

국내 사용 후 화학촉매제품의 재자원화 현황 및 향후 방향

김영춘 · §강홍윤

한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터

Status and Strategy on Recycling of Domestic Used Chemical Catalysts

Young-Chun Kim and §Hong-Yoon Kang

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

요 약

화학촉매제품은 석유화학공정, 대기오염방지시설, 자동차 배기가스 정화 장치 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 국내외 화학촉매 시장은 매년 증가하고 있는 추세이며, 그에 따라 발생하는 폐촉매량도 증가하고 있다. 탈황 폐촉매, 자동차 폐촉매 등 대부분의 사용 후 화학촉매제품은 유가금속을 함유하고 있어 경제적 가치와 자원 확보 측면에서 매우 중요한 순환자원이다. 이에 일부 도시광산업체를 통해 유가금속을 회수하는 재자원화 공정이 상용화 되어 있고, 사용 후 SCR 탈질 촉매제품은 일부 재제조를 통해 자원 순환되고 있다. 이에 본 논문에서는 사용 후 화학촉매제품의 재자원화 산업 지원 정책 수립의 기초자료로 활용이 가능하도록 주요 촉매제품별 국내 발생량 및 재자원화 현황을 조사 분석하였으며, 사용 후 화학촉매제품의 자원순환 활성화를 위한 발전과제를 제시하였다.

주제어 : 사용 후 화학촉매, 자원순환, 재제조, 도시광산, 회수 및 재제조 공정

Abstract

Chemical catalyst products are applied to various fields such as petrochemical process, air pollution prevention facility and automobile exhaust gas purifier. The domestic and overseas chemical catalyst market is increasing every year, and the amount of waste catalyst generated thereby is also increasing. Most of the used chemical catalyst products, such as desulfurized waste catalysts and automobile waste catalysts containing valuable metals are important recyclable resources from a substitute resource point of view. The recycling processes for recovering valuable metals have been commercialized through some urban mining companies, and SCR denitration catalysts have been recycled through some remanufacturing companies. In this paper, the amount of domestic production and recycling of major catalyst products have thus been investigated and analyzed so as to be used as basic data for establishing industrial support policy for recycling of used chemical catalyst products. Also tasks for promoting the recycling of used chemical catalyst products are suggested.

Key words : Used chemical catalyst, Resource recycling, Remanufacturing, Urban mining, Recovery and remanufacturing process

· Received : March 15, 2017 · Revised : April 13, 2017 · Accepted : May 29, 2017

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

Center for Resources Information and Management, Korea Institute of Industrial Technology, Hanshin Intervalley 24 East B/D 18F, 322, Teheran-ro, Gangnam-gu, Seoul 06211, Korea

© 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

화학촉매제품은 그 종류와 적용분야가 매우 다양해지고 산업이 고도화되면서 시장규모도 증가하고 있는 추세다. 화학촉매제품을 구성하는 촉매물질은 대부분 소모성 물질로서 그 수명에 한계가 있어 촉매로서 기능을 상실할 경우 촉매물질 뿐만 아니라 촉매제품을 구성하는 담지체, 지지체 등도 함께 대부분 폐기된다. 자원순환이란 관점에서 폐기보다는 재자원화하는 것이 천연자원 사용 절감, 유지관리비용 절감 등에 효과적이다. 촉매제품의 대표적인 자원순환 방법으로는 자원이용 효율성을 극대화하고, 온실가스 감축에 기여할 수 있는 재제조(Remufacturing)와 물질재활용(Recycling)이 있다¹⁾(Fig. 1).

화학촉매제품은 크게 환경분야 적용 촉매제품과 화학공정분야 적용 촉매제품으로 구분할 수 있다. 환경분야는 대표적으로 발전소, 소각로 등에 적용되는 SCR(Selective Catalytic Reduction, 선택적 촉매환원) 탈질촉매, 가솔린 자동차의 삼원촉매 및 디젤 자동차에 적용되는 DOC-DPF, 일반 사업장에서 발생하는 휘발성 유기화합물 제거를 위한 VOCs 제거 촉매 등이 있다. 화학공정분야의 경우 석유화학공정에서 사용되고 있는 원유에 포함되어 있는 황화합물을 제거하기 위한 탈황촉매, 옥탄가가 낮은 나프타를 고옥탄가 휘발유로 개질하기 위한 접촉개질촉매, 감압경유를 분해하여 휘발유를 제조하기 위한 접촉분해촉매 등이 있다²⁾. 석유화학공정 및 폐자동차에서 발생하는 폐촉매제품에는 유기금속이 함유되어 있어 이를 회수하기 위한 공정이 2000년대 중반부터 도입되었으며, (주)EG메탈, (주)유니온, (주)

희성피엠텍 등이 관련 사업을 영위하고 있다. SCR 탈질 폐촉매는 유기금속 회수가 아닌 재제조를 통한 재자원화 공정이 상용화되어 있고, (주)나노, (주)KC환경서비스 등이 주요 재제조업체로 활동하고 있다. 현재 폐촉매 재자원화 산업에 기초자료가 되는 폐촉매 발생량 및 처리 현황관련 통계자료는 종류와 무관하게 일괄적으로 ‘폐촉매’로만 분류하고 있어 사용 후 화학촉매제품 재자원화 산업 활성화를 위한 기초자료로 활용하는데 그 효용성이 매우 낮다.

이에 본 논문에서는 국내에서 발생하는 주요 폐촉매(제품) 발생량 및 재자원화 현황 조사·분석을 위해 관련 국가 통계, 업계 조사, 전문가 면담 등을 실시하여, 국내 화학촉매제품 재제조산업의 활성화를 위한 발전과제를 제시하고자 한다.

2. 폐촉매의 처리 및 재자원화 관련 제도

우리나라는 폐촉매를 폐기물관리법에 근거하여 지정폐기물, 사업장배출시설계폐기물로 분류하여 관리하고 있다. 폐촉매는 Table 1에서 보는 바와 같이 폐기물관리법 시행규칙 별표 1에 따라 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 6가크롬화합물, 시안화합물, 기름성분 등 8종의 유해물질이 기준 이상 함유되어 있을 경우 지정폐기물로, 그 밖의 폐촉매는 사업장배출시설계폐기물(일반폐기물)로 분류하고 있다. 이러한 기준에 따라 매년 한국환경공단에서 폐촉매 발생량 통계를 공표하고 있다. '16년 폐기물관리법 개정을 통해 기존 폐촉매 분류를 지정폐기물은 금속성폐촉매와 비금속성폐촉매로, 사업장배출시설계폐기물은 금속성폐촉매와 그밖의 폐촉매로 구

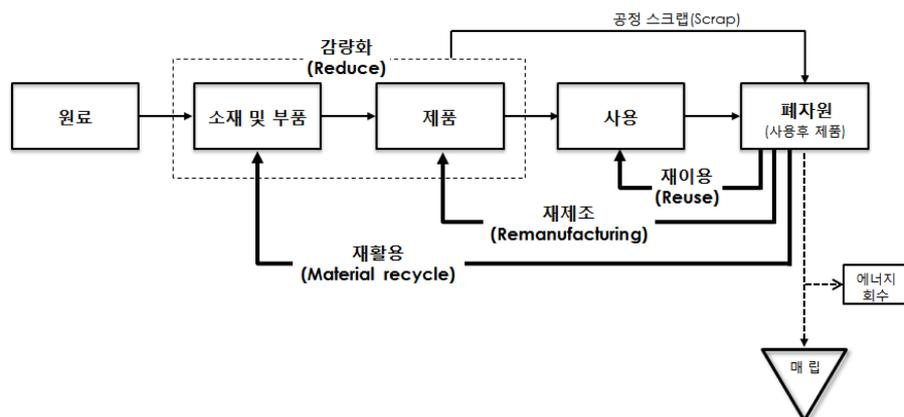


Fig. 1. Comparison between reuse, remanufacturing and material recycling.

