터의 범위가 광범위할 경우 설정해야할 가정들이 많은데 이는 데이터의 신뢰도에 영향을 줄 수 있다.
	· 신기술/재활용 등의 산업연관표에 누락된 항목은 분석이 불가능함	· 광범위한 데이터 분석의 불가능.
	· 에너지통계자료와 산업연관표상의 산업분류의 불일치	

2.2 국내 건설폐자재 현황

건축물의 전생애과정 중 폐기단계에서 발생하는 건설폐자재의 현황과 처리현황을 전반적으로 살펴본 후, 국내에서 주로 사용되는 해체공법에 대하여 조사하였다.

2.2.1 건설폐자재의 정의

환경부고시.⁷⁾ “건설폐자재 배출사업장의 재활용지침”을 보면 건설폐자재라 함은 건축·토목공사 등 건설공사와 시설물철거 등에서 발생하는 토사·콘크리트·아스팔트콘크리트·벽돌 및 건축 폐목재를 말한다

따라서 본 연구에서는 건설폐기물을 환경부고시의 건설폐자재(이하 “건설폐자재”)의 의미로 해석하며 사용한다.

2.2.2 국내 건설폐자재 발생현황 및 향후예측

국내의 건설폐자재별 발생현황을 살펴보면 <표 2.2>와 (그림 2.2)와 같이 콘크리트 63%, 아스팔트 15%, 토사 8%순으로 나타났으며, 이중 콘크리트가 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

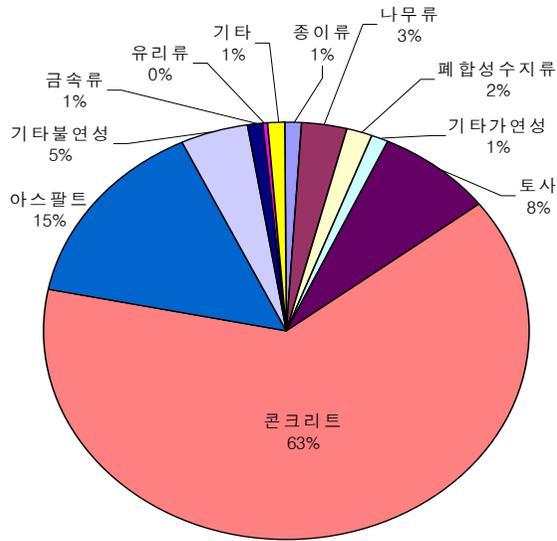
<표 2.2> 건설폐자재 발생현황

(단위 : 톤/일)

구분 연도	합계	건설폐기물					금속류	유리류	기타
		계	토사	콘크리트	아스팔트	기타			
1996	25,434	23,577	3,954	14,981	3,398	1,244	1,170	192	495
1997	43,985	42,320	6,990	25,469	7,489	2,372	719	159	787
1998	44,545	42,445	4,881	28,165	7,867	1,532	818	127	1,155
1999	57,796	56,212	4,727	39,819	9,317	2,849	661	174	749

주) 환경부 99' 전국 폐기물 발생현황

7) “건설 폐자재 배출사업장의 재활용 지침”, 환경부고시, 1999,



(그림 2.2) 건설폐자재별 발생현황 비교

주택공사에서 2009년까지 폐콘크리트 예상발생량⁸⁾은 다음의 <표 2.3>과 같이 꾸준히 증가할 것으로 예측되고 있다.

<표 2.3> 국내 폐콘크리트 발생예측량

년도	폐콘크리트 발생예측량	
	[천m ³]	[천ton]
2001	3,960	2475
2003	4,707	2942
2005	5,333	3334
2007	5,697	3561
2009	5,826	3642

8) “건물폐기물 처리 및 재활용방안 연구(1)”, 대한주택공사 주택연구소, 1997, p.75

2.2.3 해체공법

1990년대 이전만 해도 해체공사는 건설공사의 작은 일부로 인식되어 그 중요성이 크게 부각되지 못하였다. 신축공사와 연계될 경우 건축물 해체에 소요되는 공사비 자체가 무시되는 경우가 대부분 이었고, 장비 또한 낙후되어 소형장비나 인력위주의 구조물 해체가 주종을 이루었다. 그러나 1960~70년대에 경제개발 초기에 우후죽순으로 대량 건설되었던 건축물(대부분이 콘크리트 구조물)의 노후화와 이에 따른 구조물의 경제적인 가치 상실로 인하여 해체의 필요성이 점차 부가되고 있다.⁹⁾

원시적인 해체방법에서 압쇄기의 도입으로 비약적인 발전을 이루었으며, 도입당시에 획기적인 장비였던 압쇄기가 현재는 가장 일반적인 장비로 적용되고 있다. 브레이크에 인한 소음, 진동에 대한 규제에 의한 다이아몬드 와이어 쏘오, 워터젯 등의 첨단장비가 도입되고 있지만, 작업의 효율성에 비해 장비의 구입과 사용에 있어서 고가이고, 사용방법에 있어 간단치 않다는 문제가 있다.

현재 우리나라에서 해체업을 하기 위해서는 비계구조물 철거업을 등록하여야 한다. 대부분 영세하청업체에서 공사가 이루어지며, 때문에 공동주택 해체일 경우 타공법에 비해 공사비가 적은 기계식 공법 즉, 브레이크 (Breaker), 크러셔 (Crusher), 백호 (Back-hoe)를 이용하여 해체하는 공법이 사용된다. 과거에는 스틸볼이나 브레이크에 의한 방법이 가장 많이 이용되었으나 크러셔와 비교시 소음과 분진의 발생이 크며 작업능률도 작아 현재 포크레인에 크러셔를 부착하여 건축물을 파쇄하는 방법을 주로 이용하고 있다.¹⁰⁾

현재 국내에서 재건축이나 재개발을 위해 공동주택에 실행되고 있는 해체방법들과 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

① 압쇄식 해체공법(crush method)

콘크리트 및 벽돌건축물을 해체할 때 쓰이는 가장 일반화되어 있는 공법이 압쇄식 해체공법이며, 1일 철거구조물에 따라 차이는 있으나 80m³~150m³ 정도의 해체가 가능하다.¹¹⁾

9) "구조물의 해체 공법에 관한 연구(1)", 대한주택공사 주택연구소, 1996, pp .1-4

10) "건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구", p.93

② 발파식 해체공법(demolition method)

구조물의 해체 공사는 90년대 이후 폭발적으로 증가하여 건설업 부문에서 벤처 산업으로 채택되었고, 점차 철거대상이 대형화, 고층화되어가면서 이들 구조물을 경제적이고 안전하며 신속하게 철거할 수 있는 발파해체공법도 점차 증가하고 있는 추세에 있다. 고층빌딩이나 공동주택 등 기존의 압쇄기 공법이 불가능하거나 철거대상 구조물에 균열이 심하여 기존의 압쇄기 공법으로 철거할 때 붕괴 및 함몰위험이 있어 인명피해가 우려되거나 해체구조물이 점차 기울어져 불안전할 때 발파공법이 안전하게 구조물을 해체할 수 있다.

③ 다이아몬드 와이어 쏘오 공법(diamond wire saw method)

다이아몬드 와이어 쏘오 공법은 영국에서 개발하여 채석장의 석재절단용으로 개발되었으나, 미국의 G.E(General Electronic)사가 해체 공사용으로 개조하여 지금은 일본 등 선진국에서도 이를 모방하여 새로운 장비들이 상품화되면서 국내에서도 1990년대 들어서 도입하여 도심지의 고가도로, 육교, 교량, 차량들이 분비는 고속도로 구조물에 영향을 주지 않고 해체해야하는 지하철 구조물 등 그 범위가 광범위하고 특히 무진동, 무소음, 무분진의 첨단공법이다.

④ 핸드 브레이커

좁은 장소, 국소파쇄에 유리하며 위험성이 적다. 또한 이동이 용이하여 다목적으로 사용 가능하나 인건비 부담이 크다.

⑤ 전도 공법

해체효과가 크나 역전도 및 돌발 전도 방지에 유의해야 하며 충격진동방지 완충재 설치해야 한다.

⑥ 강구(steel ball)

크레인의 선단에 매달아 수직, 수평 강구로 타격하는 공법으로, 작업능률이 좋으며 해체비용이 저렴하다. 그러나 소음진동이 크고 구조물의 붕괴를 예측하기 어렵다.

⑦ 대형 브레이커

굴삭기를 이용한 정의 타격으로 작업능률이 좋으며 기동성이 좋아 단독으로 할

11) “해체공사의 설계 및 전적기준 정립 연구”, 대한주택공사 부설주택연구소, 2000, p.7

수 있다. 작은 부재로 소할이 가능하며, 지하구조물 철거시 유리하다. 그러나 방음, 방진시설이 필요하며 소음도가 높고 분진이 비교적 많이 발생한다.

⑧ 절단기

다이어몬드날에 의한 연삭 작업으로 구조물에 영향을 주지 않고 절단 가능하나, 절단 깊이가 제한되어 있어 기둥, 보 절단이 곤란하다.

⑨ 워터제트

연마제와 물이 혼합하여 분사력에 의한 절단으로 수중에서도 절단할 수 있고 협소한 장소에서도 시공이 가능하나 물의 비수 처리가 필요하다.

2.3 건축물 폐기단계 평가에 관한 국내·외 문헌 연구

2.3.1 일본

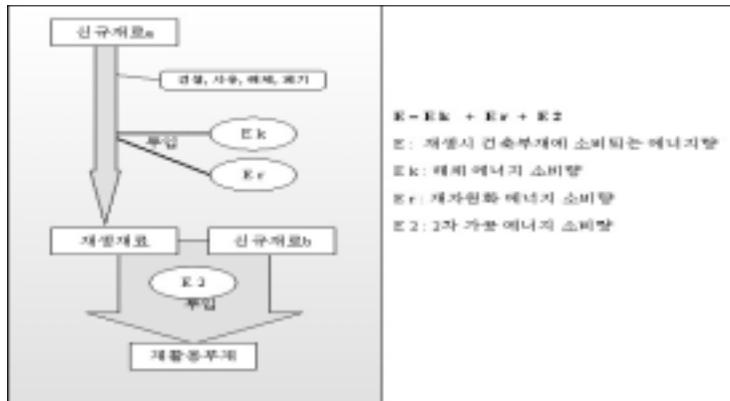
건축물 해체에너지와 재활용 자재생산 에너지에 관한 내용의 일본 건축학회의 재활용 관련 논문¹²⁾에서는 건축부재재활용 에너지 계산시 건축물폐기단계의 에너지가 이용되고 있다. 여기서, 건축물폐기에너지로 건축물해체에너지가 이용되고 있음을 알 수 있으며, 따라서 건축물폐기에너지라 함은 건축물해체에너지라는 의미로 해석될 수 있다.

위 연구에서는 (그림 2.3)과 같이 에너지 소비량이 투입되며, 재생(중간처리)의 에너지 소비량의 계산은 산업연관표에 의해 강(전기로)제조시 공정을 이용하여 식 (2.1)과 같이 구한다.

$$Er = \sum 3.6 \frac{Q}{P} (Mj/kg) \text{ ----- (2.1)}$$

Q : 기계(설비)의 출력 (kWh)

P : 기계(설비)의 처리능력 (kg)



(그림 2.3) 건축부재 재활용 에너지 소비량 계산 (일본)

12) Tosino. OJIMA, "住宅解體材の再生エネルギー—消費, の計算に關する研究, 日本建築學會論文集, 1999, pp.101-106,

酒井寛二(1995)의 연구에서도 건축자재 재자원화에 관한 연구에서 건축물 폐기 시 에너지소비에 관한 언급이 있으나, 해체시 장비들의 유류 소비에너지에 대해서만 계산이 되어 있다.

2.3.2 미국 / 캐나다

미국과 캐나다에서는 건축물폐기에너지는 곧 해체에너지의 개념으로 인식되어 있다. 미국 「ACHP」¹³⁾ (1979)의 연구와 캐나다의 「Forintek¹⁴⁾ (1994)」에서는 건축물의 단위 연면적당(m²) 목조건축물의 해체시 27.1Mj, 철근 콘크리트건축물의 해체시는 136.Mj으로 각각 명시하고 있다.

