

폐기물 자원회수 향상을 위한 친환경 페페인트 처리프로세스 개발

문종욱¹ · 황석호² · 김대영^{3*}

¹경남대학교 건축학부 교수 · ²경남대학교 건축학부 교수 · ³경남대학교 건축학부 교수

Development of a Sustainable Waste Paint Treatment Process for Waste Resource Recovery Improvement

Kim, Daeyoung¹, Hwang, Suckho², Moon, Jongwook^{3*}

¹Professor, School of Architecture, Kyungnam University

²Professor, School of Architecture, Kyungnam University

³Professor, School of Architecture, Kyungnam University

Abstract : Waste paint, one of the specified wastes in Korea, is currently treated entirely by incineration treatment method, and is hardly recycled compared to other wastes. Incineration treatment method also causes environmental problems such as air pollution. Thus, this study breaks away from the existing incineration treatment method of waste paint and switch to a method of pretreatment operation through evaporation, condensation, and thermal decomposition by temperature control. and then proposes a sustainable waste paint treatment process that can be recycled as an alternative energy heat source. If a new method of disposing of waste paint and technology for recycling are developed and disseminated, it is expected that the effect will be large from an economic and environmental point of view.

Keywords : Sustainable Development, Waste Resource Recovery, Waste Paint, Incineration Treatment, Sustainable Waste Paint Treatment Process

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

지구온난화로 인하여 지난 100년간 지구온도는 0.73°C 상승하였고, 1990년에서 2010년 사이에만 지구의 평균온도는 0.4°C 상승했다고 한다. 이에 선진국은 6가지(이산화탄소 CO₂, 메탄 CH₄, 아산화질소 N₂O, 수소불화탄소 NFCS, 과불화탄소 PFCS, 육불화황 SF₆) 온실가스 배출량을 억제하도록 노력할 것을 규정하였다. 이에 따라 우리나라는 2020년 온실가스 배출전망치 대비 30% 감축안을 제시하였고, 그 중 건물 부문에서는 31%를 감축하기로 하였다.

이러한 정부의 의욕은 감축안 실현을 위한 방법 제시, 제도 및 법규 마련 등 준비가 미흡하였기 때문에 많은 시행착

오를 겪을 수밖에 없었다. 이에 정부는 '저탄소 녹색성장 기본법' 등 다수의 법령을 정립하여 녹색성장을 통해 경제성장과 환경개선을 동시에 추구하는 경제성장 전략을 제시하였다. 지속가능한 개발(Sustainable Development)을 환경과 개발의 공존이라고 했듯이 환경보존의 중요성, 즉 온실가스 배출 억제정책 또한 내포하고 있었다.

하지만 여러 분야에서의 다양한 온실가스 배출 감축 방법이 적극적이고 능동적으로 개발되지 않은 상태에서, 정부의 법과 제도만을 통한 감축 노력이 어느 정도 그 실효성을 발휘할 수 있을지는 여전히 의문이다. 이에 본 연구에서는 온실가스 배출 감축을 실현하기 위한 방법 개발에 초점을 맞추고자 하였다.

페페인트는 폐기물 중 인화성과 폭발성을 가진 지정폐기물에 해당한다. 이러한 위험성 때문에 현재까지 이를 대상으로 하는 연구가 거의 진행되지 않았을 뿐 아니라 다른 폐기물에 비해 재활용도 거의 이루어지지 않고 있다. 현재까지는 페페인트의 재활용기술이 개발되지 않아 전량 소각처리됨으로써, 자원이 부족한 우리나라에 엄청난 자원의 손실뿐 아니라 소각으로 인한 에너지원의 낭비, 그리고 소각 시 발생

* **Corresponding author:** Kim, Daeyoung, School of Architecture, Kyungnam University, 7 Kyungnam University Street, Masanhapo-ku, Changwon, South Kyungnam, Korea

E-mail: cmrkdy@kyungnam.ac.kr

Received December 2, 2021: **revised** -

accepted January 3, 2022

하는 대기오염 등의 환경문제도 유발하고 있다.

따라서 폐페인트를 처리하는 새로운 방법과 재활용하는 기술개발이 이루어진다면 환경적 · 경제적 면에서 그 효과가 크다고 하겠다. 이를 위해 본 연구에서는 폐기물처리공학, 자원회수공학, 환경 화학 분야를 융합하여 친환경 폐기물 처리프로세스와 이를 통한 자원화 기술을 개발하여 제시하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구대상인 폐페인트의 기존 처리방법은 폐페인트 내 함유된 유기용제 등 재활용 대상 물질을 회수한 후, 잔재물은 전량 고온 소각하는 것이다.

본 연구에서는 기존의 폐페인트의 소각처리법을 탈피하여, 온도 조절에 의한 증발·응축, 열분해를 통해 전처리 조작하는 방법으로 전환하고, 이때 발생하는 잔재물을 활용하여 일정한 형상(과립형 및 분말형)으로 성형한 후 이를 대체에너지 열원으로 재활용할 수 있는 친환경(지속가능한) 폐페인트 처리프로세스를 제시하고자 한다. 연구 방법은 다음과 같다.

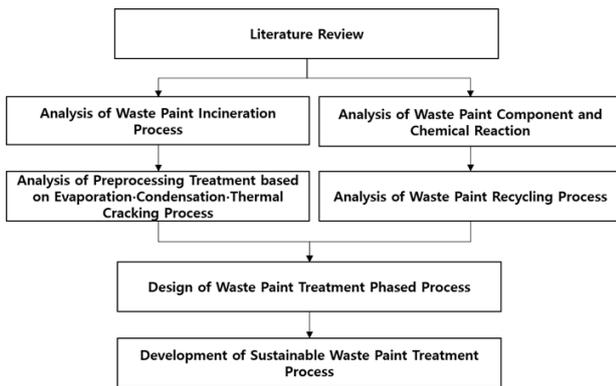


Fig. 1. Research method

2. 이론적 고찰

2.1 폐기물 정의 및 분류

국내 폐기물관리법 제2조 제1항에서는 “폐기물이란 쓰레기·연소재·슬러지(오니)·폐유·폐산·폐알카리·동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니한 물질을 말한다.”라고 정의하고 있다. 다음의 <Table 1>에서 폐기물을 간략히 분류하였다. 국내에서는 폐기물을 크게 생활 폐기물과 산업폐기물로 분류하고, 산업폐기물을 다시 산업 일반폐기물, 지정폐기물 그리고 건설 폐기물로 분류하고 있다.

