

建設廢棄物の 리사이클링 現況과 研究動向
- 國內資源의 有效利用을 위한 處理 및 回收技術動向(4) -[†]

† 吳在賢 · 金美星* · 申熙德** · 閔芝源***

연세대학교 명예교수, *에너지관리공단,
한국과학기술정보연구원, * (사)한국자원리사이클링학회

Recent Status on the Recycling of Construction Waste and Research Trends
- The Current Situation of Recycling Technology for Waste Resources in Korea(4) -[†]

† Jae-Hyun Oh, Mi-Sung Kim*, Hee-Duck Shin** and Ji-Won Min***

Professor Emeritus of Yonsei University, *Korea Energy Management Corp.

**Korea Institute of Science and Tech. Information,

***The Korean Institute of Resources Recycling

요 약

우리나라 사업장 폐기물의 51.7%에 해당되는 47,294천톤이 건설폐기물이고, 이 폐기물의 96.7%가 재활용되는 것으로 집계되어 있다. 한편 고품질 순환골재의 생산을 일부기업에서 시도하고 있으나, 천연골재를 대체하기에는 아직 미흡한 것 같다. 우리나라의 경우 혼합폐기물의 정의가 애매하여, 혼합폐기물의 선별자원화가 매우 부실하다. 폐목재의 경우 PB(particle board)용으로 수요가 많으나, 현장에서 폐목재의 수집이 쉽지 않다. 2005년 대형국책과제를 수행하는 「건설폐기물재활용연구단」이 발족하였다. (사)한국자원리사이클링 학회지에 게재된 건설폐기물 관련 보문은 주가 폐기물을 이용해서 건설자재로 재활용하는 것에 관한 것이었다.

주제어 : 건설폐기물, 리사이클링, 선별기술, 연구동향

Abstract

According to the statistical data of the Ministry of Environment, 47million tons of construction waste were generated, and 96.7% of them was recycled in 2005. However, the recycled products seem to be remained under low quality. Because mixed demolition and construction waste, so called DC Waste, including concrete, brick, plaster, lumber, plastics building materials, paper and some dirt and stone, is very variable and difficult to estimate its exact composition, it is regarded as having little or no value to the construction industry. 'The Research group on recycling of construction waste' was started by the Housing & Urban Research Institute(KNHC), which is sponsored as a large scale national project by the Ministry of Construction and Transportation. This research group intends to establish recycling system through planing, processing, developing practical technology, and eventually contribute to save natural resource and to vitalize the industry. In this paper an overview of DC waste management and recycling technology is given in some detail. Particularly, "recycling law of construction waste" and recent research trends on recycling of construction waste are discussed.

Key words : construction waste, recycling law, separation technology, research trends

1. 머리말

건설산업은 전 산업의 자원이용량의 약 50%를 건설

자재로 사용하고 있다. 한편, 건설공사에 수반해서 배출되는 배출물(건설폐기물)은 전 산업폐기물 배출량의 약 50%를 점유하고, 불법 투기량의 대부분을 건설폐기물이 차지하고 있다. 즉, 건설 산업은 자재의 사용과 폐기에 있어서 대단히 큰 비중을 가진 산업이므로, 건설공

[†] 2008년 3월 21일 접수, 2008년 4월 4일 수리

*E-mail: kirr@kirr.or.kr

사 관계자가 이러한 막중한 인식을 가지고 건설폐기물의 발생억제, 리사이클링의 철저를 기하는 것이 우리나라 자원순환형사회를 구축하는 밑거름이 될 것이다.

본 연구는 위와 같은 관점에서 먼저 우리나라 건설폐기물의 배출실태와 리사이클링을 개관하고, 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」을 검토하였다. 다음에는 건설폐기물의 리사이클링 기술을 점검하고, 건설폐기물의 리사이클링 연구동향을 조사 분석하였다.

2. 건설폐기물의 리사이클링 현황

2.1. 건설폐기물의 배출실태와 리사이클링

Table 1¹⁾은 사업장폐기물의 종류별 발생현황을 표시한 것이다. 2005년도 총 사업장폐기물 91,478,125톤의 51.7%에 해당되는 47,293,780톤이 건설폐기물로 배출되고 있다. 그리고 Table 2²⁾는 건설폐기물 종류별 발생실태를 표시한 것이다.

2005년 발생한 건설폐기물 가운데 페콘크리트 및 페

아스팔트가 32,824천톤으로 69.41%를 차지하고 있다. 그 동안의 경제성장 과정에서 축적된 건축물의 내구연한, 1960~1970년대의 도시집중화 현상에 따른 최근의 건설 수요 등을 고려할 때, 건설폐기물 발생량은 계속해서 꾸준히 증가할 것으로 전망되고 있다.

Table 3³⁾은 건설폐기물 처리 실태를 표시한 것이다. 건설폐기물 재활용률은 정부의 재활용정책 중점추진으로 1997년부터 증가하여 2005년에 96.7%로 크게 상승하였으나, 건설폐기물의 재활용 용도는 대부분 성토·매립용이 차지하고 있으며, 사용자의 부정적인 인식과 시공사태가 없기 때문에 도로기층용이나 콘크리트용 골재 등과 같이 부가가치가 높은 부문에서 천연골재를 대체하여 사용되는 실적은 매우 저조*한 것으로 나타나고 있다.

Table 4⁵⁾는 건설폐기물의 성상별 발생량을 가연성과 불연성으로 분류해서 표시한 것이다. 불연성 폐기물이 전체의 95.3%를 차지하고 있다.

Fig. 1⁶⁾은 日本내 주요 물자의 물질수지(material

Table 1. Generation of Industrial Waste

(단위 : 톤/일, %)

구 분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2005 년간 발생량, 톤/년	
생활폐기물	45,614	46,438	46,499	49,902	50,736	50,007	48,398	17,665,270/년	
계	173,603	187,845	212,533	227,631	252,293	261,659	250,625	91,478,125/년	
사업장 폐기물	배출시설계(일반)	103,893 (59.9)	101,453 (54.0)	95,908 (45.1)	99,505 (43.7)	98,891 (39.2)	105,018 (40.1)	112,419 (44.9)	41,032,935/년
	건설 폐기물	62,221 (35.8)	78,777 (41.9)	108,520 (51.1)	120,141 (52.8)	145,420 (57.6)	148,489 (56.8)	129,572 (51.7)	47,293,780/년
	지정 폐기물	7,489 (4.3)	7,615 (4.1)	8,105 (3.8)	7,985 (3.5)	7,982 (3.2)	8,152 (3.1)	8,634 (3.4)	3,151,410/년

Table 2. Generation of construction and demolition waste

(단위 : 천톤/년)

구 분		2001	2002	2003	2004	2005
총 계	발생량	39,609.8	43,851.6	53,078.1	54,198.1	47,294.0
	증감(%)	37.8	10.7	21.0	2.1	-12.7
페콘크리트	발생량	24,108.5	26,471.9	33,813.3	34,969.3	27,286.4
	증감(%)	33.8	9.8	27.7	3.4	-22.0
페아스팔트 콘크리트	발생량	5,000.4	5,376.0	6,698.3	7,359.3	5,537.9
	증감(%)	20.3	7.5	24.6	9.9	-24.7
기타(폐합성수지, 혼합건설폐기물 등)	발생량	10,500.9	12,003.7	12,566.5	11,869.5	14,469.7
	증감(%)	59.5	14.3	4.7	-5.5	21.9

*송재식⁴⁾씨에 의하면 도로보조기층용, 콘크리트용 등 경제적 가치가 높은 용도로의 재활용은 약 14%에 머물고 있음.