2.3.3 국내

현재까지 우리나라의 건축물의 LCA 관련 연구는 “공동주택생애비용 최소화 방안 제시”, “지구환경문제의 국제적 동향 (ISO14000 인증제도 실시와 온난화 방지 협약에 대비)”, “재건축과 리모델링 사업과의 경제성, 환경성 검토·비교” 등이 있다. 이 연구들에서는 환경부하평가를 위한 기초적 자료 및 방법론의 부재에 관한 문제를 제기하고¹⁵⁾ 있으며, 또한 건축물의 전생애평가를 함에 있어서도 폐기단계의 에너지 산출은 단지 해체시와 운반시에만 국한되었다¹⁶⁾¹⁷⁾.

“LCC 검토 의무화”와 관련한 정부제도의 해결방안 제시안의 대한주택공사연구에서도 기존 데이터들의 신뢰성을 문제삼고 있다¹⁸⁾. 또한 이 연구에서는 기존의 시공단계에서보다도 주거와 폐기단계에서의 신뢰성 있는 데이터의 필요성을 논하고 있다.

따라서 기존 문헌을 종합적으로 정리하면 다음과 같은 연구의 필요성이 있음을 알 수 있다.

13) Advisory Council on History Preservation

14) Canada's Wood Products Research Institute

15) “공동주택의 LCC 검토서 작성 및 평가지침 개발”, 대한주택공사 주택연구소, 2000, pp. 69-91

16) “공동주택의 생애총에너지 소비량 산정에 관한 연구(1)”, pp. 81-82

17) 이주현, 공동주택 재건축과 리모델링 사업의 환경성·경제성 통합평가모델, 중앙대학교 석사학위 논문, 2000, pp. 55-56

18) “공동주택의 LCC 검토서 작성 및 평가지침 개발”, pp. 1-2

1) 폐기단계 개념의 재인식

⇒ 건축물 폐기는 곧 건축물해체라는 개념에서 탈피

2) 건축물 전생애단계 중 폐기단계에서의 중요성인식

⇒ 단순한 경제논리에서 탈피한 폐기단계 평가

3) 폐기단계의 에너지소비량에 관한 연구

⇒ LCA, 재활용연구의 효과적 수행을 위한 기본 데이터 구축

제 3 장 건축물 폐기단계의 에너지소비량 및 환경 비용 산정을 위한 데이터베이스 구축

본 장에서는 2장의 이론 고찰을 바탕으로, 건축물 폐기단계의 개념을 재인식하고, 공동주택의 폐기단계 데이터 구축을 위하여 개별적산법을 이용하여 폐기단계별 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용 등의 데이터 수집 방법을 제시한다. 또한 제시된 방법을 통해 폐기단계별 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용 데이터베이스를 구축한다.

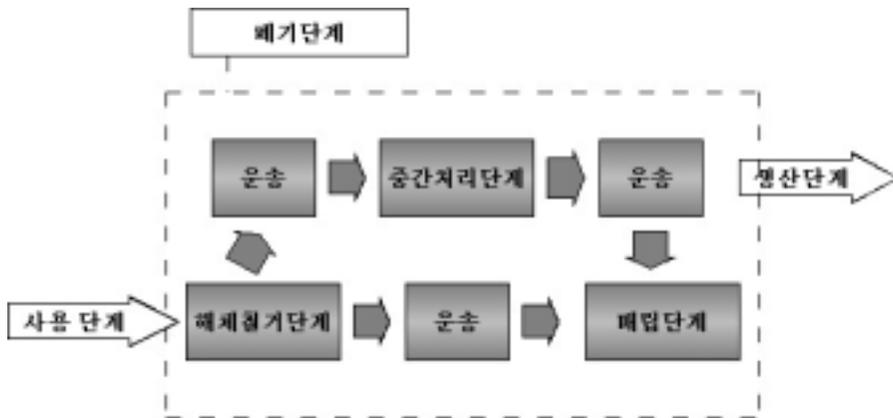
3.1 폐기단계의 세분화

본 연구에서는 건축물의 폐기단계를 건축물생애의 마지막 단계가 아닌 하나의 중간 단계로서 「건축물 해체에서 시작하여 건축물의 분해요소, 자재들이 다시 자연으로 돌아갈 때까지, 또는 다시 시공단계로 재투입되기 전까지의 과정」으로 재평가한다.

건축물을 폐기하기 위해서는 우선 건축물 구조물 해체가 이루어지고, 여기서 발생된 건설폐기물을 처리하는 과정이 뒤따른다. 건설폐기물 처리방법으로는 크게 매립, 소각, 재활용방법¹⁹⁾이 있다. 이 중 본 연구에서는 전체 발생 건설폐기물 처리부분 중 2%에 불과한 소각부분은 제외하고, 매립부분과 재활용부분에 국한하여 연구를 수행하였다. 즉, 폐기 단계를 해체, 재활용, 매립, 운송으로 건축물 폐기단계를 세분화하여, 건축물폐기는 건축물해체와 동일하다는 개념에서 탈피하였다.

(그림 3.1)은 건축물 폐기단계를 세분화하여 도식화한 것이다.

19) '99' 전국 폐기물 발생현황", 환경부, 2000, p.7



(그림 3.1) 건축물 폐기단계의 세분화

(그림 3.1)에서 보는바와 같이 폐기단계는 건축물 사용의 마지막 단계이자 생산 단계로 가는 건축물전생애과정의 순환을 의미한다. 따라서 폐기단계 중 매립을 제외한 중간처리 및 생산단계에서 발생하는 에너지소비량은 자재 재생산 과정에서 발생하는 에너지소비량이라 할 수 있다.

3.2. 폐기단계별 에너지소비량 데이터 수집 방안

3.2.1 폐기단계별 에너지소비량 계산을 위한 기준설정

본 연구에서 공동주택 폐기단계를 분석하여 중요공법 및 처리방법을 알아보고, 각 단계별 에너지소비량 계산을 위한 기준을 설정한다.

(1) 해체단계

해체단계의 데이터 계산과정에서 공동주택에 적합한 Breaker, Crusher, Back-hoe 등의 기계식 해체공법을 선택하였다. 1.0m³ 제원의 백호(back-hoe)를 기준으로 실제 사용되는 에너지량을 현장에서 직접 기계를 운전하는 근로자들의 경험과 현장공무를 담당자의 면담 자료를 토대로 조사하였다.

(2) 매립단계

매립은 전체 건설폐기물 처리방법(1999년 기준)중 17%를 차지하며, 1999년 전국 건설폐기물 매립량²⁰⁾과 수도권 매립지 관리공사(이하 “수도권 매립지”)로 반입된 건설폐기물 매립량²¹⁾을 살펴보면 서울, 경기, 인천지역을 담당하는 수도권매립지가 전국 건설폐기물 매립량 중 약 40%를 처리하고 있다.

따라서 본 연구에서 매립에서 발생하는 에너지소비량은 수도권 매립지를 선정하여 매립과정에서 소비되는 에너지량을 조사하였다.

(3) 중간처리단계

건설폐기물 중 가장 큰 비율을 갖고 있는 것이 폐콘크리트이며, 금속류를 제외하고는 대부분이 매립되거나 일부 소각되고 있다. 본 연구에서는 재활용부분에서 가장 큰 효과를 볼 수 있는 폐콘크리트를 중심으로 조사하였다. 여기서, 폐콘리트 재활용시 수행되는 분류, 파쇄, 선별작업 등 일련의 모든 작업은 “중간처리”라고 지칭한다.

20) '99' 전국 폐기물 발생현황”, p.7

21) 수도권매립지관리공사, <http://www.slc.or.kr/wastes-1.htm>, 2001.

중간처리과정은 매립과정과 연계되어 수행되는 작업과정이므로 본 장에서 선정한 수도권 매립지를 이용하고 있는 중간처리업체를 선정하여 중간처리과정의 에너지소비량을 조사, 수집하였다. 현재 전국적으로 건설폐기물중간처리업체는 약 106업체가 있으며 서울·경기지역에는 약 30여개 업체가 있는 것으로 조사되었다²²⁾.

<표 3.1>은 전국 건설 폐기물처리 공제조합에 등록되어 있는 업체 중 경기지역의 업체현황이다.

<표 3.1> 중간처리업체수 현황

전국(100%)	경기 (31.4%)			
	동부 (남양주, 가평등지)	서부 (파주, 인천등지)	남부 (화성, 용인등지)	북부 (양주군 등지)
106	12	10	9	2

주) 사단법인) 전국건설폐기물처리공제조합 자료 참조 (2001년 11월 22일 기준)

(4) 운송단계

본 연구에서는 건축물 폐기단계가 서로 유기적이므로 각 단계를 연결해주는 운송부분도 하나의 프로세스로 독립시켜 에너지소비량을 조사하였다. 운송단계에서 사용되는 운송장비는 가장 일반적인 15톤급 덤프 트럭으로 하였다.

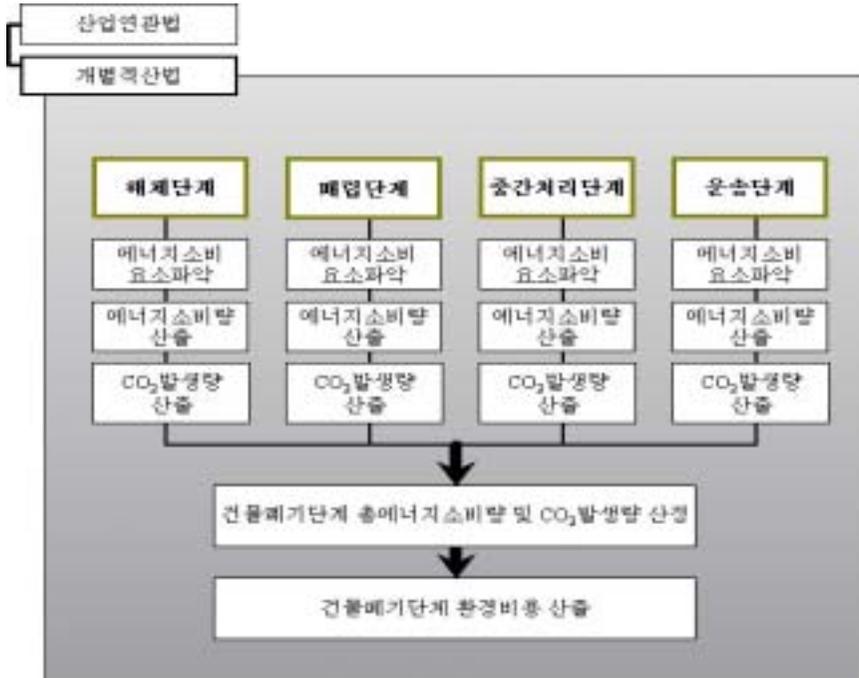
이상과 같이 건축물 폐기단계 에너지소비량 데이터 계산 기준을 정리하면 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> 건축물 폐기단계별 에너지소비량 기준 설정

구 분	폐기단계			
	해체단계	매립단계	중간처리단계	운송단계
기 준	기계식	수도권매립지	서울, 인천, 경기 지역 업체	15톤급 덤프트럭

22) 전국건설폐기물중간처리공제조합,
<http://www.conwas.com/member/member.html>, 2001.

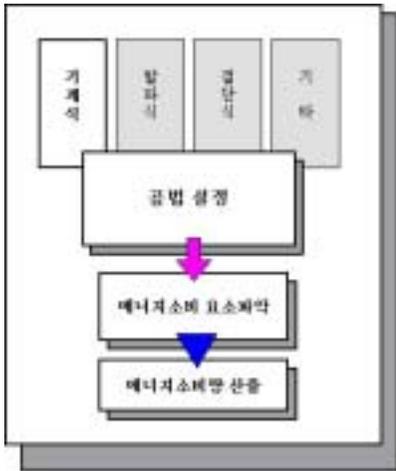
데이터 수집은 해체단계, 매립단계, 중간처리단계, 운송단계로 세분화된 각각의 폐기단계를 (그림 3.2)의 방법에 따라 개별적산법을 사용하며, 에너지소비량 및 이에 따른 CO₂발생량, 환경비용을 계산한다.



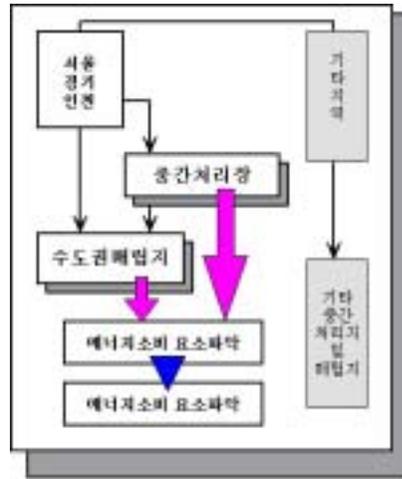
(그림 3.2) 건축물 폐기단계의 에너지소비량 데이터 계산 방법

3.2.2 폐기단계별 에너지소비량 산정방안

해체에서 소비되는 에너지량은 (그림3.3)과 같이 기계식공법을 기준으로 계산하며, 소규모의 전동기구와 계절적요인 등의 변수가 많은 노무자들의 냉난방비등은 제외한다. 매립과 중간처리과정은 (그림 3.4)와 같이 서울, 경기, 인천의 수도권 매립지를 중심으로 중간처리 업체를 선정하여 에너지소비량을 조사한다. 각 폐기단계별 에너지 소비량은 장비에 사용되는 에너지 소비량(경유, 전력)을 각 현장업체의 자료와 현장전문가들의 의견을 수렴하여 계산한다.