Table 1. Waste classification

Waste	1. Life Waste		
	2. Industrial Waste	2.1 Industrial General Waste	2.1.1 Industrial Life Waste 2.1.2 Industrial Discharge Facility Waste
		2.2 Specified Waste	2.2.1 Specific facility Specified Waste 2.2.2 Medical Waste
		2.3 Construction Waste	

2.1.1 지정폐기물

폐기물관리법 제2조 제4항에서 “지정폐기물”이란 사업장 폐기물 중 폐유·폐산 등 주변 환경을 오염시킬 수 있거나 의료폐기물(醫療廢棄物) 등 인체에 위해(危害)를 줄 수 있는 해로운 물질로서 대통령령으로 정하는 폐기물을 말한다.”라고 정의하고 있다. 지정폐기물은 다음의 <Table 2>와 같이 세부적으로 분류된다.

Table 2. Specified waste classification requirements

Classification Requirement	Detail Effect	Materials	
Non-degradable	Substances that are not decomposed by being reduced to nature	Macromolecule Synthesis Resins	
Corrosive	Substances that has a property of being corrosive due to its extremely high or low pH	Waste Acid, Waste Alkali	
Inflammable & Explosive	Substances that has a risk of fire due to a low vaporization point or a low flash point and explosion. Halogen compounds can be classified as hazardous substances that can cause cancer.	Waste Oil, Waste Organic Solvent, Waste Paint	
Hazardous Material	Hazardous	Substances that can be directly identified, such as organic phosphorus, waste asbestos, PCB, etc. that can harm human health, and that can cause cancer	Waste Asbestos, PCB, Waste Agricultural Chemicals
	Hazardous Possibility	In general, toxic substances such as heavy metals, Substances that include Tetra Chloro Etylene, Tri Chloro Etylene, organic phosphorus, etc. Substances that can be identified by dissolution test.	Ash, Stabilized Solids, Waste Foundry Sands, Waste Catalyst etc.
Infectious	Substances susceptible to infection by pathogens	Infectious Waste	

국내의 지정폐기물의 처리현황을 살펴보면, 지정폐기물은 산업활동 증가에 따라 꾸준히 증가하고 있으며, 재활용과 매립, 소각 처리방법 모두 점진적으로 증가하는 추세이다. 이 중 지정폐기물의 소각처리량은 증가와 감소를 반복하고 있다. <Table 3>과 같이 지정폐기물은 평균 재활용(61.1%), 매립

(17.8%), 소각(17.0%), 기타(4.1%)의 순으로 처리되고 있다.

폐기물의 처리현황은 통계청에서 찾아볼 수 있는데 가능한 2년 주기로 자료가 업데이트되는 것을 기본으로 하지만 지정폐기물의 경우 업데이트가 늦거나 이루어지지 않고 있어, 본 연구의 데이터들이 다소 예전 자료에 국한되어져 있다는 한계가 있다.

Table 3. Specified waste treatment

Division		2005	2006	2007	2008	2009
Specified Waste	Total Amount (ton/day)	8,634	10,026	9,511	9,594	9,060
	Landfill	17.8	18.1	22.3	22.2	20.7
	Incineration	17.0	18.0	16.8	18.2	17.1
	Recycle	61.1	54.9	53.9	56.5	56.8
	Ocean Discharge	-	-	-	-	-
	etc.	4.1	9.1	7.0	3.1	5.4

2.1.2 페페인트 및 페락카

지정폐기물 중 페페인트 및 페락카는 '페인트 및 락카와 유기용제가 혼합된 것으로서 페인트 및 락카제 조업, 용적 5 m³ 이상 또는 동력 3마력 이상의 도장시설, 폐기물을 재활용하는 시설에서 발생하는 것과 페인트 보관용기에 잔존하는 페인트를 제거하기 위하여 유기용제와 혼합된 것을 포함한다.'라고 정의되며, 주로 도료 및 안료 제조시설 및 자동차 공장에서 발생한다.

2020년 기준 페페인트 및 페락카의 총 발생량은 다음의 <Table 4>와 같으며, 건설현장에서도 페페인트 및 페락카는 발생하고 있는데 <Table 5>는 이에 대한 처리현황을 정리한 것이다. 대다수의 페페인트 및 페락카는 외부 폐기물 처리업체에게 위탁하는 경우가 주를 이루고 있음을 알 수 있다.

Table 4. Waste paint & waste lacquer amount (Unit : ton/year)

Total Amount		145,665
Self Treatment	Incineration	2,097
	Landfill	0
	Recycle	6,946
Consignment Treatment	Recycle Treatment	41,474
	Intermediate Treatment	93,961
	Final Treatment	0
	Ocean Discharge	97
	Public Treatment	0
	etc.	0
Stock		20,891

Table 5. Waste paint & waste lacquer treatment

Year		2016	2017	2018
Occurrence History	Last Year Left	8.2	5.2	0.6
	Amount	1,189	1,149	1,455
Self Treatment	Incineration	0	0	0
	Landfill	0	0	0
	Recycle	0	0	0
	Etc.	0	0	0
Consignment Treatment	Recycle Treatment	65	163	147
	Intermediate Treatment	1,109	982	1,234
	Final Treatment	0	0	0
	Public Treatment	6	0	0
	Export	0	0	0
Final Stock		18	10	25

Table 6. Waste classification according to emission status

Classification	Contents	Example
Solid	Solids content of 15% or more	Ash, etc.
Semi-solid	Solids content of 5% or more and less than 15%	Sludge
Liquid	Solids content less than 5%	Waste acid, Waste Paint, etc.
Gas	Gaseous Substance	Landfill Gas

상기 <Table 6>의 폐기물 배출상태에 따른 분류에 의하면 페페인트 및 페락카는 액상폐기물에 포함되어진다. 액상이나 가연성 지정폐기물의 중간 처리는 현재 대부분 소각처리 방식으로 이루어지고 있다. 유류나 유기용제와 같은 액상 폐액의 소각 시는 액상으로 분무하는 경우도 있으나, 점성과 운전상의 이유로 고체상 폐기물에 액상폐액을 흡수시켜 혼합 소각하는 경우도 있다.

