

건축물 해체 폐기물 처리에 대한 전과정평가

고광훈 · 황용우* · 조현정*
(주)LG전자 생산기술원
*인하대학교 환경공학과

Life Cycle Assessment for Building Demolition Debris Treatment

Kwang-Hoon Ko · Yong-Woo Hwang* · Hyun-Jung Jo*
LG Electronics Inc. Production Engineering Research Center
Dept. of Environmental Engineering, Inha University

ABSTRACT

In this study, building demolition debris treatment processes were classified with destruction, wastes transportation, debris treatment & recycling, and landfilling. And LCA for building demolition debris treatment such as destruction and all landfilling(scenario 1), consignment treatment & recycling(scenario 2) and onsite treatment & recycling(scenario 3) was carried on. In inventory stage, developed LCI DB in Korea was used. And Eco-indicator 99 methodology was used in impact assessment stage.

As the result, the order of the environmental impact showed that scenario 1 is $6.30E+05$ Pt(ecopoint), scenario 2 is $7.11E+05$ Pt and scenario 3 is $7.82E+04$ Pt. The order of result showed that scenario 3 is $7.82E+04$ Pt and it is found that the onsite treatment and recycling in building construction is the most environmentally superior .

Keyword: Life Cycle Assessment, Building Demolition Debris

요약문

본 연구에서는 건축물 해체 폐기물 처리 공정을 건물철거, 폐기물 수송, 위탁처리 및 재활용, 매립 등으로 구분하여, 철거 후 해체 폐기물을 전량 매립하는 경우(시나리오 1), 위탁업체 처리 및 재활용하는 경우(시나리오 2), 그리고 현장에서 처리하여 재활용하는 경우(시나리오 3)에 대하여 LCA(Life Cycle Assessment)를 수행하였다. 목록분석단계에서는 국내 LCI DB를 사용하였으며, 영향평가 단계에서는 Eco-indicator 99 방법론을 사용하였다.

LCA 수행결과 eco-point가 시나리오 1은 $6.30E+05$, 시나리오 2는 $7.11E+05$, 그리고 시나리오 3은 $7.82E+04$ 으로 평가되어 시나리오 2가 환경에 가장 나쁜 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 시나리오 3인 현장에서 처리하여 재활용하는 경우가 환경적으로 가장 우수한 처리방법인 것으로 나타났다.

주제어: 전과정평가, 건축물 해체 폐기물

1. 서론

우리나라는 1970~1980년대 수차례에 걸친 경제개발계획과 함께 지속적인 경제 성장을 거듭하였다. 그 결과 산업형태의 변화와 대도시로의 인구 유입이 급격히 증가하였으며, 이러한 인구를 수용할 수 있는 건축물 및 관련 사회기반시설이 대량으로 건설되었다. 그러나 최근에 건축물의 노후화와 생활 환경 개선에 대한 일반인들의 수준 향상으로 인하여 건축물 해체의 필요성이 점차 증가하고 있는 상황이다.

국내 건설폐기물 발생량은 주거환경 개선, 재건축, 재개발 등의 공사 활성화를 인하여 1996년 약 1천만톤에서 2001년 약 4천만톤으로 증가하였으며, 향후 2010년에는 약 1억톤의 건설폐기물이 발생할 것으로 추정된다¹⁾. 건설폐기물이 국내 전체 폐기물 발생량에서 차지하는 비중은 약 43%이며, 이 중 건축물 해체 시 주로 발생하는 폐콘크리트가 약 60%를 차지하고 있다²⁾.

최근 정부는 환경오염의 최소화와 자원의 재순환 측면에서 건축물 해체 폐기물에 대한 재활용 정책을 중점적으로 추진하여 재활용율을 약 80%까지 상승시켰으나, 발표된 통계 자료는 실제 재활용으로 이용된 해체 폐기물량이 아닌 재생골재 생산량을 기준으로 집계된 것이며, 현재 건설현장에서는 재생 골재 사용율이 매우 낮은 수준이다. 따라서 건축물 해체 폐기물 처리에 있어서 환경영향을 저감시킬수 있는 방안을 모색할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 건축물의 해체 폐기물 처리 방법을 3가지 시나리오 즉 해체 폐기물 매립, 위탁처리 및 재활용, 그리고 현장처리 및 재활용으로 구분하여 각 시나리오에 대하여 환경성을 LCA 기법을 이용하여 평가하였다.