(그림 3.3) 해체시 에너지 소비량 계산과정



(그림 3.4) 매립 및 중간처리시 에너지소비량 계산 과정

3.2.3 폐기단계별 에너지원의 CO₂ 발생량 산정방안

본 연구에서는 CO₂ 발생량 데이터 수집범위를 화석연료의 소비에 따른 CO₂의 배출로만 한정하며, 건축산업 각 구성단계별로 조사된 소비에너지와 양에 따라서 IPCC²³⁾에서 규정한 탄소의 배출계수를 적용하여 <표 3.3>과 같이 에너지원별 CO₂ 발생량을 산출하였다. 건축물 폐기단계시 주로 사용되는 에너지원은 경유이다.

전기의 탄소배출계수는 각 국가의 전력산출방식(수력, 화력, 원자력, 풍력 등)이 현저한 차이가 있으며 아직까지 표준탄소배출계수가 정립되지 않았다. 따라서 전력생산방식에 따른 탄소배출계수는 한국전력공사의 98년 전력생산자료와 IPCC의 자료를 근거로 산출한 CO₂ 발생량으로 하였다.

23) IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change): 기후 변화에 관한 정부간 회의

<표 3.3> 각 에너지원별 CO₂ 발생량

에너지원	단위 발열량	단위	IPCC 탄소 배출계수 (kg-C/GJ)	연소율	단위 탄소 발생 량	단위 CO ₂ 발생량	단위
원유	10,000	kcal/kg	20.0	0.99	0.837	3.040	kg/kg
경유	9,200	kcal/L	20.2	0.99	0.778	2.824	kg/L
등유	8,700	kcal/L	19.6	0.99	0.714	2.592	kg/L
무연탄	4,500	kcal/kg	26.8	0.98	0.505	1.814	kg/kg
코크스	6,500	kcal/kg	29.5	0.98	0.803	2.885	kg/kg
도시가스	11,000	kcal/m ³	15.3	0.995	0.705	2.571	kg/m ³
천연가스	13,000	kcal/m ³	17.2	0.995	0.936	3.415	kg/m ³

이때, CO₂ 발생량을 계산하는데 사용되는 공식은 식 (3.1)과 같다.

$$E = UH \times 4.1868 \times CEF \times a \times (44/12) \times b \quad \text{----- (3.1)}$$

여기서,

- E : CO₂ 발생량(kg-CO₂)
- UH : 단위발열량(kcal/L, kcal/kg, kcal/m³)
- 4.1868 : 단위전환계수(kJ/kcal)
- CEF : 탄소배출계수
- a : 에너지(화석연료)사용량 (L, kg, m³)
- 44/12 : CO₂분자량 /C 분자량 (CO₂/C)
- b : 연소율

전력의 탄소배출계수를 구하기 위해, 한국전력공사의 단위 년도 전력생산당 소비연료와 각 연료별 소비량을 조사하였다. 1997년 한국의 전력생산에 사용된 에너지원의 비율은 석탄, 중유, 가스 등 화석연료가 63.2%로 상당량을 차지하고 있고, 원자력이 34.3%, 나머지 약 2.5%가 수력이 차지하고 있었다. 1997년 전력생산량과 탄소 배출 에너지원의 발열량을 <표 3.4>에 나타내었고, 이때 탄소발생량은 <표 3.5>와 같다.

<표 3.4> 전력생산량과(1997)과 탄소배출 에너지원의 발열량

	발전량 (10 ⁶ kWh)	연료 사용량	단위 발열량 (kcal/kg)	발열량 (kcal)
수력	5,403			
무연탄	4,112	2,304,699 t	4,625	10,695,232,875,000
유연탄	63,078	22,707,042 t	6,127	139,126,046,334,000
중유	36,620	8,309,444 kL	9,834	81,715,072,296,000
경유	6,323	1,517,032 kL	9,121 kcal/L	13,836,848,872,000
가스	31,823	5,376,576 kL	13,047 kcal/L	70,148,187,072,000
원자력	77,086			
소계	224,445			315,485,387,449,000

<표 3.5> 전력의 탄소 배출량

	탄소발생량 (t-CO ₂)	연소율	탄소배출계수 (kg-c/G)	발열량 (J)
무연탄	1,172,111.8	0.980	26.80	44,628,076,201,050,000
유연탄	15,298,594.3	0.980	26.80	582,496,930,791,191,000
중유	7,146,642.1	0.990	21.10	342,124,664,688,893,000
경유	1,158,526.5	0.990	20.20	57,932,118,857,289,600
가스	4,471,087.6	0.995	15.30	293,696,429,633,050,000
탄소소계	29,246,962.4			
CO ₂ 소계	107,238,862.0			

따라서, 국내 전력소비시 이산화탄소배출 원단위는 다음과 같다.

$$1,072,388,619.8 \text{ t-CO}_2 / 224,445 * 10^6 \text{ kWh} = 0.4778 \text{ kg-CO}_2 / \text{kWh}$$

3.2.4 폐기단계별 에너지원의 환경비용 산정방안

환경비용이란 건축물이 발생시키는 환경부하를 고려한 비용이다. 현 시점에서는 관련 연구가 미비함으로 인하여 모든 환경적인 영향을 고려할 수 없는 실정이다

환경비용을 계산하는 방법은 에너지사용에 따른 탄소의 발생량에 부과되는 환경 부과금으로 가정하여, 현재 EC를 중심으로 부과중이거나 검토중인 탄소·에너지세(①안)를 도입 적용하는 방법과 배출권거래가격을 적용한 지구온난화비용(②안) 방

법의 두 가지로 나눌 수 있다.

1) 탄소·에너지세

1990년 1월 EC(유럽공동체)이사회는 이산화탄소 배출수준을 2000년까지 1990년 수준으로 유지한다는 것에 합의했다. 이어 1991년 9월 EC위원회는 「CO₂배출 규제와 에너지효율 향상을 위한 EC전략」을 EC이사회에 제출하고 1992년 6월에는 EC위원회가 「이산화탄소배출 및 에너지稅 도입을 위한 이사회지침(안)」을 수립했다. EC가 도입을 검토중인 탄소·에너지세는 이산화탄소 발생량에 따라 부과되는 탄소세와 에너지 함유량을 기준으로 부과되는 에너지세를 혼합한 형태로써, 첫째에는 석유환산 배럴당 3달러를 부과하고 이후 7년간 1달러씩 인상해 최종적으로 10달러 부과를 목표로 하고 있다.

2) 배출권 거래가격을 이용한 지구온난화비용

지구온난화의 사회적 비용은 지구온난화로 인해 사람들이 입게 되는 피해비용이다. 이러한 피해를 면하기 위해 사람들은 일정한 회피비용(배출권 거래가격)을 지불하려함과 동시에, 비용지불의 감소를 위해 환경친화적인 기술을 개발하려 한다. 앞으로, 배출권 거래가 시작되면 이러한 점들이 반영되어 가격이 형성될 것이다. 이러한 관점에서 볼 때, 지구온난화의 사회적 외부비용으로 배출권 거래가격을 사용하는 것도 하나의 방법이 된다.

배출권 거래가격이 주어질 경우 에너지원별 단위당 지구온난화의 사회적 비용²⁴⁾은 식 (3.2)와 같은 과정을 통해 산출된다.

에너지원별 지구온난화의 사회적 비용(원/(L,kg,Nm³)) (3.2)

$$= [\text{에너지 단위당 발열량(kcal/L,kgNm}^3\text{)}] \div 10^7 \text{Kcal} \times \\ \text{탄소배출계수(탄소톤/TOE)} \times \text{배출권가격(원/탄소톤)}$$

식 (3.2)를 이용하여 에너지원별 지구온난화의 사회적 비용을 구하기 위해서는,

24) 강광규 “기후변화협약에 대응한 에너지 가격구조 조정방안”, 1999

에너지원별 발열량, 탄소배출계수, 배출권가격을 알아야 한다.

대표적인 에너지원에 대해서 IPCC가 고시한 발열량 기준을 제시하면 <표 3.6>과 같다.

<표 3.6> 석유환산기준표(IPCC,1993)

구분	환산 기준		석유 환산		
	단 위	발 열 량	단 위	환 산 계 수	
석유	원 유	kcal/kg	10,000	kg/kg	1.00
	휘 발 유	kcal/ℓ	8,300	kg/ℓ	0.83
	납 사	kcal/ℓ	8,000	kg/ℓ	0.80
	등 유	kcal/ℓ	8,700	kg/ℓ	0.87
	경 유	kcal/ℓ	9,200	kg/ℓ	0.92
유류	방 카 A 유	kcal/ℓ	9,400	kg/ℓ	0.94
	방 카 B 유	kcal/ℓ	9,700	kg/ℓ	0.97
	방 카 C 유	kcal/ℓ	9,900	kg/ℓ	0.99
류	제 트 A - 1	kcal/ℓ	8,700	kg/ℓ	0.87
	J P - 4	kcal/ℓ	8,500	kg/ℓ	0.85
가스	프로판 가스	kcal/kg	12,000	kg/kg	1.20
	부 탄 가 스	kcal/kg	11,800	kg/kg	1.18
	①도 시 가 스	kcal/Nm ³	7,000	kg/nm ³	0.70
	②도 시 가 스	kcal/Nm ³	11,000	kg/nm ³	1.10
	③도 시 가 스	kcal/Nm ³	15,000	kg/nm ³	1.50
	④천 연 가 스	kcal/Nm ³	10,500	kg/nm ³	1.05
류	⑤천 연 가 스	(kcal/kg)	(13,000)	(kg/kg)	(1.30)
석탄	무 연 탄	kcal/kg	4,500	kg/kg	0.45
	유 연 탄	kcal/kg	6,600	kg/kg	0.66
	코 크 스	kcal/kg	6,500	kg/kg	0.65
기타	전 기	kcal/kWh	2,500	kg/kWh	0.25
	신 탄	kcal/kg	4,500	kg/kg	0.45

주) 석유환산기준은 원유(1kg=10,000kcal로 환산)로 기준 한 것임.

탄소배출계수 또한 IPCC계수를 사용하며, 주요 에너지원에 대해서 정리하면 <표 3.7>과 같다.

<표 3.7> 에너지원별 탄소배출계수(IPCC,1993)

연료구분		탄소배출계수			
		Kg C/GJ	Ton C/toe	TJ/10 ³ TON	
액체화석연료	1차연료	원유	20.00	0.829	-
		천연액화가스(NGL)	17.20	0.630	-
	2차연료	휘발유	18.90	0.783	44.80
		항공가솔린	18.90	0.783	44.59
		등유	19.60	0.812	44.75
		항공유	19.50	0.808	-
		경유	20.20	0.837	43.33
		중유	21.10	0.875	40.19
		LPG	17.20	0.713	47.31
		납사	(20.00)(a)	0.829	45.01
		아스팔트(Bitumen)	22.00	0.912	40.19
		윤활유	(20.00)(a)	0.829	40.19
	Petroleum Coke	27.50	1.140	31.0	
	Refinery Feedstock	(20.00)(a)	0.829	44.80	
고체화석연료	1차연료	무연탄	26.80	1.100	
		원료탄	25.80	1.059	
		연료탄	25.80	1.059	
		갈탄	27.60	1.132	
		Peat	28.90	1.186	
	2차연료	BKB & Patent Fuel	(25.80)(a)	1.059	
		Coke Oven/Gas Coke	29.50	1.210	
		Coke Oven Gas	13.0(b)		
		Blast Furnace Gas	66.0(b)		
기체화석연료	LNG(dry)	15.30	0.637		
바이오매스 (CO ₂ 발생량 계산시 불 포함)	고체바이오매스	29.90	1.252		
	액체바이오매스	(20.00)(a)	0.837		
	기체바이오매스	(30.60)(a)	1.281		

에너지원별 지구온난화의 사회적 비용을 구하기 위해서는, 최종적으로 탄소톤당 배출권 가격을 알아야 한다. 그러나 배출권 거래제가 아직 실시되지 않은 관계로, 시장가격은 누구도 알 수 없으며, 단지 시물레이션을 통한 시나리오별 가격을 전망한 예는 보고된 바 있다. 본 연구에서는 이중 대표적인 CRA 보고서의 전망치를 사용한다. CRA 보고서에 의하면 배출권 가격은 Annex1 국가²⁵⁾만의 거래 시 \$61, 개

도국 참여 시 \$14-23에 이를 것으로 전망하고 있다.

