國內 産業 廢資源의 發生・處理・再資源化 現況 및 資源效率性 向上 方案

*姜洪潤・李一石・金京煥

韓國生産技術研究院 資源循環技術支援센터

Current Status for Generation, Treatment and Recycling of Waste Resources in the Domestic Industry and Improvement Measures of Resource Efficiency

*Hong-Yoon Kang, Il-Seuk Lee and Kyung-Hwan Kim

Center for Resources Information and Management, Korea Institute of Industrial Technology

요 약

자원 공급의 불확실성이 점차 고조되고 있는 글로벌 상황에 능동적으로 대처하기 위해 전 세계적으로 효율적인 자원관리의 필요성이 증대되고 있다. 국내의 경우 자원 공급과 관련하여 국제 환경에 매우 취약한 산업구조를 나타냄에 따라 국가 자원효율성의 획기적인 제고 방안 마련이 절실히 요구된다. 우리나라는 대표적인 자원빈국으로서 자원효율성 제고를 위해 산업내에서 발생하는 산업 폐자원의 재자원화 추진 등 자원관리체계 구축을 위한 노력이 다양한 방법으로 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 국내 산업 폐자원의 발생, 처리, 재자원화 현황 분석 및 일본 현황과의 비교분석을 통해 자원효율성 측면에서 주요 이슈를 도출하고, 이를 기반으로 국가 자원효율성 향상을 위한 산업 폐자원 재자원화 활성화 방안을 제시하였다.

주제어 : 산업 폐자원, 발생, 재자원화, 처리, 자원효율성, 국내산업

Abstract

Recently, the importance of efficient resource management has been highlighted due to the uncertainty of its security. Korea has thus made an effort to improve the resource productivity in various fields such as the increase of recycling rate and the establishment of methodical resource management system. It is still necessary to draw the innovative improvement measure of national resource efficiency. This study derives major issues of recycling potential in the domestic industry by analyzing the current status of generation, treatment and recycling of industrial wastes in Korea. Furthermore, main tasks for promoting the improvement of national resource efficiency through the recycling of industrial wastes in Korea have been proposed based on the results of this study with the comparison of Japan's situation.

Key words : Industrial wastes, Generation, Recycling, Treatment, Resource efficiency, Domestic industry

* Received : January 7, 2013 · 1st Revised : January 25, 2013 · 2nd Revised : March 8, 2013 · Accepted : March 29, 2013

*Corresponding Author : Hong-Yoon Kang (E-mail : kanghy@kncpc.re.kr)

Center for Resources Information and Management, Korea Institute of Industrial Technology, Hanshin intervalley24 East B/D
18F, 707-34 Yeoksam-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-918, Korea
Tel : +82-2-2183-1520 / Fax : +82-2-2183-1529

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

전 세계적으로 부존자원의 급감 및 자원의 국가편중이 심화됨에 따라 자원국유화를 통한 자국산업 보호 기조가 확산되고 있으며, 이로 인해 자원의 안정적 수급에 대한 불확실성이 점차 고조되고 있는 실정이다. 우리나라의 경우 철강, 자동차, 전기전자제품 등 자원다소비산업이 국가 경제의 주축을 이루고 있으며, 자원 수요의 약 97%를 수입에 의존하고 있는 등 자원 수급과 관련된 국제 정세의 변화에 매우 취약한 산업구조를 가지고 있다.

주요 선진국에서는 유한한 자원의 효율적 활용을 위한 정책의 일환으로, 자원효율성을 향상시키기 위한 체계적인 자원관리 방안을 수립하여 지속적으로 추진하고 있다. EU의 경우, 장기적인 성장전략인 “EUROPE 2020”을 채택하여, 지속가능한 소비와 생산, 폐기물의 자원화 등을 주요 골자로 하는 자원효율화를 주요 테마로 선정하였다.¹⁾ 또한 우리나라와 마찬가지로 자원수입 의존도가 높은 일본에서는 천연자원의 사용을 최소화하고 산업 공정에서 발생하는 폐자원의 활용을 제고하기 위한 방안으로 “자원유효이용촉진법”에 의거한 공정부산물 목표관리제도를 시행중에 있다. 이를 통해 매년 특정자원저감업종^{가)}을 선정하여, 산업 폐자원 저감을 위한 목표 및 구체적인 추진계획의 작성을 의무화하고 있다.²⁾

우리나라에서 현재까지 사업장폐기물로 배출된 산업 폐자원의 총 경제가치는 28조 2천억원, 연간 발생가치

Table 1. Definition of industrial wastes

명칭	정의
사업장폐기물	- 배출 시설을 설치운영하는 사업장이나 그 밖의 대통령령으로 정하는 사업장에서 발생하는 폐기물

는 2조 2천억원으로, 산업 폐자원의 시장가치가 지속적으로 증대되고 있다.³⁾ 이러한 산업 폐자원을 재자원화하여 천연자원을 대체할 경우, 자원 및 에너지 절감 효과를 기대할 수 있다. 현재 우리나라에서는 산업 폐자원의 재자원화를 통한 자원 및 에너지 사용 절감을 달성하기 위하여 지식경제부를 중심으로 다양한 정책을 추진하고 있으나, 아직까지는 그 범위가 일부 금속류 정도로 국한되어 있는 실정이다.

국가 자원효율성의 체계적이고 효율적인 개선 전략을 수립하기 위해서는 먼저 산업 내에서 발생하는 다양한 성상 및 특성을 보유한 폐자원이 어떠한 경로에서 어떤 형태로 배출되고, 또 어떻게 처리되고 있는지에 대한 명확한 이해가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다양한 산업에서 서로 다른 형태로 배출되고 있으며 산업 폐자원의 발생 및 처리현황을 파악하여 자원효율성 측면에서 주요 이슈를 도출하고자 한다. 또한 분석한 결과를 기반으로 국내와 유사한 산업구조를 나타내고 있고 산업 폐자원 재자원화 활성화를 위한 제도 및 정책을 활발히 추진하고 있는 일본과의 비교를 통해 국가 자원효율성 향상을 위한 방안을 제시하고자 한다.

Fig. 1. National classification scheme for domestic wastes.

