'2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

방사성세탁폐액 처리를 위한 UV광산화/증발기 결합공정 연구

A study on the Combined Process of UV Photo-oxidation / Evaporation for Laundry Radwaste Treatment

김 종 빈[a], 박 세 문[a], 양 호 연[a], 김 경 덕[a], 이 명 찬[a]
이 병 일[b], 박 주 훈[b], 박 헌 국[b]

[a]한국원자력환경기술원, *대전광역시 유성구 덕진동 150*
[b]영광원자력 제 2 발전소 방사선관리부. *전남 영광군 홍농읍 계마리 514*

요약

방사성세탁폐액 처리를 위한 주 공정으로서 폐액증발기를 사용 할 경우 세탁시 사용한 세제에 의한 거품 때문에 기포발생, 동반유출 등의 문제가 발생되어 제염계수, 운전비용 및 설비수명에 큰 영향을 미치고 있다. 따라서, 본 연구는 UV 광산화반응을 이용하여 세탁시 사용한 세제를 분해한 후, 폐액 증발기를 통해 세탁폐액을 효과적으로 처리할 수 있는 공정을 확립하기 위하여, UV 광산화 반응을 이용한 폐액내의 세제분해 실험을 수행하였다. 본 실험에 적용된 변수는 적정 주입 과산화수소의 농도, 과산화수소의 주입 방법(연속, 비연속), 처리 유량 및 세제농도였으며, 도출된 최적 공정변수 자료를 활용하여 상용설비 설계의 개념을 확립하였다.

ABSTRACT

Since the laundry radwaste stream has been treated by evaporator, variable problems such as foaming, carry over and entrainment have arisen from detergent contained in the waste. These problems reduce life time of the facility and Decontamination Factor(DF) for radio nuclides. Therefore, to improve the evaporation process, the method of photo-oxidation process (UV/H_2O_2) was employed for the removal of detergent as a pre-treatment system. The pilot scale of the UV/H_2O_2 process have been tested to optimize the process parameters, such as UV radiation dosage, UV/H_2O_2 concentration ratio, hydrogen peroxide injection mode and the flow rate of liquide waste. With these optimum parameters, the design concept of the full scale system has been established.

I. 서론

원자력 발전소에서 발생되는 처리 대상 세탁폐액은 소량의 방사성물질과 함께 피복성분인 셀룰로오스, 먼지, 유분 등 많은 불용성 입자를 함유하고 있으며 세탁시 사용한 세제 성분 때문에 그 처리가 기술적으로 상당히 어려울 뿐 아니라 여과, 흡착, 이온교환법 등의 기존 처리방법을 사용하여 처리할 경우 다량의 2차적인 고체 폐기물을 발생시키는 문제를 안고 있다. 원전발생 세탁폐액은 세탁폐액탱크에 수집되어 저장한 뒤 시료채취 분석을 통해 처리경로를 택한다. 시료분석결과 방사능농도가 규제치 미만일 경우, 희석하여 바다로 직접 방출하거나, 규제치 이상인 경우에는 폐액증발기로 이송 처리한다. 폐액증발기는 액체방사성폐기물을 처리하는 가장 널리 알려진 주요설비 중의 하나로서, 국내에서 운영중인 원전에는 대부분 폐액증발기를 이용하여 액체방사성폐기물을 처리하고 있으나, 세탁시 사용한 세제에 의한 거품 때문에 기포발생, 동반유출 등의 문제가 발생되어 제염계수, 운전비용 및 설비수명에 큰 영향을 미치고 있다.

방사성폐액내 존재하는 유기물의 종류인 세제의 분해를 위하여 일반적인 화학산화법, 즉 Potassium permangnate, chlorine, chlorine dioxide 또는 황산구리 같은 촉매와 함께 과산화수소(Fenton 산화)등을 사용할 수 있으나 이러한 공정은 폐액처리 후 철이온 슬러지 및 염화유기물이 생성되는 단점을 갖고 있다. W.H. Galze[1]에 의하여 정의된 대표적 고급산화법은 반응성이 높은 라디칼 중간생성물, 특히 수산화라디칼(OH・) 생성과 관련된 상온에서의 공정으로서 이 라디칼이 폐액내의 유기물을 CO_2, H_2O 혹은 무해한 중간물질로 분해시키는, 오존의 촉매에 의한 분해, 오존/과산화수소 공정, UV에 의한 과산화수소의 광분해법 등을 꼽을 수 있으며 이러한 공정들은 근래에 들어 지하수, 산업폐수 및 매립지 침출수 등의 폐액의 유기물 분해에 적용사례가 점차 늘고 있다[2,3].

H_2O_2의 광분해 메카니즘에 대해 일반적으로 인정되고 있는 것은[4,5] H_2O_2가 1개의 광양자와 반응하여 흡수한 광양자당 두 개의 HO・를 만드는 것이다.

$$H_2O_2 \xrightarrow{h\nu} 2HO\cdot \qquad (1)$$

H_2O_2 수용액의 광분해 속도는 pH에 영향을 받으며 알칼리 조건에서 증가한다. 이것은 주로 과산소 음이온 (HO_2^-)의 몰흡수 계수 (ε)가 254 nm에서 높기 때문이다. 유기물과 수산화라디칼의 반응은 친전자성 첨가반응, 전자 전달 반응 등에 의하여 이루어진다. UV/H_2O_2 결합 광산화 반응에서 기대할 수 있는 또 하나의 처리 잇점은 유기물이 UV에 만 의해서도 직접적으로 제거될 수 있다는 것이다.

우리가 처리하려는 방사성세탁폐액내의 비이온계면활성제의 주요 구조식은 C-C 사슬과 벤젠고리로 이어져있는 성분이기 때문에 사용하는 UV파장이 254nm 정도일 때는 충분하게 그들의 C-C 결합을 끊을 수 있게 된다.