본 연구에서는 개도국 참여 시 최대가격 \$23을 배출권 가격으로 채택한다. 지구 온난화의 사회적 비용을 탄소톤당 \$23으로 할 경우, 이것은 2001년 10월 가격 수준으로 탄소톤당 26093.73원이 된다.

위와 같은 내용을 바탕으로 에너지 단위당 소비가 초래하는 지구온난화의 사회적 비용은 <표 3.8>과 같이 산출된다.

사회적 비용에 있어서 정도의 차이는 있지만 크거나 순서에 있어서는 일반적인 인식과 일치되는 결과를 보여 주고 있다.

<표 3.8> 에너지원별 환경비용(지구온난화비용)의 사회적 비용

구분	산출식	연료단위당 비용		비고
		단위	단위당 비용	
경유	$9200 \div 10^7 \times 0.837 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/ℓ]	20.09	
등유	$8700 \div 10^7 \times 0.812 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/ℓ]	18.34	
B-C유 (중유)	$9900 \div 10^7 \times 0.875 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/ℓ]	22.60	
코크스	$6500 \div 10^7 \times 1.235 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/kg]	20.95	
Petroleum-coke	$6500 \div 10^7 \times 1.235 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/kg]	20.95	*코크스의 데이터 이용
유연탄	$6600 \div 10^7 \times 1.100 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/kg]	18.94	*무연탄의 데이터 이용
도시가스	$7000 \div 10^7 \times 0.637 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/Nm ³]	11.60	
전력	$860 \div 10^7 \times 0.927 \times 23 \$ \times 1134.51$	[원/kWh]	2.08	

주) Petroleum-coke와 유연탄, 그리고 전력의 탄소배출 계수는 아직 IPCC의 공식적인 발표 자료가 없다. 따라서, Petroleum-coke에 대해서는 탄소의 함유량이 가장 유사한 코크스의 데이터로 대체하며, 유연탄의 경우는 무연탄의 자료를, 그리고 전력의 데이터는 한국 전력공사의 자료를 이용하여 직접 산출 적용한다.

주) 배출권가격으로는 \$23적용 (원화가격으로는 2001.10.01일자 한국외환은행 전신환 매도를 US\$1=1134.51원)

25) 기후변화협약상 구속력 있는 감축의무를 부담하는 국가 (OECD 국가 및 동구권 국가 등 총 40개국, 한국은 제외)

현재 국내 실정에서는 지구온난화비용을 근거로 배출탄소량에 따라 환경부과금을 선정하는 방식이 좀 더 현실성이 있는 것으로 판단된다. 선진국을 대상으로 부과되고 있거나 검토중인 탄소/에너지세는 국내를 포함한 개도국의 경제적인 상황을 고려한 환경비용의 차등부여를 고려하지 않은 반면, 지구온난화비용은 기후변화협 가입국의 경제적 상황을 고려해 환경부과금을 차등 부여할 수 있는 배경이 마련되어 있기 때문이다. 지구온난화비용을 사용하면 우리나라가 기후변화협약에 따른 이산화탄소의 감축의무를 가지게되는 상황을 현실적으로 반영할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 상기에 서술된 두 가지의 환경비용계산 방안 중, 기후변화협약의 체결에 따른 대안책마련의 활용자료로써, 이미 EC 나 미국, 일본 등의 환경관련 주요국이 다루고 있거나 검토중인 제②안(지구온난화비용)을 중심으로 환경비용을 산출한다.

3.3 폐기단계 각 프로세스별 데이터 구축

공동주택 폐기시 발생하는 건설폐자재량을 산출한 후 해체단계, 중간처리단계, 매립단계, 운송단계에서의 에너지소비량을 조사하고, 이에 따른 CO₂ 발생량과 환경비용을 계산하였다.

3.3.1 건설폐자재 발생량

건설폐자재의 발생량 계산에 관한 정확한 자료는 대부분의 건축물 해체업체에서 근거 자료를 갖고 있지 않고 있으며, 단지 반입된 트럭 수에 의해 계산하거나 작업 현장의 전문가들의 경험을 바탕으로 산출하고 있다. 현장 전문가 면담 결과, 공동주택의 경우 평(平)당 6m³를 기준치로 잡고, 그 외에는 평(平)당 약 4~6m³로 계획하고 있었다. 다음 <표 3.9>와 같이 평방미터(m²)당 1.81ton의 발생량을 계산할 수 있다. 이것은 건설표준품셈²⁶⁾에 의해 계산될 수 있는 값인 1.796ton/m²와 거의 유사하다.

본 연구에서는 건축물 해체시 건설폐자재 발생량(공동주택 기준) 산출시 현장값과 이론값과 차이가 거의 없으므로 건설폐자재 발생량 산출은 건설표준품셈을 이용하였다.

<표 3.9> 건설폐자재 발생 예측량 (공동주택 기준)

	건축 품셈	현 장	비 고
건설폐자재 발생량 [ton/m ²]	1.796	1.81 (공동주택:6m ³ /평 일 반:4~5m ³ /평)	비중 1.3 ton/m ³

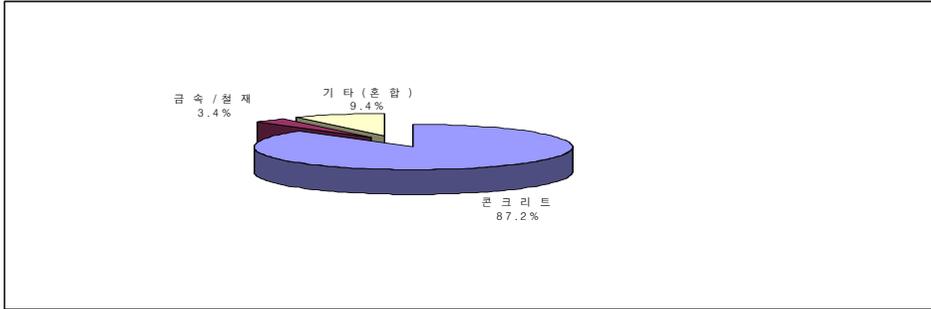
주) 서울, 경기지역 해체전문업체 (S건설산업(주), (주)S환경, D코아, H건축, W공구)면담 조사

발생되는 건설폐자재를 폐콘크리트, 금속/철재, 기타로 분리하여 다음 <표 3.10> 및 (그림 3.5)와 같이 발생량을 예측할 수 있다.

26) "건설표준품셈", 건설연구사, 1999년 p.46

<표 3.10> 단위 면적당 건설폐자재 발생 예측량 (공동주택기준) [단위: ton/m²]

전체	폐콘크리트	금속/철재	기타
1.796	1.566	0.061	0.169



(그림 3.5) 건설폐자재 단위 면적당 발생 예측량 <공동주택기준>

3.3.2 폐기단계별 에너지소비량 및 CO₂ 발생량

1) 해체단계시 에너지소비량 및 CO₂ 발생량

해체시 표준작업능력은 건설표준품셈을 이용하여 산출하고, 연료 소비량은 직접 현장을 조사하였다. 장비는 크러셔, 브레이커, 백호가 사용되고, 장비의 기준은 백호이다. 이 경우 소비되는 에너지량은 <표 3.11>과 같다.

<표 3.11> 기계식 공법에 투입되는 장비들의 에너지 소비량

투입장비	규격	작업능력	연료소비량 (경유)
압쇄기 브레이커 백호(back-hoe)	백호(back-hoe) 기준 (바스켓용량 1.0m ³)	3.5 m ³ /hr	21.5 L/hr (20~22L/hr)
페이로다	(바스켓용량 2.83m ³)	.	16.5 L/hr (12~18L/hr)
합계	.	.	38 L/hr 8.35 L/ton (10.85 L/m³)

주) 서울, 경기지역 해체전문업체, 중기전문업체 (s중기(주), (주)S환경, D코아, (주)y건설, W공구)면담 조사

주) 페이로다의 운행시간은 포크레인 작동시간과 같은 시간으로 계산함.
 주) 건설폐자재 비중 1.3

위 데이터를 이용하여 해체시 단위무게 당 에너지소비량을 산출하였고, 식[3.1]과 <표 2.1>을 이용하여 <표 3.12>과 같이 CO₂ 발생량을 산출하였다.

<표 3.12> 해체시 에너지소비량 및 CO₂ 발생량

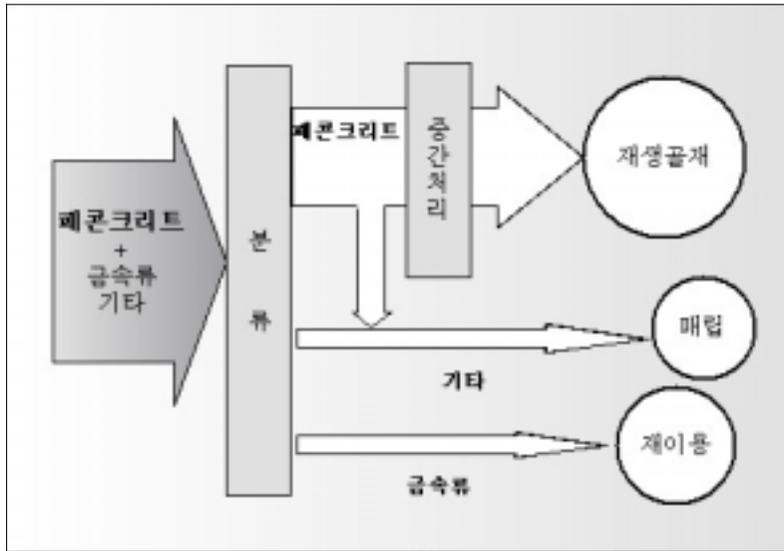
	에너지소비량 (경유)	CO ₂ 발생량
해 체	8.35 L/ton	23.58 kg/ton (2.824kg/L × 8.35 L/ton)

2) 중간처리단계시 에너지소비량 및 CO₂ 발생량

서울·인천·경기에서 중간처리업체의 분포가 가장 많은 김포·파주·신갈의 업체를 대상으로 최근 일년 또는 수개월간의 처리실태와 그에 따른 에너지소비량을 현장 조사하였다. 해체현장에서 금속/철재류의 약 90%는 현장에서 회수, 약 8%는 중간처리시 분류, 기타(혼합) 건설폐기물은 100% 매립되고 있었다. 나머지 87.2%의 콘크리트는 현장의 분류 작업에 따라 중간처리장으로 운송되는 비율이 크게 달라지고 있었다.

데이터 계산시 업체마다 장비의 제원이 각기 다르기 때문에 장비의 기준보다는 중간처리되어 재생산되는 골재의 단위무게당 소비되는 에너지량을 기준으로 하였다.

(그림 3.6)은 폐콘크리트를 이용하여 재생골재로 생산할 경우의 흐름도를 보여준다. 중간처리시 사용되는 장비로는 기본적으로 페이로다, 포크레인, 덤프트럭 크러셔 등이 있다. 업체마다 장비의 규모는 다르지만 공통적으로는 크러셔는 전력을 이용하며, 그 외 장비는 경유를 사용한다. 중간처리시 재생골재 1톤당 소비에너지가 각 업체별로 조금씩의 차이가 있었다. 그 중 값의 차이가 제일 큰 S와 M의 업체를 제외한 나머지업체의 평균을 구하였다.



(그림 3.6) 중간처리 흐름도

<표 3.13>은 업체별 에너지소비량을 조사하여 에너지원별 정리하였다.