2.1.3 폐기물 자원화

폐기물의 자원화란 잠재적 자원이라고 불리는 폐기물로부터 적절한 기술을 통하여 자원물질을 회수하거나 에너지를 회수하여 유용한 자원으로 이용할 수 있도록 하는 모든 방법의 총칭이라고 할 수 있다. 생활 및 산업폐기물을 가공, 처리하여 얻어지는 다양한 형태의 연료와 이를 연소 또는 변환시켜서 발생하는 에너지인 폐기물에너지는 저렴한 비용으로 효과적인 성과 창출이 가능하고 폐기물의 매립, 소각, 해양배출에 따른 환경오염을 줄이는 동시에 이산화탄소, 메탄가스 등의 온실가스를 줄일 수 있어 매우 높은 효과를 얻을 수 있다. 선진국들은 이미 40여 년 전부터 생활과 건설 폐기물이 환경에 미치는 영향을 감축하고 지구온난화의 주범인 이산화탄소의 배출량을 저감할 목적으로 폐기물 자원화 정책을 추진하고 기술을 개발하여 보급하고 있다. 에너지 자원기술과 환경기술이 필수적이고 <Fig. 2>와 같이 환경과

경제를 통합하는 2Es (Environment, Economy)에서 폐기물의 물질재활용을 강조하는 3Es (Environment, Economy, Energy) 패러다임을 거쳐 오늘날 시대의 재활용 차원을 넘어 환경과 에너지, 경제 그리고 고용 창출까지 통합하는 4Es (Environment, Economy, Energy, Employ) 패러다임 구축과 정책의 전환이 이루어져 있다.

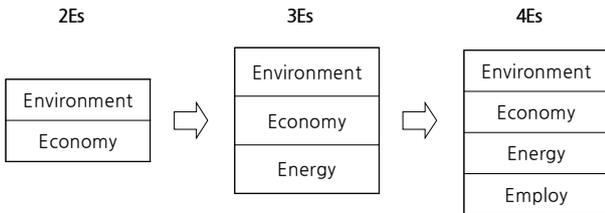


Fig. 2. Changes in the environmental paradigm

석탄 등 화석연료를 대체할 청정에너지 개발 및 재활용연료 개발은 장기적인 관점에서 안정적인 공급기반을 구축함으로써 에너지 수급의 해외 의존도를 감소시킬 수 있으며, 자체적인 공급기반, 기술개발능력을 신장하게 되어 매우 중요한 과제이다. 현재는 석탄을 대신할 보조연료로서, 생활쓰레기로 배출되고 있는 가연성 폐기물을 에너지원으로 재활용하는 기술이 지속적으로 개발되고 있다. 폐기물에너지는 사업장 또는 가정에서 발생하는 가연성 폐기물을 가공, 처리해 얻어지는 고체·액체·기체 형태의 연료와 이를 연소 또는 변환시켜서 발생하는 에너지를 의미하며, 이러한 폐기물 에너지화 종류를 <Table 7>에 정리하였다.

Table 7. Waste to energy classification

Division	Treatment	Results
Flammable Waste (paper, vinyl, plastic, waste wood, etc.)	Crushing, Separating, drying, molding, etc.	Solid Fuel Production
Organic Waste (prog waste, sewer sludge, excretions, etc.)	Feed, Composting, Microbial Treatment, etc.	Bio-gas, Solid Fuel Production
Incineration Residual Heat	Some Recovery	Heat, Electricity Production
Landfill Gas	Incineration, Refine	Heat, Electricity Production, Vehicle Fuel
Industrial Waste Gas	Some Recovery	Heat, Electricity Production

<Table 8>은 폐기물 관리정책을 언급한 것으로 국내 폐기물 관리정책의 주된 목표는 '재활용'에서 '자원순환'으로 발전되고 있으며, '폐기물관리법'에서 일괄하여 추진되었던 제도가 '자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률' 등으로 분화되어 시행되고 있다.

Table 8. Transformation of waste management policy

Division	Conventional Waste Management Direction	Current Waste Management Direction
Policy Goals	Creating a comfortable living environment	Establishment of a sustainable resource circulation type society
Approach	Reduction, recycling and safe treatment	Zero Waste and CO2 reduction
Policy Instrument	Implementation of the volume-based garbage system Expand the Producer Responsible Recycling System (EPR*) Expansion of waste treatment facilities	Reinforcement of reduction policies Expansion of support for recycling industry Expansion of energy resource use

* EPR (Extended Producer Responsibility): A system in which product producers or producers of products using packaging materials are required to recycle a certain amount of waste from their products or packaging materials, and if they do not comply, a recycling Levy higher than the cost of recycling is imposed on the producer

2.2 선행연구사례 분석

페페인트 및 페라커 관련 연구는 거의 이루어지지 않고 있으며, 그나마도 주로 페페인트 장치의 개발이고 소재 개발은 전체의 약 10% 정도로 미흡한 실정이다.

2.2.1 국내 사례

해외기술에 비해 정부지원 국내 페페인트 관련 연구는 매우 저조한 실정이며, 현재까지의 국내 관련 연구와 특허를 정리하면 다음과 같다.

Table 9. Domestic research

Author	Title	Contents
Yang (2010)	Development of eco-friendly automation system for cleaning drum	Development of eco-friendly waste paint cleaner
Yoo (2010)	Development of waste paint sludge collector for paint separation tank	Development of waste paint sludge collector
Shin (2008)	Research for improvement of waste process test standards	Establishment of waste paint process test standards
Lee (2007)	Development of sealers for automobiles using recycled waste paint in painting workshops	Development of materials for automobiles using recycled waste paint
Kim (2003)	Development of artificial stone manufacturing technology using waste styrofoam and waste paint	Development of artificial stone using waste paint and waste styrofoam

2.2.2 해외 사례

페페인트 슬러지 RDF 처리기술은 일반폐기물(음식폐기물)과 혼합하고 건조하여 연료화하는 기술이며, 전 세계적

Table 10. Domestic patent trend

Patentee	Patent Name	Patent Status	Patent Details
Son	Method for manufacturing solid fuel using waste paint	Enrollment	Mix 60-90 wt% of waste paint and 10-40 wt% of asphalt, evaporate the organic solvent by heating at a temperature of 120-130 °C, and, if necessary, distill the organic solvent in the waste paint under reduced pressure.
Seo	Renewable fuel oil manufacturing method using waste paint	Enrollment	The present invention comprises the steps of: a) separating waste paint in a solid state comprising an organic solvent and a resin component; b) pulverizing the solid waste paint to prepare a powder; c) preparing a mixture by stirring the auxiliary additive; d) mixing the waste oil and the emulsifier to emulsify; To a method for manufacturing renewable fuel oil comprising
Jung	Waste paint recycling method and device	Enrollment	A method and apparatus for recycling waste paint that can increase the recycling rate of waste paint by using electromagnetic wave irradiation in the drying step as well as separating and treating the waste paint into a paste-like sagging step or a powder-like treatment step according to the degree of hardening and contamination of the waste paint

으로 소각로 시설을 RDF 시설로 변화하는 정책을 시도하고 있다.