그리하여, 방사성세탁폐액 처리를 위한 주 공정인 증발기내에서 기포발생, 동반유출 등을 유발하는 세제를 제거할 수 있는 전처리 공정연구의 일환으로 UV/과산화수소 공정을 사용하였다.

본 고에서는 원전에서 발생되는 방사성 세탁폐액의 발생특성 및 성분, 현장 세탁방법, 세탁시 사용하는 세제의 성분, 특징 등을 고려한 후 이를 바탕으로 모의폐액을 제조한 후, 여러 가지 변수에 따른 세제제거 효율을 측정하였다. 이들 UV/광산화공정을 사용함에 있어 세제제거를 위한 적정 UV 조사량 결정, UV 반응기내에서의 폐액의 체류시간에 직접 관계되는 최적 처리유량의 결정, 첨가되는 과산화수소의 최적 주입량 및 최적 주입방법의 결정 등의 최적공정 변수도출 결과를 기술하였다.

II. 실험재료 및 방법

II-1. 방사성세탁폐액의 발생특성

II-1.1. 무거품세제

무거품세제라 통칭되어 현재 영광 2발에서 사용되고 있는 세제는 비이온계 계면활성제인 polyoxyethylene-nonylphenylether(PENP) 7 8%, EDTA- 4Na 5%, 소포제 1ppm, inhibitor(calsium lingot sulfonate) 3%가 되도록 혼합한 액체세제를 사용하고 있으며 경질의 알칼리성인 제품으로 pH가 7 8 정도인 중성세제이다. 공급업체에서 권장하는 적정 사용권장량은 세척에 사용되는 물 100 리터당 액체세제 1 리터이다

II-1.2. 섬유 유연제 : (주)LG에서 시판되는 샤프란을 사용하고 있으며, 양이온 계면활성제 8%를 포함하는 액체형태의 약산성 섬유유연제로서 사용권장량은 물 사용량 30 리터 당 0.2 리터이다.

II-1.3. 소독제 : 세제, 섬유 유연제 이외에 세탁시 방호복의 소독·살균의 목적으로 유한 락스를 사용하고 있다.

II-2. 세탁 방법

현재 영광 제 2발전소 4호기에서 행해지는 방호복 및 신발의 세탁은 500 리터의 용량을 갖은 자동 세탁기를 사용하며, 1회 세탁과 2회의 헹굼으로 행하여지고 있으며, 각각의 세탁, 헹굼에서 사용되는 물은 약 350 Liters 이다. 방호복은 1회 세탁시 25벌, 방호용 신발은 70컬레를 세탁하고 있으며 세탁시 사용하는 물은 현장용 service water이다. 무거품 세제의 적정 사용 권장량은 1리터 세제/100 리터 물 이지만, 거품 문제 등을 고려하여 적정 권장량 보다 적은양을 사용하고 있다. 1회 세탁시 무거품세제, 섬유 유연제 및 유한 락스가 혼합된 세제를 0.7 : 0.2 : 0.1 의 비율로 1리터를 350 Liters 물에 투입하여 사용하고 있다.

II-3. 방사성 세탁폐액발생량

1회의 세탁 및 2회의 헹굼시 소요되는 물의 총량은 약 1000 리터(350 × 3회)로서, 영광 2발전소 4호기에서 발생되는 방사성세탁폐액의 일일 평균 폐액의 발생량은 경상기간 중 4.1 ton이며 O/H기간 중의 평균발생량은 14.3 ton 으로써, 동기간 중의 일일 최대 발생폐액은 19.4 ton이다. 정상 운전 기간 에 비해 O/H 기간 동안에 방출되는 방사능 농도가 상대적으로 높기 때문에 세탁폐액을 처리하기 위한 UV-Evaporator의 공정은 O/H기간을 기준으로 설계되어야 한다.

II-4. 실험물질

II-4-1. UV 반응기

본 실험에 사용된 UV 반응기는 15 kW의 UV 램프 1개를 원통형의 중앙에 위치하도록 설계된 것이었으며, 반응기의 부피는 약 20 리터이며 최대 통과 유량은 4 ton/hr. 이다.

II-4-2. 램프

본 실험에 사용된 램프는 200 450 nm [그림 1 참조]의 다중 파장을 내는 15 kW 출력의 고압용 수은 방전식 램프(High Pressure Mercury Arc Lamp)로서 램프의 사양은 아래 표[1] 및 그림[2]와 같다. 과산화 수소와 반응하여 OH 라디칼을 형성하는 UV의 유효 파장의 범위는 약 200 280 nm[6] 이며, 그 나머지 가시광선, 적외선 파장 등은 열로 전환되어 램프의 관벽온도를 약 700。C 까지 상승시키는 역할을 한다. 본 램프는 폐액과의 직접적인 접촉을 피하게 하기 위하여, 원통형 고순도 석영관 내부에 위치한다.