Table 3. Land filling, incineration and recycling of construction waste(2005)

(단위 : 톤/일)

연도별 / 구 분	계(A)	매립(B) (해양투기)	B/A(%)	소각(C)	C/A(%)	재활용(D)	D/A(%)
2001	108,520	12,943	11.9	2,424	2.2	93,153	85.9
2002	120,141	17,470 (8)	14.5	2,462	2.1	100,209	83.4
2003	145,420	13,725 (10)	9.4	2,233	1.5	129,462	89.0
2004	148,489	10,983 (7)	7.3	2,949	2.0	134,557	90.7
2005	129,572	3,383 (93)	2.6	862	0.7	125,327	96.7

Table 4. Generation of various kinds of construction waste

(단위 : 톤/일)

구 분	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2004, 톤/년	
총 계	47,693	62,221	78,777	108,520	120,141	145,420	148,489	54,198,485	
가연성	소계	3,148	4,425	5,207	6,749	6,053	5,807	7,021	2,562,665
	종이류	348	613	591	557	507	452	478	174,470
	나무류	1,547	2,063	2,367	3,111	2,632	2,534	3,248	1,185,520
	합성수지류	655	968	1,311	1,821	1,800	1,445	1,687	615,755
	기타	598	781	938	1,260	1,113	1,376	1,608	586,920
불연성	소계	44,545	57,796	73,570	101,771	114,088	139,613	141,468	51,635,820
	건설폐재류	42,445	56,212	71,063	98,660	101,992	130,615	132,288	48,285,120
	금속류	818	661	1,087	1,316	1,323	922	1,025	374,125
	유리류	127	174	181	304	430	354	313	144,245
	기타	1,155	749	1,239	1,491	10,343	7,722	7,842	2,862,330

출처 : 환경부, 전국폐기물 발생 및 처리현황(2005), 건설핵심기술연구개발사업 제1차년도 중간보고서 “건설폐기물 재활용기술개발” 건설교통부(2006. 9. 28.)

balance)를 나타낸 것이다. 대략 산업적으로 관측할 수 있는 일본의 물류 총량은 약 19억톤이다. 그중 수입에 에너지가 약 4억톤, 수입원료가 약 3억톤, 국내자원이 10억톤 정도이며, 이 중 9억톤이 토목건축자원으로 되고 있다.

이 자원을 사용해서 산업 활동이 행해져 사람의 생활이 유지되고 있다. 그 과정에서 석유, 석탄 등의 에너지 자원은 이산화탄소가 되어 공기 중에 비산한다. 그 량이 약 4억톤이며, 산업폐기물로 되는 것이 약 4억톤이다. 이 4억톤 중 건설폐기물이 7,700만톤을 차지하고 있다. 즉 건설폐기물이 전 산업폐기물의 약 20%이다.

우리나라의 경우 전 사업장폐기물(산업폐기물)이 91,478,125톤(2005년도)이며, 이중 건설폐기물이 47,293,780톤으로 51.7%를 차지하고 있어 일본보다 많은 비중을 나타내고 있다.

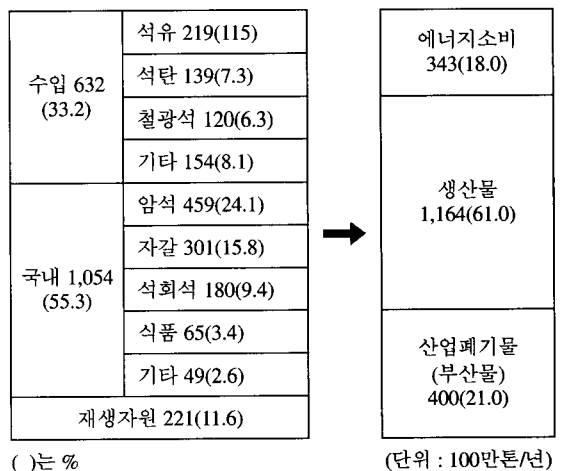


Fig. 1. Japan's material balance (fiscal year 1999).

Table 5. Generation and recycling of various kinds of construction waste (Japan, 2002)

	배출량(만톤)	재활용율(%)
콘크리트 덩어리	3,500	97.5
아스팔트 콘크리트 덩어리	3,000	98.7
건설혼합폐기물	300	28.0
건설오니	800	66.8
건설발생목재	500	90.0
기타	100	59.0
계	8,200	전체 91.5%

Table 5⁷⁾는 日本 건설폐기물의 품목별 배출량 및 재활용율을 나타낸 것으로 필자가 보완해서 작성한 것이다. 전체 재활용율은 91.5%로, 이중 건설혼합폐기물의 재활용율이 28.0%로 가장 낮아 문제점으로 부각되고

있다.

우리나라의 경우 건설폐기물 전체의 재활용율이 96.7%로 표시되어 있을 뿐 품목별 배출량 및 재활용율의 자료는 찾지 못하였다.

본고에서 日本의 자료를 많이 인용하게 된 것은 물질수지의 흐름이라든가, 건설폐기물의 품목별 배출량 및 재활용율에 관한 통계를 우리나라도 시급히 구축해야 될 과제임을 강조하기 위해서이다. 이러한 통계자료가 구축되어야만 리사이클링을 위한 계획을 세울 수 있고 또 문제점을 파악할 수 있기 때문이다.

2.2. 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」에 관해서

2005년 1월 1일부터 시행한 우리나라 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」에서는 제정이유를 다음과 같이 기록하고 있다 :

Table 6. Objective of the law of construction waste recycling in Korea and Japan

韓國	이 법은 건설공사 등으로 인하여 발생한 건설폐기물을 친환경적으로 적정처리하고 재활용을 촉진하여 국가자원의 효율적 이용은 물론 국민경제발전과 공공복리증진에 기여함을 목적으로 한다.
日本	이 법률은, 특정의 건설자재에 관해서 그 분별해체 등 및 재자원화 등을 촉진하기 위한 조치를 강구함과 더불어 해체공사업자에게 등록제를 실시하는 등에 의하여, 재생자원의 충분한 이용 및 폐기물의 감량 등을 통해서, 자원의 유효한 이용의 확보 및 폐기물의 적정한 처리를 꾀하고, 그러므로 생활환경의 보전 및 국민경제의 건전한 발전에 기여함을 목적으로 한다.