- ① EU: 매립규제 강화를 통해 폐기물 에너지화 시설(MBT 및 RDF)설치를 정책적으로 유도. 생분해성 및 가연성 폐기물은 매립금지 / 폐기물을 이용한 에너지화 기술개발을 핵심과제로 규정하고 생산정책을 적극 추진
- ② 독일: 세계 최고의 폐기물 분리 선별(MBT) 기술보유. 가연성 폐기물 720만톤을 이용하여 연간 RDF 300만톤 생산
- ③ 일본: 기존의 소각로를 RDF 생산시설로 대체 추진. 57개 RDF 생산시설과 5개 전용 발전소 가동. 유기성 폐기물 건설을 통해 MTOE 에너지 생산계획 추진
- ④ 미국: 폐기물을 중요 재생에너지로 규정하고 기존 소각공정을 전기 및 열에너지 생산시설 전환을 추진

페페인트 및 페락카의 처리기준 및 방법에 있어 국내는 전량 고온소각 처리하고 있으나, 선진국은 이미 액상뿐만 아니라 고체상 처리를 하고 있다.

일본의 경우, 액상은 폐유와 페플라스틱의 혼합물로 분류하고 고체상은 페플라스틱으로 분류하고 있다. 미국이나 독일의 경우 특별한 처리방법은 명시하지 않고 있다.

Table 11. Treatment method of overseas waste paint & lacquer

Country	Treatment Method of Waste Paint and Waste Lacquer	Remark
Korea	- High temperature incineration - High-temperature incineration after recovery of materials to be recycled, such as organic solvents - Recycling with renewable fuel oil	
Japan	- Liquid phase is treated by incineration, distillation, etc. - Solid can be buried ※ Liquid waste paint is classified as a mixture of waste oil and waste plastic, and solid waste paint with volatilized solvent is classified as waste plastic.	
USA	- The specific treatment method is not specified, and it is suggested as the treatment standard concentration for individual organic toxic substances in the LDR. - Organic solvents are distilled and incinerated.	F005
Germany	- The specific treatment method is not specified, and there are standards such as TOC, AOX, and calorific value in the waste landfill criteria.	

3. 페페인트 소각처리프로세스

3.1 액상폐기물 및 슬러지 자원화

액상폐기물 및 슬러지의 자원화에서 슬러지 자원화 기술 중 하수슬러지의 주성분은 약 30%의 유기성분과 약 70%의 무기성분으로 이루어져 있으며, 슬러지 중 회분은 실리카 30~40%, 알루미늄 15~20%, 철 5~10%, 인산 7~20%, 칼슘 10% 정도 등으로 구성되어 있기 때문에 슬러지의 무기물은 약간의 처리만 거치면 토양의 복토재료로 사용하거나 경량 골재 등의 토목재료로 재활용될 수 있다.

액상폐기물 및 슬러지는 연료화 기술에 대한 국내 설치 및 적용사례가 적어 기술의 신뢰성이 다른 기술에 비해 낮고 정형화된 처리공정이 없으며, 연료화 제품의 특성이 불안정하여 현재 국내의 기술 수준으로는 활성화가 어려울 수 있다.

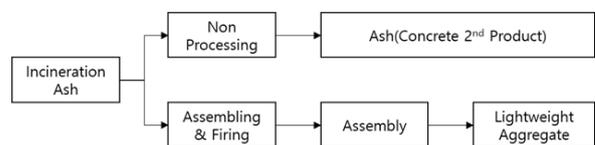
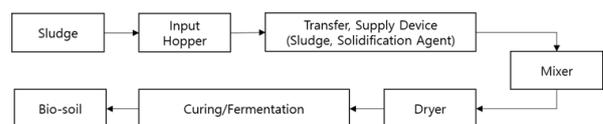


Fig. 3. Sludge usage method & use



* The sludge dried in the dryer can be reused as a heat source for the dryer. In addition, odor and exhaust gas treatment must be performed in the dryer.

Fig. 4. Sludge solidification process

3.2 기존 소각처리프로세스

기존의 페페인트의 소각처리프로세스는 다음의 <Fig. 5~6>과 같다. <Fig. 5>는 페페인트 내 함유되어있는 재활용 대상물질인 유기용제를 회수하고 침강조에 남는 잔사조를 추출하는 과정까지를 포함하고 있다.

<Fig. 6>에서는 앞 단계에서 추출된 페페인트 잔재물을 고온소각하게 되는 프로세스를 포함하고 있다.

페페인트는 지정폐기물로서 법적으로 주어진 기간 내에 반드시 처리되어야 한다. 그 보관 기한은 60일로 정해져 있다.

따라서 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 폐기물 전처리 과정에서 폐기물 탄화물을 잔재물로 추출하고 RDF 제조기술을 접목하여 액상폐기물 및 슬러지 연료화 기술을 개발하여 정형화된 처리공정을 구축하고자 하였다.

3.3 RDF & RPF

환경부의 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”에는 생활폐기물 고형연료 제품을 RDF (Refuse Derived Fuel), 폐플라스틱을 중량 기준으로 60% 이상 사용한 고형연료제품을 RPF (Refuse Paper & Plastic Fuel)라고 구분하고 있다.

RDF은 쓰레기로부터 얻어지는 연료라는 뜻으로 가연성 생활폐기물(일반폐기물)을 고형연료로 만드는 것을 RDF라

고 정의한다. PVC(염화비닐수지), 수분, 불에 타지 않는 철, 캔 등의 비가연성 물질을 제외한 쓰레기는 RDF의 원료로 사용된다.

RPF은 고체연료라는 뜻으로 산업폐기물을 고형연료로 만드는 기술을 말하며, 열에너지를 필요로 하는 각 사업의 폐기 연료로 사용되고 있다. 고형연료제품 사용시설 중 고형연료제품 전용 보일러 시설의 허용대상을 시간당 400kg 이상을 사용하는 시설과 시간당 200kg 이상을 사용하면서 연속적으로 가동하는 시설로 한정하고 있다.

