

폐인산 회수공정에서의 저온응축회수장치 및
이젝터시스템 적용 운전특성

정우현, 김나량, 강경훈, 정석우

고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

Operating Characteristics of Condensation Apparatus and Ejector System
Application for Phosphoric Acid Recovery Process

Jung Woo Hyun, Kim Na Rang, Kang Kyung Hoon, Chung Seok Woo

Center for Plant Engineering, Institute for Advanced Engineering

1. 서론

액상폐기물은 각종 생산품의 제조, 가공, 세척과정 등의 산업활동에 따라 필연적으로 발생되어 배출되고 있으며, 그 중 산성 또는 염기성 폐액의 경우 국내의 전자산업 발달과 더불어 발생하는 폐기물의 양이 지속적으로 증가하고 있다. 전자산업에서 발생하는 산성 또는 염기성 폐액은 각종 부품의 세척공정, 반도체 및 LCD 에칭공정 등에서 발생되며, 여러 가지 유해한 물질을 다량 함유하고 있으므로, 이러한 산성 또는 염기성 폐액이 그대로 배출될 경우 토양오염, 수질오염, 악취발생 등의 환경오염 문제를 일으킬 뿐만 아니라, 회수가 가능한 자원의 낭비에 의한 경제적인 손실을 수반하게 되므로, 이의 해결을 위한 처리 및 자원화 기술의 개발이 중요시 되고 있다.

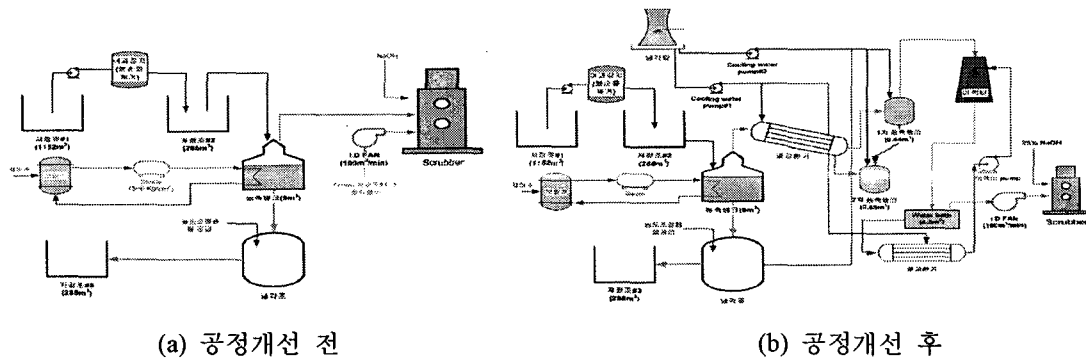
국내에서는 일반적으로 발생된 산성 또는 염기성 폐액 대부분을 폐기물재활용업체에 의뢰하여 위탁처리하고 있는 실정인데, 위탁처리업체에서 쉽게 접근할 수 있는 처리방법으로는 폐기물을 단순 중화처리 후 매립하거나, 액상폐기물을 원료로 하여 판매가 가능한 제품으로 회수하는 처리방법 등을 사용하고 있다. 하지만 이러한 처리과정에서 NO_x, 염화수소등의 유해한 가스가 지속적으로 배출되어 자극적인 냄새를 유발시켜 환경문제를 발생시킬 뿐만 아니라 처리과정이 이루어지는 주변 환경이 열악하여 각종 유해가스와 자극성물질에 작업자들이 노출되어 신체에 악영향을 끼치고 있는 실정이다.

과제참여업체에서는 이러한 여러 가지 액상폐기물을 위탁처리 하고 있으며, 그 중 반도체 에칭 공정에서 발생하는 인산, 질산, 초산 및 기타 불순물이 섞인 폐혼합산의 처리는, 용액에 포함된 질산과 초산을 증류를 통한 방법으로 처리하고, 인산을 85%이상의 농도로 정제시켜 재판매 하고 있다. 본 연구에서는 기본적인 증류공정으로 구성되어 여러 직무기피요인을 야기해왔던 참여업체의 폐인산 회수공정을 개선하였는데, 크게 열교환기 형태의 저온응축회수장치와 응축탱크를 설치하고, 농축탱크 및 저온응축장치를 감압상태에서 운전되도록 이젝터시스템을 적용하였다.