2. 분석범위

일반적으로 건축물의 해체 단계는 건물의 철거, 해체 폐기물 수송, 폐기물 위탁처리, 매립 등으로 나눌 수 있으며, 철거과정에서 발생한 폐금속류와 폐기물 위탁처리를 통하여 재생된 재생골재는 재활용 되고 있다.

본 연구에서는 그림 1에 나타난 바와 같이 건축물 해체 처리방법을 철거 후 폐기물을 전량 매립하는 경우(시나리오1), 위탁업체를 통한 처리 및 재활용하고 발생한 폐기물을 매립하는 경우(시나리오2), 그리고 철거 시 발생한 해체 폐기물을 현장 처리 및 재활용하고 나머지 혼합폐기물을 매립하는 경우(시나리오3)으로 구분하여 각각의 처리 시나리오에 대하여 LCA 기법을 이용하여 환경성을 평가하였다.

분석 대상은 철근 콘크리트 구조로 1971년 건축되고 기계식 해체 공법을 이용하여 1995년 철거된 서울지역 G 아파트이며, Table 1에 대상 건축물의 개요를 나타내었다.

또한, 대상 건축물 철거 시 발생한 폐기물량은 기존 조사 자료³⁾를 이용하였으며, 발생 폐기물은 폐콘크리트, 폐금속류, 혼합폐기물로 분류하였다. Table 2에 조사 내용을 정리하여 나타내었다.

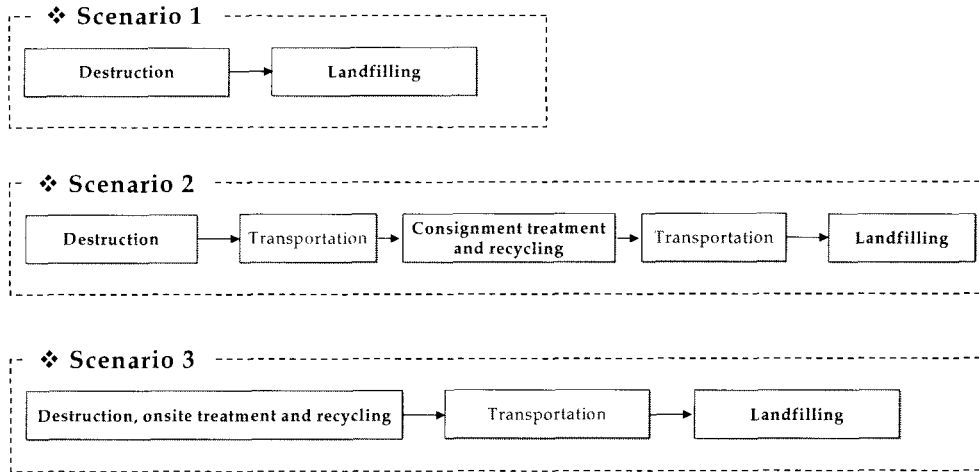


Fig. 1. Scenario for the treatment of building demolition debris.

Table 1. General specification of G apartment complex

Item		Contents
Profile	Established year	1971
	Demolished year	1995
	Ground area	27,775.4 m ²
	Building area	24,921.6 m ²
	Scale of buildings	10 blocks
		352 households
		66 m ²
		5 floors
Structure	Steel concrete	
Destruction	Period	160 days
	Process	Method of machinery destruction
	Distance to recycling site	19 km (one way)
	Distance to landfilling site	20 km (one way)
	Distance from consignment treatment site to landfilling site	0.5 km (one way)

Table 2. Building demolition debris from G apartment complex

Type	Amount (ton)
Concretes ¹⁾	64,917.5
Metals	312.9
Mixed waste ²⁾	1346.2
Total	66576.6