4. 친환경 페페인트 처리프로세스

앞서 언급한 바와 같이 페페인트 및 페락카의 발생량은 매년 지속적으로 증가하는 추세이며, 페페인트 슬러지 역시 다른 지정폐기물들과 마찬가지로 대부분 소각처리에 의존하고 있다. 소각처리로 인한 환경오염이 심각해지고 있어, 환경부는 지정폐기물 관리 및 규제를 강화하고 있지만, 근본적인 대안 마련은 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 페페인트의 소각처리법을 대체할 수 있는 친환경 처리프로세스를 제시하고, 지정폐기물에 열량조절 첨가기술을 적용한 RDF, RPF 제조기술을 활용하여 페페인트 재활용 소재까지도 개발하고자 한다.

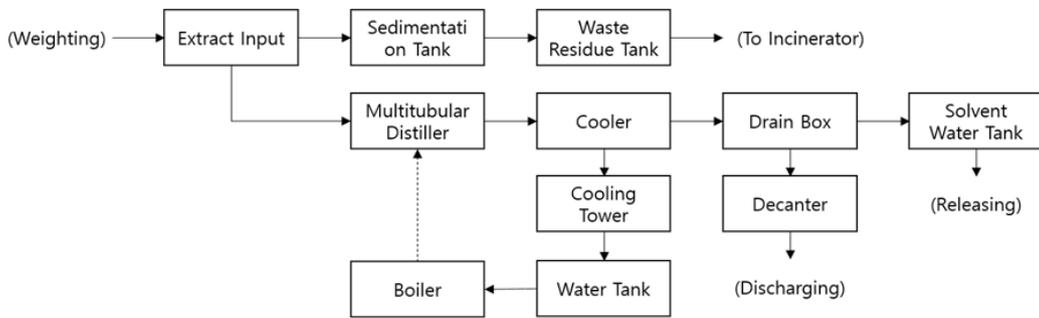


Fig. 5. Waste paint incineration treatment process (solvent recovery)

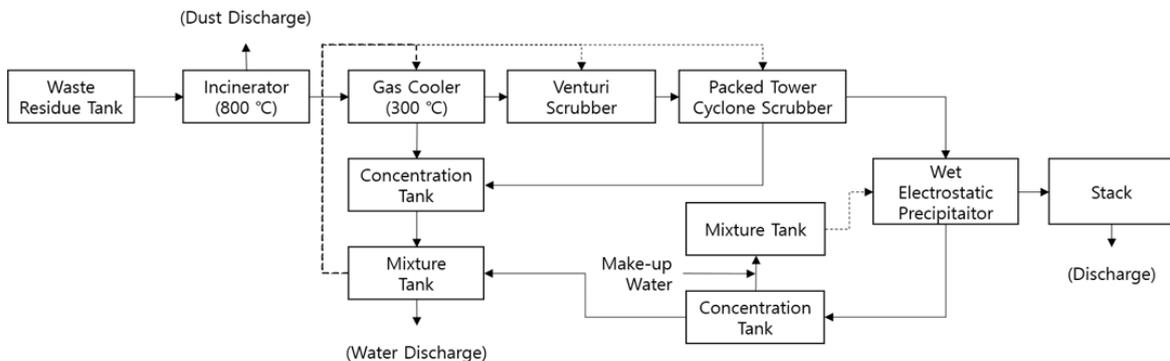
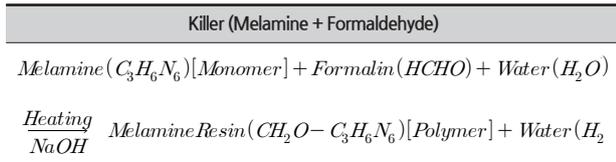


Fig. 6. Waste paint incineration treatment process (dust discharge incineration)

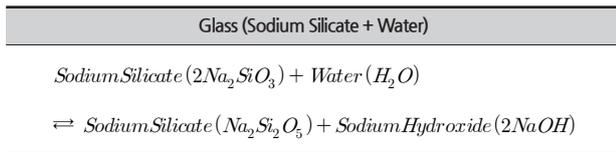
4.1 프로세스 내 화학반응 분석

친환경 폐페인트 처리프로세스에서 기존의 고온소각처리 방법에서 폐페인트에 적합한 증발·응축, 열분해법을 활용한 전처리 조작법으로 전환하기 위해서는 다음과 같은 기본적인 화학반응의 분석이 필요하다. 구체적인 사항은 특허권과 관련되어 언급을 생략한다.

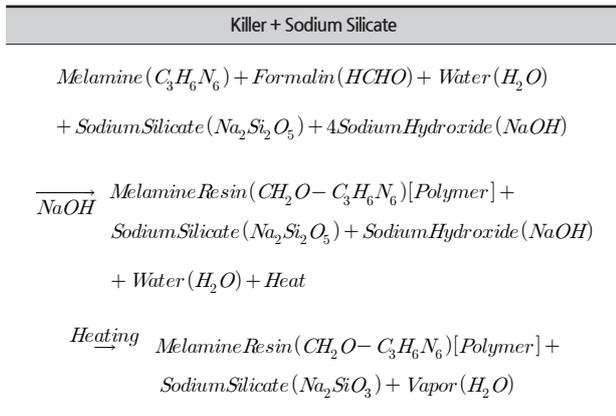
① 폐페인트 내 킬러제의 화학반응 규명을 통한 멜라민 수지를 형성한다.



② 모노머 상태의 멜라민 수지가 주성분인 킬러제를 고형화시키기 위해서는 강한 염기성이나 산성을 지닌 촉매가 필요하므로 규산소다와 물과 혼합되어 촉매로서의 역할을 할 수 있을 것으로 추측한다.



③ 중합반응을 통해 폴리머 상태의 멜라민 수지를 형성하도록 유도한다.



4.2 폐페인트 전처리조작 프로세스

4.2.1 증발법

액상폐기물 처리방법 중 증기응축 처리 및 회수를 위해 사용하는 물리적 방법 중 하나는 증발법이 있다. 용액의 물을 증발시킴으로써 용액 내 남아있는 용질의 농도를 원하는 범위까지 올려 재사용하는 방법이다. 대기압 하에서 액체를 끓이는 방법으로 증발온도를 낮추거나, 증발량을 증가시키는 방법으로 증발 표면 위로 온도가 높은 액체를 살포시킨 후

그 표면 위로 공기를 통과시켜 증발된 수증기를 대기로 배출하거나 응축시켜 세수로 재사용하는 방법이다.