2. 공정특성 및 공정개선

반도체 에칭 공정에서는 주성분이 인산, 질산, 초산 및 기타 불순물이 섞인 폐혼합산이 발생하게 되는데, 발생된 폐혼합산의 처리 및 재활용 방법으로는 질산 및 초산의 끓는점이 각각 83~122℃, 118℃로 인산의 158℃에 비해 비교적 낮은 점을 이용하여, 간단한 증류공정을 적용해 끓는점이 낮은 질산, 초산 및 물을 증발시키고 남아있는 인산의 농도를 85%이상으로 정제하여 분리하게 된다. 참여업체에서도 이러한 증류공정이 구성되어 있었으며, 농축

탱크에 폐혼합산을 넣고 보일러에서 공급되는 고온의 스팀을 이용해 상압에서 농축탱크를 약 150℃이상으로 7시간 이상 장시간 가열하여 질산, 초산 및 물을 증발시키고, 증발된 혼합산가스는 중화세정탑(Wet-scrubber)에서 NaOH수용액을 직접 분사하는 방법을 이용하여 발생가스를 중화세정하여 배출하는 방식으로 운전되고 있었다. 하지만 중화세정탑으로 유입되는 증류된 초산과 분사되는 NaOH수용액이 반응하여 중화세정탑하부에는 다량의 초산염(CH₃COONa)이 발생되었고, 이를 제거하기 위해 공정의 가동을 중단하는 일이 자주 발생되어 연속공정에 지장을 초래하는 현상이 나타나게 되었다. 이러한 개선전 공정을 [그림 1]의 (a)에 나타내었다.



[그림 2] 폐인산 회수공정 공정구성도

[그림 1]의 (b)에는 개선된 폐인산회수 공정을 나타내었는데, 유해한 혼합산가스의 대기배출을 줄이고 중화세정탑에서 발행하던 염을 해결하기 위해 농축탱크 후단에 증류된 질산, 초산과 물을 냉각시켜 응축하여 회수하기 위한 열교환기 형태의 저온응축장치와 응축된 혼합산을 저장/배출하는 응축탱크를 설치하였고, 감압을 통한 증류시간 단축 및 고순도의 인산용액을 정제하기 위한 이젝터시스템을 추가하여 구성하였다. 여기서 이젝터(Ejector)는 내부에 설치된 노즐로부터 높은 유속으로 분사되는 유체의 운동에너지에 의하여 저에너지의 유체를 흡입하는 일종의 펌프로서, Gas, 액체 및 분체 등을 흡입하여 배출하거나, 이송, 혼합시키는 공정에 사용을 하게 되는데, 본 연구에서는 작동유체로 물을 분사하여 농축탱크에서 증발되는 질산, 초산 및 수증기를 흡입하여 농축탱크, 저온응축장치 및 응축탱크의 압력을 -740 mmHg까지 감압시키고, 노즐을 통해 분사되는 물에 저온응축장치와 응축탱크에서 응축되지 못한 질산 및 초산을 흡수하여 중화세정탑으로 배출되는 유해가스를 최소화 하였다.

3. 개선공정 운전결과

농축탱크에 유입되는 폐혼합산의 성분분석 결과를 <표 1>에 나타내었고, 인산, 질산 및 초산의 물리/화학적 물성치를 <표 2>에 나타내었다.

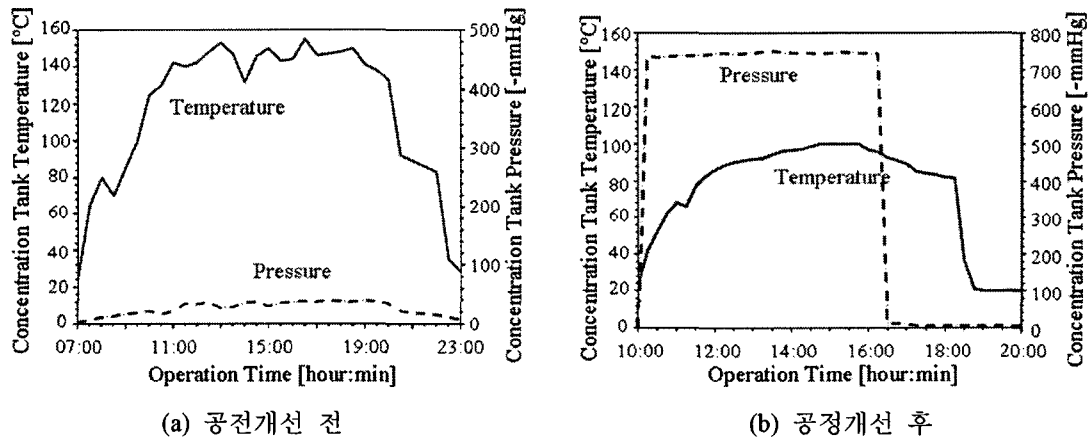
<표 1> 폐혼합산의 성분분석결과

	CH ₃ COOH	HCl	HNO ₃	H ₃ PO ₄	H ₂ O
폐혼합산	12.76%	0.14%	10.93%	63.33%	12.84%

<표 2> 폐혼합산용액 주요성분의 물성치

	Molecular Weight	Boiling Point	Vapor Pressure	Vapor Density (air=1)	Specific Gravity (water=1)
Nitric Acid	63.01	83~122℃	-	1.4	1.3~1.5
Acetic Acid	60.05	118℃	11.8 mmHg at 20℃	2.07	1.0492
Phosphoric Acid	98.00	158℃	2.2 mmHg at 21℃	-	1.685

