

산업용 폐부동액의 재활용을 위한 물리화학적 특성

김은식 · 윤형선 · 유미현* · 서성규†

전남대학교 환경시스템공학과 · *삼선엔지니어링

(2019년 11월 11일 접수, 2019년 11월 25일 수정, 2019년 12월 3일 채택)

Physico-chemical Characteristics for Recycling Industry Waste Antifreeze

Eun-Sik Kim · Hyung-Sun Yoon · Mi-Hyun Yoo* · Seong-Gyu Seo†

Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University

**Samsun Engineering Co., Ltd.*

(Received 11, November 2019, Revised 25 November 2019, Accepted 3, December 2019)

Abstract

The physico-chemical characteristics of the waste antifreeze from the cooling process of petrochemical plant were investigated. Comparative analyzes for antifreeze measured chromaticity, absorbance, specific gravity, organic compounds and heavy metals. The chromaticity was different between the antifreeze and the antifreeze, and the antifreeze contained the water and the color was blurred. The specific gravity of waste antifreeze decreased and the electrical conductivity and turbidity increased with the use of antifreeze. The antifreeze was identified as ethylene glycol (EG) as the main component, and the content of organic compounds was increased slightly, but the content was very small. Heavy metals were found to increase in concentration with antifreeze.

Keywords : Antifreeze, Cooling process, Chromaticity, Specific gravity, Ethylene glycol

1. 서론

최근, 국제화, 산업화에 따른 국가적인 산업 활동에 의해 필연적으로 발생하는 산업폐기물은 그 발생량이 지속적으로 증가하고 있으며, 이로 인한 환경오염은 점점 심각한 수준에 이르고 있다¹⁾. 많은 산업폐기물 중에서 폐부동액은 자동차정비업소, 냉난방 설비, 선박, 공항, 가스공사, 대형건물 등에서 많은 양이 발생하고 있으나, 고가의 처리비용 및 수

거처리 체계의 미비 등으로 처리에 많은 어려움이 있다²⁻³⁾. 폐부동액 내 글리콜류 함량은 자동차용은 45~55%, 항공기용 10~50%, 열매체용 35%, 냉매용 25%의 함량을 보이며, 포함되어있는 글리콜류의 재이용을 통한 재생부동액으로의 재활용이 가능성을 보이고 있다⁴⁻⁵⁾. 현재 국내에서는 폐부동액을 “자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률”에서 폐기물 부담금 품목으로 지정되어 부동액 생산자 및 수입업자에게 부담금을 부과하고 있으

†Corresponding author E-mail: sseekorea@hanmail.net

며, 이러한 부담금에 의해 폐부동액 발생 기업의 경제적 부담은 가중되고 이에 의한 자연수로의 무단 방류가 빈번히 발생하여 환경오염의 심각성이 증가되고 있다. 국내의 자동차업체의 경우 생산자책임재활용제도(EPR, Extended Producer Responsibility)로 관리하고 있어 폐부동액의 수거체계는 구축되었다고 볼 수 있지만, 선박 및 산업기계에서 배출되는 폐부동액은 현재 수거체계 미흡으로 재활용이 되지 못하는 실정이며 대부분 폐수로 배출되고 있다⁶⁻⁷⁾. 산업시설에서 발생된 폐부동액의 경우 폐기물 관련 코드가 부여되지 않고, 기타 유기용제에 해당되어 지정폐기물로 분류되어 처리되고 있다. 폐부동액을 처리하기 위해서는 규정에 의한 지정폐기물 처리증명이 확인된 폐기물 배출자가 당해 사업장에서 직접 처리하거나 위탁처리 할 수 있으며, 폐기물의 수집·운반·보관 및 처리에 관한 구체적 기준 및 방법을 준수하여야 한다⁸⁾. 액상으로 발생하는 폐부동액은 그 특성상 처리방법이 매우 제한적이며 현재 폐부동액 처리에 방법으로는 습식산화법과 소각법 등을 들 수 있다. 그러나 습식산화법은 처리시간이 길고 처리 효율도 낮으며, 소각방법은 대기오염 문제와 같은 2차 오염 문제를 발생시킬 수 있다는 점과 이를 방지하기 위한 추가 처리 시설이 요구되므로 경제적인 부담이 클 수 있다는 점 등이 지적되고 있다.⁹⁾ 따라서 폐부동액의 재활용 및 자원화를 위한 신기술 개발이 매우 절실한 실정이다. 폐부동액의 분리배출을 투명하고 원활하게 할 수 있다면, 부동액 원료인 에틸렌글리콜로 재사용하거나 다른 건축 재료의 첨가제 등으로 폐기물 재활용이 가능할 것으로 기대된다¹⁰⁻¹¹⁾.