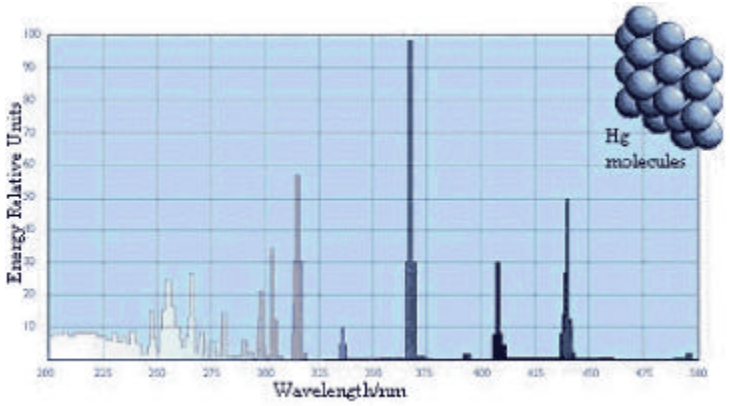


그림 [1]. High Pressure Mercury Arc Lamp의 방출 에너지

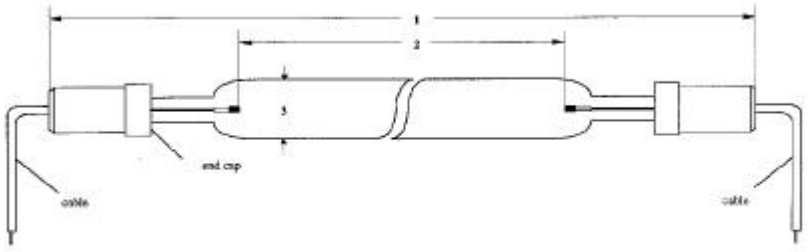


그림 [2]. High Pressure Mercury Arc Lamp의 사양

1. 전장 : 1370 mm 2. 발광장 : 1250 mm 3. 관경 : 23 mm

발광부	고 순도 석영	Lamp 출력	15,000 W
베이스	턱걸이 형	Lamp 전압	2,500 V
리드	편조	Lamp 전류	7.2 A
단자	3-Y	램프 수명*	1000 hr.

* 램프수명 : 초기 방사량의 25 %가 감소되었을 때의 시간.

표 [1]. High Pressure Mercury Arc Lamp의 사양

II-4-3. 사용 세제 및 과산화수소

시중에 판매되고 있는 합성세제인 A사 제품 PF를 사용하였다. PF는 약 14 %의 비이온 계면활성제와 86 %의 보조제로 구성되어 있으며 계면활성제는 Lauryl Alcohol-9(LA-9) 13.9 %, Alcohol Ethoxylate(Softanol 90) 1.5 %로 구성되어 있다. 부가적으로 양이온 계면활성제 8%를 포함하는 액체형태의 약산성 섬유유연제인 샤프란을 실험에 사용하였다. 모의 폐액을 만들기 위해 사용한 물은 현장용 service water를 사용 하였으며, 과산화수소수는 30 wt % 공업용을 사용하였다.

II-4-4. 모의 폐액 제조

모의 폐액을 제조하기 위해 현장 service water 300리터를 원수 탱크에 채우고 PF 세제 및 섬유 유연제 "샤프란"을 실험필요성에 맞추어 투입하였다. 모의폐액 제조 시에는 소독·살균용으로 사용되는 "락스"는 제외하였다. 혼합세제(세제+샤프란), 이하 세제라 통칭하는, 의 사용권장량을 사용할 경우, 약 100 ppm의 TOC 농도에 해당한다. 또한, 과산화 수소수를 일괄 투입하는 "비연속식 과산화수소 주입"의 경우에는 원하는 폐액의 과산화 수소 농도가 되도록 적정량 투입하고 원수탱크내 믹서기를 사용하여 혼합시켰다. "연속식 과산화수소 주입"의 경우 UV 반응기 전단에 위치하는 주펌프 전단으로 과산화수소를 주입시켰으며, 연속으로 주입된 과산화수소가 폐액내에서 혼합이 잘 이루어지도록 UV반응기 전단에 Line Mixer 설치하였다.

II-5. 실험 방법

본 실험은 UV 반응기의 세제제거율을 여러 가지 조건에서 분석하고 최적의 UV 반응기 운전조건을 찾고자 하는 것이다. 저장된 폐액을 UV 반응기로 처리하고 그 처리된 폐액을 다시 원수 저장탱크로 유입시키는 재 순환 처리 방법과 폐액을 단 한번만 UV 반응기에 통과시켜 연속적으로 처리하는 One pass flow 처리 방법으로 나누어 비교 실험을 수행하였으며, 과수농도 주입방법은 일괄 (비연속) 주입방법과 연속주입방법으로 나누어 실험하였다. 세제제거율은 TOC 변화량을 이용하여 측정하였으며. 본 실험에 사용된 UV 반응기 설비의 개요도는 그림 [3]과 같다.

II-5-1. 처리유형에 따른 실험 방법

II-5-1.(1) 재 순환 처리 방법

유로는 원수저장 탱크에서 폐액을 주 펌프로 취수하여 UV 반응기를 지난 후 다시 원수 탱크로 재 순환되어 유입되도록 정렬한다. 이때 UV 반응기 후단의 밸브 V-4, V-6는 닫혀있어야 한다. 유량의 조절은 V-2 밸브를 이용하며, 최종적인 시료 채취는 원수 저장탱크에서 행하였다.

II-5-1.(2) One pass flow 처리 방법

주 펌프에 의하여 취수되어 UV 반응기를 1회 통과되어 처리된 폐액은 일단 1단 탱크에 모두 모아진 후 시료 채취 후, 다시 주 펌프 전단에 이송되어, 두 번째로 UV 반응기를

통과한 후 2단 탱크에 수집된다. 단, UV 램프가 점등 되어 15 kW의 정상 출력에 도달하기전 UV 반응기를 통과한 폐액은 1단, 또는 2단 탱크에 수집되지 않도록 하였다.