1) Including tile debris and bricks

2) Including paper debris, resin wastes and glass wastes

각각의 폐기물 처리 방법에 대한 환경성 평가를 하기 위하여 철거, 폐기물 수송, 위탁처리 및 재활용, 매립 시 사용되는 장비 사용으로 인한 환경영향을 고려하였다. 재활용으로 인한 환경영향 저감은 생산지 및 수송거리 산정이 곤란하기 때문에 골재 사용으로 인한 저

감효과에 대해서만 고려하였다. 또한, 매립 시 침출수 및 매립가스 등으로 인해 환경영향이 발생하지만, 폐기물의 성상 및 종류가 다양하고 조사가 곤란하여 가스발생량 및 처리량 분석이 난해하기 때문에 본 연구에서는 제외하였다.

Table 3. Environmental impacts considered in this study

Stage	Items
Destruction	<ul style="list-style-type: none"> · Energy consumption - Operation of demolition machinery
Transportation	<ul style="list-style-type: none"> · Energy consumption - Waste transportation
Recycling	<ul style="list-style-type: none"> · Energy (diesel and electricity power) consumption by recycling machinery and instrument · Environmental merit in recycling - Using recycled aggregates and metals
Landfilling	<ul style="list-style-type: none"> · Energy consumption - Operation of landfilling machinery

3. 분석방법

대상 건축물의 해체 폐기물 처리방법을 철거 후 폐기물을 재활용 하지 않고 전량 매립하는 경우(시나리오 1), 위탁업체를 통한 해체 폐기물 위탁처리 및 재활용하고 나머지 혼합폐기물은 매립하는 경우(시나리오 2), 그리고 철거 과정 중에 발생한 폐기물을 현장에서 처리 및 재활용하고 나머지 혼합폐기물은 매립하는 경우(시나리오 3)로 구분하여 각 처리 방법에 대한 환경성을 분석하였다. 환경영향 분석 방법으로 LCA를 이용하였으며, 목적 및 범위설정, 목록분석, 영향평가의 절차로 수행하였다. 본 연구의 범위는 건물 철거, 폐기물 수송, 위탁처리 및 재활용, 매립 등의 폐기물 처리과정으로 설정하였다. 목록분석에서는 해체 전과정에서 투입하는 물질과 에너지를 분석하고, 이로 인해 발생하는 각 환경오염물질들을 정량화하였으며, 국내 즉 산업자원부와 환경부에서 개발한 LCI DB^{1)~5)}를 이용하여 목록분석을

수행하였다. 영향평가에서는 목록분석 결과를 바탕으로 End-Point LCIA(Life Cycle Impact Assessment) 방법인 Eco-Indicator 99^{6)~7)}를 이용하여 각 처리 방법에 대한 환경성 평가를 수행하였다.

4. 수행 내용 및 결과

4.1 해체 폐기물 전량 매립(시나리오 1)

건축물 철거 후 발생한 해체 폐기물을 재활용 공정을 거치지 않고 전량 매립지로 수송하여 최종처분 하는 경우에 대한 환경성을 평가하였다. 처리 방법에 대한 환경성을 평가하기 위해 건물 철거단계, 폐기물 수송단계에서는 철거장비, 야적장비, 수송장비의 사용에 따른 에너지 소비량을 실제 현장에 투입된 각 장비별 사용시간을 조사하고 표준품셈⁸⁾의 각 장비별 시간당 연료사용량을 이용하여 산정하였다. 또한 매립단계에서는 매립 장비로 사용용되는 불도저와 컴팩터로⁹⁾ 인한 에너지소비량을 산

정하였다. Table 4에 각 단계별 사용 장비 종류 및 규격, 에너지 사용량을 정리하여 나타내었다.