Table 1. Based on hazardous substances contained in designated waste

종류	용출시험 결과 용출액당 함유량	비고(시험기준)
납 또는 그 화합물	3 mg/L 이상	「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조에 따라 환경부장관이 지정·고시한 폐기물에 관한 공정시험 기준에 의한 용출시험 결과
구리 또는 그 화합물	3 mg/L 이상	
비소 또는 그 화합물	1.5 mg/L 이상	
수은 또는 그 화합물	0.005 mg/L 이상	
카드뮴 또는 그 화합물	0.3 mg/L 이상	
6가크롬화합물	1.5 mg/L 이상	
시안화합물	1 mg/L 이상	
기름 성분	5%(중량비 기준) 이상	분진, 조각재 제외

*출처: 폐기물관리법 시행규칙 별표 1

분하였는데, 관련 통계는 '17년 이후 생성될 것으로 보인다.

사업장에서 배출되는 폐촉매는 폐기물관리법 시행규칙 제 4조의2(폐기물의 종류 및 재활용 유형)에 따라 재활용되고 있다. 현행 폐기물의 재활용 유형은 폐기물의 물리·화학적 특성이나 유해성, 재활용 행위의 성격, 산출물의 특성 등을 고려하여 Table 2와 같이 6개 대분류, 10개 중분류를 설정하였고, 세부적으로 39개의 소분류를 두고 있다³⁾.

폐촉매의 경우 재생이용할 수 있는 상태로 만드는 유형(R-3), 직접 재생이용하는 유형(R-4)에 따라 재활용되고 있다. 폐촉매의 폐기물 분류 번호에 따라 재활용 유형 및 재활용 방법을 Table 3에 정리하였다. R-3 유형은 폐촉매로부터 유기금속인 오산화바나듐, 삼산화몰리브덴을 회수하는 것이 대표적인 재활용 방법이며, R-4

는 직접 재생이용하는 활동으로 폐촉매를 시멘트 원료로 재활용하는 방법이 대표적이다³⁾.

3. 폐촉매제품 발생 및 처리현황

국내에서 발생되는 폐촉매 발생량 통계자료는 각 지자체, 유역환경청으로부터 수집된 자료를 바탕으로 한국환경공단에서 운영하고 있는 자원순환정보시스템(<https://www.recycling-info.or.kr>)을 통해 제공되고 있다. 지자체별, 유역환경청별 폐촉매의 발생량과 재활용 및 처리량 등 비교적 상세한 통계자료를 찾아볼 수 있지만 폐촉매를 일반폐기물, 지정폐기물로만 구분하고 있어 폐촉매 종류별 통계자료는 현재 파악할 수 없는 실정이다.

먼저 Table 4에 정리한 바와 같이 연간 폐촉매 발생량은 '14년 기준 63,072톤으로 폐촉매 발생량은 2012

Table 2. Waste recycling type classification³⁾

대분류	중분류
원형 그대로 재사용	R-1 : 원형 그대로 재사용 R-2 : 단순 수리·수선, 세척하여 재사용하는 활동
2. 재생이용하는 활동	R-3 : 재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 R-4 : 직접 재생이용하는 활동
3. 농업, 토질 개선에 재활용	R-5 : 유·무기물질을 농업생산 기여 목적으로 재활용 R-6 : 유기물질을 토질개선 목적으로 재활용
4. 성·복토재, 도로기층재 등	R-7 : 성토재, 복토재, 도로기층재로 재활용
5. 에너지를 회수하는 활동	R-8 : 에너지를 직접 회수하는 활동 R-9 : 에너지를 회수할 수 있는 상태(연료)로 만드는 활동
6. 중간가공폐기물을 만드는 활동	R-10 : R-3~R-9에 따른 중간가공폐기물을 만드는 활동

Table 3. Recycling types and methods of waste catalysts³⁾

재활용 유형(소분류)	대상 폐촉매	재활용방법									
1) R-3-1 : 단순 해체, 분리, 파쇄, 선별 등의 공정을 통해 폐기물에서 금속 또는 비금속 자원을 회수하는 유형	- 금속성폐촉매(지정, 일반) - 그 밖의 폐촉매(일반)	- 사용요건 : 오산화바나듐, 삼산화몰리브덴 제조 - 성분요건 : <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>무게비율</th> <th>기름성분</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>산화물 중 오산화바나듐(V₂O₅)</td> <td>15% 이상</td> <td>불검출</td> </tr> <tr> <td>산화물 중 삼산화몰리브덴(MoO₃)</td> <td>30% 이상</td> <td>불검출</td> </tr> </tbody> </table>	구분	무게비율	기름성분	산화물 중 오산화바나듐(V ₂ O ₅)	15% 이상	불검출	산화물 중 삼산화몰리브덴(MoO ₃)	30% 이상	불검출
구분	무게비율	기름성분									
산화물 중 오산화바나듐(V ₂ O ₅)	15% 이상	불검출									
산화물 중 삼산화몰리브덴(MoO ₃)	30% 이상	불검출									
2) R-3-2 : 용융, 용해, 반응, 추출 등의 공정을 통해 폐기물에서 금속 또는 비금속 자원을 회수하는 유형	- 금속성폐촉매(지정, 일반) - 비금속성폐촉매(일반) - 그 밖의 폐촉매(일반)	오산화바나듐, 삼산화몰리브덴 등 유기금속을 회수하는 경우, 기름 성분이 묻어있지 않아야 한다.									
3) R-3-3 : 분리, 선별, 절단, 파쇄, 분쇄, 용융, 반응 등의 공정을 통하여 폐기물을 종이, 금속, 유리, 합성수지 및 섬유, 고무제품의 원료물질로 재활용하는 유형	- 금속성폐촉매(지정, 일반)	공통기준만 충족									
4) R-3-4 : 분리, 선별, 절단, 파쇄, 분쇄, 증발·농축 등의 공정을 통하여 폐기물을 종이, 금속, 유리, 합성수지 및 섬유, 고무제품의 원료물질로 재활용하는 유형	- 금속성폐촉매(지정) - 비금속성폐촉매(지정) - 그 밖의 폐촉매(일반)	공통기준만 충족									
5) R-4-1 : 금속성 제품을 제조하는 유형	- 금속성폐촉매(일반) - 그 밖의 폐촉매(일반)	공통기준만 충족									
6) R-4-2 : 골재, 유리, 시멘트, 콘크리트 및 레미콘, 내화물, 요업제품, 각종 석제품 등 비금속광물제품이나 아스콘, 아스팔트, 고화제 등 기타 비금속광물 제품을 제조하는 유형	- 그 밖의 폐촉매(일반)	공통기준만 충족									
7) R-4-7 : 유·무기성 화합물, 산화물 등의 화학물질이나 안료나 도료, 페인트, 착색제 등 화학제품을 제조하는 유형	- 금속성폐촉매(지정) - 비금속성폐촉매(지정) - 그 밖의 폐촉매(일반)	공통기준만 충족									