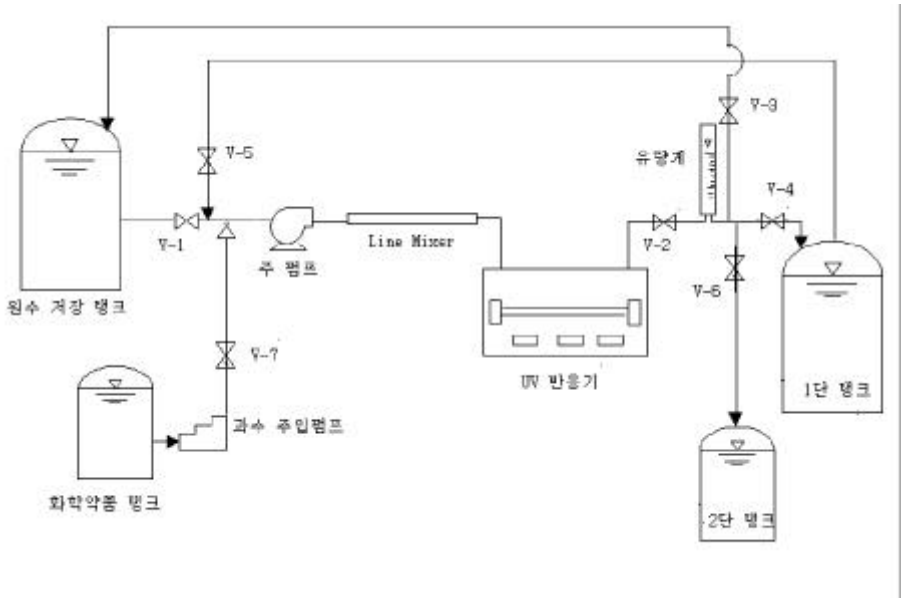


그림 [3]. 실증실험 설비 개요도

II-5-2. 과산화수소 주입유형에 따른 실험 방법

II-5-2.(1) 일괄 주입

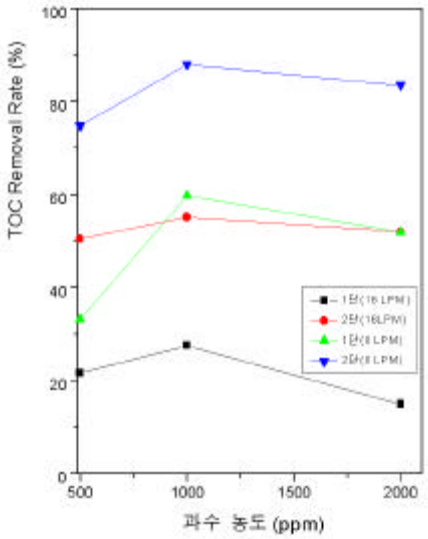
원수 저장 탱크내의 폐액에 직접 과산화수소를 투입하여 원하는 과산화수소 농도를 맞추는 방법으로서, 투입된 과산화수소가 폐액내에서 혼합이 잘 이루어지도록 탱크내에 부착되어 있는 mixer기를 가동시켰다.

II-5-2.(2) 연속식 주입 방법

이 경우의 실험 방법은 과산화수소를 실험 시작시 폐액 원수탱크에 일괄 주입하는 것이 아니라 약품 주입펌프를 이용하여 UV 반응기 전단의 배관에 소량씩 주입하는 것이다. 주어진 시간내에 주입되는 과산화수소수의 주입량과 동 시간내에 반응기내에 주입된 폐액의 부피로부터, 폐액내에 초기 과산화수소의 농도를 계산 할 수 있다. 또한 약품주입펌프에 의하여 주입된 과산화수소가 반응기 내의 폐액내에서 균일하게 희석되도록 주 펌프와 UV 반응기 사이에 Line Mixer를 설치하였다.

II-6. 실험 결과 및 고찰

II-6-1. 과산화수소 농도 변화에 따른 세제분해율 측정 (처리방법 : One pass flow)



따른 세제분해율 측정

그림 [4]는 혼합세제(세제+섬유유연제)를 사용하여 폐액의 TOC 농도를 조절한 뒤, 8 또는 16 LPM의 처리 유량에 따라 과산화수소의 농도를 변화시켜가며 세제의 분해율을 측정하였다. 과산화수소의 주입은 직접 원수 저장탱크에 직접 투입·희석하는 일괄(비 연속식) 주입방법을 사용하였다. 결과에서 보여주는 것처럼, 처리유량에 관계없이, 또한 폐액이 UV 반응기를 단1회 또는 2회 통과시에 관계없이, 상기의 세제 농도에서는 과수농도가 1000 ppm으로 주입되었을 때, 최적의 세제 분해율을 나타내고 있음을 보여 준다. 그러므로 이후의 모든 실험 중, 폐액에 주입되는 과산화수소의 농도는 1000 ppm으로 고정시킨 값을 사용하여 다른 나머지 변수와의 상관관계를 나타낼 수 있게 하였다.

II-6-2. 과산화수소 주입방법에 따른 세제 분해율 측정 (처리방법 : One Pass Flow)

UV에 조사되어 OH 라디칼을 발생시키는 과산화수소를 폐액내에 주입하는 방법이 세제변화율에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 수행되었다. 즉, 직접 원수 저장탱크에 직접투입·희석하는 일괄(비 연속식) 주입 방법과 화학약품탱크에 과산화수소를 저장하고 별도의 펌프를 이용하여 UV반응기로 유입되는 폐액에 연속적으로 주입·희석시키는 "연속식"의 두 가지방법에 대한 결과를 비교하기 위함이다. 본 실험에서는 폐액내 혼합세제농도를 50 ppm, 처리 유량을 8 LPM 고정파라메터를 사용하여 실시하였다. 그림[5]에서 나타낸 결과처럼, 두 가지 처리방법에 따른 세제변화율은 실험 및 분석오차내에서 동일한 결과를 가져다 줌을 알 수 있다. 본 결과에 의하면, 원수저장 탱크의 폐액에 직접 주입하는 비 연속식 방법 보다