본 연구에서는 여수산단 석유화학공장의 냉각처리공정에서 발생하는 폐부동액의 물리·화학적 특성을 파악하기 위해 색도, 흡광도, 비중, 탁도, 전기전도도, 유기화합물 및 중금속 성분을 분석하여, 향후 이를 재생하기 위한 기본적인 공정설계에 활용하고자 검토하

였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험 재료

여수산단의 석유화학 공장내 냉각처리 과정에서 발생하는 폐부동액 시료를 수집하여 실험대상으로 하였다. 시료 구성은 부동액(New) 및 폐부동액(A, B)으로 각각 구분하였다.



Fig. 1. Comparison of chromaticity in antifreeze.

2.2. 실험방법

색도는 육안에 의한 단순 비교와 자외선흡광광도계(UV/Vis., Spectrophotometer, UV-1280, Shimadzu)를 이용하여 비교 측정하였으며, 비중은 비중계(RZ-115, Inparo)를 이용하여 측정하였다. 부동액은 기계 장치의 내부에 순환을 하는 용액으로써 사용 연한이 지남에 따라 부동액에 불순물의 함유량이 증가될 수 있어, 용액상의 물리적 및 화학적 불순물의 지표라 할 수 있는 전기전도도(Electrical Conductivity, Mettler Toledo)와 탁도(Turbidity, Lutron)의 변화를 관찰하였다. 기본 부동액의 물성을 분석하고 부동액의 사용에 따른 유기성분 및 중금속 성분의 증감 비교를 위해 GC-MS(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, Agilent 7890A), ICP-MS(Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer, NexION[®]300X, Perkinelmer)를 이용하여 성분 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 색도

부동액 및 폐부동액을 육안에 의한 단순 색도 비교한 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 육안 비교를 하였을 때, 이론상 수분의 함량이 증가한 폐부동액의 경우 색도가 짙어진 것을 확인할 수 있었으며, 또한, 불순물에 의해 상층부에 막이 형성되어 진 것을 확인할 수 있었다. 자외선흡광광도계를 이용하여 측정된 흡광도는 Fig. 2에 나타내었다. 부동액과 폐부동액은 큰 차이를 보였으며, 색도에 따른 흡광도의 차이로 판단하였을 때도 수분의 함량이 증가한 폐부동액의 경우 흡광도가 낮게 측정되는 것을 확인할 수 있었다

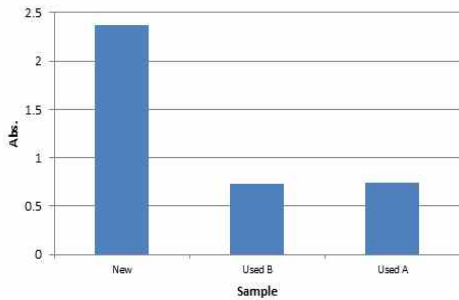


Fig. 2. Comparison of absorbance in antifreeze.

3.2. 비중

부동액을 사용하며 변화하는 항목 중 가장 중요한 항목은 물의 함량에 의한 비중의 차이가 있다. 부동액 및 폐부동액의 비중을 비교 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 부동액의 경우 비중이 1.2 kg/L 정도로 측정되었으며, 폐부동액 A, B의 경우 1.09, 1.03 kg/L 정도로 감소하였음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 부동액 원액에 수분이 함유됨으로써 결과적으로 부동액의 비중이 감소하는 것을 확인할 수 있다. MSDS (Material Safety Data Sheet)에서 제시된 비중의 범위와 비교하였을 때 사용된 부동액의 경우 적정범위에 해

당하는 것으로 판단하였으며, 폐부동액은 거의 수분에 가깝기 때문에(예: 수분의 비중 1.0) 재사용 시 동결(freezing)의 가능성이 발생할 수 있다고 판단 된다.

3.3. 탁도 및 전기전도

Fig. 4에 부동액과 폐부동액 사이에 전기전도도 및 탁도 변화를 나타내었다. 전기전도도의 경우 부동액을 사용함에 따라 공통적으로 증가하는 양상을 보여주었다. 부동액의 경우 500.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 값을 보여주었으며, 폐부동액 A, B의 경우 5,077, 4,265 정도로 부동액 대비 평균 9.3배, 최대 10.1배까지 증가하는 양상을 보여주었다. 이는 부동액을 사용하므로 부동액내의 이온성 물질의 증가를 유추할 수 있었다. 탁도의 변화는 부동액의 경우 36.6 NTU 정도로 측정되었다. 하지만, 폐부동액의 경우 A와 B의 결과에 차이가 나타났다. 폐부동액 A의 경우 115.9 NTU 정도로 높은 탁도 수치를 보였으며 폐부동액 B의 경우 39.4 NTU 정도로 부동액과의 오차범위 내에 수치를 보여주었다. 이는 육안 상 색도 비교를 할 때와 마찬가지로 액면에 유막이 형성된 폐부동액에서 높은 탁도가 나타났으며(Fig. 1) 같은 폐부동액이라 하더라도 부동액이 사용되어진 조건에 따라 물리-화학적 조성의 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

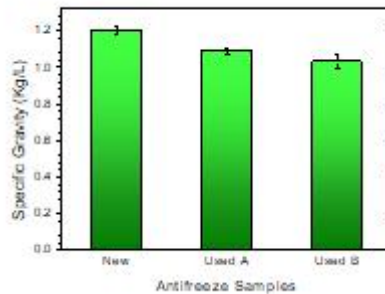


Fig. 3. Comparison of specific gravity in antifreeze.