년을 기점으로 매년 증가 추세를 보이고 있으며, 재활용 비율은 약간의 변동은 있지만 80% 대를 유지하고 있다⁴⁾. 특히 폐촉매 중 지정폐기물에 대한 재활용 비율은 자원순환정보시스템에서 제공하는 ‘지정폐기물 발생

및 처리현황’ 자료에 의하면 99%이상으로, 발생하는 폐촉매의 경제적 가치가 높다는 것을 방증하고 있는 것으로 판단된다⁵⁾.

특히 Table 5의 지역별 폐촉매 발생현황을 살펴보면

Table 4. Status of Yearly Emissions by Type of Waste Catalyst by Year (Unit: tons/year)⁴⁾

구분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
발생량	29,346	37,705	38,690	47,742	38,289	54,860	63,072
매립	5,329	7,300	7,300	14,272	4,453	13,031	11,279
소각	37	0	37	110	37	110	37
재활용량	23,981	30,405	31,354	33,361	33,799	41,720	51,757
재활용률(%)	82	81	81	70	88	76	82

*출처: 전국 폐기물 발생 및 처리현황(<https://www.recycling-info.or.kr>)

Table 5. Status of waste catalyst production by major region (unit: tons/year)⁶⁾

연도	울산광역시		전라남도	충청남도		
	남구	울주군	여주시	서산시	태안군	보령시
발생량	8,333.7	5,629.7	6,025.9	3,034.4	917.7	416.6
종류	정유촉매	정유촉매	정유촉매	정유촉매	SCR 탈질촉매	SCR 탈질촉매
주요발생업체	SK이노베이션	S-Oil	GS칼텍스	현대오일뱅크	태안화력발전소 (한국서부발전)	보령화력발전소 (한국중부발전)

지정폐기물로 분류된 폐촉매의 재활용 비율이 높게 나타나는 이유를 알 수 있다. '14년 기준 연간 100톤 이상 폐촉매가 발생하는 지역은 울산 남구, 울산 울주군, 전남 여수, 충남 서산 등의 순으로 나타난다⁶⁾. 이는 우리나라 4대 정유사인 (주)SK이노베이션, GS칼텍스, 에스오일, 현대오일뱅크의 석유 정제 시설 위치 및 정제 능력과 일치된다. '14년 기준 폐촉매 지정폐기물 26,512톤 중 약 87%인 23,024톤이 해당 지역에서 발생하고 있으며, 이는 대부분 폐촉매로부터 유가금속을 회수하는 도시광산업체를 통해 재활용되고 있다. 그밖에 SCR 탈질촉매제품은 국내 최대 석탄화력발전소가 위치한 태안 및 보령지역에서 상당량 발생하고 있는 것으로 파악된다.

이처럼 현재 국가에서 공표하는 폐촉매 관련 통계를 통해 폐촉매 종류별 발생량, 배출처, 재자원화 업체 및 재자원화량 등을 세부적으로 파악하는 데는 한계가 있다. 이에 폐촉매 발생량에 대한 국가통계를 세분화하기 위하여 환경부, 한국환경공단, 지자체 등을 통해 자료를

조사하였으나, 현재 폐촉매를 종류별로 구분하지 않고 단지 지정폐기물, 일반폐기물로만 구분하여 통계를 작성하고 있어 관련 자료를 수집하는데 어려움이 있다. '16년 '폐기물관리법' 개정으로 폐촉매 종류를 금속성폐촉매, 비금속성폐촉매, 기타 폐촉매로 구분하였으나 관련 통계는 아직 생성되지 않은 상황이다.

이에 본 연구에서는 한국환경공단에서 제공하는 폐촉매 발생 총량, 환경부를 통해 제공받은 폐촉매 처리현황, 그밖에 문헌조사, 업계조사 등을 종합하여 주요 폐촉매제품인 SCR 탈질촉매제품, 정유 탈황촉매제품, 자동차 배기촉매의 발생량과 재자원화 현황을 분석하였다.

3.1. SCR 탈질 폐촉매 발생량 및 처리현황

SCR 탈질촉매제품은 배기가스 중에 암모니아를 주입하여 촉매에 의해 질소산화물(NOx)을 물과 질소로 환원시키는 역할을 하며, 다양한 조성의 촉매제품이 있으나 정방형계의 TiO₂를 담체로 하여 촉매물질 V₂O₅를 함침시킨 촉매제품이 가장 많이 사용되고 있다. 적용분

Table 6. Installed capacity based on SCR catalyst fixed pollution source (unit: m³)⁷⁾

구분		2011년	2012년	2013년	2014년
화력 발전소	중유	3,833	4,216	4,638	5,101
	석탄	11,970	13,166	14,483	15,931
	가스	446	490	539	593
	가스복합	5,391	5,930	6,523	7,175
	소계	21,639	23,803	26,184	28,803
정유산업		2,708	2,978	3,067	3,159
유리산업		795	874	900	927
철강산업		4,430	4,873	5,019	5,169
시멘트산업		4,518	4,970	5,119	5,272
합계		34,090	37,498	40,289	43,330

*출처: (주)나노 사업보고서

Table 7. Global Market Size of New SCR Denitration Catalyst Products⁷⁾

(단위 : M\$)

구분	2010년	2015년	2020년	CAGR(%)
유럽	558.6	600.6	562.8	0.38
북미	1,135.4	1,149.4	1,187.2	2.26
남미	75.6	99.4	113.4	22.47
아프리카	123.2	159.6	179.2	20.60
중앙아시아	193.2	284.2	303.8	25.40
러시아	218.4	233.8	231.0	2.84
인도	166.6	259.0	308.0	35.97
중국	936.6	1,274.0	1,446.2	24.26
합 계	3,407.6	4,060.0	4,331.6	12.75