가) 제지, 화학공업, 철강, 비철 제 · 정련, 자동차에 해당하는 업종으로 생산량이 일정규모 이상인 사업자가 대상

2. 산업 폐자원 발생현황

2.1. 산업 폐자원 정의 및 범위

국내 법률 상에서 아직까지 산업 폐자원에 대한 구체적인 정의는 없으나 “폐기물 관리법”에서는 사업장에서 발생하여 외부로 배출되는 폐기물을 사업장폐기물로 정의하고 있다(Table 1).

또한 국가 폐기물 통계인 “전국 폐기물 발생 및 처리현황”에서는 “폐기물 관리법”에 의거하여, Fig. 1과 같이 사업장폐기물을 크게 사업장일반폐기물, 건설폐기물, 지정폐기물로 구분하여 관련 통계를 구축하고 있다.^{4,5)}

사업장일반폐기물은 다시 사업장생활계폐기물과 사업장배출시설계폐기물로 분류하고 있는데, 사업장생활계 폐기물은 사업장에서 배출시설 등의 운영에 관계되지

Table 2. Classification of wastes in the domestic industry based on the national statistics

폐기물 유형	사업장배출시설계폐기물		사업장지정폐기물
	가연성	불연성	
폐지류	O		
폐목재류	O		
폐섬유류	O		
폐합성수지	O		O
폐합성고무	O		O
폐피혁	O		
오니류	O	O	O
동식물성폐잔재물	O		
폐식용유	O		
광재류		O	O
연소재		O	
소각재		O	O
분진류		O	O
폐주물사 모래류		O	O
폐금속류		O	
폐석회 석고류		O	
폐촉매		O	O
폐흡착재/폐흡수제		O	O
유리도자기편류		O	
안정화 또는 고형화 처리물			O
폐내화물 및 도자기조각			O
폐농약			O
폐산			O
폐석면			O
폐알칼리			O
폐유			O
폐유독물			O
폐페인트 및 폐락카			O
할로겐족유기용제			O
PCB함유폐기물			O
기타폐유기용제			O
기타	O	O	

<출처 : 한국환경공단, 2011, 2010 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2010 지정폐기물 발생 및 처리현황>

Fig. 2. Current status of 5 major industrial wastes generation in 2010.

않는 것으로서 가정부문에서 발생하는 생활폐기물과 함께 생활폐기물 범위에 포함된다. 따라서 사업장 배출시설의 설치운영과 관련하여 발생하는 사업장폐기물은 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물, 지정폐기물로 정의할 수 있다. 이에 본 연구에서는 사업장폐기물 중 사업장생활계폐기물과 건설폐기물을 제외한 사업장배출시설계폐기물 및 지정폐기물이 산업 폐자원에 포함된다고 가정하여 최근 통계구축년도인 2010년을 기준으로 해당 항목의 발생 및 처리현황을 분석하였다.⁶⁾

국가 통계조사 대상 산업 폐자원 형태를 분석한 결과, 사업장지정폐기물이 21종, 사업장배출시설계폐기물은 20종인 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 사업장배출시설계폐기물 및 지정폐기물 중 동일한 형태의 폐기물을 통합하여 총 32종의 산업 폐자원에 대한 발생 및 처리현황을 분석하였다(Table 2).

2.2. 형태별 산업 폐자원 발생현황

2010년 기준 국내 산업 폐자원은 총 5,402만톤이 발생하였고, Fig. 2와 같이 배출량 기준 상위 5개 물질이 전체 배출량의 72.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

특히 광재류는 연간 1,460만톤이 배출되어 전체 배출량 중 27.0%를 차지함으로써 가장 높은 배출 비중을 나타냈다. 광재류의 경우, 알루미늄, 납, 아연 등 금속 제조 공정과 야금 및 열처리 등과 같은 가공 공정에서 주로 발생하는데, 이러한 금속 제조 및 가공 공정이 수반되는 “1차금속 제조업”, “전자부품, 컴퓨터, 영상, 음

향 및 통신장비 제조업”, “자동차 및 트레일러 제조업”의 출하액 기준 생산비중^{나)}이 전체 제조업의 40.6%를 차지하고 있는 국내 산업구조의 특성으로 인해 가장 많이 배출되는 것으로 파악되었다.⁷⁾

또한 오폐수는 연간 1,125만톤이 배출되어 전체 배출량 대비 20.8%를 차지함에 따라 광재류와 함께 주요한 산업 폐자원인 것으로 나타났다. 이는 오폐수가 제조 공정뿐만 아니라 폐수, 하수, 정수, 분뇨가축분뇨 처리 등과 같이 다양한 경로를 통해 배출되는 것에 기인한 것으로 분석되었다.

2.3. 산업별 산업 폐자원 발생현황

“전국 폐기물 발생 및 처리 현황” 통계상의 총 45개 산업분류를 크게 농림수산업, 광업, 제조업, 건설업, 서비스업 및 기타 등 5개 분야로 대분류하여 산업 폐자원 발생현황을 분석한 결과, Fig. 3과 같이 제조업 부문에서 가장 많은 산업 폐자원이 배출되었으며(64.5%), 다음으로 서비스업 및 기타산업(32.7%), 건설업(2.2%), 농림수산업(0.3%), 광업(0.2%) 순으로 배출량이 높은 것으로 나타났다. 제조업 내에서는 배출량 기준 상위 5개 산업의 배출 비율이 73.8%를 차지하여, 해당 산업 부문에서 산업 폐자원이 집중적으로 발생하고 있는 것으로 나타났으며, 특히 “1차금속 제조업”과 “기타 제품 제조업”의 발생량이 전체 제조업 중 58.2%를 차지함으로써, 산업 폐자원의 주요 발생 요인인 것으로 분석되었다.

^{나)}제조업 부문 중 출하액을 기준으로 “1차금속 제조업”, “전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업”, “자동차 및 트레일러 제조업”의 생산비중이 각각 10.5%, 19.1%, 11.0%로 나타남.

Fig. 3. Current status of industrial wastes generation in each industry in 2010.

Fig. 4. Generation ratios of main wastes in each industry in 2010.

배출량 기준 상위 5개 물질의 산업 대분류별 발생현황을 분석한 결과, Fig. 4와 같이 연소재를 제외한 4개 물질이 제조업 부문에서 가장 많이 발생한 가운데, 특히 광재류는 전체 발생량 중 97.4%가 제조업 부문에서 배출되는 것으로 나타났으며, 연소재는 국가 전력 생산 시 다량 발생하는 특성을 가짐에 따라 전력 산업이 포함된 서비스업 및 기타 산업 부문에서 가장 많이 배출되었다(98.0%).