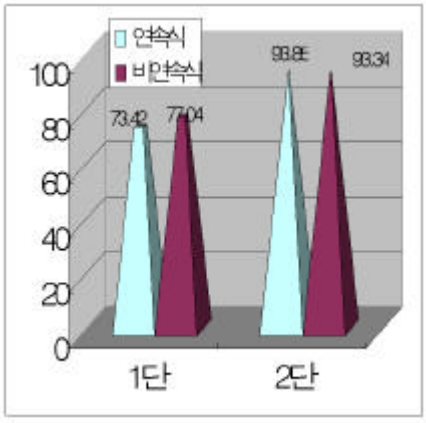
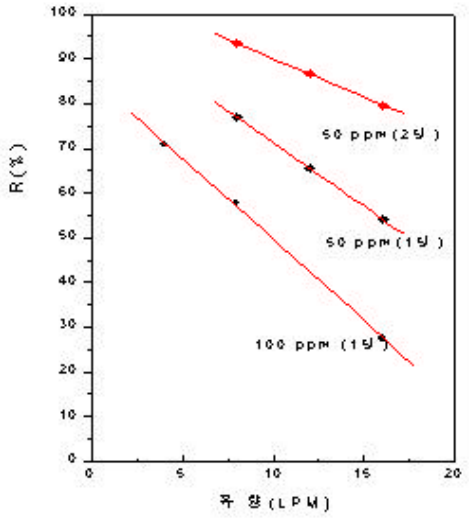


그림 [5]. 과산화수소 주입방법에 따른 세제 분해율 측정

는 연속적 주입 방법이 실 공정에서 운전성에 유리하므로 상업용 폐액 처리설비에서 과산화 수소의 주입은 연속식방법을 채택·설계토록 반영해야 한다.

II-6-3. 폐액의 처리 유량에 따른 세제 분해율 측정 (처리방법 : One Pass Flow)



상기 실험에서 정해진 과산화수소의 주입 농도를 결정한 후, 혼합세제 농도의 두 경우(50 및 100 ppm)에 한하여 처리 유량의 변화에 따른 세제분해율을 측정하였다. 그림[6]에서 처럼, 처리 유량의 증가와 세제의 분해율은 역비례함을 볼 수가 있다. 즉, 처리 유량의 적을 수록 UV 반응기내에서 폐액의 체류시간이 길어지게 되며, 아울러 폐액내의 세제가 과산화수소에서 발생된 OH 라디칼과 더 많은 반응시간을 갖을 수 있기 때문이다. 혼합 세제가 50 ppm일 경우, 8 LPM의 처리 유량을 갖을 경우, 93 % 이상의 분해율을 보여준다.

· 측정 (처리방법 : One Pass Flow)

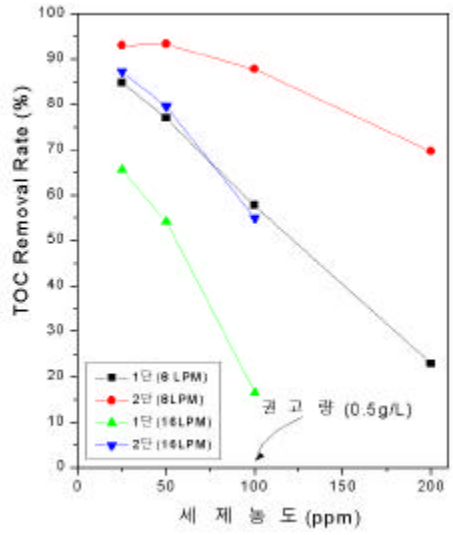


그림 [7]. 세제농도변화에 따른 세제분해율 측정

폐액에 투입되는 적정과수 농도를 1000 ppm 으로, 처리 유량을 8 또는 16 LPM으로 설정한 후, 폐액내의 세제 농도를 증가시켜 가며 세제의 분해율의 측정 결과를 그림[7]에 나타내었다. 폐액내 존재하는 세제의 농도가 증가할 수록 분해율은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 더우기, 본 실험의 결과에서 주목해야 할 부분은 사용된 전 세제 농도의 범위에서 8 LPM의 1단 결과와 16 LPM의 2단 결과가 분석오차 범위 내에서 동일한 분해율을 나타내고 있다는 점이다 (4개의 곡선 중 겹쳐지는 중앙의 두 곡선).

II-6-5. 과수 농도변화에 따른 세제분해율 측정 (재 순환 처리방법)

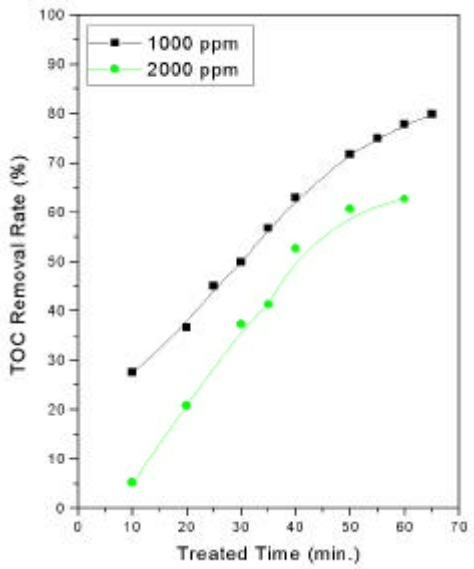


그림 [8]. 과수 농도변화에 따른 세제분해율 측정

One pass flow 처리방법의 경우에서 얻은 결과와의 비교 분석을 위하여 세제농도를 50 ppm, 처리유량을 16 LPM으로 고정시킨 후 주입 과산화수소의 농도를 1000, 2000 ppm으로 변화시켜가며 분해율을 측정하였다. 과산화 수소의 주입은 일괄 주입형태를 택하였으며, 분석을 위한 시료의 채취는 일정시간이 지난 후 원수저장탱크에서 행하여졌다. 그림[9]는 처리시간에 따른 세제의 분해율을 TOC 제거율로 나타내고 있으며, 적정과산화수소의 주입농도는 One Pass Flow 방식에서 얻어진 결과(그림 4. 참조)에서 처럼 1000 ppm일 경우 최적의 분해율을 나타낸다.