또한, 산정된 자료에 대한 목록분석 결과를 이용하여 영향평가를 수행하였다. 영향 평가에서는 인간건강, 생태계영향, 자원에 대한 범주를 고려하였으며, 평가 결과를 Table 5에 나

타내었다. 평가 결과 전체 환경 영향 중 폐기물 수송으로 인한 환경 영향이 60% 이상을 차지함을 알 수 있었다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 영향 범주별로는 모든 단계에서 자원으로 인한 환경영향이 가장 큰 비중을 차지함을 알 수 있었다.

Table 4. Machinery and consumed energy used in landfilling

Stage	Machinery	Working volume	Fuel consumption (L/hr)	Energy Consumption
Destruction	Crusher 1.0 m ³	93.0 hr	17.7	1,646.1 L ¹⁾
	Breaker 1.0 m ³	32.0 hr	17.7	566.4 L ¹⁾
	Payloader 2.87 m ³	339.2 hr	20.2	6,851.8 L ¹⁾
Transportation	16 ton press roll truck	-	-	2,663,062.4 ton · km
Landfilling	Bull dozer 19 ton	1,271 hr	577.6	30,267.3 L ¹⁾
	Compacter 32 ton	182 hr	18.0	6,547.9 L ¹⁾

1) Energy Source : diesel

Table 5. Results of impact assessment for landfilling (Unit : Pt*)

Stage	Human	Ecosystem	Resource	Total	Ratio
Destruction	3.25E-03	1.15E+02	4.83E+04	4.84E+04	7.7%
Transportation	2.50E-01	1.33E+04	3.71E+05	3.85E+05	61.0%
Landfilling	1.32E-02	4.66E+02	1.96E+05	1.97E+05	31.3%
			Total	6.30E+05	100%

* Pt : Ecopoint

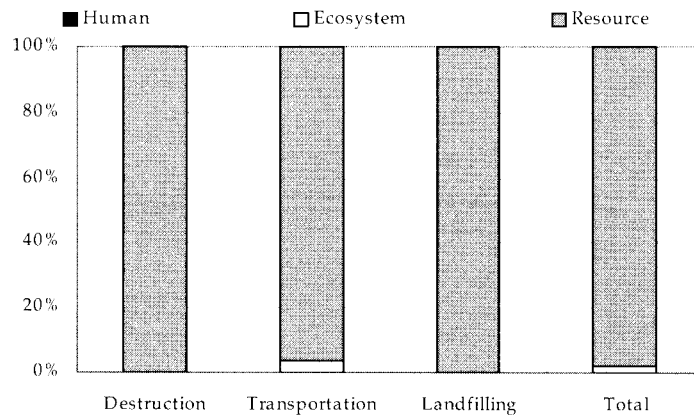


Fig. 2. Contribution of environmental impact from landfilling.

4.2 위탁처리 및 재활용(시나리오 2)

현재, 국내에서는 대부분의 경우 건축물 철거 과정에서 발생한 폐기물을 중간처리 업체를 통하여 위탁처리하고 있으며, 파쇄, 선별 등의 처리 공정을 거쳐 재생하고 이를 도로 기층재나 동상방지층재로 재활용하고 있다. 두 번째 시나리오에서는 철거 과정 중에 발생한 폐기물을 위탁처리 및 재활용하는 경우에 대해 환경성을 평가하였으며, 건물철거, 폐기물 수송, 위탁처리, 매립 단계에서 장비 사용으로 인한 환경영향을 분석하였다. 또한, 재생골재 재생으로 인한 환경영향의 이득(저감)도 포함시켜 분석하였다. 폐기물 처리 과정 중 건물 철거와 매립단계는 장비 사용으로 인한 에너지 사용량으로 산정하였으며, 해체 폐기물 수송에서는 중간처리업체 수송 장비(15 ton 트럭)와 매립지 처분장비(16 ton 압롤 트럭) 사용을 고려하였다.

위탁처리단계에서는 반입된 폐기물을 처리하는 데 소비되는 에너지에 대하여 환경영향도 분석하였으며, 여기서 에너지 소비량은 실제 업체 조사를 통하여 야적장비의 연료 사용량과 처리공정에서의 전기 사용량을 산출하였다.