현재 국내에서 산업 폐자원이 가장 많이 배출되고 있는 제조업 부문, 그 중에서도 배출량 기준 상위 5개 산업의 산업 폐자원별 발생현황은 Table 3과 같다. “1차 금속 제조업” 및 “기타 제품 제조업”에서는 광재류의 발생량이 가장 높은 비중을 차지하였으며, “화학물질 및 화학제품 제조업”에서는 폐석회 석고류, “비금속 광물

제조업” 및 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”에서는 오토티류가 가장 많이 배출되고 있는 것으로 나타났다.

3. 산업 폐자원 처리현황

3.1. 데이터 처리 방법

국내에서 발생하는 산업 폐자원은 “폐기물 관리법”에 의거하여 재활용, 중간처분(소각 등) 및 최종처분(매립 등)되고 있으며, 이에 대한 법적 근거는 Table 4와 같다.

현재 국내 폐기물 통계에서는 “폐기물 관리법”에 따라 산업 폐자원별 재활용, 중간처분(소각), 최종처분(매립)량을 산정하고 있으나, 재활용량 산정 시 산업 폐자원에 대한 중간처분(재활용 포함) 공정에서의 감량화량

Table 3. Current status of industrial wastes generation in each major manufacturing industry in 2010

우선순위	제조업 부문	산업 폐자원 유형	발생량(톤/년)	구성비(%)
1	1차 금속 제조업	오니류	1,036,329	9.0%
		광재류	8,310,853	72.6%
		분진류	1,013,348	8.8%
		폐주물사 및 모래류	537,010	4.7%
		폐금속류	555,421	4.8%
		Others	802	0.0%
		총계	11,453,763	100.0%
2	기타 제품 제조업	폐합성수지	274,407	3.4%
		오니류	953,747	11.8%
		광재류	5,431,499	67.5%
		폐주물사 및 모래류	192,647	2.4%
		폐석회 석고류	491,436	6.1%
		Others	706,690	8.8%
		총계	8,050,426	100.0%
3	화학물질 및 화학제품 제조업; 가구제의	폐합성수지	134,785	6.7%
		오니류	448,611	22.5%
		소각재	85,689	4.3%
		폐석회 석고류	684,521	34.3%
		기타폐유기용제	160,340	8.0%
		Others	483,745	24.2%
		총계	1,997,691	100.0%
4	비금속 광물 제조업	폐목재류	74,387	3.9%
		폐합성수지	111,435	5.9%
		오니류	868,853	46.1%
		광재류	71,074	3.8%
		유리도자기편류	85,666	4.5%
		Others	672,250	35.7%
		총계	1,883,665	100.0%
5	펄프, 종이 및 종이제품 제조업	폐합성수지	308,702	19.8%
		폐합성고무	20,513	1.3%
		오니류	805,097	51.6%
		소각재	331,900	21.3%
		폐주물사 및 모래류	23,397	1.5%
		Others	70,518	4.5%
		총계	1,560,127	100.0%
	제조업 전체	폐합성수지	1,698,757	4.9%
		오니류	6,875,306	19.7%
		광재류	14,218,427	40.8%
		분진류	1,466,565	4.2%
		폐주물사 및 모래류	1,535,590	4.4%
		Others	9,072,775	26.0%
		총계	34,867,420	100.0%

<출처 : 한국환경공단, 2011, 2010 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2010 지정폐기물 발생 및 처리현황>

Table 4. Definition of industrial wastes from each treatment type

산업 폐자원 처리방법	정의
재활용	<ul style="list-style-type: none"> - 폐기물을 재사용재생이용하거나 재사용재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 - 폐기물로부터 「에너지법」 제2조제1호에 따른 에너지를 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만들거나 폐기물을 연료로 사용하는 활동으로서 환경부령으로 정하는 활동 (법률 제2조제7항)
중간처분	<ul style="list-style-type: none"> - 폐기물의 소각(燒却)중화(中和)파쇄(破碎)고형화(固形化) (법률 제2조제6항)
최종처분	<ul style="list-style-type: none"> - 폐기물을 매립하거나 해역으로 배출하는 활동 (법률 제2조제6항)

Fig. 5. Overview for the treatment of industrial wastes.

과 처리잔사량을 제외하지 않고, 재자원화를 위해 수집한 산업 폐자원이 모두 재활용된다고 가정^{다)}하여 관련 통계를 구축하고 있기 때문에 실제 재활용량보다 과대 산정되는 구조적 문제점을 가지고 있다(Fig. 5).

일반적으로 산업 폐자원은 1차부터 n차까지의 중간처분을 거치면서 재활용된 자원, 처리 후 잔사로 남아 최종매립되는 자원, 감량화된 자원(소각 포함)으로 최종 귀결된다. 국내 통계에서는 최종매립에 대한 양은 별도로 구분하여 집계되고 있으므로, 국내 통계상의 재활용량은 세 부분 중 재활용량과 감량화량이 포함된 양이라 할 수 있다. 그러므로 산업 폐자원의 실질적인 재활용량을 산정하기 위해서는 감량화량을 제외하기 위한 고려가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 이러한 통계 데이터의 문제점

을 보완하기 위해 “전국 폐기물 발생 및 처리현황” 및 “전국 지정폐기물 발생 및 처리 현황” 통계 데이터를 활용하여 중간처분 시 감량화량을 고려하고, 재자원화된 산업 폐자원 양을 재산정하여 처리유형별 비율을 도출하였다. 단, 우리나라에서는 중간처분 시 감량되는 산업 폐자원양이 통계화되지 못하고 있으므로, 국내와 유사한 산업 구조 및 재활용 기술을 보유한 일본의 산업 폐자원별 감량화량에 대한 통계 데이터를 활용하였다.^{8)라)}

일본의 경우, 다음 Table 5와 같이 산업 폐자원의 처리 유형을 크게 재활용, 중간처분, 최종처분으로 구분하여 관련 통계를 구축하고 있으며, 특히 재활용 시 직접 재활용되는 산업 폐자원의 양과 중간처분(1차 ~ n차)을 통해 재활용되는 산업 폐자원의 양을 별도로 산정하고 있다. 이를 통해 산업 폐자원별 감량화율, 즉 중간처분(재활

다) “전국 폐기물 발생 및 처리현황” 보고서에 따르면, 사업장폐기물의 재활용량은 재활용 시설로 반입 처리된 관할구역내의 재활용을 목적으로 별도로 분리·배출한 연간 폐기물 양으로 정의하여 관련 통계를 구축

라)한·일 양국의 산업구조가 유사하고, 발생하는 산업 폐자원 유형 및 중간처분·재자원화 기술 또한 유사하므로, 중간처분 시 일본의 감량화율을 적용하여 우리나라의 재활용량을 재산정하였음.