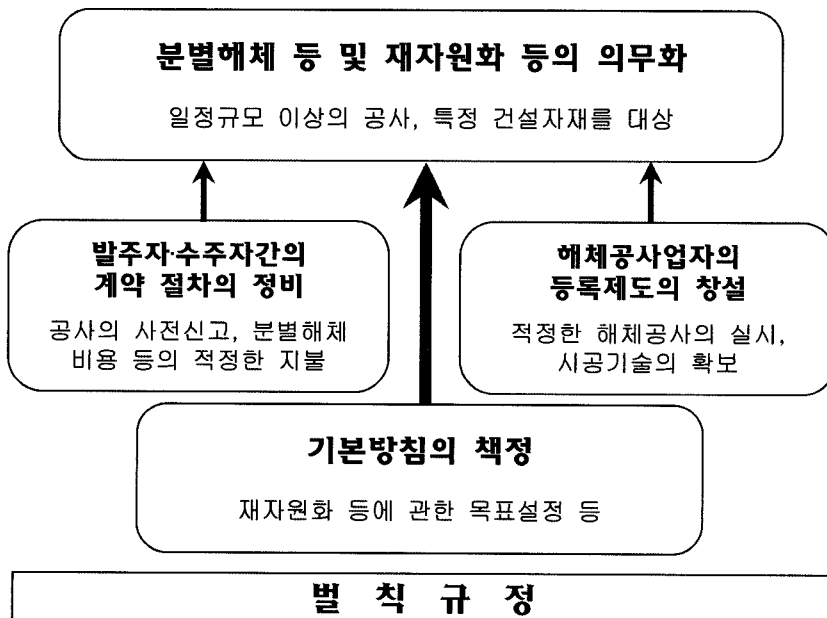


Fig. 2. Main frame on the recycling law of construction waste in Japan.

1. 제정이유

건설폐기물의 처리 및 재활용에 대한 기존 법률의 근거 규정을 종합적으로 분석·검토하여 건설폐기물 관련 단일 법률을 입법화하여, 일시에 다량 발생하는 건설폐기물을 친환경적으로 적정처리하고, 천연골재의 대체자원으로 활용가능한 양질의 순환골재 생산을 유도하고, 국기를 당사자로 하는 계약에 관한법률의 적용을 받는 발주자를 대상으로 순환골재 사용 의무화 등 필요한 근거 규정을 마련함으로써 골재의 공급을 안정적으로 확보하여, 국가 자원의 효율적 이용은 물론 국민경제 발전과 공공복리 증진에 기여하고자 함.

그리고, 주요골자의 첫머리는 다음과 같다 :

2. 주요골자

가. 환경부장관은 건설폐기물을 친환경적으로 적정처리하고 재활용을 효율적으로 촉진하기 위하여 건설폐기물의 발생량 및 순환골재의 생산, 재활용 실적을 토대로 재활용기본계획 등을 수립하여 재활용 시책을 적극 시행함.

위의 기록은 건설폐기물 중에서 골재만을 재활용하도록 하는 법률 같다. 더욱 당혹스러운 것은 다음의 시행령 제9조 제1항이다. 시행령 제9조(건설폐기물의 처리 기준 등) 제1항을 보면, 「법 제13조의 규정에 의한 건설폐기물의 수집운반, 보관, 중간처리의 기준 및 방법은 다음과 같다 :

1. 건설폐기물은 폐콘크리트·페아스팔트콘크리트·폐목재·폐합성수지·폐금속류 등의 종류별로 재활용가능성, 소각가능성 여부 등에 따라 구분하여 수집·운반, 보관할 것. 다만, 다음 각목의 어느 하나에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다.

가. 건설폐기물의 발생 또는 배출당시 2종류 이상의 건설폐기물이 혼합되어 발생 또는 배출되는 경우.

즉 2종류 이상 혼합되어서 배출되는 것은 수집·운반할 때에 재활용가능성이나 소각가능성 여부 등을 고려할 필요가 없이 해도 된다는 것이다. 실제 건설폐기물에서 가장 골치 아픈 것이 바로 혼합폐기물의 처리문제이다.

여기서, 참고로 2000년도에 공포된 日本의 “건설폐기물 리사이클링법”(정확하게는, 건설공사에 관계되는 자재의 재자원화 등에 관한 법률)⁸⁾과 우리나라 경우를 비교 검토하고자 한다.

첫째 이법의 목적(제1조)을 비교해 보자(표6 참조). 이 법의 목적에 있어서, 우리나라의 것은 추상적인 반면 日本의 것은 구체적으로 기술하고, 분별해체 및 재자원화 등의 의무화를 강조하고 있다. 日本의 “건설리사이클링법”의 주요골자를 다음 Fig. 2⁹⁾와 같이 도시할 수 있다. 이에 비해 우리나라법의 주요골자는 전술한 바와 같이 순환골재생산, 품질기준 및 순환골재의 사용의 무화 등만이 돋보인다.

3. 건설폐기물의 리사이클링 기술

3.1. 페콘크리트의 리사이클링

Table 2에서 보는 바와 같이 페콘크리트 발생량은 27,286천톤(2005년도)으로, 건설폐기물 총 발생량 47,294천톤의 57.7%를 차지하고 있다. 전술한 바와 같이 정부에서는 ‘건설폐기물재활용촉진에 관한 법률’을 제정하여 순환골재의 활용을 의무화하고 있으며, 동법에 따라서 순환골재의 품질기준(안)을 마련하여 천연골재와 동등한 수준의 품질확보를 통한 순환골재의 활용을 도모하고 있다.

그러나 아직까지 순환골재의 품질확보 부족 및 사회적 인식이 뒷받침되지 않아 순환골재의 활용이 활발하게 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이러한 재활용을 저하의 가장 큰 원인은 순환골재에 요구되는 물리적인 품질기준들 중에서 모르타르 부착량이 적은 고품질 순환골재 생산기술과 생산과정에서 포함되는 이물질량을 품질기준에 만족시키기 위한 기술이 부족하기 때문이라고 할 수 있다.

구조물의 해체 등에 따라 발생한 콘크리트 폐재의 처리방법은, Fig. 3에 나타난 것과 같이 분류된다. 어떤 경우든 중간 처리장에 운반되어 온 콘크리트 폐재는 우선 조크러셔(Jaw Crusher)에 의해 굵게 파쇄되고 진동체에 의해 40~50mm 이상의 덩어리가 회수된 후, 벨트 컨베이어로 다음 공정에 운반되는 동안에, 인력에 의하여 나무조각·플라스틱조각 등의 불순물이 제거되는 동시에 자석분리기에 의하여 철근·못 등이 제거된다. 그 다음은, 재생재료의 용도에 따라 여러 가지의 처리가 실시되지만, 재생골재 H의 경우는 파쇄 처리가 반복 진행되던가, 가열·마쇄 등의 고도의 처리가 실시되면서 시멘트 페이스트분이 가능한 한 제거되는 것에 따라 천연골재와 동등한 높은 품질의 재생골재로 제조된다.