Table 6에 산정 결과를 정리하여 나타내었다. 또한, 연료 및 전기 사용으로 인한 자원소

비, 대기오염, 수계오염 물질들에 대하여 목록 분석을 수행하였다.

또한, 실제 중간 처리업체의 폐기물 처리 실적 자료를 바탕으로 재활용품 생산을 및 혼합 폐기물 발생률을 산정하였으며, 중간 처리과정에서의 재생골재 생산량 및 2차 혼합폐기물량을 산출하였다. Table 7에 산출 결과를 나타내었고, 이 중 재생골재는 건축물 신축공사에 전량 재사용되는 것으로 가정하였다.

각 단계별 산정된 결과에 대한 목록분석 결과를 이용하여 영향평가를 수행하였으며 Table 8에 결과를 나타내었다. 평가 결과 폐기물 수송단계가 54% 정도로 가장 큰 비중을 차지하였다. 재생골재 재사용으로 인한 자원소비, 대기배출물 및 수계배출물 감소, 폐기물 처리 등으로 인한 환경 영향 이득(Avoided impact)은 2.04E+03 Pt 발생하는 것으로 나타났다지만, 전체 환경영향에 비해 미비한 수준이었다. 환경 영향 이득은 재활용으로 생산된 재생골재가 신축공사에 사용됨에 따라 골재투입으로 발생하는 환경영향만큼 재활용단계에서 환경영향이 저감된다는 가정하에 평가되었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 영향 범주별로는 모든 단계에서 자원으로 인한 환경영향이 가장 큰 비중을 차지함을 알 수 있었다.

Table 6. Machinery and consumed energy from consignment treatment and recycling

Stage	Machinery	Working volume	Energy consumption (L)
Destruction	Crusher 1.0 m ³	93.0 hr	1,646.1 L ¹⁾
	Breaker 1.0 m ³	32.0 hr	566.4 L ¹⁾
	Payloader 2.87 m ³	339.2 hr	6,851.8 L ¹⁾
Transportation	15 ton truck	-	2,543,984.0 ton·km
	16 ton press roll truck	-	55,426.3 ton·km
Consignment treatment	Carrying machinery	-	45,430.1 L ¹⁾
	Recycling instrument	200 ton/hr	84,308.6 kwh
Landfilling	Bull dozer 19 ton	52.4 ton/hr	1329.6 L ¹⁾
	Compacter 32 ton	364.0 ton/hr	287.6 L ¹⁾

1) Energy Source : diesel

Table 7. Products from recycling process of demolition debris

Item		Quantity (ton)	Final treatment
Treated quantity		64,917.5	-
By-product	Recycled aggregates	63,105.1	recycling
	Metals debris	1,578.3	recycling
	Secondary mixed wastes	234.1	landfilling

* Rate of generated recycled aggregate : 0.97

Rate of generated metals : 0.024

Rate of generated secondary mixed wastes : 0.004

Table 8. Results of impact assessment for consignment treatment and recycling(Unit:Pt)

Stage	Human	Ecosystem	Resource	Total	Ratio
Destruction	3.25E-03	1.15E+02	4.83E+04	4.84E+04	6.9%
Transportation	2.50E-01	1.33E+04	3.71E+05	3.76E+05	53.6%
Consignment treatment	3.95E-02	1.17E+03	2.68E+05	2.70E+05	38.5%
Recycling	-4.31E-03	-1.14E+02	-1.92E+03	-2.04E+03	-0.3%
Landfilling	5.79E-04	2.05E+01	8.62E+03	8.64E+03	1.2%
Total				7.01E+05	100.0%