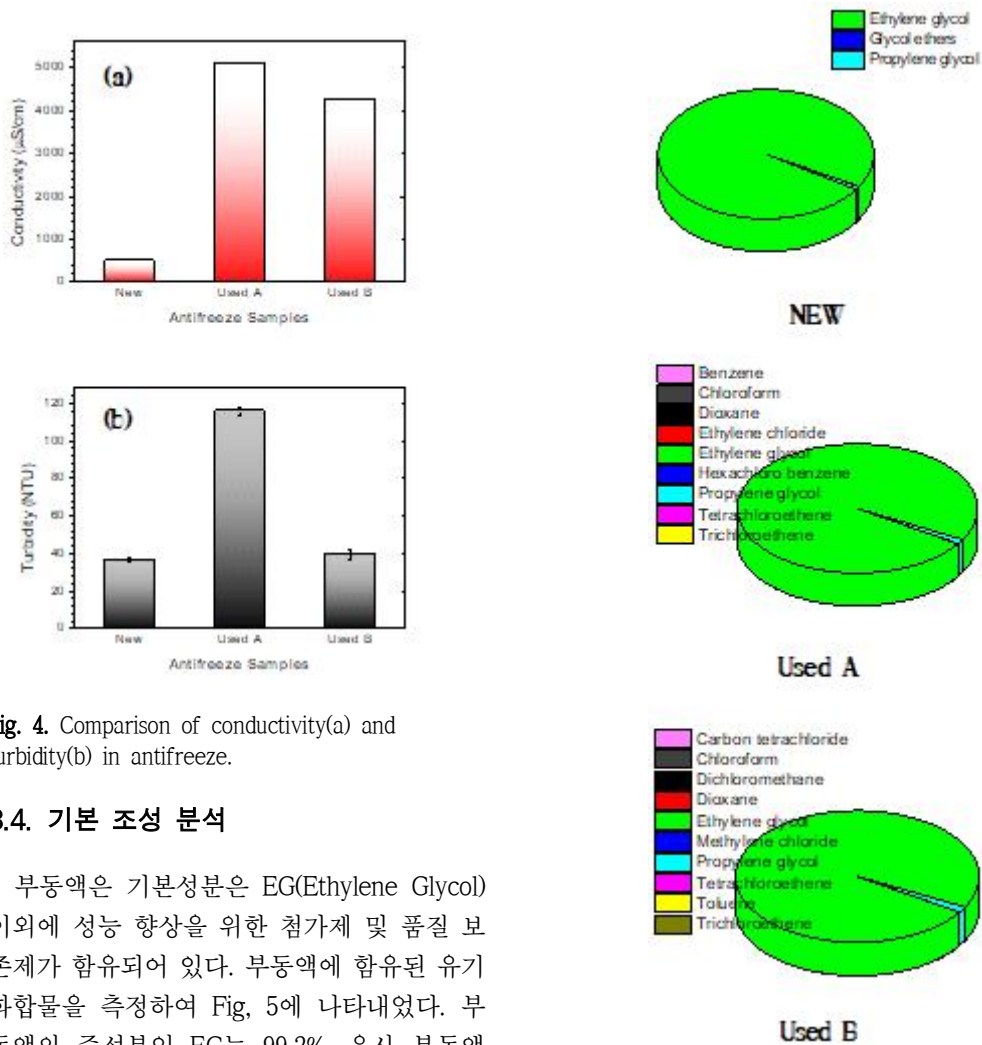


Fig. 4. Comparison of conductivity(a) and turbidity(b) in antifreeze.

3.4. 기본 조성 분석

부동액은 기본성분은 EG(Ethylene Glycol) 이외에 성능 향상을 위한 첨가제 및 품질 보존제가 함유되어 있다. 부동액에 함유된 유기화합물을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 부동액의 주성분인 EG는 99.2%, 유사 부동액 주성분인 PG(Propylene Glycol)은 미량(0.8%) 혼합되어 있음을 확인하였고, 폐부동액의 경우에도 유기화합물의 종류에서 증가하고 있으나 그 함량은 매우 미미하여 전체적인 EG와 PG의 성분 변화에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

3.5. 중금속 분석

중금속 성분에 대한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 부동액의 MSDS 또는 뒷면 조성사항을 보게 되면 주원료인 EG와 일부 보존제 또는 첨가제가 혼합되어 있음이 명시되어 있

Fig. 5. Comparison of organic compounds in antifreeze.