재생골재 콘크리트를 적재적소에 이용하기 위해서는,

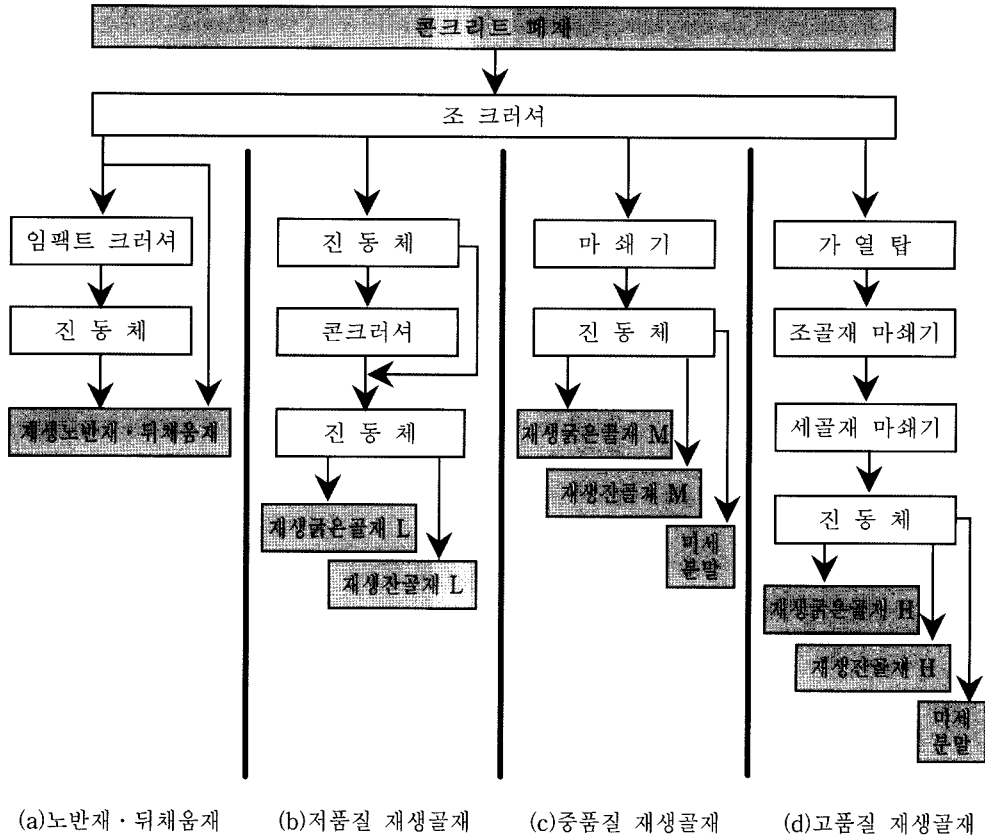


Fig. 3. Processing method of concrete waste.

Table 7. Quality of recycled gravel in Japan

	재생골재 H		재생골재 M		재생골재 L	
	굵은골재	잔골재	굵은골재	잔골재	굵은골재	잔골재
절건(絶乾) 밀도(g/cm ³)	2.5 이상	2.5 이상	2.3 이상	2.2 이상	-	-
흡수율(%)	3.0 이하	3.0 이하	5.0 이하	7.0 이하	7.0 이하	13.0 이하
미립(微粒) 분량(%)	1.0 이하	7.0 이하	1.5 이하	7.0 이하	2.0 이하	10.0 이하
입경 판정 실적율(%)	55 이상	53 이상	55 이상	53 이상	-	-
염화물량(%)	0.04 이하		0.04 이하		0.04 이하	

재생골재 및 재생골재 콘크리트의 특징¹⁰⁾을 이해해 둘 필요가 있다. JIS에 규정된 재생골재의 품질을 Table 7에 나타내었다. 이 중에서 골재의 가장 기본적인 성질이라고 생각할 수 있는 것은 밀도와 흡수율이다.

가열탑을 사용하지 않고 재생골재 H를 생산할 수 있

는 “편심로타식 기계마찰 혼합법 장치(オーロラマックス, Fig. 4)”가 개발되어 흥미롭다. 본 장치는 ① 편심로타방식에 의한 모르탈제거 ② 폐콘크리트를 1회 처리만으로 고품질 재생골재를 제조가능하다고 되어 있다.

인선이엔티 주식회사(본사 고양시 소재)는 가열장치

Table 8. Quality of recycled gravel in INSUN ENT Co.

콘크리트용 순환골재 품질기준		인선ENT(주) 순환골재		천연골재		
구분	순환 굵은 골재	순환 잔골재	순환 굵은 골재	순환 잔골재	순환 굵은 골재 (쇄석)	순환 잔골재
흡수율(%)	3 이하	5 이하	1.67	3.62	1.13	1.53
절대건조밀도(g/cm ³)	2.5 이상	2.2 이상	2.57	2.43	2.64	2.55
마모감량(%)	40 이하	-	22.18	-	24.1	-
실적률(%)	55 이상	53 이상	60	61	60.8	63.7

자료출처 : 한국건설기술연구원, 한국화학시험연구원의 시험결과와 평균값

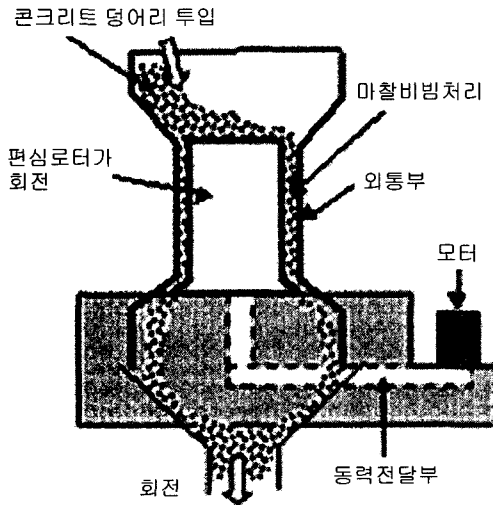


Fig. 4. Apparatus of mechanical abrasion for concrete aggregate(오로라맥스).

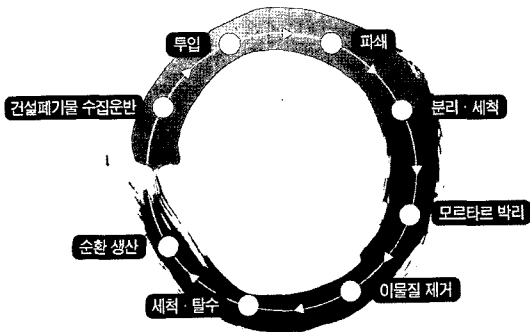


Fig. 5. Processing flow of demolition and construction waste in Insun ENT Co.

를 사용하지 않고 폐콘크리트에서 구조용(콘크리트용) 순환골재를 생산할 수 있다고 하며, Table 8¹¹⁾에 골재

Table 9. Composition of mixed demolition and construction waste in Japan

구분	명칭	중량(%)
1	기와·자갈류	28.8
2	폐금속	19.98
3	폐목재	14.23
4	폐섬유	10.73
5	폐플라스틱	9.95
6	토사	5.47
7	종이상자	5.38
8	폐지	3.47
9	폐비철	1.05
10	전선류	0.82
11	유리도자기	0.5
12	염화비닐	0.18
13	발포스티렌	0.17
14	기타	0.13

품질비교를 표시하였다.

참고적으로 인선ENT(주)의 폐콘크리트 중간 처리과정의 모식도를 Fig. 5에, 본사 제1플랜트의 전경을 Fig. 6에 나타내었다. 그리고 2007년도에는 본사 제1, 2 플랜트에서 360만톤의 건설폐기물을 처리하여 160만톤의 순환골재를 생산, 이중 145만톤을 판매하였다.