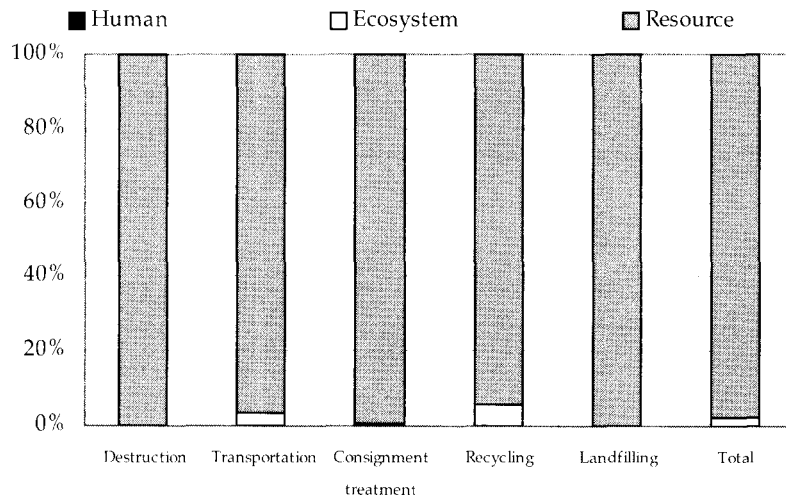


Fig. 3. Contribution of environmental impact for consignment treatment and recycling.

4.3 현장처리 및 재활용(시나리오 3)

현재, 건축물 철거 현장에서 발생한 폐기물은 대부분 중간처리 업체에 위탁처리하고 있다. 그러나 해체 폐기물을 중간처리 업체로 수송하고 처리하는데 대량의 에너지와 비용이 소비된다. 본 절에서는 건물철거 시 발생한 해체

폐기물을 조크러셔, 파쇄기 등을 이용하여 현장에서 직접 처리 및 재생하고, 해당 건축물의 재건축 공사 시 지반 개량재, 도로 기층재, 기초 및 도로 노반재 등으로 재활용하는 경우에 대하여 환경영향을 분석하였다.

건축물 철거단계에서는 기존의 해체장비에

조크러셔, 파쇄기 등의 재생처리 장비를 추가하여 에너지 소비량을 산정하였으며, 폐기물 수송단계에서는 현장에서 발생한 재활용이 불가능한 혼합폐기물을 매립지에 처분하기 위해 사용되는 수송장비에 대하여 고려하였다. 매립에서는 반입된 폐기물을 처리하는 데 소비되는 에너지량을 산정하였다. Table 9에 각 단계별 장비 종류 및 산정 결과를 정리하여 나타내었다.

이어서 목록분석과 영향평가를 수행하였으며, Table 10에 결과를 나타내었다. 평가 결

과 건물철거 후 현장처리를 통해 재생하는 단계가 전체 환경영향 중 가장 큰 비중을 차지하였다. 시나리오 2에서와 같이 환경 영향 이득은 재활용으로 생산된 재생골재가 신축공사에 사용됨에 따라 골재투입으로 발생하는 환경영향만큼 재활용단계에서 환경영향이 저감된다는 가정하에 평가되었다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 영향 범주별로는 모든 단계에서 자원으로 인한 환경영향이 가장 큰 비중을 차지함을 알 수 있었다.

Table 9. Machinery and consumed energy used in on-site treatment and recycling

Stage	Machinery	Working Volume	Energy Consumption (L)
Destruction & Recycling	Crusher 1.0 m ³	93.0 hr	1,646.1 L ¹⁾
	Breaker 1.0 m ³	32.0 hr	566.4 L ¹⁾
	Payloader 2.87 m ³	339.2 hr	6,851.8 L ¹⁾
	Jaw crusher 200 ton/hr	63.0 hr	4,275.0 kwh
	Crusher 75 kW	65.0 hr	4,875.0 kwh
Transportation	16 ton press roll truck	-	138,858.6 ton·km
Landfilling	Bull dozer 19 ton	52.4 ton/hr	1329.6 L ¹⁾
	Compacter 32 ton	364.0 ton/hr	287.6 L ¹⁾

1) Energy Source : diesel

Table 10. Results of impact assessment for onsite treatment and recycling(Unit : Pt)

Stage	Human	Ecosystem	Resource	Total	Ratio
Destruction & onsite treatment	6.39E-03	1.95E+01	5.15E+04	5.17E+04	66.1%
Recycling	-4.31E-03	-1.14E+02	-1.92E+03	-2.04E+03	-2.6%
Transportation	1.30E-02	6.92E+02	1.94E+04	2.01E+04	25.7%
Landfilling	5.64E-04	1.99E+01	8.40E+03	8.42E+03	10.8%
			Total	7.82E+04	100.0%