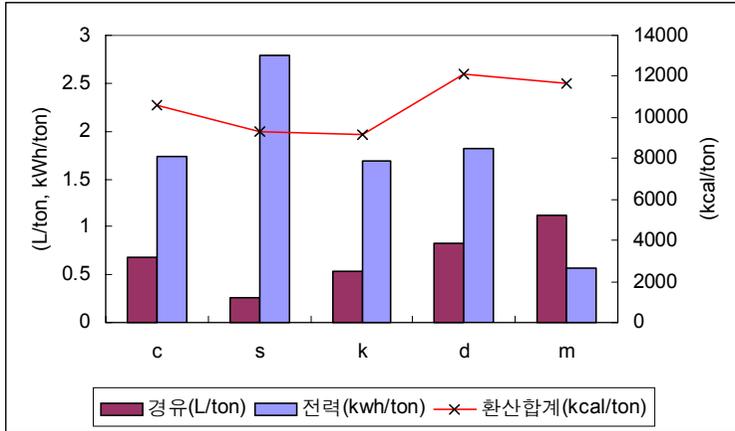
<표 3.13> 중간처리시 에너지 소비량

[단위 : 경유: L/ton, 전력: kWh/ton]

업체	C		S		K		D		M	
	경유	전력								
에너지 소비량	0.674	1.721	0.258	2.784	0.542	1.681	0.826	1.711	1.112	0.571

주) 경기지역 중간처리전문업체 자료 (김포지역의 M개발(주), (주)S환경, D공사(주), 파주지역의 (주)S환경, 신갈지역의 K환경(주))

(그림 3.7)은 각 업체의 에너지소비량을 나타낸 것으로 S와 M업체의 데이터 차이를 보여주고 있으며, 각 업체별 경유 및 전력소비량을 보여준다.



(그림 3.7) 중간처리시 업체별 소비에너지 현황

또한 각 업체마다 경유사용량과 전력 사용량에는 차이가 있었지만, 석유환산 발열량을 보면 평균 10,523kcal로 거의 유사하게 나타났다.

따라서 중간처리시 소비되는 에너지소비량은 S와 M업체를 제외한 데이터의 평균으로 정했으며, CO₂ 발생량은 식(3.1)과 <표 3.3>을 이용하여 <표 3.14>와 같이 CO₂ 발생량을 산출하였다.

<표 3.14> 중간처리시 CO₂ 발생량

	톤당 경유 소비량	톤당 전력 소비량	CO ₂ 발생량	
			종류	발생량
중간처리	0.682 L/ton	1.70 kWh/ton	경유	1.93 kg/ton (2.824 kg/L × 0.682 L/ton)
			전력	0.81 kg/ton (0.4778 kg/kWh × 1.7 L/ton)
			합계	2.74 kg/ton

3) 매립단계시 에너지소비량 및 CO₂ 발생량

수도권 매립지 관리공사의 매립공사는 현재 S사에 하도급으로 작업이 이루어지고 있다. S사의 장비 및 매립량에 관한 최근 3개월 간의 자료를 확보하여 에너지 소비량을 계산하였다. 수도권 매립지는 폐기물 반입시 생활폐기물, 사업장폐기물,

건설폐기물, 연탄재 등으로 나뉘 반입되지만 매립시에는 이를 모두 함께 혼합하여 매립하는 방식으로 되어있다. 따라서 건설폐자재를 매립할 경우의 에너지소비량을 정확히 파악할 수가 없기 때문에 단순 매립시의 에너지소비량으로 대처하였다.

매립시 에너지소비의 주체는 매립에 사용되는 장비이며, 매립장비로 Dozer와 Compactor가 사용되고 있다. <표 3.15>는 최근 3개월 동안의 매립량과 그에 따른 에너지사용량이다.

<표 3.15> 매립량과 에너지사용량

투입장비 ^{주1)}	매립량 (ton) ^{주2)}	에너지사용량(경유)
Dozer Compactor	1,788,296.21	267,286

주1) Dozer 제원 (D8N, 15PL, 6PL), Compactor의 제원 (32 ton)

주2) 수도권매립공사는 폐기물 반입시 생활폐기물, 사업장폐기물, 건설폐기물, 연탄재등으로 나뉘 반입되지만 매립시에는 이를 모두 함께 매립하는 혼합매립설계가 되어있다

이 경우 발생하는 CO₂ 발생량을 식(3.1)과 <표 3.3>을 이용하여 구하면 <표 3.16>과 같다.

<표 3.16> 매립시 CO₂발생량

	톤당 경유사용량	CO ₂ 발생량
매 립	0.15 l/ton	0.42 kg/ton (2.824 kg/L × 0.15 L/ton)

4) 운송단계시 에너지소비량에 따른 CO₂발생량

운송시의 에너지 소비량은 철거업체와 중간처리업체의 15t급 덤프트럭을 기준으로 하여 덤프트럭 운전자와 현장 전문가의 면담을 통해 적재량에 따른 연비를 면담 조사하였다. 운송과정에서는 <표 3.17>과 같은 에너지소비량과 CO₂발생량을 갖는

다.

<표 3.17> 운송시 에너지소비량 및 CO₂발생량

차량용량(t/운행횟수)	차량연비(km/L)	사용연료량	CO ₂ 발열량
13톤/회 (10m ³ /회)	2.44	0.032 (L/ton · km)	0.09 kg/ton · km (2.824 kg/L × 0.032 L/ton)

주) 실제, 공사현장에서 운전자들의 설문조사에 의한 연비

(D사의 15톤급 dump truck의 60km/hr 주행시 공인연비는 3.2 km/L)

주) 15톤 덤프트럭에 건설폐자재 적재시 체적은 10m³이며 13톤으로 계산

(혼합건설폐자재 비중 1.3 ton/m³)

상대적으로 운송시 에너지 소비량이 적은 것은 운송거리 1km일 때를 기준한 것으로 작업장 위치에 따라 그 값은 많은 변화를 보일 것이다.

3.3.3 폐기단계별 에너지소비량에 따른 환경비용

건축물 폐기단계별 에너지소비에 따른 환경비용 계산은 2.3절에서 언급한 배출권거래가격을 기본으로 <표 3.8>을 이용하여 산출하였다. 기타비용(소음 진동 처리비용, 자원고갈비용)은 제외한다.

<표 3.18> 단계별 에너지소비량에 따른 환경비용

단계	총에너지 소비량	환경비용 [단위: 원]
해체	경유: 8.35 [L/ton]	167.75 (8.35L/ton×20.09 원/L)
중간처리	경유: 0.682 [L/ton] 전력: 1.70 [kWh/ton]	17.24 (0.682 L/ton×20.09 원/L + 1.70 kwh/ton×2.08원/kWh)
매립	경유: 0.15 [L/ton]	3.01 (0.15 L/ton×20.09 원/L)
운송	경유: 0.032 [L/ton · km]	0.64 [원/km] (0.032 L/ton · km×20.09 원/L)

주) 경유 20.09원/L, 전력: 2.08원/kwh

3.4 국내 기존 데이터와 비교 및 분석

본 절에서는 대한주택공사에서 조사된 건축물폐기시 에너지 소비량과 본 연구에서 조사된 에너지소비량을 비교, 분석하였다.

주공 데이터에서는 건축물의 해체와 운송만이 조사되었고, 중건처리단계와 매립 단계는 폐기 에너지소비량계산은 제외되었기 때문에 해체, 운송단계만을 비교하였다. 주공 데이터의 철거방법은 본 조사와 같은 기계식(재래식)방법인 유압식 백호(back-hoe)와 압쇄기를 이용한 기계식 해체방법이고 단지, 해체단계가 깨기작업, 2차 파쇄으로 나누어 조사되었다. 운송단계는 본 조사와 같은 덤프트럭의 에너지소비량이 조사되었으나 기준용적이 20톤으로 조사되었다.

주공에서 조사한 건축물 해체시 에너지와 운송시 소비되는 에너지량²⁷⁾을 정리하면 <표 3.19>와 같다.

<표 3.19> 국내 기존 폐기단계 에너지 소비량 데이터 (주공)

작업명	장비명	작업량	유류(경유)소비량
깨기작업	breaker	1.6 m ³ /hr	22.1 L/h → 13.9 L/m ³
	crusher	1.6 m ³ /hr	
2차파쇄	breaker	1.6 m ³ /hr	13.11 L/h → 8.2 L/m ³
	crusher	1.6 m ³ /hr	
운송	덤프(20톤)	36.7 L/m ³	0.754 L/ton

주공에서는 <표 3.19>를 이용하여 철근 콘크리트 공동주택 1개 동 폐기시 에너지소비량을 측정하였다. 대상동의 총 콘크리트량은 약 3,857m³/동이며, 1개 동을 철거하기 위하여 쓰여진 총 에너지소비량(경유량)은 각각 <표 3.20>과 같다

27) “공동주택의 생애총에너지 소비량 산정에 관한 연구(1)”, pp.81-82

<표 3.20> 본 연구와 주공 데이터의 비교

	기존 국내문헌	현장조사(본연구)		
대상동의 철근콘크리트량	3,857 m ³ /동 (= 5014.88 ton/동)			
운송거리	36 km			
총에너지 사용량	해 체	85,253 L	해 체	8.35×5014.88= 41874.23 L
			중간 처리	×
	수 송	6,532.5 L	매립	×
			수 송	0.032×5014.88×36= 5777.14 L

따라서, 다음 <표 3.21>과 같은 결과를 얻을 수 있다.

<표 3.21> 본 연구와 주공 데이터의 비교결과

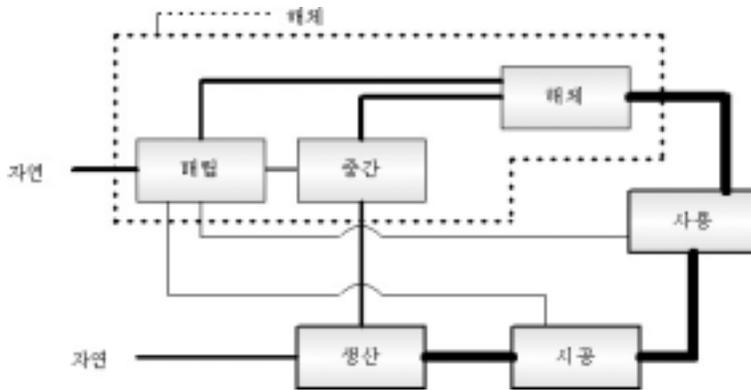
	주공데이터	본연구
해체	85,253 L (경유)	41,874.23 L (경유)
운송	6,532.5 L (경유)	5,777.14 L (경유)
합계	91785.5 L (경유)	47651.37 L (경유)

<표 3.21>과 같이 해체시 에너지소비량은 본 연구에 비해 주공이 2.03 배 크게 나타났다. 본 연구에서는 기준 작업량을 3.5 m³/hr, 주공의 경우는 1.6 m³/hr로 2.1배 높게 해체작업의 작업량 기준을 가정하였기 때문이다. 운송단계에서는 약 10%정도의 오차가 보이는데 이것은 장비의 기준이 상이하고 장비의 노후화정도, 운전자의 특성 등의 변수에서 오는 오차라 판단된다.

3.5 소 결

건축물의 폐기는 건축물해체와 동일하다는 개념에서 벗어나, 건축물의 해체와 건설폐기물 처리방법에 의해 폐기단계를 (그림 3.8)와 같이 해체, 재활용, 매립, 운송의 4개의 프로세스로 건축물 폐기단계를 세분화하였다.

또한, 공동주택의 폐기단계별 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용 등의 데이터 수집 방법을 제시하였고, 제시된 방법을 통해 <표 3.22>와 같이 폐기단계별 데이터베이스를 구축하였다.



(그림 3.8) 건축물폐기단계의 순환 프로세스
(각 프로세스간의 실선: 운송부분)

<표 3.22> 건축물 폐기단계 에너지소비량, CO₂발생량 및 환경비용

단계	총 에너지소비량	CO ₂ 발생량	환경비용
해체·철거	경유: 8.35 L/ton	23.58 kg/ton	167.75 원/ton
중간처리	경유: 0.682 L/ton 전력: 1.70 kwh/ton	2.74 kg/ton	17.24 원/ton
매립	경유: 0.15 L/ton	0.42 kg/ton	3.01 원/ton
운송	경유: 0.032 L/ton·ton	0.09 kg/ton·km	0.64 원/ton·km
합계	경유: 10.36 L/ton 전력: 0.754 kwh/ton	.	.

제 4 장 사례연구

본 장에서는 재건축을 위하여 실제 폐기를 준비하고 있는 공동주택을 선정하고, 3장에서 구축한 데이터를 활용하여 폐기단계별 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용을 계산하였다. 또한 재건축시 재생골재를 사용할 경우와 신규골재를 사용할 경우 각각의 에너지 소비량 및 환경 비용을 계산하여 폐기단계에서 재활용되는 재생골재의 경제성과 환경친화성을 정량적으로 분석하였다. 이를 통하여 본 연구에서 제안한 폐기단계 에너지소비량 데이터베이스의 활용방안을 제시한다.