3.2. 혼합폐기물의 리사이클링

건설공사에 수반해서 1년간에 약 47,294천톤의 폐기물이 배출된다. 이 중에서 해체 및 신축공사부터 배출되는 건설폐기물은 각종의 재료가 혼합한 상태로 「무가치물」로서 배출된다. 그러나 그 조성을 조사해보면

각기의 성분은 재료가치가 있는 자원이 될 수 있다.

2005년도 폐합성수지, 혼합건설폐기물 등이 14,469천톤 발생하여 건설폐기물 전체발생량의 30.6%를 차지하고 있다. 그러나 그 조성에 대한 정량적인 수치는 알 수 없다. 일본의 경우 건설혼합폐기물의 종류(조성)를 다음 Table 9¹²⁾와 같이 예시하고 있어 참고가 된다.

Table 9와 같은 조성의 건설혼합폐기물을 종류별로

선별하기 위해서 파쇄기와 여러 종류의 선별기를 복합적으로 사용해야 한다. Fig. 7¹²⁾은 그 한 예로 파쇄-선별-정선시스템(다단선별)을 도시한 것이다.

상기의 혼합폐기물 처리흐름에 있어서 다단선별을 위한 포인트로 되는 기계는 ① 스크린, ② 파쇄기, ③ 조선별기, ④ 트로멜(Trommel), ⑤-1 불연소물 선별기, ⑤-2 비중차선별기, ⑥ 점핑스크린이 있다. 비중차선별기

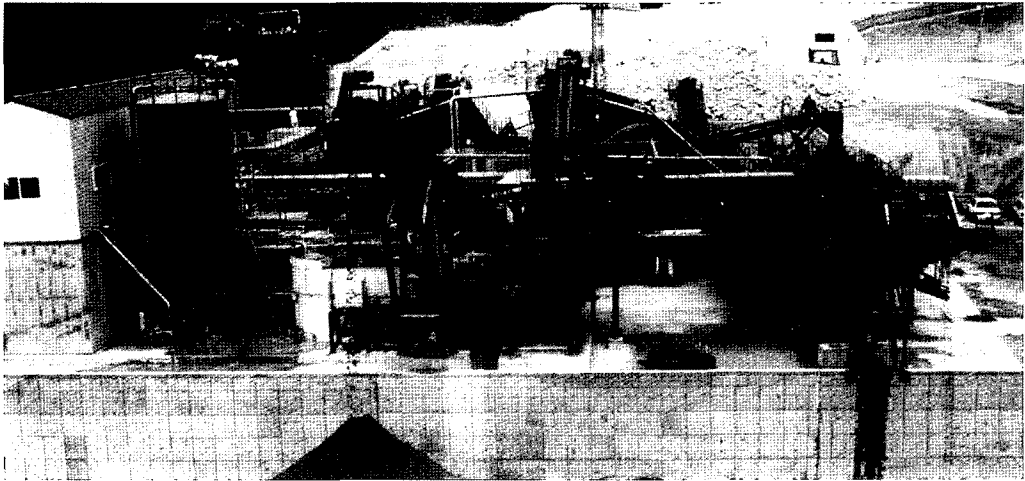


Fig. 6. Overview of the Ist processing plant in Insun ENT Co.

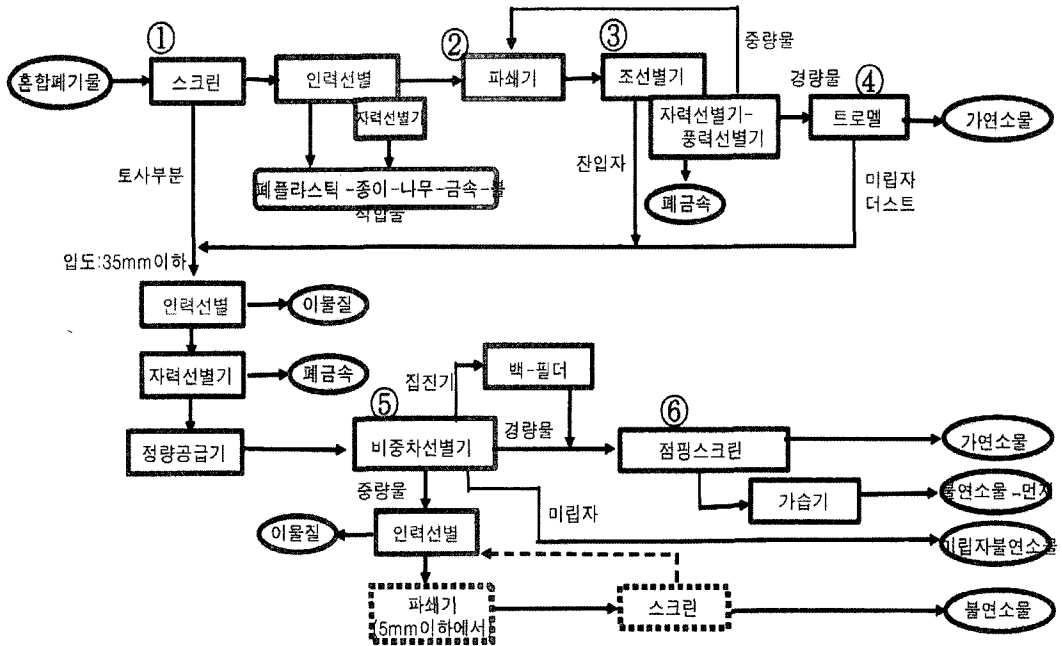


Fig. 7. Processing flow of demolition and construction waste (Japan).

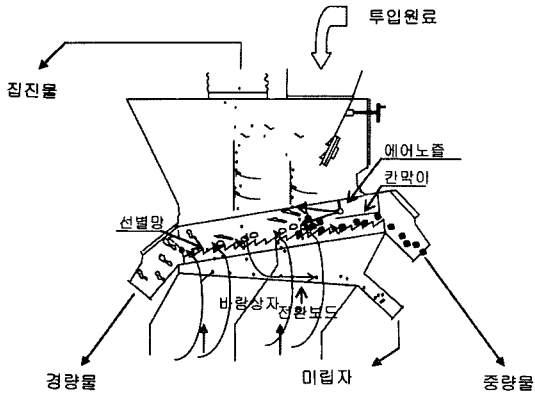


Fig. 8. Illustration of the gravity separator.

는 처리물의 비중차와 진동, 풍력을 복합시킨 선별작용으로 그 개략을 Fig. 8¹²⁾에 도시하였다.

필자가 방문하여 직접 조사한 日本의 나카야마 리사이클산교(中山リサイクル産業) 주식회사(北九州에코타운 지구 소개)는 혼합폐기물 중간처리회사로 연간 혼합폐기물 45,000톤/년, 폐석고보드 4,800톤/년, 폐플라스틱 16,800톤/년을 처리하고 있다. 이 회사의 선별라인은 매우 복잡하나, 대별하면 다음과 같다.

선별라인

폐기물 전개검사 → 사전조선별 → 수선별 → 파쇄 → 기계선별 → 리사이클

그리고 선별 기계설비 및 선별산물은 아래와 같다.