II-6-6. 과산화수소 주입방법에 따른 세제 분해율 측정 (재 순환 처리방법)

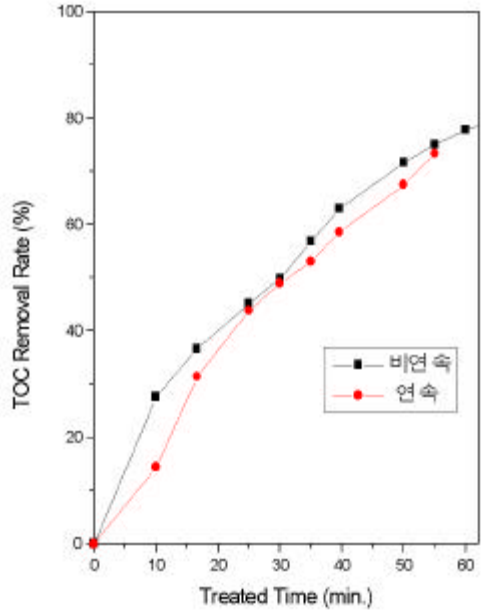
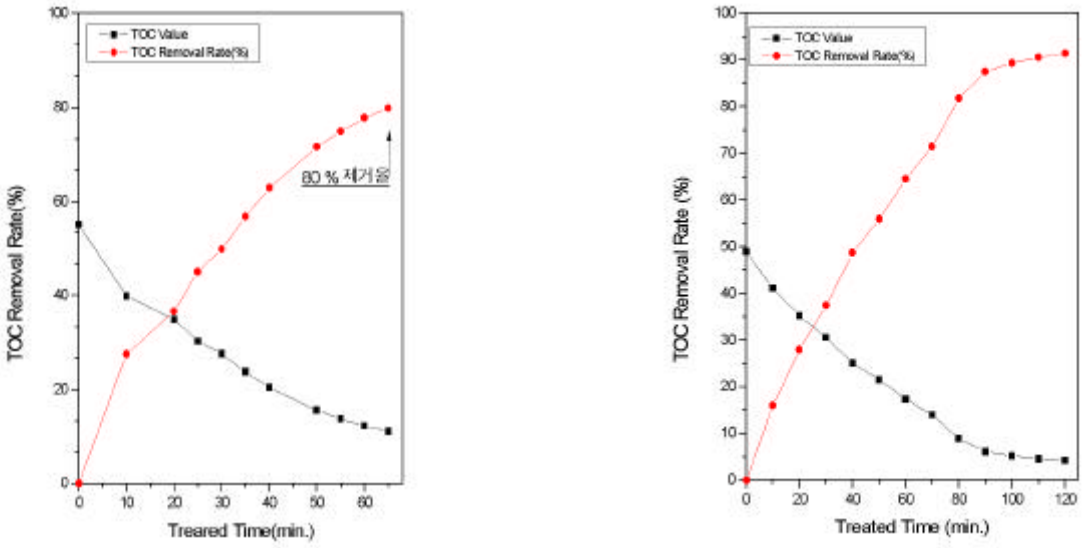


그림 [9]. 과수 주입방법에 따른 세제분해율 측정

일괄(비연속식) 주입방법과 연속식 주입방법에 따른 분해율의 비교결과를 그림[9]에 나타내었다. 두 방법의 경우 세제의 분해율은 실험 및 시료의 분석오차 범위내에서 동일한 분해율을 나타낸다. 본 실험결과에 따라, 상용설비의 설계시 과산화수소의 주입은 연속식을 택하는 편이 설비의 운전요건을 간편하게 할 수 있다. 본 실험은 50 ppm의 세제농도로 조제된 폐액을 1000 ppm의 과산화수소를 주입·희석하여 16 LPM의 처리유량으로 처리한 결과를 나타낸 것이다.

II-6-7. **폐액의 처리 유량에 따른 세제 분해율 측정 (재 순환 처리방법)**

상기 두 실험에서 얻어진 결과로부터, 일괄식 과산화수소의 주입방법을 선택하여 폐액 내의 초기 과산화수소의 농도를 1000 ppm 조절하였다. 그림[10]은 50 ppm의 세제농도를 포함하는 폐액을 재 순환모드로 처리했을 때의 결과를 나타낸다. 처리 유량을 8, 16 LPM 으로 나뉘어 수행된 실험결과의 비교시, 단위 시간동안에 처리된 폐액의 분해율은 처리 유량이 빠른 16 LPM의 경우 즉, 단위시간내 폐액이 반응기를 더 많이 통과할 경우 분해율의 증가를 보여준다. 실제로 폐액을 한시간 처리했을 경우, 처리 유량이 8 LPM인 경우 약 63%의 분해율을 보이는 반면, 처리유량을 16 LPM으로 증가했을 경우엔 약 80%의 분해율을 나타낸다.



처리유량 16 LPM (a)　　**처리유량** 8 LPM (b)

그림[10]. **폐액의 처리 유량에 따른 세제 분해율 측정**

상기 실험은 300 리터의 폐액을 재순환 모드의 처리 방법을 통하여 얻어진 결과로서 16 LPM의 유량으로 폐액을 1 시간 처리 할 경우 약 78%의 분해율을 얻을 수 있었던 반면(그림 10-a 참조), 동일 폐액량을 One pass flow 방식으로 처리할 경우 단 37.5분의 처리 시간이 소모됨을 알 수 있다(그림 7. 참조), 이와같이, 처리방법에 따른 처리시간 단축 결과의 해석은, 그림10의 두 그림에서 보는바와 같이, 처리단위 시간당 분해증감율이 일정하지 않은데서 비롯될 수가 있음을 짐작할 수가 있다. 그림 [10(b)]에서의 결과에서 보듯이 (8 LPM의 경우), 처리시간에 따른 분해율의 상승곡선에 두 개의 슬롭(slope)을 주목할 수가 있다. 즉 처리시간이 80분에 이를 때 까지는 거의 직선적인 분해율의 증가를 보이나, 그 이후의 처리 시간내에서의 분해율 증가는 매우 둔화된 점이다. 이러한 현상은

세제를 이루고 있는 여러 가지 성분 중 UV 광산화 반응으로 완전 분해시키기 어려운 유기물의 성분이 존재하고 있음을 암시한다.