*출처: (주)나노 사업보고서

야는 석탄화력, 열병합 발전소, 소각장, 산업용 보일러 등에 주로 사용되고 있다. 신품 SCR 탈질촉매제품을 생산하는 주요 국내업체는 (주)나노, (주)대영씨엔이, (주)세라컴, (주)현대머티리얼즈 등이 있으며 시장규모는 국내 설치용량 약 43,330m³과 1m³당 450만원 기준으로 약 1,950억원('14년 기준), 국외는 Ceram, Babcock Hitachi K.K, Hitachi Zosen, Johnson Matthey 등이 주요 생산업체이며 시장규모는 4조 8000억원('15년 기준)에 달한다⁷⁾. 최근 대기오염의 주범인 질소산화물에 대한 배출 규제가 더욱 강화될 것으로 예상되며, 현재 설치용량의 50% 추가 증설이 필요하여 향후 SCR 탈질촉매제품의 사용량 및 시장규모는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

'14년 기준, (주)나노의 사업보고서, 업계조사 등을 토대로 유추한 결과, SCR 탈질 촉매제품의 국내 설치용량은 약 43,330m³이다(Table 6)⁷⁾. SCR 탈질 촉매제품은 발전소, 소각로 등 다양한 분야에 적용되고 있고, 적용처별로 교체주기가 2년에서 7년으로 상이하여 평균값인 4.5년을 적용하였을 때 연간 약 9,600m³의 SCR 탈질 촉매제품이 발생하는 것으로 추정된다. 이를 중량으로 환산할 경우 1m³ 당 약 1.2톤으로 약 11,000톤 규모의 SCR 탈질 촉매제품이 발생하는 것으로 파악된다.

환경부 자료에 의하면 '14년 기준 SCR 탈질 촉매 11,000톤 중 재제조를 통해 재자원화된 양은 1,400톤이며, (주)나노 686.2톤, (주)아주NBC 282.7톤, 동양에코(주) 246톤, KC환경서비스(주) 166.7톤 순이다⁵⁾. SCR 탈질 촉매 매립량은 약 9,600톤으로 추정되며, 이는 지지체의 손상과 재제조에 대한 인식부족에 기인하는

것으로 판단된다. SCR 탈질 촉매에 바나듐, 텅스텐 등 유가금속이 함유되어 있으나 관련 기술에 대한 연구가 없어서 아직까지 SCR 폐탈질 촉매로부터 유가금속을 회수하는 업체는 없는 것으로 파악되었다. 하지만 '11년부터 '16년까지 한국지질자원연구원이 '글로벌탈황 기술개발사업'을 통해 '탈질 촉매로부터 희유금속(V,W)회수 및 촉매 소재화 기술개발'을 완료하였으며 상용화를 앞둔 상황이다⁸⁾.

3.2. 정유 탈황 폐촉매 발생량 및 처리현황

원유 정제분야의 대표적 촉매는 경질유(휘발유, 등유, 경유) 탈황 촉매(CoMo-Al₂O₃), 중질유 탈황 촉매(NiMo-Al₂O₃), 접촉분해 촉매(zeolites, aluminosilicate), 접촉개질 촉매(Pt-Al₂O₃, Pt-Re-Al₂O₃) 등 그 종류가 매우 다양하다. 가장 많이 사용되고 있는 탈황촉매제품은 원유에 포함되어 있는 황화합물을 수첨탈황(hydrodesulfurization, HDS) 공정을 통해 제거하는데 사용되며, 특히 중질유 분해(고도화 설비)에 가장 많이 사용된다.

신품 탈황촉매제품은 국내 생산업체가 없으며, 전량 수입에 의존하고 있다. 국내 탈황촉매제품 시장 규모는 국내 4대 정유사의 정제능력, 고도화율, 업계조사 자료를 토대로 추정된 결과 약 3,460억원 규모로 파악되었고, 국외 신품 탈황촉매제품 주요 생산업체는 IFP, Advanced Refining Technologies, Criterion, Nippon Ketjen, Axene 등이 있으며, 세계 시장규모는 9조 7400억원 규모로 추정된다.

연료 청정화에 대한 사회적 요구가 증가하면서 다양한 형식의 공정개선, 촉매개량 혹은 신촉매 개발이 진

Table 8. Domestic and overseas desulfurization catalyst market size

국 내	국 외
<ul style="list-style-type: none"> • 중질유 탈금속 & 탈황촉매 약 1,450억원 = 6,750톤 × \$18/kg × 1,200원 • 경질유 탈황 촉매 약 2,010억원 = 8,382톤 × \$20/kg × 1,200원 	<ul style="list-style-type: none"> • 중질유 탈금속 & 탈황촉매 약 4조 3,200억원 = 200,000톤 × \$18/kg × 1,200원 • 경질유 탈황 촉매 약 5조 4,200억원 = 226,000톤 × \$20/kg × 1,200원

Table 9. Domestic refiner's desulfurization catalyst consumption

정유사	정제능력(천B/D)	중질유			경질유
		고도화율(%)	고도화 설비(천B/D)	촉매사용량(톤)	촉매사용량(톤)
현대오일뱅크	390	39.1	153	1,220	1,218
S-OIL	669	25.5	200	1,595	2,089
SK 이노베이션	840	23.4	197	1,571	2,623
GS 칼텍스	785	34.9	274	2,185	2,452
계	2,684		824	6,570	8,382

*출처: 한국석유화학협회, 각사 홈페이지, 업계조사, 전문가 의견 등을 토대로 추산

Table 10. Estimation of global desulfurization catalyst usage

구분	원유정제능력(천B/D)	경질유 탈황촉매(톤)	고도화 설비 능력(톤)	중질유 탈황촉매(톤)
한국	2,684	8,382	824	6,750
세계	72,370	226,000	24,341	200,000

*출처: Oil&Gas Journal Data Book, 2015.1월 기준 세계 주요국 원유 정제능력 및 고도화 설비 규모로부터 국내 규모에 따른 비례 추산

행되고 있으며, 이러한 청정연료의 수요증가에 힘입어 정유 관련 촉매시장은 해마다 4.0%씩 성장할 것으로 관측되며, 탈황촉매제품의 비중이 전체 촉매 수요량의 40% 이상을 차지할 것으로 전망하고 있다⁹⁾.

'14년 기준, 중질유 탈황 촉매 국내 설치용량은 6,570톤이며, 평균 교체주기 0.75년 및 중량증가(중질유 분 및 바나듐, 니켈 침적으로 신촉매 중량 대비 약 25% 증가)를 고려하면, 연간 약 10,950톤의 탈황 폐촉매가 발생하고, 경질유 탈황 촉매제품의 경우 국내 설치용량은 8,382톤이며, 평균 교체주기 10년 및 중량증가를 고려하면, 연간 약 1,048톤의 탈황 폐촉매가 발생하는 것으로 추정된다. 따라서 '14년 기준, 국내 탈황 폐촉매는 약 12,000톤이 발생하는 것으로 파악된다. 이는 지난 2006년 환경부에서 발표한 폐촉매 발생 및 처리실태 조사 자료와 비교할 때 탈황 폐촉매 발생량인 본 연구에서 추정된 발생량과 유사한 것을 알 수 있다.