선별기계설비

- 혼합폐기물 수선별 시설 1기
- 풍력선별기 1기
- 비중선별기 1기
- 폐석고보드 파쇄 · 분별기 1기
- 폐플라스틱 파쇄기 1기
- 파대(破袋)기 1기
- 파워쇼벨 2대
- 리프트 2대

선별산물

- 폐금속 스크랩업자
- 폐지 고지업자, 시멘트 메이커(조연제)
- 폐목재 폐목처리업자
- 폐석고보드 석고(석고보드 메이커), 폐지(조연제)
- 폐플라스틱 시멘트 메이커(조연제)
- 폐PVC 리사이클업자
- 자갈 콘크리트 재생업자
- 페유리 및 폐도자기 매립(안정형)
- 기타 잔사 매립(관리형)

이 회사에서는 석면(asbestos)¹³⁾이 함유된 건설폐기물의 처리에 대해서는 매우 민감하다. 노동안전위생법시



Fig. 9. Processing view of the mixed construction waste in S. Environmental Co.

행령에서는 석면이 1.0% 이상 함유된 제품이 규제대상으로 되어있다. 미국에서도 대기정화법(Clean Air Act)에서, 1.0%를 초과해서 석면을 함유한 재료를 규제하고 있다. 그러나 日本에서 실제의 경우, 석면 0.1% 이상을 함유한 재료는 현장에서 관리형 매립장에 직행해서 포식을 세워야하고, 석면 폐재는 중간처리시설에 반입해서는 안 된다.

Fig. 9는 수도권북부에 위치한 혼합폐기물 중간처리장(S환경산업)을 보여주고 있다. 본 중간처리장에서는 반입된 폐기물을 수선에 의하여 유가물을 회수한 다음 풍력장치에서 경량인 가연물(주로 폐플라스틱, 종이, 폐섬유, 나무조각 등)을 선별한다. 그리고 중량물은 체질해서 토사와 골재로 분리한다. 산물의 중량비율은 대략

토사 10%, 가연물 20%, 골재가 70%로 되어있다.

이 산물 중에서 골재만이 무상으로 도로기층재(군부대)로 사용되고, 토사는 매립(매립비: 47,000원/톤), 가연물은 소각(소각비: 150,000원/톤)하고 있다. S환경산업의 2007년도 처리량은 195,000톤으로 집계되고 있으며, 폐기물수집·인수시 받는 처리비에 의한 영업을 위주로 하고, 산물의 판매 대가는 없다고 한다.

3.3. 폐목재의 리사이클링

Table 10⁽⁴⁾은 우리나라 폐목재의 종류별 발생량 및 처리현황(2004년)을 표시한 것이다. 국내 총 폐목재 발생량은 연간 230만톤 이상으로 파악되며, 이 중에서 건설폐목재는 연간 118만톤으로 50% 이상을 차지하고 있

Table 10. Generation and recycling of timber waste

(단위 : 톤/일)

구분	계	생활폐목재			사업장 폐목재	건설 폐목재
		소계	생활폐기물	사업장 생활계폐기물		
발생량	6,519.1 (100%)	2,421.0	2,119.2	301.8	850.4	3,247.7
매립	1,503.5 (23.1%)	1,204.5	1,053.3	151.2	13.8	285.2
소각	2,724.5 (41.8%)	1,105.5	1,040.6	109.9	385.2	1,188.8
재활용	2,291.1 (35.1%)	66.0 (2.7%)	25.3 (1.2%)	40.7 (13.5%)	451.4 (13.5%)	1,773.7 (54.6%)

자료 : 환경부 국립환경과학원(2005), 제재폐재 등 목재가공산업의 폐목재는 포함되지 않음.

Table 11. Rawmaterial supply for particle board by month in 2007

(Unit : m³)

월별 (Month)	계 (Total)	국내재 (Domestic Log)	제재부산물 (Sawmill Residue)	합판부산물 (Plywood Residue)	재생Chip (Recycled Chip)
1	114,162	954	14,473	2,976	95,759
2	93,391	234	11,363	2,219	79,575
3	91,552	152	14,035	2,956	74,409
4	86,346	844	15,490	2,915	67,097
5	120,308	546	11,689	2,645	105,428
6	113,713	591	9,446	2,791	100,885
7	109,548	308	7,755	2,768	98,717
8	107,882	183	9,371	2,939	95,389
9	103,894	502	4,675	3,135	95,582
10	118,207	577	5,285	3,838	108,507
11	107,495	871	7,596	2,761	96,267
12	118,268	381	13,911	1,956	102,020
계(Total)	1,284,766	6,143	125,089	33,899	1,119,635

자료 : (사)한국합판보드협회

다. 그리고 이 건설폐목재의 약 8.0%가 매립되고, 36.6%가 소각되며, 나머지 54.6%(647,400톤)가 재활용되는 것으로 집계되어 있다. 그러나 재활용이 어떻게 되고 있는지 그 내역은 알 수 없다.

필자들이 현장방문(동화리소시스) 혹은 청취 조사한 바에 의하면 2007년도 목재합판(PB : particle board) 용 원자재 공급실적은 Table 11과 같으며 재생칩은 약 671,781톤(1,119,635/m³)으로 집계되어 있다. 이러한 내역을 자세히 알아보기 위하여 선창기업(주)에게 문의한 바 다음과 같았다.

- 선창기업(주)이 사용한 폐목재량: 240,000톤/2007년도
- 내역 - 건설 및 사업 폐목재: 55%,
가정배출 폐목재 : 10%
제재공장배출 폐목재: 20%,
합판공장배출 폐목재 : 15%

한편, 동화리소시스(인천소재)는 2007년도에 235,742톤의 폐목재(사업장 폐목재 79.4%, 생활폐가구 20.6%)를 PB용 칩으로 처리하였다. 그리고 동화리소시스는 폐목재 직접처리 이외 276,493톤의 재생칩을 구입하였다. 그럼에도 공장의 처리용량에는 연간 200,000톤의 PB용 폐목재가 부족한 형편이다.

일본에서는 폐목재 배출자가 리사이클업자에게 처리

비를 지불하고 있다. 우리나라도 리사이클업자가 처리비를 받아야만, 국내시장에 50%를 점유하고 있는 수입품과 원가경쟁을 할 수 있다. Fig. 10은 동화리소시스에서 촬영한 폐목재 및 처리산물이다.

다음에는 日本 만세이리싸이클시스템 주식회사(萬世リサイクルシステムズ)¹⁵에서 시행하고 있는 건설계폐목재의 리사이클에 관해서 설명하고자 한다.

건설계 발생 목재는 해체공사 및 신축공사 현장에서 분류 정도에 따라 2종류의 형태로 리사이클 시설에 반입된다. 해체현장·신축현장에서는 분류 위탁비용을 줄일 목적으로 분류 해체·신축 시의 목재 분류를 철저히 하고 있다. 따라서, 용이하게 분별할 수 있는 것은 현장에서 실시하고, 직접 리사이클 공장에 반출한다. 그러나 공시기간의 단축이나 분류 장소의 확보가 어려운 경우 혼합 폐기물로 배출하고, 혼합폐기물을 전용으로 분류하고 중간 처리하는 공장에서 목재만을 추출한다.

리사이클 공장에서는 반입 폐목재를 파쇄 처리하여 목재 칩을 제조하고 있다. 또한, 제조된 목재 칩을 리사이클 용도별로 이용업자에게 판매하는 역할을 맡고 있다. 이용업자로는 제지회사, 목재합판(파티클 보드) 제조회사 및 발전사업체로 대략 분류되고 있다.

