

共同住宅의 建築資材 再活用に 따른 에너지 消費量 分析에 관한 研究

A Study on the Analysis of the Energy Consumption for Using Recycled Materials in Apartment House

전성원* 황정하** 이언구***
Jun, Sung-Won Hwang, Jung-Ha Rhee, Eon-Ku

Abstract

The purpose of this study was to analyze energy consumption of using recycled materials in apartment house. In order to reduce the global warming due to the CO2 concentration, the energy use should be decreased. Building sector in Korea constitutes about 1/3 of national consumption energy and a large amount of resource materials. As the same time, building activities produce a huge amount of construction waste. In order to save energy as well as resource, recycling of building materials should be widely utilized in practice. In this study, the method of analyzing the energy consumption for reuse, recycle and remake housing materials has been presented. By using this method, the energy consumption data of the building using recycled materials and conventional material as major building materials has been analyzed and compared.

키워드 : 공동주택, 건축자재, 재활용, 에너지소비량

Keywords : Apartment House, Material, Recycle, Energy Consumption

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 지구환경문제는 21세기를 향한 인류가 직면하고 있는 최대 현안과제중 하나로 대두되고 있다. 이러한 지구환경문제는 지구온난화, 자원고갈, 환경오염 등 지구환경 전반에 걸쳐 자연생태학적 피해와 사회경제적으로 심각한 영향을

을 미치고 있어 전세계적인 차원에서 기후변화 협약 등 대응방안이 모색되고 있다.

지구온난화, 자원고갈, 환경오염 등의 문제는 에너지 사용, 자원 및 폐기물과 직접적인 연관을 가져, 에너지소비 절감, 자원 절감 및 폐기물 배출 절감에 대한 대책이 시급한 실정이다.

우리나라에서 건설업계는 에너지와 자원의 약 1/3정도를 소비한다. 또한 건축물 해체시 발생하는 건설폐기물은 막대한 양을 배출하고 있으며 그 양 또한 매년 급증하고 있는 추세를 보이고 있으며 이러한 폐기물은 지역적인 특성을 가져 특히 대도시를 중심으로 대량의 건설폐기

* 정회원, 중앙대 대학원 건축공학과 박사과정
** 정회원, 상주대 건축공학과 조교수, 공학박사
*** 정회원, 중앙대 건축학과 교수, 건축학박사
"이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단 학술연구비에 의하여 지원되었음."

물이 양산되어 건설폐기물 처리가 문제가 되고 있는 실정이다.

구체적인 예로, 수도권 매립지에 반입되는 서울시의 건설폐기물의 배출량은 전체 폐기물의 38.5%를 차지하고 있으며¹⁾ 또한 국가 전체적으로 살펴보면 전산업 폐기물의 20%를 보이고 있어 자원절감 및 환경오염의 저감을 위해서 건축물 해체 자재의 재활용이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 해체자재를 이용하는 공동주택 부재의 제조에 따른 에너지 소비량을 산정하고 해체자재의 재활용에 따라 절감되는 에너지 소비량을 제시하였다.

2. 건축재료의 재활용 방안

우리나라는 지속적인 경제성장으로 산업형태의 변화와 함께 인구의 대도시 유입에 따른 인구집중현상을 보여왔다. 이러한 인구의 집중은 택기부족현상을 초래하여 주택보급율을 높이기 위해 공동주택을 대량 건설되었다. 그러나 최근 대량 건설된 공동주택의 건물 노후화에 따라 재개발·재건축이 활발히 진행되어 건물해체에 따른 건축폐기물이 대량으로 양산되고 있는 실정이다. 따라서 해체재의 재활용 대책이 시급한 실정이다.