4.1 대상 공동주택의 폐기단계별 에너지소비량 및 CO₂발생량

4.1.1 대상 공동주택의 개요

본 연구에서 제안한 기초 데이터의 <표 3.10>, <표 3.22>를 이용하여 공동주택을 폐기하는 경우, 폐기단계별 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용을 계산하였다. 대상 공동주택은 철근콘크리트조로 이루어진 1978년도에 된 공동주택으로서 서울시 영등포구에 위치하고 있으며 개요는 <표 4.1>과 같다.

<표 4.1> 대상 공동주택의 개요

구분	내용
준공 년도	1978년
위치	서울시 영등포구 P공동주택 1개동
연면적	7775.85 m ²
구조	철근콘크리트조
규모	22평, 25평 혼합의 12층
매립지와의 거리	40 km (김포)
중간처리장과의 거리	40 km (김포)

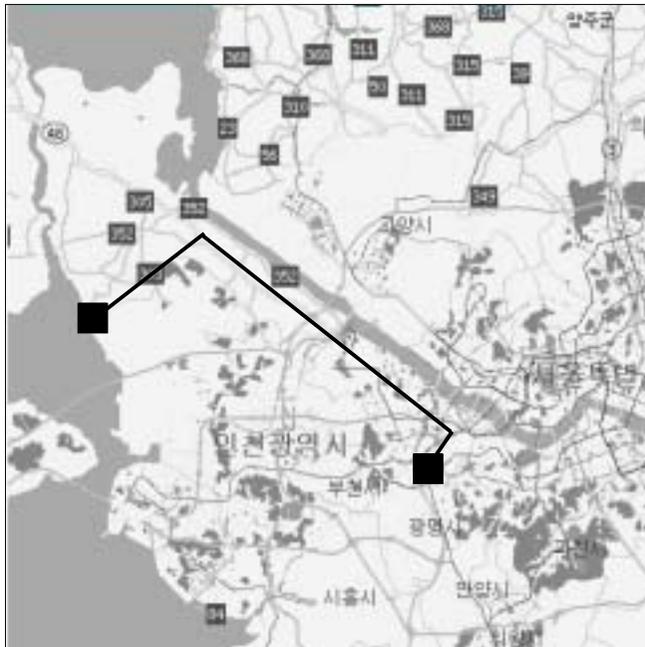
(그림 4.1)은 대상 공동주택과 중간처리장, 매립지 위치를 보여주고 있다.

대상 공동주택의 평가를 위해 다음과 같이 기본적인 가정을 하였다.

(가정1) 건설폐자재 발생비율은 본 연구의 <표 3.10>과 동일하다.

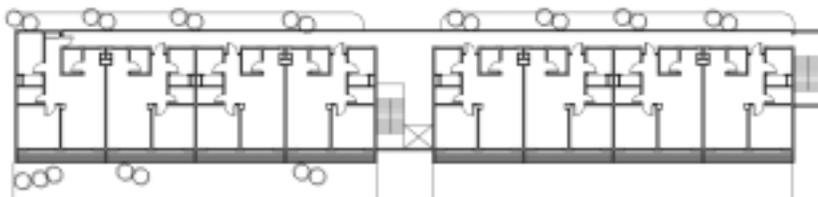
(가정2) 폐콘크리트 발생량 중 70%를 재활용하는 것으로 한다.

(가정3) 중간처리장과 매립지와의 거리는 0km로 한다.



(그림 4.1) 대상 공동주택의 중간처리장,
매립지, 현장간의 위치

(그림 4.2)는 대상 공동주택의 평면도이다.



(그림 4.2) 대상 공동주택 평면도

4.1.2 대상 공동주택 폐기단계의 에너지소비량 및 CO₂발생량 계산

1) 대상 공동주택의 건설폐자재 발생량

대상 공동주택의 건설폐자재 발생량은 <표 4.2>와 같다.

<표 4.2> 대상 공동주택의 건설폐자재 발생량

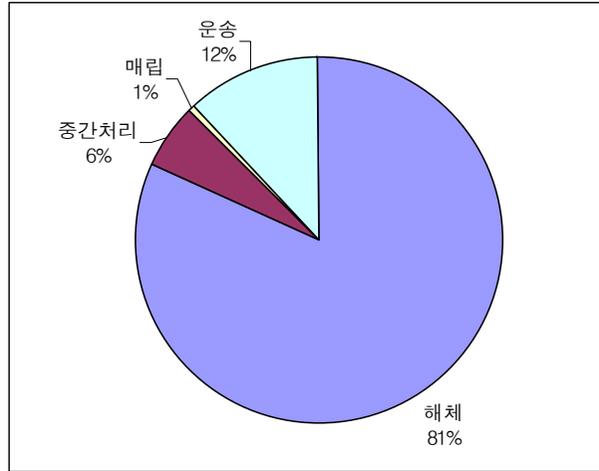
구분	연면적당 발생량	연면적	건설폐자재발생량
총건설폐자재량	1.796	7775.85m ²	13956.43 ton
콘크리트량	1.566		12176.98 ton
금속류	0.061		474.33 ton
기타(혼합)	0.169		1314.12 ton

2) 폐기단계별 에너지소비량 및 CO₂ 발생량

<표 4.2>의 건설폐자재 발생량에 대하여 해체단계는 <표 3.11>과 <표 3.12>, 중간처리단계는 <표 3.13>과 <표 3.14>, 매립 및 운송단계는 <표 3.16>과 <표 3.17>을 이용하여 <표 4.3>과 같이 각 폐기단계별 에너지소비량과 CO₂ 발생량을 계산하였다. (그림 4.3)에서 보는바와 같이 해체단계가 전체 CO₂ 발생량의 81%로 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다.

<표 4.3> 대상 공동주택 폐기단계별 에너지소비량 및 CO₂ 발생량

구분	에너지소비량	CO ₂ 발생량
해체	(경유) 116536.19 [L]	329092.62 [kg]
중간 처리	(경유) 5809.96 [L]	경유 : 16441.7 [kg]
	(전력) 14482.3 [kwh]	전력 : 6900.4 [kg]
		Total : 23342.1 [kg]
매립	(경유) 744.66 [L]	2085.0 [kg]
운송	(경유) 17317.80 [L]	48706.3 [kg]



(그림 4.3) 대상 공동주택 폐기단계별 CO₂발생량

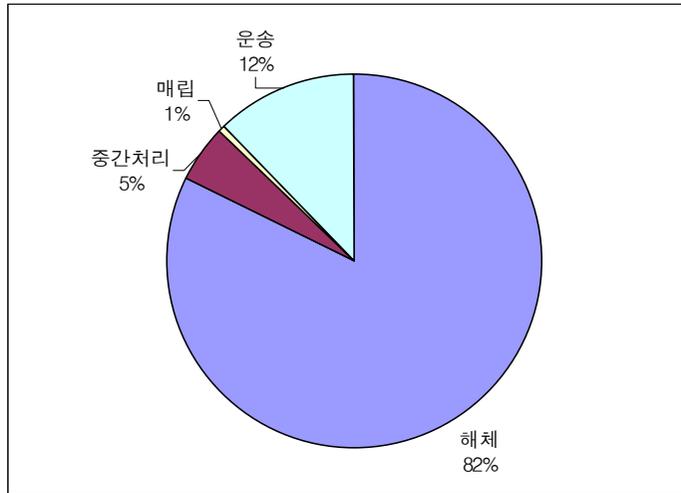
3) 폐기단계별 환경비용

환경비용의 계산에는 식 (3.2)를 적용하였으며, 환산기준과 계수는 <표 3.6>과 <표 3.7>을 이용하였다. 대상 공동주택의 1개 동을 폐기할 때 발생하는 폐콘크리트 중 70%가 재활용될 경우 환경비용을 계산하면 <표 4.4> 및 (그림 4.4)와 같다.

해체단계의 환경비용이 가장 큰 비중을 차지하고, 다음으로는 운송단계, 중간처리단계, 매립단계의 순으로 나타남을 알 수 있었다. 따라서 전체 폐기단계의 환경비용을 줄이기 위해서는 에너지절약적인 해체공법의 개발 및 타해체공법의 에너지소비량 비교 분석 연구가 시급히 이루어져야할 것이다. 또한, 건설폐자재를 중간처리장이 아닌 현장에서 직접처리하면 10%이상의 에너지절약효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

<표 4.4> 대상 공동주택 폐기시 환경비용

	계산식	환경비용
해체	167.75 [원/ton] × 13956.43 [ton]	2,341,191.13 원
중간처리	17.24 [원/ton] × 8519.0 [ton]	146,867.56 원
매립	3.01 [원/ton] × 4964.30 [ton]	14,942.54 원
운송	0.64 [원/ton] × 13529.53 [ton] × 40 km	346,355.97 원
합계	2,341,191.13 + 272,863.57 + 14,942.54 + 346,355.97	2,975,353.21 원



(그림 4.4) 대상 공동주택 폐기프로세스별 환경비용 비교

4.2 재활용 건자재(골재)의 환경친화성 · 경제성 평가

대상 공동주택에서 발생하는 건설폐자재를 재활용하는 경우 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용을 산출하고, 이를 신규골재를 사용할 경우와 비교하였다.

각 골재의 에너지소비량과 CO₂ 발생량 계산을 위해 대상 공동주택은 폐기 후, 재건축하면서 폐콘크리트의 70%를 현장에서 재사용 하는 것으로 가정하였다. 재생골재는 중간처리를 거쳐 사용하는 경우와 현장처리된 재생골재 두 가지를 대상으로 하였다.

신규골재는 채취과정에 따라 하천골재, 바다골재, 산림골재로 크게 나눌 수 있는데, 이중 폐콘크리트를 이용한 재생골재와 유사한 공정을 거치는 산림골재를 대상으로 하였다. 산림골재의 암반천공, 골재적하, 분쇄 및 운반과정 등 생산과정에 소비되는 에너지소비량, CO₂발생량, 환경비용을 산출하였다²⁸⁾.

28) 권영철, 환경비용을 고려한 폐콘크리트 재활용의 경제성에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 16권 12호, 대한건축학회, 2001, pp. 217 - 224

본 절에서의 가정은 다음과 같다

- (가정1) 중간처리장에서 재생되는 골재는 사례공동주택과 같이 김포에 위치한다
- (가정2) 신규골재 채취장은 경기지역이며, 본 연구에서는 평택지역을 선택한다. (현장과 거리 60 km)
- (가정3) 환경비용계산은 본 연구 3.3에 따른다.
- (가정4) 현장 재생과정에서 에너지 장비의 에너지 소비량은 중간처리장의 장비와 같은 에너지 소비량을 갖는다. 즉 운반에너지 계산은 제외된다.
- (가정5) 신규골재생산과정에서 장비는 재생골재 생산의 장비와 연료소모량과 같다

4.2.1 사용 골재별 생산에너지 및 환경비용

1) 중간처리 재생골재의 생산에너지 및 환경비용

중간처리 재생골재의 생산 에너지와 비용은 사례공동주택과 같다. 사례공동주택에서 재생골재 8519.0 (ton)을 생산하기 위하여 투입된 에너지는 해체에너지, 운송에너지, 중간처리 에너지가 있으며, 이때 운송에너지는 현장으로 다시 골재를 운송하기 때문에 두 배의 에너지소비가 된다.

<표 4.5>는 중간처리 재생골재의 에너지소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용을 보여준다.

<표 4.5> 중간처리 재생골재 총생산에너지, CO₂ 발생량 및 환경비용

	총소비에너지	단위에너지 소비량	CO ₂ 발생량 [kg/ton]		환경비용 [원/ton]
해체	경유: 116536.19 [L]	8.35 [L/ton]	23.58		167.75
중간 처리	경유: 5809.96 [L]	0.68 [L/ton]	1.93	2.69	17.24
	전력: 14482.3 kWh	1.7 [kWh/ton]	0.81		
운송	경유: 34635.60 [L]	4.06 [L/ton]	11.46		51.2
합계	경유: 39665.76 [L]	4.66 [L/ton]	31.19	32.0	236.19원
	전력: 14482.3 kWh	1.7 [kWh/ton]	0.81		

2) 현장처리 재생골재 에너지소비량 및 환경비용

현장처리되는 재생골재의 에너지소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용은 <표 4.6>과 같다. 재생골재의 경우 현장에서 처리되어 바로 사용되므로, 운송단계에 사용되는 에너지는 없다.