본 연구에서는 이 방법을 적용하여 폐페인트 슬러지를 처리 및 회수하고 폐페인트 내 함유되어있는 재활용 대상물질인 유기용제를 대기로 배출하거나 응축시키는데 활용할 계획이다.

4.2.2 열분해법

지각변동으로 동식물 등의 유기물질이 땅속에 매몰되어 장기간 지구 내의 마그마로부터 열을 받고 무산소 상태에서 상부의 흙에 눌러 압력을 받는 탄화 과정에서 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료가 생성되고, 이와 같은 원리를 응용한 차세대 처리기술이 열분해 기술이다. 즉 밀폐된 상태에서 무산소 또는 저산소 상태에서 열(500~1,000°C)을 가하여 수소(H₂), 일산화탄소(CO) 등의 가연성 가스, 유기화합물을 함유하는 타르(tar) 또는 유분, 순탄소와 유리, 금속, 토사를 함유하는 차(char)의 3가지의 유용한 부산물로 전환시키는 공법이다.

폐기물을 처리한다는 개념에서 자원화하여 재활용한다는 발상의 전환을 실현하는 기술로서 환경선진국에선 열분해 기술이 차세대 소각기술로 인식하고 있다.

본 연구에서는 증발법에 의해 처리 및 회수된 폐페인트 슬러지를 열분해법으로 처리하여 탄화물 형태의 잔재물을 추출하고자 하였다.

4.3 폐페인트 고체 연료화 프로세스

고체 연료화의 기술은 폐기물을 파쇄, 분류, 건조, 성형 공정을 거쳐서 석탄과 비슷한 고체연료를 만드는 것이다.

폐페인트 고체연료는 환경부의 법령에 따르면 산업폐기물을 고형연료로 만드는 RPF 제품에 해당한다.

하지만 미국의 “ASTM 방식에 의한 RDF의 분류”상으로는 폐페인트 고체연료는 RDF제품 중 RDF-5(폐기물을 분쇄한 후 Pellet, Cube, Briquette 상으로 압축 성형한 것)로 분류될 수 있다. 이는 폐페인트 전처리 조작 후 고체 연료화할 경우 폐목재를 집어넣어 Pellet으로 성형하기 때문이다.

본 연구에서는 폐페인트 전처리조작에서 이미 탄화물로 회출되기 때문에 고체 연료화의 일반적인 공정에서 잔재물 건조과정이 우선되어야 한다. 그 후 파쇄, 분류가 뒤따르고 폐목재를 잘게 분쇄하여 이를 폐페인트에 혼합하는 혼합공정을 거쳐 최종적으로 Pellet형태로 성형하는 공정이 뒤따른다.

4.4 친환경 폐페인트 처리프로세스

다음 (Fig. 8)은 본 연구에서 최종적으로 설계된 친환경 폐페인트 처리프로세스를 도식화한 것이며, 크게 2단계로

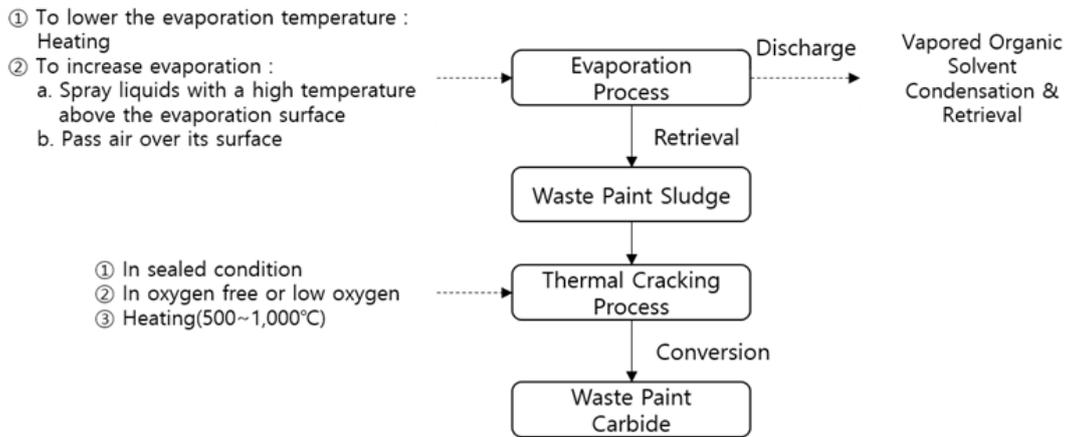


Fig. 7. Waste paint preprocessing treatment process

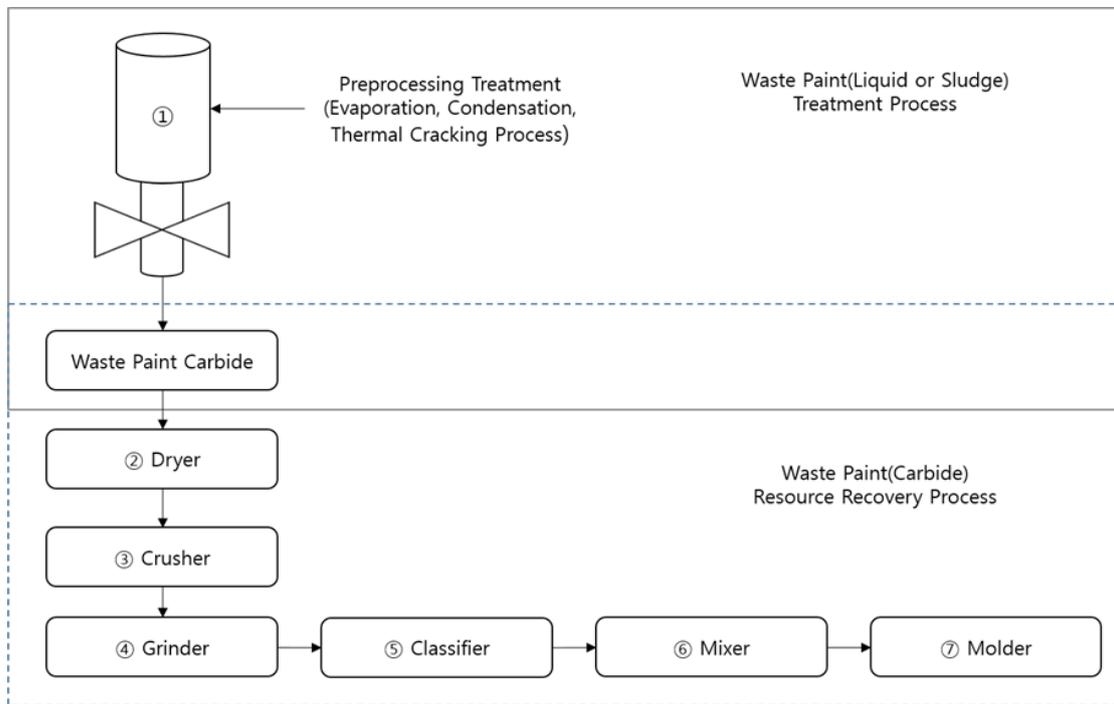


Fig. 8. Waste paint flammable solid fuel development process

구성된다. 페페인트 전처리 조작 프로세스를 포함한 페페인트(액상 및 슬러지 상태) 처리 단계, 그리고 페페인트 고체연료화 프로세스를 포함한 페페인트(탄화물 상태) 자원화 단계로 구성된다.