표 1. '90년 이후 서울시 재건축 현황¹²⁾

연도	연립주택		아파트		계	
	건립 대수	전년대비 증감률(%)	건립 대수	전년대비 증감률(%)	건립 대수	전년대비 증감률(%)
'90	412	-	499	-	911	-
'91	1,152	+179.6	2,642	+429.5	3,794	+316.5
'92	1,814	+57.5	1,416	-46.4	3,230	-14.8
'93	4,299	+137	3,115	+120	7,414	+129.5
'94	4,543	+5.7	3,119	+0.1	7,662	+3.3
'95	12,048	+165	10,674	+242.2	22,722	+196.5
계	24,268	-	21,465	-	45,733	-

2.1 건축부재의 제조과정

원재료에서 신규건축부재를 제조하는 공정은 크게 1차 가공과 2차 가공으로 나눌 수 있다. 원재료를 건축재료로 가공하는 것을 1차 가공이라 하고, 건축재료를 건축부재로 가공하는 것을 2차 가공이라고 한다. 재생재료는 건물을 해체할 때부터 재자원화하여 건축부재의 재료로 재

이용하는 재료를 의미한다. 해체자재로부터 건축부재를 제조하는 것을 재활용이라 할 수 있다. 이런 방법으로 재생부재까지의 가공상태에 따라 재사용, 재활용, 재생이용의 3가지로 분류할 수 있다.

재사용은 해체된 재료의 형상·성질 등을 변화시키지 않으며 추가적인 에너지 사용 없이 건축부재로 재사용하는 방법을 의미한다. 재활용은 해체자재의 수집·분리후 건축부재를 구성하는 재료로 가공하는 방법으로 해체자재를 재생재료로 활용하여 2차 가공에너지를 사용하여 건축부재로 만드는 방법이다. 재생이용은 해체자재를 수집·분리후 건축부재를 구성하는 원재료로 가공하는 방법으로 해체자재를 재자원화 에너지를 투입하여 재생재료로 만든 후 2차 가공에너지를 사용하여 건축부재로 만드는 방법이다. 재사용, 재활용, 재생이용에 대한 정의는 다음 표 2와 같다.

표 2. 재활용 방법의 정의

번호	활용방법	성 의	예
①	재사용	해체된 재료의 형상·성질을 변형시키지 않고 재사용하는 방법	유리창을 세척 후 재사용
②	재활용	해체재를 수집·분리후 해체재를 재료로 건축부재로 제조하는 방법	유리창을 파쇄 후 재생유리창으로 만드는 방법
③	재생이용	해체재를 수집·분리후 해체재를 원재료로 건축부재로 제조하는 방법	유리창을 파쇄 후 콘크리트의 골재로 사용하는 방법

각 건축부재의 재활용방법은 다음 표 3과 같다.

표 3. 각 건축부재의 재생방법

재료 종류	해체재	재생재료	재활용부재	재활용 방법
목재	목재	각재	각재	①
		널판지	집성재	②
		목재조각	합판	③
		집성재	널판지	②
콘크리트	콘크리트	제생골재	콘크리트	②
	석재판	제생석재	석재판	②
금속류	철근	제사용재	철근	①
	강재	강(전기료)	강재	②
	강판	강(전기료)	강판	②
	강관	강(전기료)	강관	②
알루미늄	알루미늄	제생	알루미늄	①
	알루미늄	알루미늄	알루미늄	②

3. 건축부재의 재활용 에너지소비량 산정방법

3.1 재활용 에너지 소비량 산정방법

신축 건물에서 건축부재의 제조에 소비되는 에너지량은 원재료를 제조하는데 사용하는 에너지소비량(E_s)와 신규재료로 만드는데 사용하는 1차 가공 에너지소비량(E_1)과 건축부재로 만드는데 사용하는 2차가공 에너지소비량(E_2)로 구분할 수 있다.

해체에 필요한 에너지량은 해체에너지소비량(E_k)으로 해체재로부터 재생재료까지 필요한 에너지를 재자원화 에너지소비량(E_r)로 정의하였다. 재생시 건축부재에 소비되는 에너지량은 해체에너지 소비량(E_k)와 재자원화 에너지소비량(E_r)과 2차 가공 에너지소비량(E_2)이 포함된다.

또한 건축부재C의 재활용 에너지소비량은(E_r)로 정의하였다.

건축물 건축에 따라 사용되는 신규부재와 건물 해체에 따라 발생하는 자재를 이용하는 재활용부재의 제조과정을 살펴보면 다음 (그림1)과 같다.