Table 5. Current status for generation, treatment and recycling of industrial wastes in Japan

산업 폐기물	배출량 (A)	직접 재활용량 (B)	직접 최종 처분량 (C)	중간처분				재활용량계 (B+F)	감량화량 (D-E)	최종 처분량계 (C)+(G)	감량화율 (D-E)/D
				중간 처리량 (D)	처리 잔사량 (E)	재활용량 (F)	최종 처분 (G)				
연소재	1,820.6	87.2	388.3	1,345.1	1,237.6	1,198.8	38.8	1,286.0	107.5	427.1	8.0%
오니류	86,814.6	907.2	723.2	85,184.2	8,362.8	6,590.3	1,772.5	7,497.5	76,821.5	2,495.7	90.2%
폐유	3,047.6	112.8	44.0	2,890.8	1,063.7	986.6	77.2	1,099.4	1,827.1	121.2	63.2%
폐산	2,541.8	70.9	1.6	2,469.2	861.3	783.6	77.8	854.5	1,607.9	79.4	65.1%
폐알카리	1,867.1	38.8	3.5	1,824.8	483.8	451.3	32.5	490.0	1,341.0	36.1	73.5%
폐 플라스틱	5,665.0	88.5	317.5	5,259.1	3,789.4	2,876.8	912.6	2,965.3	1,469.7	1,230.1	27.9%
폐지	1,265.1	90.7	13.9	1,160.5	783.4	740.8	42.5	831.6	377.1	56.4	32.5%
폐목재	6,294.2	107.0	65.2	6,122.1	4,954.9	4,762.6	192.3	4,869.6	1,167.2	257.5	19.1%
폐섬유	69.3	1.8	2.1	65.4	41.2	35.2	5.9	37.0	24.2	8.1	37.0%
동식물성 잔사	2,888.2	252.9	12.4	2,622.8	1,674.6	1,630.2	44.4	1,883.1	948.2	56.9	36.2%
동물계 고형 폐기물	113.2	0.7	1.6	111.0	92.1	90.0	2.1	90.7	18.9	3.7	17.0%
폐고무	27.2	1.0	2.3	23.9	19.2	12.8	6.4	13.8	4.8	8.7	20.1%
폐금속	7,829.5	3,611.1	47.7	4,170.7	4,097.7	3,909.8	187.9	7,520.9	73.0	235.6	1.8%
폐유리, 도자기, 콘크리트	5,410.9	146.0	481.4	4,783.4	4,480.1	3,709.6	770.5	3,855.6	303.3	1,251.9	6.3%
광재류	14,109.4	2,715.6	846.2	10,547.6	10,101.6	9,915.2	186.4	12,630.8	446.0	1,032.6	4.2%
기와 자갈등	58,921.3	825.8	756.6	57,339.0	56,876.6	55,702.0	1,174.6	56,527.8	462.4	1,931.2	0.8%
동물분뇨	88,162.4	77,585.3	0.5	10,576.6	7,035.5	6,989.6	45.9	84,574.9	3,541.0	46.4	33.5%
동물사체	160.7	0.9	2.3	157.5	84.3	78.7	5.6	79.6	73.2	7.9	46.5%
분진	15,923.3	1,708.1	1,672.3	12,542.8	10,535.2	10,398.2	137.0	12,106.3	2,007.6	1,809.3	16.0%
합계	302,931.4	88,352.3	5,382.6	209,196.5	116,575.0	110,862.1	5,712.9	199,214.4	92,621.6	11,095.8	44.3%

Fig. 6. The ratios of industrial wastes from each treatment type in 2010.

용 포함)을 위해 수집된 양 중 실제 재활용되거나 처리 후 잔사량을 제외한 양의 비율을 산정할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 한일 양국의 산업 폐자원 형태를 고려하여 동일 또는 유사한 산업 폐자원의 일본 감량화율을 적용하여 다음과 같이 국내 산업 폐자원의 재활용 및 중간처분량을 재산정하였다.

보정방법 : 동일한 폐기물 유형에 대하여 일본 통계 데이터의 감량화율을 적용하여 국내 산업 폐자원 재활용량에서 재자원화 시 감량화량 제외

* 재활용량 : 기존 통계 재활용량 - 감량화량

* 중간처분량 : 기존 통계 중간처분(소각)량 + 감량화량

* 감량화량 : 산업 폐자원을 중간처분(소각, 중화, 파쇄 등)하기 위해 회수된 양에서 재활용되거나 처리 후 잔사량을 제외한 양

<감량화량 산정 방법>

감량화량 = 기존 국내통계의 재활용량 × 감량화율_일본 = 기존 국내통계의 재활용량 × (감량화량_일본/중간처분량_일본)

현재 일본은 국내와는 달리 소각 처리량을 별도로 산정하지 않고, 재활용 및 중간처분 시 감량되거나 잔존하는 폐기물 양을 전부 고려하여 감량화율 통계 데이터를 구축하고 있기 때문에 정확한 보정을 위해서는 국내 통계의 재활용량 및 소각량을 모두 고려하여 감량화율을 적용해야 한다. 그러나 일본의 감량화율 중 소각 부분에 대한 개별 감량화율 데이터가 존재하지 않으며, 국내 재활용량 및 소각량을 합산한 후 일본 감량화율을 적용하여 재활용량을 재산정할 경우 음수값이 나오는 등의 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일본의 산업 폐자원별 감량화율을 국내 통계의 재활용량

에만 적용하였으며, 이러한 경우 소각에 의한 감량화율을 고려하지 못함에 따라 보정된 중간처분량이 실제로 다 확대될 가능성이 존재하지만 그 양은 미비하다고 사료된다.^{마)}

3.2. 형태별 산업 폐자원별 처리현황

2010년을 기준으로 국내에서 발생한 산업 폐자원은 재활용, 중간처분(소각 등), 최종처분(매립) 순으로 처리되고 있다. 가장 높은 비중을 차지하고 있는 산업 폐자원의 재활용률은 통계상으로는 70.8%(이하 통계), 감량화율을 고려하여 재활용률을 재산정한 결과는 55.3%(이하 보정)로써 그 차이가 약 15.5%p로 매우 높은 수준인 것으로 나타났다(Fig. 6).