이 회사에서는 건설계 발생 폐목재 외에 물류관계로 발생하는 폐팔레트·포장재도 리사이클 대상으로 취



(a) 반입된 폐목재

(b) 파쇄중간산물

(c) PB용 목재칩

Fig. 10. Processing product of timber waste in Dongwha Resources Co.

급하고 있다. 리사이클 방법으로는 폐목재를 목재 전용 파쇄 시설에서 4~60 mm의 침상(針狀)모양 칩으로 제조하는 것이다. Fig. 11은 폐목재의 칩화 플로우를 나타낸 것이다.

제품 칩의 공급처는 제지회사와 목재 합판 제조회사이며, 필프용 칩이나 합판용 원재료 칩의 대체품 및 석탄 대체를 목적으로 공장 내의 보일러 연료로 사용되기 때문에 처리한 폐목재 칩은 모두 제품으로 판매되고 있다. 폐목재 칩은 버진 원재료나 화석연료의 대체로 되기 때문에 품질관리가 매우 엄격한 조건으로 되어있어, 리사이클 시설에서는 이물질 제거 장치로 중력 선별 등의 신기술 개발을 도입하고 있다. 품질관리에 필요한 이물질 제거에 관한 설비를 소개하고자 한다.

파쇄기는 해머식을 채용하고 있고, 해머 하부의 스크린을 빠져나간 것을 진동체로 제품 사이즈에 맞춘 것을 추출한다. 체는 60 mm 스크린을 상부에 설치하고, 하부에 4 mm 스크린을 설치한 2단 체를 채용하고 있다. 또한 체 끝에는 마그넷 폴리를 채용하여 금속 제거도

하고 있다. 라인에는 요소에 영구 자석을 활용한 자력 선별기가 배치되어 있다. 회수된 금속은 철 스크랩으로 매각하고 있다. 진동체에서는 60 mm 이상인 것은 투입 구로 되돌려 다시 파쇄기에 들어간다. 또한 4 mm 이하인 것은 깔개용 칩으로서 회수하여 축산업자의 목장에서 집 대신에 이용된다.

또 이 회사에서는 원료칩이 제조 가능한 라인에는 금속이 절대 섞이지 않게 하는 대책으로 파쇄칩을 수조에 넣어 알루미늄 등의 비철금속을 침강 제거시키는 목적의 중력선별기를 갖추고 있다. 또한 품질관리상 제품별로 칩 야적장소가 6개 구획에 설치되어 있는 것도 특징이다.

4. 건설폐기물 리사이클링 연구동향

4.1. 건설폐기물재활용연구단

건교부에서는 2005년도에 “건설폐기물 재활용 기술 개발”이라는 주제의 대형국책과제를 발주하였다. 대한

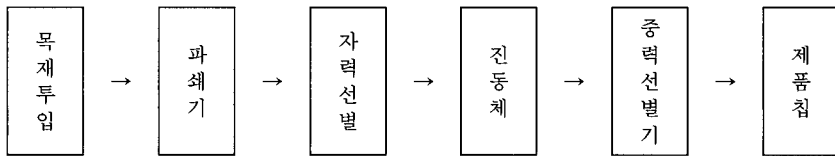


Fig. 11. Chipping process flow of timber waste (Japan).

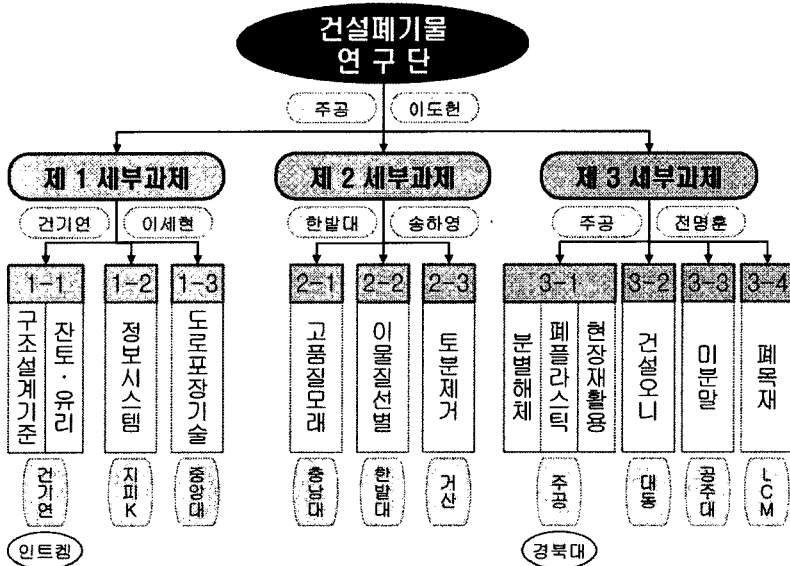


Fig. 12. The organizing system of the research group.

Table 12. Classification of the recycling paper on construction waste from Journal of KIRR

분 류	편 수	비율(%)
폐기물을 이용한 시멘트원료의 제조	12	35.2
폐기물을 이용한 골재의 제조	11	32.4
폐기물을 이용한 아스팔트 콘크리트	2	5.9
순환골재를 사용한 콘크리트의 제조 및 특성	6	17.6
순환골재를 사용한 벽돌의 제조	1	2.9
기 타	2	5.9
계	34	100

주택공사 주택도시연구원이 총괄주관기관이고, 한밭대학교와 한국건설기술연구원을 비롯한 28개 관련기관이 협동연구기관 및 참여기업의 형태로 하는 「건설폐기물 재활용 연구단」(단장: 이도현)이 발족되어 5년간에 걸쳐 연구를 수행 중에 있다. 여기에서는 본 국제연구과제의 연구계획을 간략히 소개하기로 한다.

연구단 조직체계는 Fig. 12와 같으며, 28개 관련 기관으로 구성되어 있고, 총 107명의 연구원이 포함되어 있다. 2006년 9월에 이 연구단은 843page에 달하는 “건설폐기물재활용기술개발” 제1차년도 중간보고서를 발표하였다.

건설폐기물재활용연구단은 국제세미나를 주최하여 세계에 신선한 바람을 불어넣고 있다. 2006년 6월 2일에 “건설폐기물재활용정책 및 기술개발동향”이라는 제목으로 韓·日 국제세미나를 주최하였고, 2007년 5월 23일에는 “韓·中·日 건설폐기물재활용국제세미나”를 주최하였다. 2008년 3월 27일에는 제3회 국제세미나를 개최하였다. 필자는 이 국제세미나의 자료집을 참고하여 본고를 작성한 부분이 적지 않다.

4.2. 한국자원리사이클링학회 (KIRR) 및 기타

KIRR은 1992년에 창립하여 2007년 12월까지 통 80권의 학회지를 발행해서, 총 615편의 리사이클링에 관련된 연구논문 및 기술해설 등을 게재하였다. 그 중 건설폐기물과 관련된 연구논문 및 기술해설 등은 34편으로 전체의 5.5%에 해당된다. 이 34편을 연구목적별로 분류한 것이 Table 12와 같다.