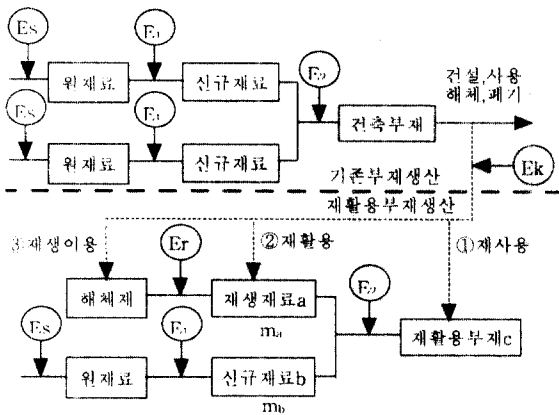


그림 1. 건축부재 재활용 에너지 소비량 산정

건물의 해체방법을 살펴보면 기계에 의한 해체와 인력을 이용한 해체방법이 일반적으로 이용되며 해체시에는 노동력과 연료의 소비가 발생한다. 해체시 발생하는 에너지 소비량의 정확한 산정치는 현재 국내에서는 조사되어 있지 않지만 기계해체시 에너지소비량은 기기의 사용시

간에 따른 연료 소비량으로 산출할 수 있다.

해체 에너지소비량(E_k)은 해체시 사용되는 장비의 에너지소비량(E_m)과 해체재를 반출시 사용되는 운송 에너지소비량(E_l)로 구분할 수 있다.

해체시 소비되는 에너지소비량(E_m)은 일본의 酒井寛二(1995)의 연구와 서성원(1998)의 연구³⁾에 따라 철근콘크리트 건물의 경우 해체시 장비의 연료소모량을 건물의 단위연면적(m^2)당 5리터가 소비되는 것으로 산정할 수 있다. 이에 따라 해체시 장비의 에너지소비량(E_m)은 식 (1)과 같게 된다.

$$E_k = 226 \times A \quad (MJ) \quad (1)$$

A : 공동주택의 연면적(m^2)

운송 에너지소비량(E_l)은 바닥면적당 해체재의 배출량과 운송거리로 산출할 수 있다. 배출된 해체재의 운송거리는 100km로 가정하여 산출하였다. 이에 따른 운송 에너지소비량(E_l)은 식 (2)와 같다.

$$E_l = \frac{Q_w \times A}{W} \times E_w \times L \quad (MJ) \quad (2)$$

Q_w : 해체재 배출원단위(kg/m^2)

W : 반출차량 적재량($kg/대$)

E_w : 반출차량 에너지소비량(MJ/km)

L : 운송거리(km)

표 4. 단위거리당 운송 에너지소비량

구분	운송거리	차량 적재량	차량면비	거리당 연료소비량	에너지 원단위	에너지 소비량
11부트럭	100km	11t	8km/㎡	0.125 ℓ/km	9200 kcal/ℓ	5589 kJ/km

구조체의 재사용시는 모든 해체방법을 인력에 의한 해체방법으로 인력 에너지는 무시하였다. 따라서 해체 에너지소비량(E_k)은 해체재의 총중량이 M_a 일 때 다음 식 (3)과 같다.

$$E_k = \frac{E_m + E_l}{M_a} \quad (MJ/kg) \quad (3)$$

재자원화 에너지소비량(E_r)은 파쇄 등 중간처리 기기와 기타 처리설비의 단위처리능력당 에너지 소비량으로 산출하였다.

표 5. 재자원화 에너지 소비량

해체재	재생 1차재	설비	처리방법	출력(kWh)	처리능력(t)	단위증량출력(kWh/t)	에너지소비량(MJ/t)
국재 집성목	해체목재 조각	고정식 설비	해체목재				
		파쇄기		260	30.14	8.625	31.05
		합 계				8.625	31.05
콘크리트	재생골재	고정식 설비	재생조골재				
			1차파쇄장치	75	30~60	1.667	6.00
			수동선별				0
			2차파쇄장치	150	4~10	21.429	77.14
			진동장치	7.4	18	0.411	1.48
		합 계					84.62
석회암	석회암	고정식 설비	석회암				
			1차파쇄장치	75	30~60	1.667	6
			수동선별				
			2차파쇄장치	150	4~10	21.429	77.14
			진동장치	7.4	18	0.411	1.48
		합 계				623.506	2,332.21
철강재	조강(전기로)						11,025.80
알루미늄	알루미늄						25,200.00