환경부 자료에 의하면 국내 정유사 5개소에서 발생하는 폐촉매는 44,440톤('05~'06.6월)으로 연간 30,000톤 정도의 폐촉매가 발생하며, 중질유 탈황 폐촉매의 비중이 40%(12,000톤)로 가장 높고, 중질유집축분해폐촉매, 경질유 탈황 폐촉매, 나프타 개질폐촉매 등의 순으로 발생하는 것으로 파악됐다¹⁰⁾.

'14년 기준 국내에서 발생되는 탈황 폐촉매는 약 12,000톤으로 추정되나 실제 도시광산업체를 통해 재자원화된 양은 약 24,000톤 규모로 폐촉매 발생량과 재자원화량이 크게 차이가 난다. 업계 조사 결과 국내에서 발생하는 탈황 폐촉매 물량이 적어 탈황 폐촉매를 수입하여 물량을 맞추고 있는 실정이고, '15년 환경통계연감에 따르면 '14년 기준 수입된 폐촉매량이 14,602톤으로 탈황 폐촉매 발생량과 수입량을 더하면 재자원화량과 유사한 수치를 보이고 있다는 것을 알 수 있다. 국내에서는 탈황 폐촉매로부터 폴리브덴늄, 바나듐을 회

수하는 주요 도시광산업체별 재자원화량은 (주)EG메탈 7,007톤, (주)유니온 7,477톤, GS에코메탈(주) 5,637톤, (주)영신금속 3,814톤(환경부 자료)으로 조사되었으며⁵⁾, 이는 지정폐기물로 분류된 폐촉매 발생량 중 89%에 해당하는 양이다. 그러나 최근 금속가격 하락, 폐탈황촉매 수급 애로 등으로 인한 수익성 악화로 관련 업계가 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

일반폐기물로 분류되는 정유정제용 접촉분해촉매(실리카-알루미나 계통)의 경우 연간 발생량은 파악되지 않았으나, 환경부에서 제공받은 폐촉매 일반폐기물 재활용업체별 재자원화량을 살펴보면 (주)동양건재, (주)유니온, (주)한국포조텍, 동양시멘트(주), 쌍용양회(주), 한일시멘트(주)를 통해 '14년 기준 약 14,500톤 규모가 시멘트 원료로 재자원화된 것으로 추정되며, 이는 일반폐기물 발생량의 약 42%를 차지한다.

3.3. 자동차 폐촉매 발생량 및 처리현황

국내외적으로 신규 차량의 배기가스 배출허용기준이 지속적으로 강화됨에 따라 신규 자동차의 배기가스 저감촉매 장착도 꾸준히 확대되어 왔으며, Euro4 수준의 허용기준을 적용한 2006년 이후에는 사용 연료에 관계없이 국내의 모든 신규 자동차(즉, 승용, 승합, 화물, 특수)에는 배기가스 저감촉매가 장착되어 판매되고 있으며, 저감 촉매의 종류는 사용 연료에 따라 휘발유 및 LPG 차량의 경우에는 삼원촉매가, 경유 차량에는 복합 DPF촉매(DOC + DPF)가 장착되어 판매되고 있다¹¹⁾. 국내 주요 생산업체는 (주)희성촉매, (주)에코닉스, (주)세라컴, (주)엔드디, (주)우텍 등 다수의 업체가 존재하고 Table 11에서 보는 바와 같이 신품 시장 규모는 약 1조 5,200억원 규모로 추정된다. 국외 주요 생산업체는 Umicore,

Table 12. Number of scrapped cars by year

구분	2013	2014	2015
승용	590,964	573,726	589,769
승합	64,937	60,010	59,777
화물	114,168	114,130	122,593
특수	1,027	1,228	1,297
합계	771,096	749,094	773,436

*출처: 한국자동차재활용협회

Johnson Matthey, Sud-Chemie 등이 있다.

'14년 기준, 국내 자동차 배기가스 정화용 폐촉매 발생량은 약 2,360톤 규모로 파악된다. 발생량은 폐차대수는 75만대, 이 중 10% 정도가 중고차로 수출되고 있으며¹¹⁾, 자동차 폐촉매 평균 중량은 폐차장, 재제조기업 등 업계조사를 통한 결과 약 3.5 kg로 파악되었다.

'14년 기준, 국내에서 발생하는 자동차 폐촉매 전량이 도시광산업체를 통해 재활용되고 있는 것으로 파악되었다. 자동차 폐촉매는 Pt, Pd, Rh 등 고가의 귀금속을 담지하고 있어 폐차장에서 탈거 후 별도로 보관하고 폐촉매 회수업체에 판매하고 있다. 자동차 폐촉매 도시광산업체인 (주)희성피엠텍의 '14년 재활용량은 5,896톤 규모이며⁵⁾, 국내에서 발생하는 자동차 폐촉매 중 90% 정도를 회수하고 있는 것으로 파악되어 2,124톤 정도를 회수하고 있으며¹¹⁾, 나머지 회수량은 자동차 폐촉매 수입, 석유정제공정 발생 개질촉매 등으로부터 공급받아 재활용하고 있는 것으로 판단된다. 한국도시광산협회에 따르면 헨젤리사이클링코리아(유)는 국내에서 발생하는 자동차 폐촉매 일부를 회수하여 수출하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 11. Number of vehicle registration by fuel type

구분	계	휘발유	경유	LPG	기타
2014	19,663,050	9,479,405	7,575,040	2,380,337	228,268
2015	20,411,896	9,670,447	8,156,412	2,314,211	270,824
전년대비증감	748,846	191,042	581,372	(-)66,126	42,556
※ 가솔린 자동차 : 매연 저감 장치 내 화학촉매(삼원촉매) 장착 ※ 디젤(경유) 자동차 : 화학촉매(DOC, DPF) 장착 ※ 시장규모 - 경유차 DOC-DPF촉매 시장규모 : 약 1조 4,520억(581,371대 × 2,500,000원/대) - 삼원(TWC) 촉매 시장규모 : 약 670억원 (191,042대 × 350,000원/대)					

*출처: 국토교통부, 연료별 자동차 등록 현황 자료

4. 폐촉매 재자원화 기술

국내에서 탈황폐촉매제품으로부터 유기금속 회수에 관심을 갖기 시작한 시기는 폐촉매에 포함되어 있는 몰리브덴, 바나듐의 가격이 폭등한 2005년부터이다. 2005년 ㈜범아가 중국에서 기술을 도입하여 이 사업을 시작하였으나 상업화하지 못하였으며, 2006년 다우메탈이 이 공장을 인수하였으나 2008년 미국발 금융위기로 인해 바나듐, 몰리브덴의 금속가격이 급격히 하락함으로써 국내 업체 모두가 어려움을 겪었고, 다우메탈은 결국 GS칼텍스에 인수되어 현재 GS에코메탈로 상호가 변경되었다. 비슷한 시기에 (주)영신금속, (주)EG, (주)유니온도 폐촉매로부터 유기금속 회수 사업을 시작하였다¹²⁾. 탈황 폐촉매로부터 몰리브덴, 바나듐을 회수하는 대표적인 공정은 Fig. 2와 같다.