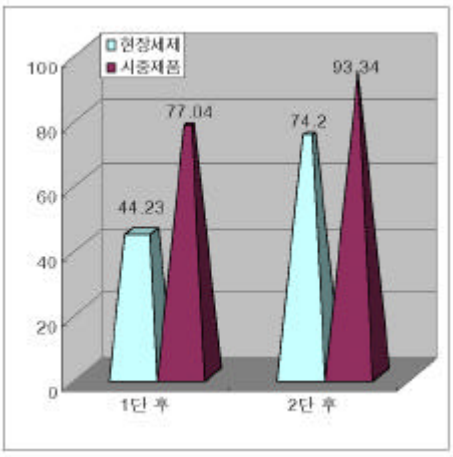
처리방법에 따른 이러한 결과는 상용화설비 설계시의 처리 방법은 연속식(One pass flow) 방식을 선택해야한다는 최종 결정을 가져올 수 있다.

처리 방법	최적 처리유량	최고 분해율/처리시간	참조
재 순환 모드	16 LPM	78 % / 1 hr.	- 그림 [10(a)]
One Pass Flow	8 LPM	77 % / 37.5 min	- 그림 [7] - 300L/8LPM = 37.5/min - UV 반응기 1회 통과시의 분해율 = 77.4%

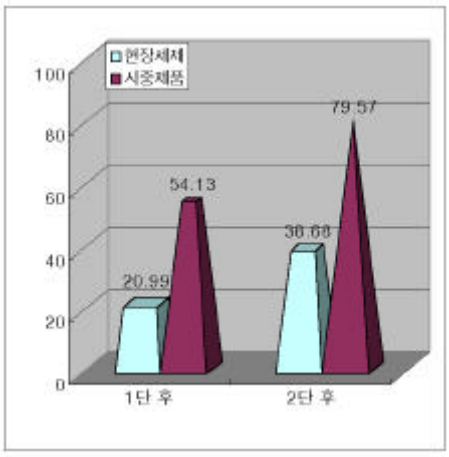
표[2]. 폐액처리 방법에 따른 세제분해율의 비교

II-6-8. 사용 세제 종류에 따른 세제 분해율의 측정

영광 2발전소 4호기에서 현재 사용 중인 통칭 무거품 세제와 시판 중인 PF 세제에 대하여 동일한 실험조건에서의 분해율을 비교하였다. 폐액의 세제농도는 각 제품의 사용 권고량의 1/2 배를 사용하였으며, 각 세제와 함께 첨가되는 섬유 유연제의 농도 또한 권고량의 1/2배를 사용하였다.



(a) 처리유량 8 LPM



(b) 처리유량 16 LPM

그림 [11]. 사용 세제 종류에 따른 세제 분해율의 측정

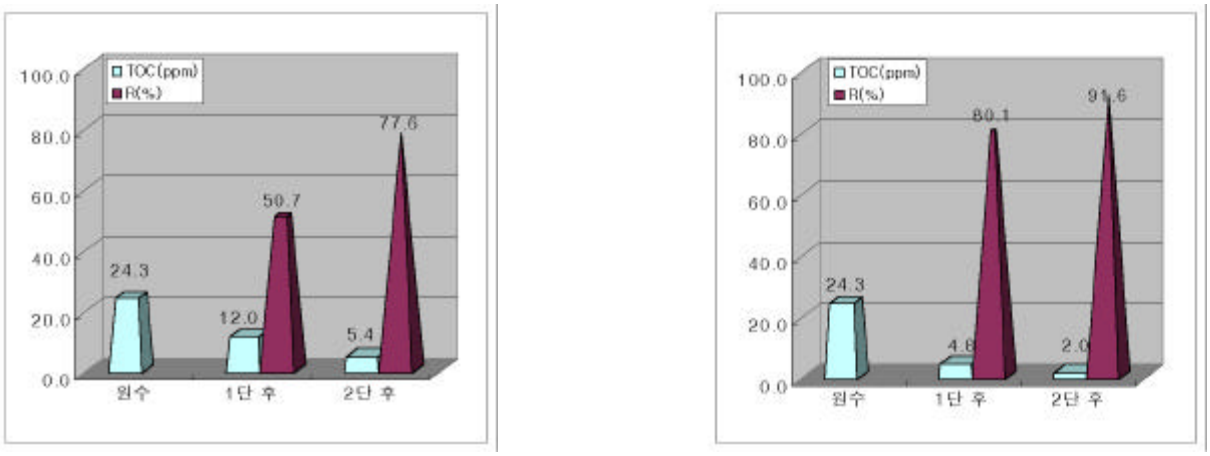
사용 권고량의 1/2배를 사용한 이유는, 세탁시 정량인 권고량을 첨가하여 세탁을 수행하지만 우리가 처리해야 하는 폐액의 총량은 2회의 헹굼에서 사용된 물의 양이 추가되므로 결국 처리해야 할 폐액의 세제 농도는 “세제권고량/3배의 물(1회 세탁 2회 헹굼)“ 이 된다. 하지만 본 실험에선 좀더 악 조건에서의 결과를 고찰하기 위하여, 세제 권고량의 1/2배를 사용하였으며, 1000 ppm의 과산화수소의 농도를 주입하였다. 처리 방법은 One Pass Flow 방법을 사용했다.

그림[11]의 (a), (b)는 각각 8, 16 LPM의 유량으로 폐액을 처리했을 때의 결과를 TOC 제거율로 나타내었다. 처리 유량에 관계없이 분해율은 현장 사용 무거품이 저조함을 볼 수가 있다. 각각의 폐액이 UV 반응기를 2회 통과하였을 경우 무거품세제의 분해율은 74.2 %에 반하여, 시판 제품은 93.34% 의 높은 제거율을 보이고 있다.