<표 4.6> 현장처리 재생골재 총생산에너지, CO₂ 발생량 및 환경비용

	작업(장비)	단위에너지 소비량	CO ₂ 발생량 [kg/ton]	환경비용 [원/ton]
해 체	깨기, 부수기,상차 (백호1.0m ³ 페이로다2.83m ³ 기준)	8.35 [L/ton]	23.58	167.75
중 간 처 리	폐기물적하(백호등)	0.68 [L/ton]	1.93	13.70
	분쇄(크러셔)	1.70 [kWh/ton]	0.81	3.54
합 계	.	.	26.32	184.99

3) 신규골재 에너지소비량 및 환경비용

신규골재의 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용은 <표 4.7>과 같다.

<표 4.7> 신규골재 총생산에너지, CO₂ 발생량 및 환경비용

	장 비	단위에너지 소비량	CO ₂ 발생량 [kg/ton]	환경비용 [원/ton]
암반 천공	백호1.0m ³ 페이로다2.83m ³	8.35 [L/ton]	23.58	167.75
골재적하	백호 등	0.68 [L/ton]	1.93	13.70
분쇄	크러셔	1.7 [kWh/ton]	0.76	3.54
운반	덤프트럭(15톤급)	0.032 [L/ton · km]	5.4	38.4
합계			31.67	223.39

4.2.2 사용 골재별 생산비용

재생골재는 대부분 업체에서 무료로 나누어주고 있었고, 신규골재의 경우, 지역마다 약간의 차이는 있으나 수도권(평택)기준으로 9500원/m²²⁹⁾에 판매되고 있었다. 이 비용에 환경비용을 추가하면 <표 4.8>과 같다. 중간처리 재생골재 또는 현장처리 재생골재를 사용할 경우 신규골재를 사용할 경우와 비교하여 각각 4.5%, 3.3%의 비용으로 골재를 사용할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 4.8> 환경비용을 고려한 골재별 총비용

	중간처리 재생골재	현장처리 재생골재	신규골재
판매비용(원/m ²)	0	0	9500 (5277.78 원/ton)
환경비용(원/ton)	250.98	184.99	223.39
총비용(원/ton)	250.98	184.99	5501.17

주) 산립골재 경우 자갈(25mm)를 기준으로 하였고, 자갈의 밀도는 1.8ton/m³으로 계산.

사례 공동주택 (공동주택 1개동 기준)에서 발생하는 폐콘크리트의 70% (8519.0 ton) 를 재생골재로 이용하게 되면 중간처리보다 현장처리로 하였을 때 약 562,198 원의 환경비용 절약효과가 있을 것으로 기대되며, 전체 공동주택에서 발생하는 폐콘크리트의 70%(99년 기준으로 약1017만톤)를 재활용한다면 연간 약 6 ~7억원의 환경비용을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

업계와 학계에서 재생골재의 물리적 특성을 향상시키기 위한 노력이 꾸준히 진행되고 있으나 현재 재생골재만을 단독으로 건축구조물에 사용하는데는 많은 문제점이 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서, 전문가들은 이러한 물리적인 약간의 단점을 보완하기 위해서는 신규골재와 재생골재를 일정 비율 혼합하여 사용하는 방법이 제안하고 있다.³⁰⁾

신규골재와 재생골재 (중간처리, 현장처리)의 혼합율을 1 : 1로 하여 환경비용 및

29) 한국골재협회, <http://www.aak.or.kr/>, 2001.

30) 임남웅, “폐콘크리트의 골재자원화”, 중앙대 생산연구소 학술발표 논문집, 1999. 12, pp.21~25

총생산비용을 비교하면 <표 4.9>와 같다.

<표 4.9> 혼합비율에 따른 혼합골재 총비용 [단위: 원/ton]

	산림골재(100%)	산림골재(50%) 중간처리(50%)	산림골재(50%) 현장처리(50%)
환경비용	223.39	223.39+ 250.98	223.39 + 184.99
판매비용	5277.78	2638.89 + 0	2638.89 + 0
총생산비용	5501.17	3113.26	3047.27

4.2.3 재생골재 활용으로 인한 경제성 분석 및 환경친화성

공동주택의 폐기단계에서 발생하는 폐콘크리트를 재활용할 경우 신규골재 대체로 인한 연간 비용 절감량을 분석하였다.

주택공사에서 계산한 폐콘크리트의 예상 발생량³¹⁾과 환경부와 건설교통부에서 규정하고 있는 연도별 폐콘크리트의 목표재활용비율³²⁾을 근거로 연간 예상 재생골재 생산량을 계산하면 다음의 <표 4.10>과 같다. 표에서 보는바와 같이 2009년에 이르러 재생골재 예상 생산량은 2만 7천톤에 육박할 것으로 예측된다.

<표 4.10> 국내 폐콘크리트 발생예측량 및 재생골재 예상생산량

년도	폐콘크리트 발생예측량		폐콘크리트 재활용 목표치	재생골재 예상 생산량
	[천ton]	[천 m ³]	[%]	[천 m ³]
2001	2475	3,960	70	1732.5
2003	2942	4,707	75	2206.5
2005	3334	5,333	75	2500.5
2007	3561	5,697	75	2670.8
2009	3642	5,826	75	2731.0

31) "건설폐기물의 처리 및 재활용방안의 연구", 대한주택공사, 1997, 2. p.75

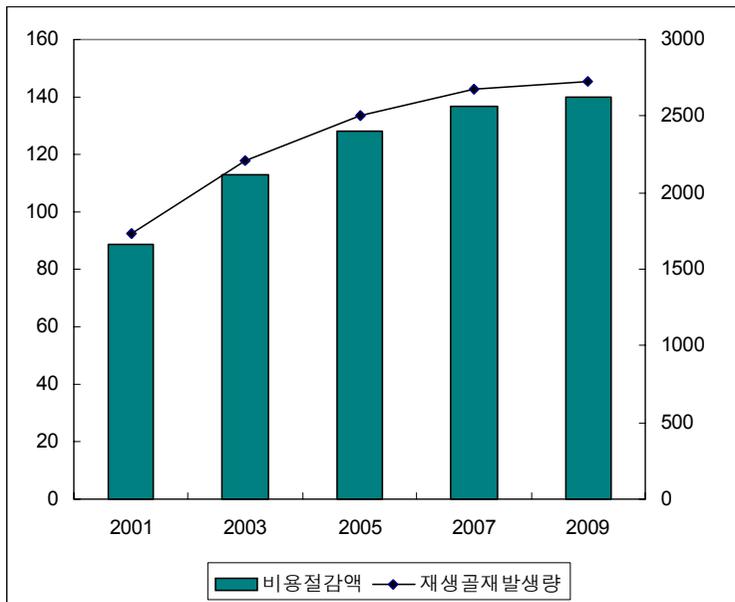
32) "건설폐기물 배출사업장의 재활용 지침" 환경부, 건설교통부 고시, 1997.7

<표 4.10>을 이용하여 재생골재의 신규골재 대체로 인한 절감비용을 계산하여 연도별로 추정하면 <표 4.11>과 같다. 여기서 볼 수 있듯이 국내에서 발생하는 폐콘크리트를 환경부정책에 따라 재활용한다면 연간 약 140여억원 (2009년 기준)에 비용절감이 예상된다.

<표 4.11> 연도별 예상 절감액

년도 내용	2001	2003	2005	2007	2009
절감액 [억원]	91	116	131	140	143
비용 절감액 [원/ton]	5250.19 (산립골재 대신 현장처리된 재생골재 이용시)				

(그림 4.5)는 연도별 예상재생골재 생산에 따른 비용절감액을 나타낸다.



(그림 4.5) 재생골재 발생량 및 절감액

비용절감과 더불어 신규골재를 재생골재로 대체할 경우 신규골재 채취로 인한 자연훼손을 줄이고 매립지 문제를 줄일 수 있는 문제해결의 대안으로 제안 될 수 있다.

4.3 소 결

사례 공동주택을 대상으로 각 폐기 단계의 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용을 살펴보면 해체단계의 환경비용이 가장 큰 비중을 차지하고, 다음으로는 운송단계, 중간처리단계, 매립단계의 순으로 나타났다. 따라서 전체 폐기단계의 환경비용을 줄이기 위해서는 에너지절약적인 해체공법의 개발 및 타해체공법의 에너지소비량 비교 분석 연구가 시급히 이루어져야할 것이다. 또한, 건설폐자재를 중간처리장이 아닌 현장에서 직접처리하면 10%이상의 에너지절약효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

현장처리 재생골재가 중간처리 재생골재와 신규골재에 비해 에너지소비량과 환경비용이 적게 산출되는 것을 알 수 있었다. 또한 현재 재생골재만을 단독으로 건축구조물에 사용하는 데는 많은 문제점이 있는 것으로 나타나고 있으므로 재생골재와 산림골재의 혼합비율에 따른 비용 절감액을 산출하였다.

사례공동주택 (공동주택 1개동 기준)에서 발생하는 폐콘크리트의 70% (8519.0 ton) 를 재생골재로 이용하게 되면 중간처리보다 현장처리로 하였을 때 약 562,198 원의 환경비용 절감효과가 있을 것으로 기대되며, 전체 공동주택에서 발생하는 폐콘크리트의 70%(99년 기준으로 약1017만톤)를 재활용 한다면 연간 약 6 ~7억원의 환경비용을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

주택공사에서 계산한 연간 예상 폐콘크리트 발생량과 환경부 및 건설교통부의 연도별 폐콘크리트 목표재활용비율에 맞추어 재생골재 예상 생산량을 계산하였다. 이를 연도별 재활용 목표치에 맞춰 활용할 경우 연간 약 140여억원 (2009년 기준) 이 비용절감 되는 것을 확인하였다

위와 같은 기대효과를 위해서는 무엇보다도 건축물해체과정에서 건설폐자재의 현장분리 작업이 효과적이어야 하며, 재활용 골재의 사용의 증대가 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 현장에서 소음과 먼지 등의 최소화할 수 있는 준비작업이 먼저 진행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구의 결과를 이용하여 재생골재를 활용하게되면, 신규골재 채취로 인한 자연훼손을 줄이고 매립지 문제를 줄일 수 있는 문제해결의 대안으로 제안 될 수 있다.

제 5 장 결 론

1992년 기후변화협약과 1997년 교토의정서에 의해 각 국의 산업정책은 많은 변화를 가져오고 있는 것이 현실이다. 그 중 건축활동이 얼마나 환경에 영향을 주는가는 아직 연구가 더욱 미비하다. 우리나라도 그린빌딩인증제와 에너지 효율 등급제 등 건축물의 에너지절약 정책이 이제 실시되고 있는 단계에서 이러한 정책들이 좀 더 나은 효과를 갖기 위해서는 우리나라 상황에 맞는 건축물 전과정에 대한 에너지 소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용 등에 관한 기본 데이터베이스가 구축이 되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 공동주택을 대상으로 LCA와 재건축계획에서 활용 될 수 있는, 건축물의 전생애과정 중 폐기단계의 에너지소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용에 관한 기초 데이터와, 이를 활용한 사례연구를 실시하였다.

본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

건축물의 폐기단계를 건축물생애의 마지막 단계가 아닌 하나의 중간 단계로서 「건축물 해체에서 시작하여 건축물의 분해요소, 자재들이 다시 자연으로 돌아갈 때까지, 또는 다시 시공단계로 재투입되기 전까지의 과정」으로 재평가하고, 건축물 전생애과정 중 건축물 폐기단계를 세분화하여 개념을 재인식하였다.

건축물 전과정 평가 기법 중 개별적산법을 이용하여 LCA와 재건축계획에서 활용 될 수 있는 폐기단계별 데이터 수집방안을 마련하고 데이터를 구축하였다. 본 연구에서는 데이터 대상을 각 폐기단계별 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용으로 하였으며, 데이터의 활용범위는 수도권(서울, 경기, 인천)지역으로 하였다. 또한 본 연구를 통하여 산출된 데이터를 주공의 데이터와 비교하여 타당성을 검증하였다.

사례 공동주택을 대상으로 실시한 환경비용 계산 결과, 해체단계가 가장 큰 비중을 차지하고, 다음으로는 운송단계, 중간처리단계, 매립단계의 순으로 나타났다. 따라서 전체 폐기단계의 환경비용을 줄이기 위해서는 에너지절약적인 해체공법의 개발 및 타해체공법의 에너지소비량 비교 분석 연구가 시급히 이루어져야할 것으로 판단된다.