국내에서 발생한 자동차 폐촉매는 2005년까지 대부분 일본, 독일 등으로 수출되었으나, 2007년 (주)희성피엠텍이 자동차 폐촉매로부터 백금족(Pt, Pd, Rh)을 회수하는 공정을 상용화하면서 국내 발생 자동차 폐촉매의 90% 이상을 처리하고 있다.

현재 폐촉매 중 재제조하여 상용화된 제품은 SCR

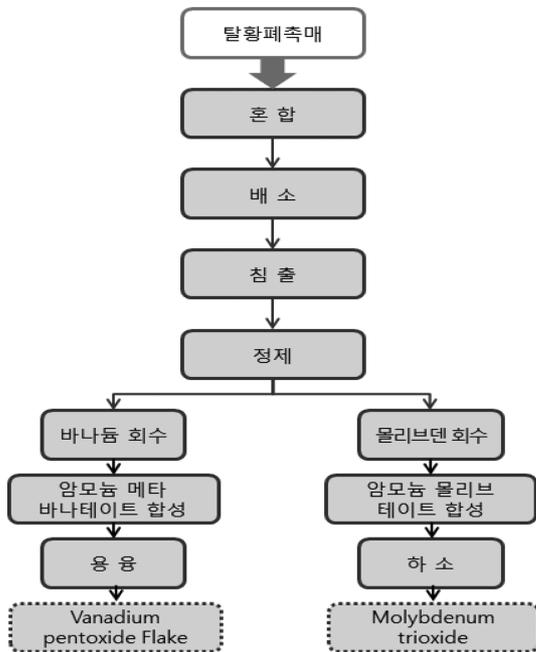


Fig. 2. A valuable metal (vanadium, molybdenum) recovery process from the devolatilization catalyst (EG Metal Co., Ltd.).

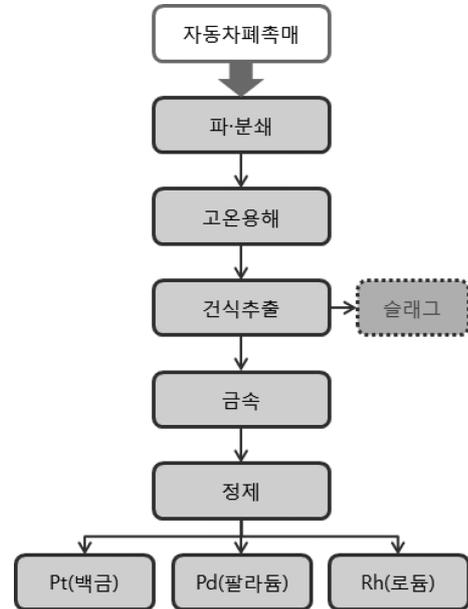


Fig. 3. A process for recovering valuable metals from automobile waste catalysts (www.retech-platform.or.kr).

탈질 촉매제품이 유일하며, 탈황촉매의 경우 산업통상자원부의 재제조 관련 R&D 지원사업인 ‘에너지·자원순환기술개발사업’을 통해 (주)KC코트렐과 한서대학교가 재제조 기술개발을 완료하여 Pilot Plant에서 재제조 탈황촉매 시제품을 생산하고 있으며, 실제 상용 중질유 탈황공정에 적용하기 위한 검증 단계에 있다¹³⁾. 재제조 SCR 탈질 촉매제품 및 탈황촉매제품을 생산하는데 가장 중요한 재제조 공정은 세척단계이다. 각종 오염물질로 피복된 촉매물질의 활성을 회복시키기 위한 온도 및 배소시간, 세척제 및 조성, 세척시간 등 최적의 세척조건을 찾는 것이 폐촉매 재제조 기술의 핵심이다. Table 13, 14에 대략적인 SCR 탈질 폐촉매 및 탈황촉매 재제조 공정 및 기술을 설명하였다.

5. 온실가스 저감 효과 분석

국내에서 발생하는 폐촉매의 80% 이상이 유기금속 회수, 시멘트 원료, 재제조 제품 등 다양한 형태로 재자원화되고 있다. 주요 폐촉매인 탈황촉매, 자동차 배기가스 정화 촉매 등은 몇몇 도시광산기업을 통해 거의 대부분 유기금속 회수를 위해 재자원화되고 있지만 SCR 탈질 폐촉매의 경우 재자원화(재제조) 비율이 전체 발

Table 13. Remanufacturing process and technology of used SCR denitrification catalyst

	SCR 탈질촉매제품	
	사진	재제조 조건
Core		-
제품완전분해 (Disassembly)		촉매제품의 분해 각 모듈에 들어있는 촉매 unit을 각각 분리
부품 세척 (Cleaning)		물리적, 화학적 세정 처리 각 촉매 채널에 Dust 및 반응 부산물로 막혀 있는 곳을 압축공기, 고온의 스팀으로 세정 촉매 표면에 침적된 중금속 및 오염화학 물질을 재제조세정액으로 세정함 (오염물질 종류 및 정도에 따라 유기무기 복합산의 종류 및 농도선정, 초음파 세정 시간, 세정온도) 고온으로 소성 배소(스팀양, 온도, 배소시간 등)
검사 (Testing)		촉매 성능 검사 재제조된 촉매를 현장 조건을 모사하여 촉매 성능 검사 (벤치스케일 성능 시험)
보수조정 (Reconditioning)		보수 신품대비 성능 미달시 촉매 활성성분을 재함침 공정 (함침량, 함침조건설정)
재조립 (Re-Assembly)		재조립(재제조 촉매제품)

생량의 10% 내외로 재자원화 비율을 높일 필요가 있다. 전술한 바와 같이 현재 국내에서는 SCR 탈질 폐촉매의 재자원화는 재제조를 통해서만 이루어지고 있어 본 장에서는 SCR 탈질 촉매제품의 재제조를 통한 온실가스 저감 효과를 분석하여 그 필요성을 강조하고자 한다.

SCR 탈질 촉매제품은 TiO_2 를 담지체로하여 V_2O_5 , WO_3 등의 촉매가 충전되어 있는 허니컴 타입이 가장 많이 사용되고 있다. 여러 개의 허니컴이 하나의 모듈을 구성하고 있으며, 재제조시 여러개의 모듈로 이뤄진

SCR 탈질 폐촉매를 수거하여 각각의 모듈별로 재제조 공정을 거쳐 재제조 SCR 탈질 촉매제품을 생산하고 있다. 본 장에서는 국내에서 가장 많이 설치되어 있는 석탄화력발전소에 사용되는 SCR 탈질 촉매제품 모듈 1개를 온실가스 저감 효과 분석을 위한 기준으로 설정하였다.