배출량 기준 상위 5개 산업 폐자원의 처리현황은 Table 6과 같다. 대상 산업 폐자원 중 광채류(통계: 87.9%, 보정: 84.3%), 폐주물사 및 모래류(통계: 82.6%, 보정: 76.9%)의 재활용률이 상대적으로 높은 반면, 오니류(통계: 52.7%, 보정: 5.4%)의 재활용률은 가장 낮았으며, 특히 통계 및 보정 데이터 간 약 47.3%p의 큰 차이가 발생하여 재활용 단계에서 감량되는 양이 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 수분을 많이 함유하고 있는 오니류의 특성상 이를 건조하는 과정에서 상당량의 수분이 증발됨에 따라 실제 재활용되는 오니류의 양이 매우 적기 때문인 것으로 분석되었다.

3.3. 산업별 산업 폐자원 처리현황

산업 전체의 산업 폐자원 재활용률은 70.8%(보정 55.3%), 산업 부문(대분류) 중 배출량이 가장 많은 제조업 부문의 재활용률은 77.3%(보정 60.7%)로 나타났다. 산업 대분류 중 농림수산업의 재활용률은 95.4%(보정

Table 6. Current status of 5 major industrial wastes treatment in 2010

우선 순위	산업 폐자원 형태	산업 폐자원 발생량 (톤/년)	재활용(%)		중간처분(%)		최종처분(%)	
			통계	보정	통계	보정	통계	보정
1	광채류	14,601,439	87.9%	84.3%	0.0%	3.5%	12.1%	12.1%
2	오니류	11,245,775	52.7%	5.4%	12.4%	59.8%	34.8%	34.8%
3	연소재	3,198,021	75.8%	69.7%	0.0%	6.2%	24.2%	24.2%
4	폐합성수지	1,808,582	61.0%	43.9%	37.2%	54.3%	1.7%	1.7%
5	폐주물사 모래류	1,789,017	82.6%	76.9%	0.0%	5.7%	17.3%	17.3%
전체		54,019,363	70.8%	55.3%	6.5%	22.0%	21.7%	21.7%

마) 국내에서 소각에 의한 중간처분은 가연성 산업 폐자원에 한해서 이루어지며, 2010년을 기준으로 전체 산업 폐자원 중 가연성 산업 폐자원이 약 22.7%를 차지하고 있으나, 실제 소각량은 6.5%로 미비.

Table 7. Current status of industrial wastes treatment in each industry in 2010

산업부문 (대분류)	산업 폐자원 발생량(톤/년)	통계			보정		
		재활용	중간처분	최종처분	재활용	중간처분	최종처분
농림수산업	151,586	95.4%	2.6%	2.0%	77.8%	20.2%	2.0%
광업	71,139	87.6%	4.5%	6.2%	41.5%	50.6%	6.2%
제조업	34,867,420	77.3%	6.8%	15.5%	60.7%	23.4%	15.5%
건설업	1,200,669	82.2%	4.7%	13.0%	58.4%	28.5%	13.0%
서비스업 및 기타	17,670,374	56.9%	6.0%	34.7%	44.3%	18.7%	34.7%
산업 전체	54,019,363	70.8%	6.5%	22.0%	55.3%	21.7%	21.7%

Table 8. Current status of industrial wastes treatment in each major manufacturing industry in 2010

제조업 부문	산업 폐자원 형태	산업 폐자원 발생량(톤/년)	재활용(%)		중간처분(%)		최종처분(%)	
			통계	보정	통계	보정	통계	보정
1차 금속 제조업	오니류	1,036,329	75.9	7.7	3.6	71.7	20.5	20.5
	광재류	8,310,853	99.8	95.8	0.0	4.0	0.2	0.2
	분진류	1,013,348	82.1	68.6	0.0	13.5	17.8	17.8
	폐주물사 및 모래류	537,010	84.9	79.1	0.0	5.8	15.1	15.1
	폐금속류	555,421	100.0	98.1	0.0	1.9	0.0	0.0
	전체	12,254,932	94.2	0.8	4.9	83.8	11.3	4.9
기타 제품 제조업	폐합성수지	274,407	60.9	43.9	38.4	55.4	0.8	0.8
	오니류	953,747	44.0	4.5	33.0	72.5	23.0	23.0
	광재류	5,431,499	69.2	66.4	0.0	2.8	30.8	30.8
	폐주물사 및 모래류	192,647	88.2	82.2	0.0	6.0	11.8	11.8
	폐석회 석고류	491,436	71.8	71.8	0.0	0.0	28.2	28.2
	전체	8,050,427	65.6	5.4	29.0	57.7	13.3	29.0
화학물질 및 화학제품 제조업;가구제의	폐합성수지	134,785	61.8	44.5	35.2	52.5	3.0	3.0
	오니류	448,611	23.7	2.4	5.4	26.7	70.7	70.7
	소각재	85,689	2.6	2.4	0.0	0.2	97.3	97.3
	폐석회 석고류	684,521	99.4	99.4	0.0	0.0	0.6	0.6
	기타폐유기용제	160,340	84.3	84.3	12.7	12.7	0.0	0.0
	전체	1,997,690	67.2	6.6	25.1	58.5	15.3	25.1
비금속 광물 제조업	폐목재류	74,387	95.2	76.6	0.8	19.4	4.0	4.0
	폐합성수지	111,435	77.2	55.6	22.0	43.6	0.8	0.8
	오니류	868,853	89.9	9.2	0.4	81.2	9.5	9.5
	광재류	71,074	90.8	87.2	0.0	3.6	9.2	9.2
	유리도자기편류	85,666	79.3	73.9	0.0	5.4	20.7	20.7
	전체	1,883,664	84.0	3.1	12.7	41.8	45.4	12.7
펄프, 종이 및 종이제품 제조업	폐합성수지	308,702	12.7	9.1	87.3	90.9	0.0	0.0
	폐합성고무	20,513	0.0	0.0	100.0	100.0	0.0	0.0
	오니류	805,097	51.6	5.3	28.4	74.7	20.0	20.0
	소각재	331,900	35.6	32.7	11.0	13.9	53.4	53.4
	폐주물사 및 모래류	23,397	32.4	30.2	0.0	2.2	67.6	67.6
	전체	1,560,127	38.2	35.9	25.8	12.7	61.4	25.8
제조업 전체	폐합성수지	1,698,757	52.1	37.6	45.9	60.5	1.9	1.9
	오니류	6,875,306	62.9	6.4	11.7	68.2	25.3	25.3
	광재류	14,218,427	87.7	84.2	0.0	3.5	12.2	12.2
	분진류	1,466,565	71.2	59.5	0.3	12.0	28.1	28.1
	폐주물사 및 모래류	1,535,590	84.5	78.7	0.0	5.8	15.5	15.5
	전체	34,867,419	77.3	6.8	15.5	60.7	23.4	15.5