처리단계에서는 페페인트(고체상태와 액체상태가 혼합된 슬러지 상태)를 처리하는 데 있어 소각처리법을 적용하는 대신 앞에서 언급한 전처리조작 프로세스를 통한 증발·응축 및 열분해법을 적용하여 유기용제를 회수하고 이를 유기용제, 재생 오일 등의 제품으로 재활용한다.

자원화 단계에서는 전처리 조작을 통해 전환된 잔재물(페페인트 탄화물)을 활용하여 일정한 형상(과립형 및 분말형)으로 성형하여 고체연료로 제조한다.

자원화 단계에서 고체연료로 제조하기 위한 단계별 프로세스는 총 6단계로 나뉘는데 그 단계는 다음과 같다.

- ① 전조작처리를 거쳐 페페인트를 탄화물 상태로 전환·회출한다.
- ② 건조기로 회출된 페페인트 탄화물을 건조시킨다.
- ③ 파쇄기로 잔재물을 일정한 크기로 파쇄한다.
- ④ 분쇄기로 파쇄된 페페인트 잔재물을 분쇄한다.
- ⑤ 분류기로 분쇄된 페페인트 잔재물을 분류한다.
- ⑥ 분쇄된 페페인트 잔재물과 그 밖의 기능성 물질을 첨가하여 혼합한다.
- ⑦ 혼합된 페페인트를 과립형 또는 분말형으로 성형한다.

본 연구에서 제시하는 친환경 폐페인트 처리프로세스는 자동차 공장에 배출되는 유성페인트를 주요 대상으로 하여 개발되었다. 따라서, 향후 모든 종류의 폐페인트를 재사용이 가능하도록 처리하기 위해서는 다음과 같은 재활용 프로세스가 추가적으로 고려되어야 한다.

- ① 폐페인트를 고상과 액상으로 분리하는 단계
- ② 서로 다른 종류의 액상 폐페인트를 일정한 시간 동안 혼합하는 단계
- ③ 혼합된 폐페인트를 적어도 1회 이상 원심분리하여 이물질을 제거하는 단계
- ④ 전자장을 이용하여 이물질이 제거된 폐페인트로부터 철분을 제거하는 단계
- ⑤ 단계를 거친 결과물에 다수의 혼합물로 구성된 농도 조절용 브랜딩 보조제와 색상 조절용 안료 중 적어도 어떤 하나를 혼합하는 단계

상기의 추가단계를 고려하여, 폐기된 거의 모든 종류의 페인트를 본 연구에서 제시하는 친환경 폐페인트 처리프로세스에 적용하면, 거의 다시 원래의 페인트로 재생하여 페인트의 기능에 알맞게 사용할 수 있을 것을 판단되기 때문에 환경오염에 따른 유해성분으로부터 인체를 보호하고, 동시에 재활용에 따른 경제적인 파급효과가 극대화할 수 있을 것을 기대된다.

최종적으로 폐페인트 자원화 소재가 제조되면 다음과 같은 기본적인 실험과 화학반응 분석을 수행하여 소재의 안전성과 품질확보에 대한 검증이 실시되어야 한다.

- ① 기초 화학반응 실험
- ② 화학반응의 예측
- ③ TGA(열중량분석기), FT-IR(적외선분광기), 경화모니터링
- ④ 중금속 분석 : EDS (Energy Dispersive Spectrometry), XRD (X-Ray Diffraction), ICP (Inductively Coupled Plasma)

4.5 폐페인트 및 페락카 처리단가 분석

현재의 소각처리법을 전환하여 본 연구에서 제시하는 친환경 폐페인트 처리프로세스를 적용할 때 어느 정도의 처리비용 절감이 발생할 수 있을지 분석하고자 하였다.

본 연구에서 제시하는 친환경 폐페인트 처리프로세스를 프로토타입으로 개발하여 2업체에 적용하고 성공적으로 처리를 완료하였다. 하지만 그 처리단계가 고체연료화 단계까지 포함하지 않았고, 처리비용을 총액계약으로 맺어 구체적인 처리단가 분석이 어려운 실정이다. 따라서, 이미 수행한 실적에 기반하여 현재의 환경부 기준을 적용한 개략적인 처

리단가 분석을 제시하였다.

2019년 기준 환경부<Table 12>에서는 폐페인트 및 페락카의 톤당 처리단가로 수집, 운반, 처리를 포함하여 421,000 원으로 고시하고 있다. 현재 폐페인트 및 페락카는 전량 소각처리방법에 의존하기 때문에 이 금액은 모두 소각처리비용으로 간주할 수 있다.

본 연구에서 제시하는 전처리조작 프로세스의 처리법은 액상폐기물 또는 하수슬러지의 처리방법을 개선·적용하였기 때문에 현재의 소각대상 오니류의 처리단가 수준으로 적용할 수 있다. 따라서 처리단가가 수집, 운반, 처리를 포함하여 톤당 273,000원 정도 수준으로 책정할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 제시하는 친환경 폐페인트 처리프로세스를 적용할 시 대략 30~40% 정도의 폐페인트 및 페락카의 처리비용을 절감할 수 있을 것으로 기대한다.