SCR 탈질 폐촉매의 재제조를 통한 온실가스 저감량 산정을 위해 수집된 데이터인 모듈의 구성 및 재질 정보는 Table 15과 같으며, 실제 석탄화력발전소에 설치

Table 14. Remanufacturing process and technology of used desulfurized catalyst product

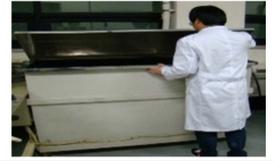
	탈황촉매제품	
	사진	재제조 조건
Core		-
제품완전분해 (Disassembly)		촉매제품의 반응기분해를 통한 회수
부품 세척 (Cleaning)		유분 제거, 고온 배소, 산 세정 촉매에 묻어있는 중질유분을 용제를 이용하여 세척하는 공정 (용제의 종류, 세정시간, 온도) 유분세정된 촉매를 고온(400~500°C)에서 촉매에 침적되어 있는 카본 및 황을 산화 시켜 제거하는 공정(배소온도, 시간, 고온고압의 스팀비율, 공기순환율) 침적 부산물을 유기산(디카르복실산 : 옥살산, 시트르산 등 무기산(질산, 황산, 등) 등을 통하여 침출하는 공정(복합산의 종류 및 농도선정, 세정방법, 세정시간, 세정온도등)
검사 (Testing)		촉매 성능 검사 재제조된 촉매를 현장 조건을 모사하여 촉매 성능 검사 (중질유 카타테스티)
보수조정 (Reconditioning)		보수 신품대비 성능 미달시 촉매 활성성분 및 첨가제 첨가 (첨가제 종류선정, 첨가제 함침조건 등)
재조립 (Re-Assembly)		재조립(재제조 촉매제품)

Table 15. Main material and weight of SCR denitration catalyst product

No.	주요 재질	중량(kg/ea)
1	Module(탄소강(Carbon Steel))	680
2	TiO ₂	31

*모듈의 크기: 1,880 × 946 × 1,164(L×W×H, mm), 촉매의 주 성분은 TiO₂ (65~75%)

된 SCR 탈질촉매제품의 설계 및 시공업체 조사를 통해 산정하였다.

조사 결과 하나의 모듈은 16개의 허니컴 촉매제품으로 구성되어 있으며, 모듈당 540 kg~750 kg까지 다양하게 존재하나 가장 최근에 시공되어 적용되고 있는 모듈의 중량은 680 kg이며, 이에 대한 탄소배출계수는 Table 18에 나타난 것과 같이 탄소성적표지 배출계수를 적용하였다.

Table 16. GHG Emission Factor Applied to SCR Denitration Catalyst Module After Use

물질명	온실가스배출계수 (kgCO ₂ /kg)	출처
탄소강	2.34	환경부, 탄소배출계수
TiO ₂	0.339	환경부, 탄소배출계수

Table 17. Reduction of GHG emissions from re-manufacturing of SCR NOx removal catalyst after use

No.	주요 재질	신품 대비 재제조품의 온실가스 감축량 (kgCO ₂ /ea Module)
1	Module(탄소강 (Carbon Steel))	1,591.20
2	TiO ₂	10.51
합계		1,601.71

SCR 탈질 촉매를 구성하는 재질별 중량 및 탄소배출계수를 이용하여 SCR 탈질 폐촉매 모듈 하나를 재제조할 경우 1,601.71 kgCO₂/ea(Module)의 온실가스 저감 효과가 나타나는 것으로 분석되었다(Table 17). 신품 및 재제조 공정상에서 배출되는 온실가스 양을 고려하면 실제 온실가스 저감량은 다를 수 있다. 앞서 파악된 재자원화되지 못하고 매립되고 있는 SCR 탈질 폐촉매량이 '14년 기준 약 9,600톤으로 폐촉매 모듈 하나의 중량 816 kg(680 × 1.2(중량증가분))을 고려하면 전량 재

제조될 경우 약 18,800톤의 온실가스를 저감할 수 있다. 현재 온실가스 배출권거래제 상쇄제도를 통해 거래되고 있는 배출권 톤당 평균 거래가격 21,500원(한국기술거래소, 2016년 3월 기준)을 적용하면 약 4억 4천만원의 경제적 가치가 있는 것으로 분석된다.

5. 결론 및 제언

'14년 기준, 전국 폐촉매 발생량은 63,072톤 규모이며, 재활용은 51,756톤, 매립 11,279톤, 소각 37톤 순으로 처리되었고 재활용 비율은 82%이다. 국내 4개 정유사에서 발생하는 폐촉매량은 28,250톤(탈황촉매 12,000톤)으로 전체 폐촉매 발생량의 45%를 차지하고, SCR 탈질 촉매가 11,000톤 규모로 17%의 비중을 보이고 있다. 앞서 설명하였듯이 폐촉매 종류별 발생량 통계가 존재하지 않아 실제 발생량 및 처리현황이 본 연구에서 추산한 결과와 약간 상이할 수 있다. 다만, 폐촉매 재활용 업체별 실적, 업계 조사, 전문가 의견 등을 종합해보면 폐촉매는 대부분 정유공정에서 발생하는 탈황촉매, 발전소에서 발생하는 SCR 탈질촉매, 폐자동차에서 발생하는 자동차 촉매가 80% 이상 차지하는 것으로 분석되었다.

폐기물 발생량 및 처리현황 통계는 폐기물의 발생을 최대한 억제하고 발생한 폐기물을 친환경적으로 처리함으로써 환경보전과 국민생활의 질적 향상에 이바지하고자 하는 국가 정책 수립에 필수적으로 요구되는 기초자

Table 18. The amount of major waste catalysts generated and processed (unit: ton)

구분	발생량*	재활용량**	매립	소각	재활용 주요 업체
탈황촉매(국내)	12,000	12,000	-	-	(주)EG메탈, (주)유니온, GS에코메탈(주), (주)영신금속 - 연간 처리량 24,000톤 규모
탈황촉매(수입)	11,000	11,000	-	-	
접촉분해촉매	14,000	14,000			동양시멘트, 한일시멘트, 쌍용양회 등 6개 기업 - 연간 처리량 14,000톤 규모
SCR 탈질촉매	11,000	1,400	9,600	-	(주)나노, (주)아주NBC 등 4개 사 - 연간 처리량 1,455톤 규모
자동차촉매(국내)	2,000	2,000	-	-	(주)희성피엠텍 - 연간 처리량 5,869톤(기타 일부 포함)
자동차촉매(수입)	3,000	3,000	-	-	
기타	10,072	8,356	1,679	37	
합계	63,072	51,756	11,279	37	