표 6. 재생시 2차에너지 소비량 및 재생에너지소비량

재생부재	연료 및 재료	사용량	단위	에너지 원단위	단위	재생에너지 소비량(MJ/t)
집성재	전력	259	kWh	860	kcal/kWh	1694.95
	연료(중유)	85	℥	9,300	kcal/℥	5995.11
	목재닐판	0.364	m ³	783,014.81	kcal/m ³	2169.24
	집착재	87	kg	8,199	kcal/kg	2972.82
	중량재		kg		kcal/kg	254.97
	무자재		kg		kcal/kg	159.083
	기타		kg		kcal/kg	389.68
	합계					13221.80
합판	전력	140	kWh	860	kcal/kWh	719.99
	중유	55.37	℥	9,300	kcal/℥	3079.35
	목재	210	kg	4,537	kcal/m	3988.31
	목재조각	1.54	m ³	5209.6	kcal/kg	47.98
	집착재	56	kg	8,199	kcal/kg	2745.68
	파라핀	2.1	kg	3,066.89	kcal/kg	38.51
	집화재	1.4	kg	-	kcal/kg	-
합계					6631.51	
재생골재 콘크리트	중유	3.5	℥	9,300	kcal/℥	60.56
	포틀랜드시멘트	300	kg	1,064	kcal/kg	593.85
	재생골재	1200	kg	20.20	kcal/kg	45.10
	모래	800	kg	4	kcal/kg	5.95
	물	180	kg	0	kcal/kg	0
	혼화재	2.7	kg	0	kcal/kg	0
합계					705.46	
석재	전력	0.5	kWh	860	kcal/kWh	272.62
	중유	0.92	℥	9,300	kcal/℥	5657.84
	쇄석재	8.2	kg	557.1	kcal/kg	2896.26
	혼화재	0.13	kg	0	kcal/kg	0
	합계					8826.72
강재						11,025.8
합판						11,025.8
합판						11,025.8
알루미늄 사시	전력	17	kWh	860	kcal/kWh	7208.40
	중유	1.04	℥	9,300	kcal/℥	4768.79
	중유	0.34	℥	8,900	kcal/℥	1491.97
	LPG	0.42	kg	12,000	kcal/kg	2484.98
	재생알루미늄	7.1	kg	6,020.07	kcal/kg	21074.20
	합계					37028.34

$$E_r = \sum 3.6 \frac{Q}{P} \quad (\text{MJ/kg}) \quad (4)$$

Q : 기계(설비)의 출력 (kWh)

P : 기계(설비)의 처리능력 (kg)

여기서 금속재의 경우 산업연관표 및 일본의 자료를 참고로 강(전기로)의 제조 에너지 소비량³⁾을 계산하였다. 알루미늄의 경우 알루미늄 제조 에너지 소비량의 값은 일본의 국토개발기술연구센터의 자료⁴⁾를 이용하여 산출하였다.

주요한 해체재의 전형적인 해체방법에 의하여 재활용시 재생자원 에너지소비량 (E_r)은 다음 표 5에 나타냈다.

콘크리트의 경우 재생재료를 만드는 작업은 1차 파쇄장치로 파쇄한후 이를 선별하여 일정크기 이상은 이차 파쇄장치로 다시 파쇄를 실행하고 최종적으로 만들어진 재생재료는 재생조골재로 활용하는 것으로 하였다. 이와 같은 공정에 필요한 기계는 1차파쇄에는 수퍼크러셔를, 2차 파쇄에는 콘크리트파쇄기를 이용하였으며 진동기기 등 기타 장비가 사용되어진다.