고 그 명확한 사항에 대해서는 나타나지 않은 경우가 많다. 중금속의 경우 부동액을 사용하면서 상대적으로 증가하는 경향성을 볼 수 있었다. 이는 부동액이 기계 및 장치 내부에서 순환하여 냉각을 시키며 발생하는 금속류의 용해라고 판단 할 수 있다. 또한 사용되는 장치 또는 장비의 종류에 따라 증가 되는 성분의 양 및 종류가 달라지는 것을 알 수 있다.

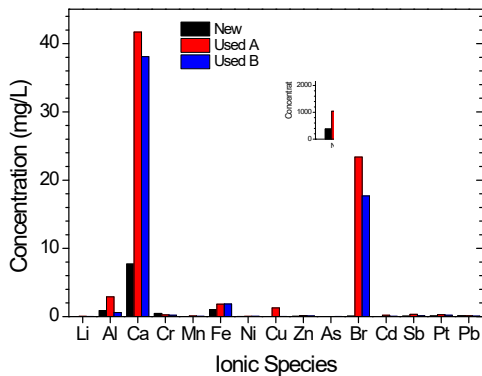


Fig. 6. Comparison of heavy metal components in antifreeze.

4. 결론

여수산단 석유화학공장의 냉각처리공정에서 발생하는 폐부동액의 물리화학적 특성을 파악한 결과 다음과 같은 기초자료를 확보하였다.

1. 색도는 육안으로도 확인이 가능할 정도로 부동액(New) 및 폐부동액은 차이가 있었고, 폐부동액이 대체적으로 수분이 함유되어 색상이 흐려지는 것으로 나타났다.

2. 비중은 상대적으로 부동액과 비교해서 폐부동액의 비중이 감소하였음을 확인할 수 있었다. 전기전도도 및 탁도는 부동액의 사용처에 따라 증가 됨을 확인할 수 있었으며, 이는 조건에 따라 변하는 물리화학적 인자를 적절한 공정 선택 후, 향후 재생부동액으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

3. 부동액의 주성분은 EG로 확인되었고, 이외의 유기화합물은 일부 증가하였으나 그 함량은 매우 미미하여 전체적인 EG의 성분 차이는 없는 것으로 나타났다.

4. 중금속은 부동액을 사용할수록 상대적으로 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 부동액이 기계 및 장치 내부에서 순환하여 냉각을 시키며 발생하는 금속류의 용해라고 판단되며, 또한 사용되는 장치 또는 장비의 종류에 따라 증가 되는 성분이 양 및 종류가

달라지는 것을 확인하였다.

사 사

본 연구과제는 환경부지정 전남녹색환경지원센터의 연구비지원에 의해 수행된 연구과제입니다.

참고문헌

1. 환경부(2018), 지정폐기물 발생 및 처리 현황
2. Liu, Z., Sha, A., He, R. and Xing, M.(2016), Antifreeze asphalt mixtures design and antifreeze performances prediction based on the phase equilibrium of natural solution, Cold Regions Science and Technology, 129, pp. 104-113.
3. Fall, C., Cuenca, F. M., Ba, K. M. and Solis, C. M.(2006), Respirometry-based evaluation of the fate and possible effects of antifreeze on activated sludge, Journal of Environmental Management, 80(1), pp.83-89.
4. 한천구, 오선교, 원철, 김경민(2002), 폐부동액과 아질산염을 이용하여 제조한 한중콘 크리트용 내한제의 특성, 대한건축학회논문집-구조계, 18(5), pp. 81-88.
5. 양회공업주식회사(2015), 폐부동액 재활용 시설
6. 환경부(2017), 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률
7. 환경부(2017), 폐기물관리법 및 시행규칙
8. 윤형선, 김은식, 차성범, 위지혜, 서성규 (2017), 석유화학 공정의 냉각처리 과정에서 발생하는 폐부동액 재이용 가능성 분석, 한국공업화학회 연구논문초록집
9. 김영권, 조순행(1996), 초임계 및 아임계 산화공정에서 Char 생성억제 및 폐부동액의 처리방안 조사, 대한환경공학회지, 18(8), pp. 939-951.

10. Xu, B., Yang, Z., Zhao, L., Cao, D., Zhang, H. and Shi, X.(2019), Study on the antifreeze performance of porous cement stabilized macadam, *Construction and Building Materials*, 30, pp.13-22.
11. Karagöl, F., Demirboğa, R., Kaygusuz, M. A., Yadollahi, M. M. and Polat, R.(2013), The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures, *Cold Regions Science and Technology*, 89, pp.30-35.