이 Table 12에서 알 수 있듯이 KIRR에 게재된 본문의 연구목적 주류는 폐기물을 이용한 건설재료의 제조(73.5%)에 있다. 특히 인상적인 것은 高仁用·金永煥 팀의 전로(轉爐)슬래그를 개질하여 슬래그 시멘트(4편) 또는 골재(2편)로 활용하려는 연구로서, 장기간(1999년~2006년)에 걸친 집념어린 논문을 계속해서 발표하고

있다.

전로슬래그는 그 팽윤성 때문에 용도가 제한되어 왔다. 이런 점을 감안하여 KIRR에서는 1997년 8월 26일 포스코센터에서 “건설재료로서의 전로(轉爐)슬래그의 활용” 심포지움¹⁶⁾을 대대적으로 주최한 바 있다. 그리고 현재 포스코에서는 “전로슬래그의 해양 활용 자원화”¹⁷⁾ 연구를 진행 중에 있다. 한편, 자원재활용기술개발사업단(단장 이강인)의 지원 하에서 “무기성 폐기물의 복합 처리에 의한 토건재료 제조 실용화 기술개발” 연구¹⁸⁾(연구책임자 안지환)가 수행 중에 있다. 안지환팀은 생활쓰레기 소각 바닥재의 기반 핵심기술 개발 결과를 활용하여 2007년 11월말에 “소각재 복합처리 Pilot Plant”를 건설 준공하였다. 이로서 핵심기술을 실증화하여 활용성에 문제가 있는 소각재 전처리 및 재활용사업에 박차를 가하고 있다.

KIRR에 발표한 34편의 논문 중에는 16편의 논문이 토목계 전공 회원에 의한 것이 특색이다. 건설폐기물의 활용에 관한 연구의 핵심은 역시 순환골재를 사용한 콘크리트의 제조와 그 특성에 관련된 것으로, 전기 동기간(16년간)에 대한건축학회지 및 한국콘크리트학회지 등에는 48편의 관련논문이 발표되고 있다.

5. 결 론

(1) 우리나라 폐기물발생량(2005년도) 109,143천톤의 83.8%에 해당되는 91,478천톤이 사업장폐기물이고, 이 사업장폐기물의 51.7%에 해당되는 47,294천톤이 건설폐기물이다. 이 건설폐기물의 96.7%가 재활용되는 것으로 집계되어 있으나, 콘크리트용 골재 등과 같이 부가가치가 높은 부문에서의 사용실적은 매우 저조한 것으로 나타나고 있다. 그리고, 우리나라 물질 수지의 흐름이라든가, 건설폐기물의 품목별 배출량 및 재활용율에 관한 통계수치가 빈약하여 리사이클링에 관한 문제점을

파악하는데 어려움이 많다.

(2) 2005년부터 시행되고 있는 우리나라 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」은 순환골재의 생산, 품질 기준 및 순환골재의 사용의무화 등이 주요골자로서 분별해체 및 선별 등 보완이 절실하다.

(3) 건설폐기물의 리사이클링기술에서는 고품질재생골재의 생산을 일부 기업에서 시도하고 있으나, 천연골재를 대체하기에는 아직 미흡한 것 같다. 우리나라의 경우 혼합폐기물의 정의가 애매하여, 혼합폐기물의 선별 자원화가 매우 부실하다. 폐목재의 경우 PB용으로 수요가 많으나, 공사현장에서 폐목재의 수집이 쉽지 않다.

(4) 2005년, 건교부가 “건설폐기물재활용기술개발”이라는 대형국책과제를 발주하여, 대한주택공사 주택도시연구원이 총괄주관기관이 되어 「건설폐기물재활용연구단」이 발족하였다. 이 연구단은 세 세부과제를 수립하여, 28개 관련기관 총 107명의 연구원이 연구에 수행하고 있다. 한편, (사)한국자원리사이클링학회는, 1992년부터 2007년까지 16년간에 34편의 건설폐기물 관련 보문을 학회지에 발표하였다. 이는 전체 보문수의 5.5%에 해당되며, 주가 폐기물을 이용해서 건설재료의 제조(73.5%)였다.

(5) 리사이클링 활성화를 위해서는 건축물의 장수명화 기술개발 등과 장기사용, 건축물의 분별해체, 건축해체 폐기물의 재자원화, 리사이클시장의 형성 및 리사이클 촉진을 위한 법제도화 등의 추진이 요망된다.

후 기

본 연구 조사는 에너지관리공단단의 재정적 지원으로 이루어졌으며, 지원해주신 에너지관리공단에 감사를 드립니다.

吳 在 賢

- 현재 연세대학교 명예교수
한국자원리사이클링학회 명예회장
 - 당 학회지 제10권 5호 참조
-

金 美 星

- 현재 에너지관리공단 기술개발기획실 부장
-

참고문헌

1. 환경부, 2007 : 2007 환경백서, p.664.
2. ibid 1) p.708.
3. ibid 1) p.709.
4. 송재식, 2007 : 건설폐기물 정보관리 시스템(CWMS)을 활용한 순환골재 유통지원, 韓·中·日 건설폐기물재활용국제세미나, p.129, 주택도시연구원, 2007. 5. 23.
5. 건설교통부, 2006 : 건설폐기물 재활용 기술개발(건설핵심기술 연구개발 사업 제1차년도 중간보고서), p.735.
6. Clean Japan Center, 2002 : Establishment of a Recycling-Oriented Society, p.5.
7. 古賀純子, 2006 : 日本の建設廢棄物對策及びリサイクル建設資材の活用に関する施策, 韓·日 건설폐기물 재활용 국제세미나, p.44, 주택도시연구원, 2006. 6. 2.
8. 建設リサイクル法研究會, 2000 : 建設リサイクル法の解説, p.233, 大成出版社.
9. ibid 7) p.49.
10. 野口貴文, 2007 : 再生コンクリートの活用法, 韓·中·日 건설폐기물재활용국제세미나 자료집, pp.13-22, 주택도시연구원, 2007. 5. 23.
11. 인선이엔티(주) 카나로그, 2007.
12. 辻本充良, 2007 : 日本における混合廢棄物處理技術の動向について, 韓·中·日 건설폐기물재활용국제세미나, pp.44-62, 주택도시연구원, 2007. 5. 23.
13. 勝田 悟, 2005 : アスベスト, p.8, 中央經濟社.
14. (사)한국합판보드협회, 2007 : 목재자원의 효율적 순환이용
15. 石黒宏樹, 2007 : 日本における建設系廢木材のリサイクルとその事業事例の紹介, 韓·中·日 건설폐기물재활용국제세미나, pp.80-93, 주택도시연구원, 2007. 5. 23.
16. KIRR, 1997 : “건설재료로서의 전로슬래그의 활용”심포지엄 자료집, 포스코센터, 1997. 8. 26.
17. KIRR, 2007 : “미래형 무기성 폐기물 고부가화 기술”심포지엄 자료집, pp.3-13, 전남테크노파크, 2007. 12.
18. 한국지질자원연구원 보도자료, 2007 : 생활폐기물 소각 바닥재의 재활용(안지환), 2007. 10. 19.

申 熙 德

- 현재 한국과학기술정보연구원 전문연구위원
 - 당 학회지 제12권 3호 참조
-

閔 芝 源

- 현재 한국자원리사이클링학회 실장
-