이상과 같은 방법으로 기기의 단위면적당 처리능력에 따른 에너지소비량의 총합으로 재자원화 에너지소비량(E_r)을 산출

한다. 기타 다른 재료의 재자원화 에너지소비량은 같은 방법으로 산출하였다.

재생시 2차 가공에 소비되는 에너지량은 재생재료의 가공에 필요한 연료와 전력의 사용량에 의해 결정된다. 건축부재의 2차 가공에 필요한 전력, 연료원단위와 각 구성재료의 사용증량은 일본의 연구자료⁵⁾에 따라 산출하였다. 그 결과는 표 6에 나타났다.

이에 따라 건축재활용부재 C의 건축부재 재생에너지(E_c)는 다음 식 (5)에 의해 구할 수 있다.

$$E_c = \sum (E_a + E_1) m_b + \sum (E_2 + E_r) m_n + E_2 \quad (\text{MJ/kg}) \quad (5)$$

- m: 1kg의 재생부재C에 투입되는 재료a의 중량(kg/kg)
- m_n: 1kg의 재생부재C에 투입되는 재료b의 중량(kg/kg)
- E: 재료b에 필요한 원재료를 만드는 투입되는 에너지소비량(MJ/kg)
- E₁: 원재료를 재료b를 만드는 1차가공 에너지소비량(MJ/kg)
- E₂: 해체에너지량(MJ/kg)
- E_r: 해체재를 재생재료a를 만드는 재자원화 에너지소비량(MJ/kg)
- E: 재생부재C 1kg을 만드는 투입되는 2차가공에너지소비량(MJ/kg)

4. 건축부재의 재활용에 따른 에너지소비량

식 (5)에 의해 사용되는 각 건축자재의 재생시 에너지 소비량을 계산하여 표 6에 나타났다.

목재중 각재의 경우 재사용재로 산정하였으며, 강재의 경우 모두 조강(전기로)을 재료로 제조하는 것으로 계산하였다. 산정된 결과는 그림 2에 나타났다.

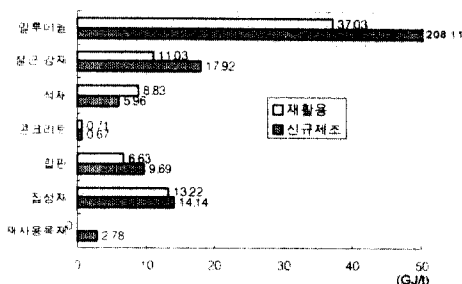


그림 2. 건축부재의 신규제조와 재생에너지소비량

해체재로부터 목재 재생이용에는 원재료를 제조하는데 투입되는 에너지보다 재생에너지소비량의 감소율은 집성재의 경우 7%정도, 합판의 경우 32%로 나타났다. 그러나 콘크리트의

경우 재생에너지소비량이 5%정도 증가하였으며 석재의 경우 해체재를 세밀한 형태의 분말로 만들기 때문에 신규제조에너지보다 약 48%정도 증가하는 것으로 나타났다. 강재의 경우 재생에너지 소비량이 약 40%정도 감소되었으며 알루미늄의 경우 80%정도 재생에너지 소비량이 감소하는 것으로 나타났다.

5. 공동주택의 재활용자재 사용 에너지소비량

5.1 공동주택 개요

4장의 결과를 토대로 공동주택에서 주요 부재로 사용되는 콘크리트, 알루미늄, 철근 등의 부재를 다음 표 7과 같은 공동주택을 대상으로 재활용 자재로 사용하였을 경우 에너지 소비량과 신규재료로 사용한 공동주택의 에너지 소비량을 비교분석하였다.

표 7. 공동주택의 평균자재 사용량⁶⁾

자 재	사용량 (kg/m ²)	재활용	
		비율(%)	
콘크리트	콘크리트	1,110	50
	모래	160	-
	자갈	85	-
	시멘트	50	-
	콘크리트파일	101	-
벽	돌	99	50
	블 타	-	-
	타 일	4	-
	유 리 류	2	-
금속류	철근	63	90
	강판	2	90
	기타금속	-	-
알루미늄		0.4	90
플라스틱		-	-
목재	합판	170	30
	각재	12	50

5.2 주요부재 에너지 소비량 산정

공동주택의 주요부재인 콘크리트, 철근, 알루미늄사시의 재활용 부재의 사용한 경우와 신규 재료를 사용한 경우를 비교하면 다음 그림 3과 같다.