77.8%)로 가장 높게 나타났으며, 이는 재활용률이 상대적으로 높은 폐목재류, 동식물성폐잔재물 등의 배출비율이 높기 때문인 것으로 분석되었다. 서비스업 및 기타 부문에서는 전반적으로 오폐수의 발생량이 매우 높은 비중을 차지하고 있는데, 이들 물질의 재활용률이 매우 낮은 수준이므로 해당 산업 부문의 재활용률 또한 56.9%(보정 44.3%)로 가장 낮게 나타났다(Table 7).

제조업 부문별 산업 폐자원 처리현황을 분석한 결과, Table 8과 같이 배출량 기준 상위 5개 산업의 평균 재활용률은 81.6%(보정 66.3%)로 제조업 부문 전체(통계: 77.3%, 보정: 60.7%) 대비 높은 수준인 것으로 파악되었다. 특히 제조업 부문 중, 가장 많은 산업 폐자원을 배출하고 있는 “1차 금속 제조업”의 재활용률이 가장 높은 것으로 나타났다(통계: 94.2%, 보정: 83.8%). 일반적으로 재활용률이 높은 광재류가 많이 배출되는 산업에서 상대적으로 재활용 실적이 우수한 것으로 분석되었으며, 제조업 부문 중 재활용률이 가장 높은 “1차 금속 제조업”의 경우, 해당 산업 전체 폐자원 배출량의 72.6%를 차지하고 있는 광재류의 재활용률이 99.8%(보정 95.8%)로 가장 우수한 수준인 것으로 나타났다. 또한 “비금속 광물 제조업” 및 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”에서 가장 높은 비중을 차지하고 있는 오폐수의 경우, 상대적으로 낮은 재활용률을 나타냄으로써 해당 산업의 재활용 실적 또한 저조한 것으로 분석되었다.

4. 한일 산업 폐자원 발생 및 처리현황 비교

4.1. 데이터 처리

본 연구에서는 우리나라와 유사한 산업구조(제조업 중심)를 나타내고 있으며, 산업 폐자원의 재자원화 활성화를 위한 제도 및 정책을 활발히 추진 중에 있는 일본을 대상으로 하여 산업 폐자원별 재활용률과 산업별(제조업 부문) 원단위 산업 폐자원 발생량을 비교분석하였다.

현재, 한일 양국의 폐기물 통계 구축체계가 상이하므로, 본 연구에서는 일본의 폐기물 형태 및 산업(제조업 부문) 분류를 기준으로 국내 산업 폐자원 및 산업 분류를 재조정하여 발생 및 처리 현황을 비교하였다. 일본은 현재 지정폐기물 및 배출시설계폐기물 구분 없이 19종의 폐기물 유형을 Table 9와 같이 산업폐기물로 지정 관리하고 있다.⁸⁾

산업 폐자원 유형은 한국이 일본에 비해 세분화되어 있으므로 일본을 기준으로 동일한 유형을 그룹화하였으

Table 9. Classification of industrial wastes in Japan

산업폐기물 형태	- 연소재	- 동물계 고품폐기물
	- 오폐수	- 폐고무
	- 폐유	- 폐금속
	- 폐산	- 폐유리·도자기·콘크리트
	- 폐알칼리	- 광재류
	- 폐플라스틱	- 기와자갈 등
	- 폐지	- 동물분뇨
	- 폐목재	- 동물사체
	- 폐섬유	- 분진류
	- 동식물성 잔사	

Table 10. Industrial waste types for the comparison between Korea and Japan

비교 대상 산업 폐자원 (총 15종)	- 연소재	- 폐섬유
	- 오폐수	- 동식물성 잔사
	- 폐유	- 폐고무
	- 폐산	- 폐금속
	- 폐알칼리	- 폐유리·도자기·콘크리트/기와·자갈 등
	- 폐플라스틱	- 광재류
	- 폐지	- 분진류
	- 폐목재	

며, 상호 매칭이 불가능한 산업 폐자원 유형은 비교 시 제외함으로써 총 15종의 비교 대상 산업 폐자원을 선정하였다.^{4,5,8)} Table 10은 한일 양국의 산업 폐자원 발생 및 처리 현황을 비교하기 위해 재조정한 산업 폐자원 형태를 나타낸다.

또한, 양국 폐기물 통계 상에서의 산업 분류(제조업 부문) 범위가 서로 상이하므로, 동일한 유형의 산업 부문을 통합하여 총 18개 부문의 제조업 산업에 대한 발생 및 처리현황을 비교하였다(Table 11).^{4,5,8)} 기타 제품 제조업의 경우, 한일 양국의 조사 범위 및 상세분류를 파악하기 어려워 직접적인 비교는 수행하지 않았다.

4.2. 산업 폐자원별 재활용률 비교

본 연구에서는 한일 양국의 산업 폐자원 발생량 및 재활용량을 기준으로 Fig. 7과 같이 일본의 산업 폐자원별 재활용률을 100으로 가정하였을 때 국내 재활용 수준을 지수로 표현하였다. 그 결과, 비교대상 산업 폐자원 15종 모두 한국이 일본에 비해 낮은 재활용률을 나타냈다. 비교대상 산업 폐자원의 평균 재활용률은 일본의 77% 수준이며, 폐금속, 광재류, 폐고무 등의 재활용률은 일본과 동등한 수준으로 나타났으나, 폐유, 폐섬유, 폐알칼리의 재활용률은 아직까지 일본에 비해 현저히 낮은 수준인 것으로 파악되었다.