대상 공동주택에서 발생하는 건설폐자재를 재활용하는 경우 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용 등의 데이터를 산출하였으며, 이를 신규골재를 사용할 경우와 비교하였다. 현장처리 재생골재가 중간처리 재생골재와 신규골재에 비해 에너지소비량과 환경비용이 적게 산출되는 것을 알 수 있었다. 또한 현재 재생골재만을 단독으로 건축구조물에 사용하는 데는 많은 문제점이 있는 것으로 나타나고 있으므로 재생골재와 산림골재의 혼합비율에 따른 비용을 산출하였다.

사례 공동주택 (공동주택 1개동 기준)에서 발생하는 폐콘크리트의 70% (8519.0 ton) 를 재생골재로 이용하게 되면 중간처리보다 현장처리로 하였을 때 약 562,198 원의 환경비용 절약효과가 있을 것으로 기대되며, 전체 공동주택에서 발생하는 폐콘크리트의 70%(99년 기준으로 약1017만톤)를 재활용한다면 연간 약 6 ~7억원의 환경비용을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

주택공사에서 계산한 연간 예상 폐콘크리트 발생량과 환경부 및 건설교통부의 연도별 폐콘크리트 목표재활용비율에 맞추어 재생골재 예상 생산량을 계산하였다. 이를 연도별 재활용 목표치에 맞춰 활용할 경우 연간 약 140여억원 (2009년 기준) 이 비용절감 되는 것으로 나타났다. 이 결과는 신규골재 채취로 인한 자연훼손을 줄이고 매립지 문제를 줄일 수 있는 문제해결의 대안으로 제안 될 수 있을 것으로 기대된다.

위와 같은 기대효과를 위해서는 무엇보다도 건축물해체과정에서 건설폐자재의 현장분리 작업이 효과적이어야 하며, 재활용 골재의 사용의 증대가 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 현장에서 소음과 먼지 등의 최소화할 수 있는 준비작업이 먼저 진

행되어야 할 것이다

본 연구에서는 데이터 수집에 있어서 공동주택에 한정하였으므로, 앞으로 다른
기타 건축물에 대하여도 후속 연구가 필요하겠다.

<참 고 문 헌>

단행본

1. “건설 폐자재 배출사업장의 재활용 지침”, 환경부, 1999.
2. “산업연관표(연장표)”, 한국은행, 1996.
3. “건설표준품셈”, 건설연구사, 1999년.
4. “에너지절약시책 평가모델 개발 연구”, 에너지경제연구원, 1996.
5. “공동주택의 생애총에너지 소비량 산정에 관한 연구(1)”, 대한주택공사 부설주택연구소, 1998.
6. “해체공사의 설계 및 견적기준 정립 연구”, 대한주택공사 부설주택연구소, 2000.
7. 강광규, “기후변화협약에 대응한 에너지 가격구조 조정방안” 1999.
8. “건물폐기물 처리 및 재활용방안 연구(1)”, 대한주택공사 주택연구소, 1997.
9. 김선희, “LCA(Life Cycle Assessment)의 이론적 접근“, 전과정 분석(LCA)을 위한 전문가 양성교육, 한국생산성본부, 1994.
10. 권영철, “환경비용을 고려한 페콘크리트 재활용의 경제성에 관한 연구”, 대한건축학회논문집(계획계), 16권 12호, 대한건축학회, 2001.
11. “구조물의 해체 공법에 관한 연구(1)”, 대한주택공사 주택연구소, 1996.
12. “공동주택의 LCC 검토서 작성 및 평가지침 개발”, 대한주택공사 주택연구소, 2000.
13. 유병억 역, “해체공법과 적산”, 태림문화사, 1982.
14. “建築物 解體技術”, 成都建設産業株式會社, 1992.
15. 유호천, “건축시공단계에서 LCA방법론에 의한 에너지소비량과 환경부하량에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집 제21권 제1호, 대한건축학회, 2001.
16. 조균형, “건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구”, 한국과학재단, 2002.
17. 조균형, “건축폐기물의 재활용을 고려한 철골 및 철근콘크리트 구조체의 전과정 평가에 관한 연구“, 대한건축학회논문집(계획계), 제16권9호, 대한건축학회, 2000.
18. “건축물의 총생애주기 관리기법 연구“, 한국건설기술연구원, 1998.
19. 한국건설기술연구소, “건축물의 해체공법에 관한 비교연구”, 1988.

석·박사 학위논문

1. 김경아, “지구온난화 국제협약에 따른 이산화탄소 배출규제에 관한 연구” 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문, 1991.
2. 김동현, “철골 및 철근콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프 사이클코스트 분석에 관한 연구, 중앙대 건축공학과 석사학위논문, 1999.
3. 김선희, “Life Cycle Assessment의 방법론 및 적용에 관한 연구” 서울시립대학교 대학원 박사학위 논문, 1995.
4. 서성원, “住居用 建築物의 全過程에 따른 CO₂ 排出量 評價 및 電算體系 構 ” 중앙대학교 박사학위논문, 1998.
5. 서성원, “建築副産物の 排出量 豫測에 관한 研究”, 중앙대학교 석사학위논문, 1995.
6. 오영인, “Life Cycle Cost기법을 이용한 공동주택의 경제성분석에 관한 연구“, 서울시립대 석사학위 연구, 1994.
7. 이주현, “공동주택 재건축과 리모델링 사업의 환경성·경제성 통합평가모델”, 중앙대학교 석사학위논문, 2000.
8. 이혁재, “에너지소비량을 고려한 건축물 전과정 평가 전산 프로그램 개발에 관한 연구” 수원대학교 석사학위논문, 2001.

국외자료

1. Robert L. Christensen, “Quantification Of Construction And Demolition Waste In CANADA”, 1994.
2. “Life Cycle Assessment Environmental Technology”, Canadian Standards Association, 1994.
3. A. H. Fanney 外 “U.S. Green Building Conference”, NIST, 1994.
4. “LC設計の考え方”, 社團法人 建築・設備維持保全推進協會, 1999.
5. Tosino. OJIMA, “住宅解體材の再生エネルギー“ 一消 量, の計算に關する研究, 日本建築學會論文集, 1999.

Web Site

1. 전국 건설폐기물중간처리 공제조합, <http://www.conwas.com/member/member.html>, 2001.
2. 한국전력공사, <http://www.kepco.co.kr/cyber/cmain3.html>, 2001.
3. 한국 그린빌딩 위원회, <http://gbc-korea.co.kr/frames.htm>, 2001.
4. 수도권 매립지 관리공사, <http://www.slc.or.kr/state-2.htm>, 2001.
5. 한국자원재생공사, <http://www.koreco.or.kr/exch/Home.asp>, 2001.

국 문 초 록

건물 폐기단계에서 에너지소비량과 이산화탄소 발생량에 관한 기초 연구

중앙대학교 대학원
건축학과 건축계획 및 환경전공
이 홍 석
지도교수: 이 언 구

1992년 기후변화협약과 1997년 교토의정서에 의해 각 국의 산업정책은 많은 변화를 가져오고 있는 것이 현실이다. 우리나라도 그린빌딩인증제와 에너지 효율 등급제 등 건축물의 에너지절약 정책이 실시되고 있는 단계에서 이러한 정책들이 좀 더 나은 효과를 갖기 위해서는 우리나라 상황에 맞는 건축물 전과정에 대한 에너지 소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용 등에 관한 기본 데이터베이스가 구축이 되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 공동주택을 대상으로 LCA와 재건축계획에서 활용 될 수 있는, 건축물의 전생애과정 중 폐기단계의 에너지소비량, CO₂ 발생량 및 환경비용에 관한 기초 데이터와, 이를 활용한 사례연구를 실시하였다.

본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 건축물의 폐기단계를 건축물생애의 마지막 단계가 아닌 하나의 중간 단계로서 「건축물 해체에서 시작하여 건축물의 분해요소, 자재들이 다시 자연으로 돌아갈 때까지, 또는 다시 시공단계로 재투입되기 전까지의 과정」으로 재평가하고, 건축물 전생애과정 중 건축물 폐기단계를 세분화하여 개념을 재인식하였다.

2. 건축물 전과정 평가 기법 중 개별적산법을 이용하여 폐기단계별 에너지소비량 수집방안을 마련하고 데이터를 구축하였다. 본 연구에서 제공하는 기본 데이터는

LCA와 재건축계획에서 활용 될 수 있는 각 폐기단계별 에너지소비량, CO2 발생량, 환경비용을 대상으로 하였으며, 데이터의 활용범위는 수도권 (서울, 경기, 인천) 지역으로 하였다. 또한 본 연구를 통하여 산출된 에너지소비량 데이터를 주공의 데이터와 비교하여 타당성을 검증하였다.

3. 사례 공동주택을 대상으로 실시한 환경비용 계산 결과, 해체단계가 가장 큰 비중을 차지하고, 다음으로는 운송단계, 중간처리단계, 매립단계의 순으로 나타났다. 따라서 전체 폐기단계의 환경비용을 줄이기 위해서는 에너지절약적인 해체공법의 개발 및 타해체공법의 에너지소비량 비교 분석 연구가 시급히 이루어져야할 것으로 판단된다.

4. 대상 공동주택에서 발생하는 건설폐자재를 재활용하는 과정의 에너지소비량, CO₂ 발생량, 환경비용을 산출하였으며, 이를 중간처리 재생골재, 현장처리 재생골재와 신규골재와 비교하였다. 현장처리 재생골재가 중간처리 재생골재와 신규골재에 비해 에너지소비량과 환경비용이 적게 산출되는 것을 알 수 있었다. 또한 현재 재생골재만을 단독으로 건축구조물에 사용하는데는 많은 문제점이 있는 것으로 나타나고 있으므로 재생골재와 산림골재의 혼합비율에 따른 비용을 산출하였다.

5. 사례 공동주택 (공동주택 1개동 기준)에서 발생하는 폐콘크리트의 70% (8519.0 ton) 를 재생골재로 이용시 중간처리보다 현장처리로 하였을 때 약 562,198 원의 환경비용 절감효과가 있을 것으로 기대되며, 전체 공동주택에서 발생하는 폐콘크리트의 70%(99년 기준으로 약 1017만톤)를 재활용한다면 연간 약 6 ~7억 원의 환경비용을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

6. 주택공사에서 계산한 연간 예상 폐콘크리트 발생량과 환경부 및 건설교통부의 연도별 폐콘크리트 목표재활용비율에 맞추어 재생골재 예상 생산량을 계산하였다. 이를 연도별 재활용 목표치에 맞춰 활용할 경우 연간 약 140여억원 (2009년 기준) 이 비용절감 되는 것으로 나타났다. 이 결과는 신규골재 채취로 인한 자연훼손을

줄이고 매립지 문제를 줄일 수 있는 문제해결의 대안으로 제안 될 수 있을 것으로 기대된다.

위와 같은 기대효과를 위해서는 무엇보다도 건축물 해체과정에서 건설폐자재의 현장분리 작업이 효과적이어야 하며, 재활용 골재의 사용의 증대가 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 현장에서 소음과 먼지 등의 최소화할 수 있는 준비작업이 먼저 진행되어야 할 것이다.

ABSTRACT

The Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide Generation during the Building Demolition Process

Lee, Hong-Suk

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee.

Due to the UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate change) and Kyoto Protocol, Industrial policy in each country has been drastically changed. In Korea, energy efficient policies have been conducted. In order to practice effectively energy efficient policies, the database on energy consumption and amount of carbon dioxide in building life cycle has to be built.

This study aims to build a basic data about energy consumption and amount of carbon dioxide in the building demolition process, and to present the application of data to apartment houses.

The results of the study can be summarized as follows.

1. In this study, the building demolition process is not a final process but a process in the middle of life cycle of building. The building demolition process consists of four parts that are structure-demolition, recycling, landfill, and transportation.

2. PAM(Process Analysis Method) of LCA (Life Cycle Assessment) is used to build a database that is made up of the amount of energy consumption, carbon dioxide and environmental cost in each part of building demolition process.

3. The results of case studies have shown that the amount of energy consumption is the highest in the structure demolition part. Therefore, an economical structure-demolition method should be studied and developed.

4. When recycling the demolished aggregate, the amount of energy consumption, carbon dioxide, and environmental cost is calculated and compared with the results of new aggregate. It is concluded that aggregate produced in demolition site place is the most economical and environmentally friendly among others.

5. When 70% of demolished concretes of apartment houses are recycled, 6-7 hundred million won of environmental cost per a year can be saved.

6. The amount of estimated recycled aggregates are calculated, based on the amount of demolished concretes and the rate of recycled concretes proposed by the ministry of construction and the ministry of environment of Korea. If the recycled aggregates are applied, about 14 billion won can be saved by the year of 2009.