Table 12. Treatment unit price by waste type (Unit : won/ton)

Waste Type	Unit Price
Waste oil, waste organic solvent, waste synthetic resin, waste synthetic rubber	270,000
Waste Paint and waste lacquer	421,000
Waste pesticides, waste poisons	630,000
Waste asbestos	634,000
Waste acid, waste alkali	421,000
Waste slag	121,000
Sludge for incineration, general waste at worksites to incineration	273,000
General waste at worksites to landfill	111,000
Specified waste for landfill	121,000
Construction waste	55,000

5. 결론

폐페인트는 폐기물 중 인화성과 폭발성을 가진 지정폐기물에 해당한다. 이러한 위험성 때문에 현재까지 이를 대상으로 하는 연구가 거의 진행되지 않았을 뿐 아니라 다른 폐기물에 비해 재활용(자원화)도 거의 이루어지지 않고 있다. 이러한 상황으로 인해 폐페인트는 전량 고온소각 처리됨으로써, 자원이 부족한 우리나라에 엄청난 자원의 손실뿐 아니라 소각으로 인한 에너지원의 낭비, 그리고 소각 시 발생하는 대기오염 등의 환경문제를 유발하고 있다.

따라서 본 연구에서 제시하는 친환경 폐페인트 처리방법은 기존의 고온소각처리법을 탈피하여 소각에 의해 발생하는 환경오염 문제를 포함한 모든 문제점을 해결할 수 있을 것이다.

제시된 처리방법은 기존 처리법에 비해 훨씬 경제적이고, 폐페인트를 연소하기 전에 전처리조작으로 폐페인트 내에 함유되어있는 유기용제 및 고분자성 물질을 크래킹하여 제거하기 때문에 단순한 소각을 할 때 대기로 배출되는 연소 가스(매연)를 최소화하고, 이로 인한 환경오염 및 민원 발생의 소지를 줄일 수 있다. 소각 잔재물로부터 발생하는 2차 오염을 방지할 수 있는 동시에 대기오염 방지시설이 요구되지 않기 때문에 처리시설을 소형화할 수 있어 초기 시설 투자비용을 줄일 수 있는 효과가 있다.

‘지속가능한 개발’은 인류에게 주어진 자연환경이라는 자산을 잠식하지 않고, 이 자산을 잘 이용해서 인류가 계속 잘 사는 것이다. 하지만 지속가능한 개발의 이념은 자원의 지속가능만을 의미하는 것은 아니며, 자연자원을 포함하는 생태계 전체가 지속가능할 것을 요구한다. 친환경 폐페인트 처리 프로세스에서 제조되는 고품연료는 기존의 석탄 이용시설(화력발전소 등)에 즉시 사용이 가능하여 기존의 화석에너지 절감효과에도 기여할 수 있다. 폐목재 혼합비율에 따라 열효율의 조절도 가능하며, 가격도 석탄의 1/3 수준일 것으로 예상된다.

본 연구는 국내·외에서 거의 연구되지 않았던 폐페인트의 자원화(재활용) 시도를 통해 ‘지속가능한 개발’의 의미를 충족시키고자 하였으며, 나아가 국내의 자연자원 고갈을 극복해나갈 수 있는 대체에너지의 개발 방향을 제시하는데 작은 밑거름이 될 수 있길 기대한다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1086698)

References

An, Y.H., Annie P., Hanmi Grobal (2012). “Sustainable Architecture and Infra-structure.” Maeil Economic

Daily, pp. 19-38.
 B. J.K. (2006). “Waste Treatment Engineering.” Kumiseokwan, pp. 38-40 & 639-754.
 Im, M.T. (2011). “Sustainable Architecture.” Bomoondang, pp. 11-27 & 293-297.
 Jang, J.H., and Kim, D.B. (2016). “A Study on the Investigation and Analysis of Building Structures and Materials through Field Surveys in Large Logistics Warehouses.” 2016 Spring Conference of the Korean Society of Fire Science and Engineering, pp. 231-232.
 Ki, M.B., Lee, S.J., and Park, J.S. (2009). “Hazardous Waste Treatment.” Shinkwang Bookstore, pp. 70-72 & 315-347.
 Kim, C.S., Kim, H.N., and Moon, T.H. (2020). “Environmental Administration.” Daeyoung Bookstore, pp. 323-327.
 Kim, I.B., Park, J.R., Ahn, J.S., and Yoon, J.H. (2014). “Waste Treatment.” Donghwa Technology, pp. 213-218 & 281-282.
 Kim, M.K., Kim, H.G., Ryu, S., Jung, H. and Jung, H.K. (2018). “Environmental Chemistry.” Freedom Academy, pp. 543-590 & 711-724.
 Kim, Y.S. (2014). “What is a green building?” Kimoondang, pp. 29-40.
 Kwon, O.S., Ho, Y.Y., and Kim, H.Y. (2010). “Experimental Study on the Characteristics of Real Fire in Warehouse Model.” *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*, 24(4), pp. 47-54.
 Moon, J.W., and Lim, S.H. (2015). “A Study on the Fire Safety of Lightweight Panels with Coating Bottom Ash.” *Journal of the Korean Residential Environment Association*, 13(4), pp. 221-229.
 Oh, K.J., Kim, J.G., Park, S.S., Sung, N.C., and Lee, S.K. (2014). “Resource Recovery Engineering.” Donghwa Technology, pp. 11-34 & 151-186 & 245-265.
 Park, S.B. (2010). “Waste Treatment Engineering.” Seongandang, pp. 28-77 & 164-179.
 Yoon, O.S. (2011). “Hazardous Waste-Hazardous Material Characteristics.” Donghwa Technology, pp. 42-43 & 77-175.

요약 : 국내 지정폐기물 중 하나인 폐페인트는 현재 전량 소각 방법으로 처리되고 있으며, 다른 폐기물에 비해 재활용도 거의 이루어지지 않고 있어, 자원이 부족한 우리나라에 엄청난 자원의 손실뿐 아니라 소각으로 인한 에너지원의 낭비, 그리고 소각 시 발생하는 대기오염 등의 환경문제도 유발하고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 기존의 폐페인트의 소각처리법을 탈피하여, 온도 조절에 의한 증발·응축, 열분해를 통해 전처리 조작하는 방법으로 전환하고, 이때 발생하는 잔재물을 활용하여 일정한 형상(과립형 및 분말형)으로 성형한 후 이를 대체에너지 열원으로 재활용할 수 있는 친환경(지속가능한) 폐페인트 처리프로세스를 제시하고자 한다. 폐페인트를 처리하는 새로운 방법과 재활용하는 기술개발이 이루어지고 보급된다면 환경적 · 경제적 면에서 그 효과가 클 것으로 기대한다.

키워드 : 지속가능한 개발, 폐자원 회수, 폐페인트, 소각처리법, 친환경 폐페인트 처리프로세스