*발생량은 업계조사자료, 문헌자료, 전문가회의, 국가통계 등을 근거로 산정

**재활용량은 환경부자료를 기초로 하였으며, 업계조사를 통해 산정

료이다. 폐전기·폐전자제품, 폐자동차, 고철, 폐지, 유리 등은 국가에서 다양한 제도를 통해 재활용되고 있고 관련 통계도 구체적으로 생산되어 제공되고 있다. 하지만 전술한 바와 같이 폐촉매의 경우 유가금속이 함유되어 있어 재활용을 통한 부가가치 창출이 가능함에도 불구하고 국가에서는 '16년 폐기물관리법이 개정되기 전까지 '폐촉매'로만 분류하여 관련 통계를 수집 공표해왔다. 이로 인해 도시광산분야(금속회수), 재제조분야 등 폐촉매를 원료로 사업을 영위하고 있는 기업 또는 신규 사업을 준비하는 기업들이 사업계획 수립 시 필수적으로 활용하는 관련 국가통계자료가 세분화되어 있지 않아 그 활용 효용성이 매우 낮았던 것이 사실이다. '16년 '폐기물관리법' 개정을 통해 기존 '폐촉매'를 '금속성폐촉매', '비금속성폐촉매', '그 밖에 폐촉매'로 구분하였지만 각 분류별 어떠한 폐촉매가 해당하는지는 전적으로 배출사업장에서 결정하여 해당 지자체에 신고하고 있는 실정이다. 폐촉매 관리·감독기관이 아닌 이상 폐촉매 발생업체를 통해 정확한 통계자료를 수집하는 것은 불가능하기 때문에 국가는 폐기물관리법 및 폐기물 통계조사의 목적 달성을 위해 일정 기준 이상(예를 들어 연간 배출량 100톤 이상)의 폐촉매를 배출하고 있는 사업장을 대상으로 폐촉매 종류가 포함된 별도의 조사체계를 구축하여 보다 정확하고 세분화된 관련 통계자료 생산이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

현재 우리나라에서 재제조되어 사용되고 있는 촉매제품은 탈질 SCR촉매가 유일하다. 세계 최초로 국내에서 개발된 재제조 탈질 SCR 촉매제품은 발전소를 중심으로 사용되고 있다. 하지만 SCR 탈질폐촉매 중 약 90%가 현재 매립되고 있는 실정으로 발전소의 산업에서 발생하고 있는 SCR 탈질폐촉매의 재제조율을 높이기 위한 정책 마련이 필요하다. 국가에서 운영중인 재제조 제품 품질인증제도를 통해 재제조 기업들이 재제조 SCR 탈질촉매제품의 품질 경쟁력을 확보할 수 있도록 유도하는 것도 대안이 될 수 있다. 이는 다양한 관로 확보가 가능해 현재 겪고 있는 재제조 업체의 경제적 어려움을 해소하는데 도움이 될 것이다. 다만, SCR 폐탈질 촉매의 경우, 재제조 가능 횟수가 제한적이기 때문에 현재 개발된 SCR 폐탈질 촉매로부터 유가금속 회수 기술 상용화가 시급하고 이를 통해 재제조와 물질재활용이 SCR 폐탈질 촉매의 자원순환시스템에서 상호보완적 역할을 수행하는 순환구조를 구축할 필요가 있다. 상용화 前단계에 있는 정유탈황촉매의 경우 유가금속을 촉매물질로 사용하고 있기 때문에 도시광산업체를

통한 재활용이 활발한 분야이다. 하지만 금속가격 변동에 따라 경제성이 없을 경우 도시광산 업체는 경제적 어려움을 겪을 수 밖에 없는 분야이기도 하다. 정유화학촉매는 한 공정에서 대량으로 사용되고 있고 정유 제품 품질에 결정적인 영향을 주는 요소이기 때문에 정유사들은 품질이 우수한데도 불구하고 재제조 촉매 사용을 꺼려한다. 또한 실증플랜트를 통해 검증되지 않은 재제조 촉매를 사용하는 것은 더욱 그렇다. 현재 재제조 기업이 겪는 애로사항은 기술개발이 완료된 재제조 촉매제품의 실증화이다. 이는 중소 재제조 기업이 감당하기 어려운 부분이며 시장 구조상 실제 플랜트에 일부를 시범적으로 적용하는 것도 매우 어려운 상황이기 때문에 정부차원에서의 재제조 촉매제품 성능 검증을 위한 실증 플랜트 건설 지원사업이 필요하다. 비단 탈황촉매 제품뿐만 아니라 나프타 개질 촉매, VOC 촉매, 탈수소화 촉매 등 고가의 촉매제품에 대한 재제조 기술개발에도 도움이 될 수 있다. 정유화학분야는 온실가스 의무 감축 할당량이 높은 산업군이다. 연간 수 십만톤에 이르는 촉매를 사용하고 있기 때문에 재제조 촉매 사용은 다른 분야와 달리 공정내에서 온실가스 감축을 위한 활동으로 인정받을 수 있는 가능성이 높기 때문에 정유사, 재제조기업, 정부 등 이해관계자 협의를 통해 실증화 관련 기업 애로를 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부 에너지·자원순환기술개발사업(과제번호: 20158110000630)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Hong-Yoon Kang, Young-Chun Kim, and Il-Seuk Lee, 2012 : Current Status and Promotional Measures of Domestic and Overseas Remanufacturing Industry, J. Korean Institute of Resources Recycling, 21(4), pp. 3-15.
2. Junghee Hong, 2015 : Status on remanufacturing technology and market of used Chemical catalyst production, Sustainable Industrial Development, 18(5), pp. 6-17.
3. Ministry of Environment, 2016 : The Comprehensive guide of recycling management system to promote industrial resource efficiency
4. Resource Circulation Information System (<https://www.recycling-info.or.kr>) : Status of waste generation and disposal in Korea

5. Resource Circulation Information System (<https://www.recycling-info.or.kr>) : Status of designated waste generation and disposal in Korea
6. Resource Circulation Information System (<https://www.recycling-info.or.kr>): The amount of wastes generated by the workplace by region (city, county, ward) and treatment status by treatment method
7. Nano Corporation, 2016 : Investment Prospectus.
8. <http://www.sedaily.com/NewsView/1L01B023A8>
9. Yongsoo Kim and Yonggeol Lee, 2015 : Introduction of Deep Desulfurization Catalyst Technology, News & Information for Chemical Engineers, 33(4), pp. 469-478.
10. Ministry of Environment, 2006 : Report on the results of investigation on the generation and treatment of waste catalyst.
11. Young-Shik Kwon, Jae-chun Lee, Do yun Shin, Seung-Hoon Yi, Hyung-Jin Kim, and Yoon-Geun Choi, 2014 : “A Review on Recycling of Spent Autocatalyst in Korea”, J. Korean Institute of Resources Recycling, 23(1), pp. 3-16.
12. The Korean Institute of Resources Recycling, 2014 : Recycling white paper 2014.
13. Hae-Kyung Park, 2016 : “Status of remanufacturing and commercialization of chemical catalyst products”, International Remanufacturing Conference 2016.

김 영 춘

- 현재 한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터 수석연구원
- 당 학회지 제21권 4호 참조

강 홍 윤



- 현재 한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터 센터장
 - 당 학회지 제20권 4호 참조
-