Table 11. Manufacturing industry fields for the comparison between Korea and Japan

비교 대상 제조업 부문 (총 18개 부문)	<ul style="list-style-type: none"> - 식품품 제조업 - 음료담배사료 제조업 - 섬유 산업 - 목재 및 나무제품 제조업 - 가구 제조업 - 펄프, 종이 및 종이제품 제조업 - 인쇄업 - 화학공업 - 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 - 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 	<ul style="list-style-type: none"> - 가죽, 가방 제조업 - 1차 금속 제조업 - 비금속 광물제품 제조업 - 금속가공제품 제조업 - 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업/ 기타 기계 및 장비 제조업 - 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 - 전기장비 제조업 - 수송용 장비 제조업
-------------------------------	---	--

Fig. 7. Recycling rates comparison of industrial wastes of Korea and Japan.

현재 우리나라에서 제자원화 시 비교적 부가가치가 높은 폐금속과 제강 슬래그, 고로 슬래그 등 다양한 형태로 건축물 및 시멘트 산업 등의 대체 원료 및 연료 등으로 광범위하게 사용되고 있는 광채류는 우수한 수준의 재활용 실적을 나타내고 있는 반면, 산업 폐자원 내 유해물질 함유 기준에 따라 발생량 중 전부 또는 일부가 지정폐기물로 분류되어 처리되고 있는 폐유, 폐섬유, 폐알칼리의 경우 재활용보다는 소각 등 중간처분 과정을 거쳐 처리되는 양이 많아 일본에 비해 상대적으로 낮은 재활용 실적을 나타내는 것으로 분석되었다.

4.3. 산업별 원단위 산업 폐자원 발생량 비교

본 연구에서는 한일 양국의 산업별 산업 폐자원 제자원화 수준을 비교하기 위하여 배출량이 가장 높은 제조업 부문을 대상으로 연간 생산량(부가가치 기준) 대비 산업 폐자원 발생량을 비교분석하였다(Table 12).^{9,10)}

Fig. 8과 같이 양국의 산업별 생산량(부가가치 기준)을 기준으로 산업 폐자원 발생량을 비교한 결과, 한국

은 9.9톤/억원, 일본은 7.8톤/억원의 원단위 발생량이 산정되었다. 제조업 부문에서 한국이 일본 대비 높은 원단위 발생량을 나타낸다는 것은 한국이 동일한 부가가치를 창출하는데 일본에 비해 상대적으로 많은 산업 폐자원을 발생시킨다는 것을 의미한다.

일본 대비 원단위 발생량 기준 취약산업은 총 10개 부문으로 나타났으며, 특히 “의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업/기타 기계장비 제조업”, “고무 및 플라스틱 제품 제조업”, “식품품 제조업”의 경우, 원단위 발생량이 일본에 비해 3배 이상 높게 나타나 그 차이가 매우 심한 것으로 분석되었다. 한국의 원단위 발생량이 일본에 비해 낮아 산업 폐자원 제자원화 수준이 우수한 산업은 총 8개 부문으로 나타났다. 이는 해당 산업의 오히려 발생량이 일본에 비해 현저히 낮기 때문인 것으로 분석되는데 향후 한일 양국의 오히려 발생량에 대한 통계 세부내역을 상세히 재검토해야 할 필요가 있다고 사료된다. 또한 “1차 금속 제조업”, “비금속광물제품 제조업”, “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”의 원단위 산업

Table 12. Generation and its added value of industrial wastes in the manufacturing industries of Korea and Japan

제조업 부문	한국		일본	
	산업 폐자원 발생량 (톤/년)	부가가치 (억원)	산업 폐자원 발생량 (톤/년)	부가가치 (억원)
식료품 제조업	1,390,013	108,211	5,793,100	1,336,992
음료담배사료 제조	520,118	124,477	2,627,850	576,355
섬유 산업	363,274	137,738	614,700	166,100
목재 및 나무제품 제조업	178,884	14,283	906,000	103,938
가구 제조업	44,826	28,609	197,900	84,393
펄프, 종이 및 종이제품 제조업	1,560,127	57,959	18,182,950	349,483
인쇄업	83,743	32,432	640,550	422,907
화학공업	2,190,688	298,237	8,160,800	635,001
코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업	414,194	281,379	754,650	758,920
고무제품 및 플라스틱제품 제조업	1,527,977	151,158	1,155,750	391,731
가죽, 가방 제조업	152,465	12,754	154,950	16,007
비금속 광물제품 제조업	1,883,664	104,379	6,120,050	342,596
1차 금속 제조업	12,254,932	354,797	25,263,500	828,187
금속가공제품 제조업	725,537	212,864	2,517,050	627,025
의료,정밀,광학기기와기계제조업/ 기타기계및장비제조업	1,425,319	220,307	1,699,300	1,211,804
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	708,908	559,096	1,975,600	578,687
전기장비 제조업	38,176	290,567	901,600	525,116
수송용 기계기구 제조업	1,354,148	513,924	2,460,900	1,029,457
제조업 전체 (기타 제품 제조업 포함)	34,867,419	3,524,664	80,395,600	10,516,950

폐자원 발생량은 양국 공통으로 타 산업에 비해 상대적으로 높은 특징을 나타내는 것으로 파악되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 국내 산업 폐자원의 발생 및 처리현황을 분석하고 일본과의 비교를 통한 우리나라 산업 폐자원의 재자원화 실태로부터 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

5.1. 배출량이 높은 산업 폐자원 및 산업에 대한 자원효율성 개선 방안 우선적 마련 필요

국내 산업 폐자원은 특정 형태 및 제조업 부문에서 집중적으로 발생하므로, 해당 분야에 대한 자원효율성 제고 방안 확보가 우선적으로 요구된다. 국내 산업 폐자원을 크게 금속계, 무기계, 유기계 산업 폐자원으로 분류하였을 때 광재류, 연소재, 폐주물사 및 모래류 등

이 포함된 무기계 산업 폐자원의 발생비율은 64.6%, 폐합성수지, 오폐수 등을 포함하는 유기계 산업 폐자원의 발생비율은 32.1%로 나타나 전체 대비 96.7%를 차지하고 있는 반면, 해당 산업 폐자원의 재자원화 R&D 기술개발을 위한 주요 정부부처의 지원 비율¹⁾은 61.2%로 발생 비율에 비해 저조한 수준을 나타내고 있다(Fig. 9).¹¹⁾ 따라서 유기계 및 무기계 산업 폐자원, 그 중에서도 전체 산업 폐자원 배출량의 72.4%를 차지하고 있는 ①광재류, ②오폐수, ③연소재, ④폐합성수지, ⑤폐주물사 및 모래류에 대한 배출 저감 기술 개발 및 적용이 시급한 것으로 판단된다.