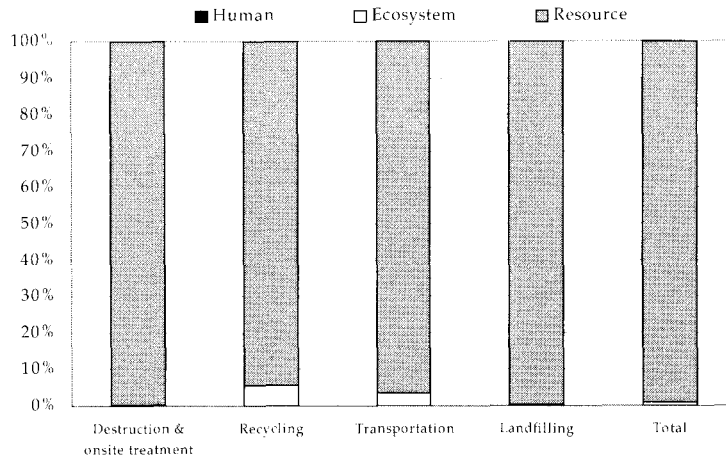


Fig. 4. Contribution of environmental impact for onsite treatment and recycling.

5. 결론

주택, 빌딩 등의 건축물이나 교량, 도로, 터널 등의 구조물은 수명이 다하거나 본래의 기능을 발휘할 수 없을 때 해체되며, 이때 다량의 해체폐기물이 발생하게 된다. 일반적으로 건축물 철거과정에서 발생한 폐기물은 혼합폐기물 형태로 배출되어 중간처리업체로 반입되며, 폐기물 선별 및 재생 과정을 거쳐 매립지에 최종 처분되거나 재활용하게 된다.

본 연구에서는 건축물 해체 폐기물의 처리 방법에 대하여 철거 후 해체 폐기물 전량 매립하는 경우(시나리오 1), 위탁업체를 통한 처리 및 재활용하는 경우(시나리오 2), 그리고 현장 내에서 처리하고 신축공사에 재활용하는 경우(시나리오 3)로 구분하여, 처리 시나리오별 환경성을 LCA 기법을 이용하여 분석하였다.

각 처리 방법에 대한 환경성 평가 결과 시나리오 2가 $7.11E+05$ Pt, 시나리오 1이 $6.30E+05$ Pt, 시나리오 3이 $7.82E+04$ Pt 순으로 환경영향이 높게 나타났으며, 모든 경우에 있어서 전체 환경영향 중 폐기물 수송으로 인한 환경영향이 가장 큰 비중을 차지함을 알 수 있었다. 따라서 건축물 해체 폐기물 처리 단계에서 폐기물 수송거리의 조절을 통하여 환경영향 저감의 효과를 기대할 수 있을 것이며, 수송거리에 따른 시나리오별 환경부하에 대한 평가도 추후에 수행되어야 할 것이다.

6. 참고문헌

1. 환경부, 건설폐기물 재활용 촉진 종합대책 (2002)
2. 환경부, 전국폐기물 발생 및 처리현황 (2003)
3. 대한주택공사, 건설폐기물의 처리 및 재활용방안 연구(1997)
4. 한국생산기술원 국가청정지원센터 web site, <http://www.kncpc.re.kr/lci> (2004)
5. 환경마크협회 web site, <http://www.kela.or.kr/lci/lci.asp>(2004)
6. Pre-Consulting web site, <http://www.pre.nl/default.htm>(2004)
7. Mark, G. K. and Renilde S., The eco-indicator99 a damage oriented method for life cycle impact assessment, methodology report, PRe consultants B. V.(2000)
8. (사)대한건설진흥회, 건설표준품셈(2003)
9. 동아건설, 수도권 매립지 차량 및 매립장비의 효율적인 운영 방안(1997)