II-6-9. 실폐액 처리 최종 실험

현재 영광 제 2발전소 4호기에서 행해지는 방호복 및 방호용 신발의 세탁은 각각 25벌/회, 70컬레/회를 350 Liters 물에서 세척되고 있으며, 2회의 헹굼 작용으로 세탁을 마친다. 본 실험에서는 현장 실례와 동일한 조건을 만들기 위하여, 현장에서 사용되었던 작업자의 방호복 7벌과 20컬레의 방호용 신발을 세제가 포함되어있는 200리터의 물 속에 14시간 담금질을 한 폐액을 처리하여 보았다. 사용된 세제는 시판용 PF와 섬유 유연제 “샤프란” 였으며, 폐액내의 세제농도는 각각의 권고량을 사용하였다. 주입 과산화수소의 양은 전장의 모의폐액을 이용한 실험에서 얻어진 최적조건인 1000 ppm을 주입하였다.

그림[12]는 폐액이 8, 16 LPM 의 유량으로 UV 반응기를 1회 통과 후 그리고 2회 통과 후의 처리된 폐액의 시료를 분석한 결과를 TOC 농도와 TOC 제거율로 나타내고 있다.



(a) 처리유량 16 LPM (b) 처리유량 8 LPM

그림 [12]. 실폐액 처리 최종 실험결과

초기 폐액의 세제 농도는 24.3 ppm 으로서, 유량이 8 LPM일 경우, 1단 통과후의 분해율은 약 80%에 이르며, 2단 통과 후의 폐액의 분해율은 약 92%에 이른다. 처리유량이 16 LPM의 경우, 각각 51 %, 77%의 분해율의 결과를 나타낸다.
16 LPM의 유량으로 1회 통과된 폐액의 잔류 TOC 농도[그림12-a]가 12.0 ppm 에 해당하는 폐액의 시료는 100。C의 온도에서 기포를 형성하나, 2회 통과된 폐액의 시료는 전혀 기포가 발생되지 않았다. 이는 폐액내 존재하는 세제 중, 거품을 형성하는 계면활성제는 완전히 분해되었음을 의미한다. 15kW 램프가 장착된 반응기를 2회 통과하여 얻어진 본 실험의 결과를 반영할 경우, 실폐액을 처리하기위한 최종적인 상용설비의 설계는 적어도 30kW 이상의 출력을 갖는 UV 램프를 사용해야 한다는 최종결론을 낼 수 있다.

III. 결론

방사성세탁폐액내의 세제를 효과적으로 제거하기 위한 UV/과산화수소 광산화반응 공정의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.
폐액의 처리방법에 있어서, UV 반응기를 통과한 폐액을 원수탱크로 재 순환시켜 처리하는 방법보다는, 폐액을 연속적으로 UV 반응기를 통과시켜 처리하는 연속식방법에서 보다 효과적인 세제분해율을 도출할 수 있었으며, 과산화수소의 주입방법은 일괄투입(비 연속식)이거나, 연속식에 상관없이 동일한 분해율을 나타내고 있으나, 운전상의 편의점을 고려 할 때, 화학약품펌프를 이용한 연속식 주입방법이 효과적이었다.
또한 O/H기간 중의 일일 최대 발생폐액량인 19.4 ton을 처리하기 위한 설비는 최소한 1 ton/hr.의 용량을 갖는 30kW 이상의 UV램프 출력을 장착한 UV 반응기가 필요하다. 본 실험에 사용되었던 15kW급의 반응기를 상용화설비로 제작하여 8 LPM의 처리유량의 운전조건을 설정할 경우, 15kW 출력램프가 장착된 반응기를 두 대 설치하여, 병렬배열을 취하여 폐액을 처리해야하며, 16 LPM의 유량을 사용할 경우에는 동 반응기가 직열로 배열되어야 한다.
세제분해율을 더욱 향상시키기 위하여, 한 개의 반응기 당 15kW의 고출력의 램프 한개를 사용하는 것보다는 이와 상응하는 5kW 짜리 3개, 또는 3kW 짜리 5개를 원통형 반응기에 등간격으로 배열 할 경우, 폐액에 의한 UV 파장 흡수를 감소시킬 수 있어 보다 나은 분해율을 얻을 수 있다.
반면, UV램프의 장기간 사용에 따른 UV 광량의 감소는 경제적 측면에서 최대의 단점으로 대두되고 있으나 적절한 UV 램프의 선정으로 극복할 수 있으리라 사료된다. 실험중에 도출된 최적 공정 변수를 이용하여 수행되었던 고무적인 실폐액처리 결과는 폐액증발기를 통한 효과적인 방사성세탁폐액 처리의 가능성을 보여주고 있다.
UV/광산화 전처리공정에서 방사성세탁폐액내 함유되어있는 세제를 분해한 후, 주 처리공정인 폐액증발기로 이송·처리하게되는 UV광산화/증발기 결합공정은, 증발기내에서 발생될 수 있는 세제거품에 의한 기포발생, 동반유출 등의 문제를 억제할 수 있으므로, 폐액증발기 운전비용의 절감과 제염계수 및 설비수명을 크게 향상시키리라 기대된다.

참고문헌

1. J. Hoigne and H. Bader, *Water Research, 10 : 377(1976)*
2. Farhataziz and A. B. Ross, *Research Report PB263198, National Bureau of Standards, Washington, DC(1977)*
3. W. H. Glaze, J. W. Kang and D. H. *Chapin, Ozone Science and Eng., 9 : 335 (1987)*
4. G. R. Peyton et al., *Reserch Report 206, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign (1987)*
5. J. Staehelin, J. Hoigne, *Environ. Sci. Technol., 19 : 1206 (1985)*
6. Rajagopalan. Venkatari and Robert W. Peters, Hazardous waste & Hazardous Materials, Vol. 10, Nb. 2(1993)