비교대상 공동주택은 철근콘크리트 구조로 자재 평균사용량 및 재활용 비율은 표 7에 나타

났다.

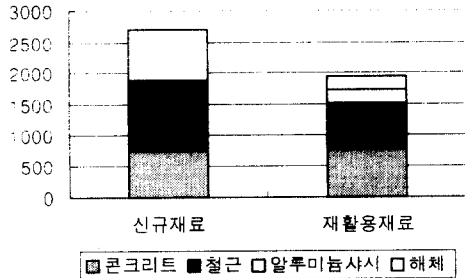


그림 3. 공동주택의 주요부재의 에너지소비량

표 8. 공동주택 주요부재의 에너지소비량 (MJ/m³)

구분	콘크리트	철근	알루미늄 샤시	해체	합
신규재료	743.7	1128.96	832.44	0	2705
재활용재료	765.9	738.297	216.552	226	1946
증가비용	103	65.4	26.0		71.9

주요부재에 에너지소비량을 살펴보면 재활용 재료를 사용한 공동주택의 경우 신규재료를 사용한 공동주택에 비해 철근의 경우 약 35%정도 감소하였으며, 알루미늄 샤시의 경우 74%정도 감소한 것으로 나타났다. 그러나 콘크리트의 경우 약 3%정도 에너지소비가 증가한 것으로 나타났다.

콘크리트, 철근, 알루미늄샤시 등 주요부재를 각 재활용비율에 따라 재활용부재를 사용한 경우보다 에너지 소비량이 약 28%정도 절감되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 자원의 절약 및 에너지절감을 위해 건축물 해체시 발생하는 해체재를 재활용하는 방안에 대해 재활용에 따른 에너지소비량을 산출하였으며, 이를 신규재료를 사용하는 방안과 비교하여 재활용에 따른 에너지소비 절감량을 산출하였다.

1) 건축물 해체시 발생하는 해체재를 재활용하여 건축부재를 생산시 집성재의 경우 약 7% 정도, 합판의 경우 약 32%, 철근의 경우 약 40%, 알루미늄의 경우 80%정도 신규부재보다

에너지사용이 절감되는 것으로 나타났다. 그러나 콘크리트의 경우 5%, 석재의 경우 48%정도의 에너지소비 증가를 보이는 것으로 나타났다.

2) 공동주택에서 콘크리트, 철근, 알루미늄 등 주요부재를 재활용부재로 사용한 경우 신규부재를 사용한 경우보다 철근의 경우 35%정도, 알루미늄샤시의 경우 74%정도 절감되며, 콘크리트의 경우 3%정도 증가되는 것으로 나타났다.

3) 공동주택의 3가지 주요부재를 재활용부재로 사용한 경우 해체에너지를 포함한 주요부재의 전체에너지 소비는 신규부재를 사용한 경우보다 약 28%정도 감소하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 유기영, "건축폐재류의 문제와 대응자세, 1995
2. 대한주택공사, '구조물 해체공법에 관한 연구 (I)', 1996.6
3. 서성원, 주거용 건축물의 전과정에 따른 CO2 배출량 예측 및 전산체계 구축, 중앙대학교 박사학위논문, 1998. 12
4. Toshio, OJIMA, "住宅解體材の再生エネルギー消費量の計算に関する研究", 日本建築學會計劃系論文集 pp 101-106, 1999
5. 國土開發技術研究センター, "省資源・省エネルギー型國土建設技術の開發報告書", pp 39-76, 1995
6. 서울시정개발연구원, "건축물 폐재류의 적정처리 및 재활용 방안", 서울시, 1995
7. 대한주택공사, 주택공사비 분석자료, p209, 1996
8. Arpad Horvath, "Estimation of Environmental Implications of Construction Materials and Design Using Life Cycle Assessment Techniques", PhD dissertation, Carnegie Mellon Univ., 1997