폐인산 회수공정 1 batch에 대한 공정개선 전, 후의 농축탱크에서의 압력 및 온도에 대한 운전 profile을 [그림 2]에 나타내었다. 이를 살펴보면 신규 설치된 이젝터시스템 가동 후 20분정도 지난 뒤에 농축탱크에 압력은 -740mmHg에 도달하였으며, 이러한 감압효과로 증류에 필요한 운전온도가 기존 공정에서는 140~150℃이었던 것이, 100℃정도로 50℃정도 낮아졌음을 알 수 있다. 또한 공정개선 전에는 1 batch 완료에 12시간 이상 소요되었으나, 개선 후에는 약 8시간이 소요되어 전체공정시간이 30% 정도 단축되었다. 이는 생산성증가와 더불어, 승온 및 온도유지에 필요한 스팀공급량이 줄어들게 되어 스팀생산에 사용된 에너지절감으로 개선효과가 나타났다. 또한 감압증류의 효과로 최종산물인 정제인산의 품질에도 공정개선 전, 후차이가 생겼으며, 아래의 <표 3>에 나타내었다.



[그림 3] 농축탱크 운전 Profile

<표 3> 농축조에 정제된 인산의 성분분석결과

	CH ₃ COOH	HCl	HNO ₃	H ₃ PO ₄	H ₂ O
공정개선 전	N.D.	N.D.	1.01%	87.00%	11.99%
공정개선 후	N.D.	N.D.	N.D.	93.93%	6.07%

공정개선 전에는 4 batch 조업 후 별도의 작업시간을 두어 중화세정탑에서 발생하는 초산염 제거작업을 진행하였으나, 공정개선 후에는 조업중단 없이 연속운전이 가능하게 되었으며 염 및 폐수를 처리하기위한 별도 처리비용이 발생하지 않았다. 이와 같이 저온농축장치와 이젝터시스템을 적용하여 발생한 공정개선 효과를 아래의 <표 4>에 정리하였다.

<표 4> 저온응축회수장치 및 이젝터시스템 적용효과

구분		공정개선 전	공정개선 후	비고
인력 저감효과	운전인원	2명	1명	중화세정탑에서 염발생이 없어짐 인건비 감소
	인건비	43,200천원/년	21,600천원/년	
NaOH 분무량		50톤/월 (농도 50%)	0.3톤/월 (농도 25%)	증류된 혼합산을 저온응축장치에서 회수
염/폐수 배출량		100톤/월	발생없음	
에너지 절감효과	등유사용량	800 L/일	650 L/일	승온 및 증류온도 유지시간 단축
		194,400천원/년	157,950천원/년	
생산성 향상	생산량	11톤/일	16.5톤/일	공정시간단축
	품질	불순물 1%	불순물 N.D.	재생인산
	조업중단	4 Batch당 1회	연속운전가능	중화세정탑에서 염발생이 없어짐

4. 결론

본 연구에서는 반도체 에칭공정에서 발생하는 질산, 초산, 인산 및 기타 불순물이 섞인 폐혼합산을 원료로 하여 증류공정을 적용하여 재판매가 가능한 85%이상 농도의 정제인산으로 회수하는 공정을 대상으로 하여, 저온응축회수장치 및 이젝터시스템을 설치/적용하였다. 저온응축회수장치에서는 증류되어 배출되던 질산 및 초산의 혼합산을 90%정도 회수하였고, 이젝터시스템은 농축조 및 저온응축장치를 감압시킴으로써 증류에 필요한 온도를 140~150℃에서 100℃정도로 낮추었으며, 1 batch 완료에 12시간 이상 소요되었으나, 개선 후에는 약 8시간이 소요되어 30% 정도 공정시간을 단축시켜, 생산성증가와 더불어 승온 및 온도유지에 필요한 스팀공급량이 줄어들게 되어 스팀생산에 사용된 에너지절감으로 개선효과가 나타났다. 또한 이젝터시스템의 작동유체인 순환수에 응축되지 못한 잔여 혼합산을 재흡수 할 수 있어 공정에서 발생하는 유해가스의 배출저감 효과를 얻을 수 있었을 뿐만 아니라, 중화세정탑에서 발생하였던 염 발생현상 또한 제거 가능하게 되어 연속운전이 가능하게 되었다. 또한 증류가 완료되어 농축된 정제인산에서의 불순물의 함량 또한 약 1%에서 거의 대부분이 검출되지 않은 상태로 낮아져 고순도로 정제된 인산을 얻게 되었다.

5. 참고문헌

1. 이원희, “이젝터 냉동시스템”, 대한설비공학회지 설비저널, 2005, 34(2), 23~27
2. 이윤용, 홍원희, “실험실 및 pilot 증류”, Chemical Industry and Technology, 1987, 5(1), 60~64
3. 배재근, “신편 폐기물 처리공학”, 2005.02, 구미서관

감사

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 “중소기업 생산현장 직무기피요인 해소사업”의 일환으로 진행되었습니다. 지원에 감사드립니다