또한 전체 산업 폐자원 배출량 중 62.6%를 차지하고 있는 제조업 부문, 그 중에서도 ①1차금속 제조업, ②기타 제품 제조업, ③화학물질 및 화학제품 제조업, ④비금속 광물 제조업, ⑤펄프, 종이 및 종이제품 제조업 등 5개 산업(제조업 부문 배출량 대비 73.8% 차지)을 대상으로 한 산업 폐자원 발생 억제 및 재자원화 기술 개

1) 최근 2년간(2010~2011년) 자원 재활용 기술개발 관련 국가 출연 연구과제 수 기준(지식경제부, 환경부)

Fig. 8. The basic unit generation of industrial wastes in Korea and Japan.

Fig. 9. The generation rates of industrial wastes and the national R&D support for their recycling.

발이 선행되어야 할 것이다.

5.2. 일본 대비 원단위 발생량이 높은 산업 및 재활용 수준이 저조한 산업 폐자원에 대한 재자원화를 향상 필요

제조업 부문을 기준으로 한 우리나라의 원단위 산업 폐자원 발생량은 9.9톤/억원으로 일본(7.6톤/억원)에 비해 동일한 부가가치 창출에 더 많은 산업 폐자원이 발생하는 것으로 나타남에 따라, 이를 개선하기 위한 집

중적 자원관리가 요구된다. 특히 “의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업/기타 기계 및 장비 제조업”, “고무 및 플라스틱 제조업”, “식품품 제조업”의 경우, 원단위 발생량이 일본에 비해 3배 이상 높아 해당 산업에 대한 재자원화를 제고 방안이 우선적으로 요구된다. 또한 한일 양국의 산업 폐자원별 재활용률을 비교한 결과, 비교 대상 15종 모두 일본에 비해 저조한 수준이며, 재활용률이 현저히 낮은 폐섬유, 폐유, 분진류에 대한 재자원화 기술 개발 및 보급이 조속히 이루어져야 할 것으

로 사료된다.

앞에서 언급하였듯이 일본은 “자원유효이용촉진법”에 따라 철강, 자동차 등과 같은 자원 다소비 업종에 대한 산업 폐자원목표관리제도 시행을 통해 산업별 산업 폐자원 저감 목표 및 실행 계획을 지속적으로 관리하고 있다. 향후, 우리나라도 다배출 산업 폐자원 및 산업에 대한 자원관리 현황을 체계적으로 진단하고 중장기적인 목표를 설정하여 관리할 수 있는 제도 및 추진체계 구축이 요구된다.

5.3. 폐기물 통계구축체계 개선을 통한 데이터 신뢰성 제고 필요

현재 국가 폐기물 통계에서는 재활용을 위해 수집된 폐기물 양을 전부 재활용량으로 집계하고 있으나, 실제로는 대부분의 폐기물이 1차 가공 단계인 중간처분(소각, 중화, 파쇄 등) 과정을 거친 후 재활용되고 있으며, 해당 과정에서 상당량의 폐기물이 감량되거나 폐기되고 있다. 본 연구를 통해 국가 통계 데이터와 일본의 산업 폐자원별 감량화율을 적용한 보정데이터를 비교한 결과에서도 재활용률이 15.5%p의 차이가 발생함에 따라 기 구축된 통계 데이터의 신뢰성에 문제가 있다고 판단된다. 따라서 현재 폐기물 통계구축체계의 세분화, 즉 중간처분 항목의 추가 및 해당 단계에서의 감량잔존하는 폐기물 양에 대한 조사 등을 통해 폐기물 통계 데이터의 신뢰성을 향상시키고 동시에 활용성을 증대시킬 수 있는 개선방안 도출이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 “자원생산성 기반구축사업”의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. EUROPEAN COMMISSION, 2010 : “Communication from the commission Europe 2020 - A strategy for smart, sustainable and inclusive growth”
2. Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Japna, 2012 : “Resources Recycle Handbook 2012”, pp. 2-46. (Japanese)
3. Ministry of Knowledge Economy (MKE), 2008 : “Joint session of interagency”
4. Ministry of Environment (ME), Korea Environment Corporation (KECO), 2011 : “2010 Nationwide generation and treatment of waste”
5. Ministry of Environment (ME), Korea Environment Corporation (KECO), 2011 : “2010 Nationwide generation and treatment of hazardous waste”
6. Kang, H.Y., 2012 : “Current Status of Research and Development on the Recycling of By-products in the Domestic Industry”, 2012 KNA Environment Forum, pp. 168-195.
7. Statistics Korea, 2010 : “Statistics by Industrial classification and province(10 or more workers)”, <http://kosis.kr/>
8. Ministry of the Environment (MOE), Waste Management and Recycling Department, Japan, 2012 : “2009 Report for generation and treatment of industrial waste” (Japanese)
9. Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Japan, 2010 : “Input-Output Tables” http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/result_13.html (Japanese)
10. Economic Statistics System, 2010 : “Input-Output Tables”, <http://ecos.bok.or.kr/>
11. Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (KISTEP), 2012.12. : “Survey of Research and Development in Korea”, <http://www.kistep.re.kr/>

姜 洪 潤

- 현재 한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터 센터장
- 당 학회지 제 20 권 4 호 참조

金 京 煥

- 2012년 건국대학교 공학석사(신소재공학)
- 현재 한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터 연구원

李 一 石

- 요코하마 국립대학교 공학석사(화공시스템)
- 요코하마 국립대학교 공학박사(화공시스템)
- 현재 한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터 전문위원