

## Pulse UV 장치를 이용한 원유비축시설 발생폐수의 난분해성 유기오염물질 제거

### Removal of Non-biodegradable Organic Contaminants in Wastewater from crude oil reserve base Using Pulse UV System

손진식<sup>1</sup> · 박순호<sup>2</sup> · 정의택<sup>1\*</sup>

Jinsik Sohn<sup>1</sup> · Soonho Park<sup>2</sup> · Euitaek Jung<sup>1\*</sup>

1 국민대학교 공과대학 건설시스템공학과, 2 그린엔텍(주)

(2011년 6월7일 접수; 2011년 12월2일 수정; 2011년 12월8일 채택)

#### Abstract

Wastewater from crude oil reserve base usually contains large amount of non-biodegradable contaminants. The conventional wastewater treatment progress can hardly meet the regulation of wastewater effluent quality. This study investigated the removal of non-biodegradable organic contaminants in wastewater from crude oil reserve base using a pulse UV treatment. The modified process incorporating pulse UV process was set up to treat the wastewater from crude oil reserve base. The treatment process is composed with coagulation and flocculation, micro-bubble flotation, sand filter, pulse UV system, and GAC filter. The results show CODMn was effectively removed by the process with pulse UV system and it can meet the wastewater effluent regulation. The single effect of pulse UV process in CODMn removal was not significant(9~15% based on sand filtered effluent), however with the subsequent activated carbon filter the removal ratio CODMn was increased up to 28% compared to the process without pulse UV system.

**Keyword :** Advanced Oxidation Process(AOP), Pulse UV System, Wastewater from crude oil reserve base, Non-Biodegradable Organic Contaminants

**주제어:** 고도산화공정, 펄스 UV 장치, 원유비축시설 발생폐수, 난분해성유기오염물질

#### 1. 서론

석유는 내연기관의 연료 뿐만 아니라 산업 및 가정용 에너지원으로서, 또한 석유화학공업의 기초원료로서 현대생활의 가장 중요한 기초에너지로 이용되고 있다. 일반적으로 원유비축시설 발생폐수에서 발생하는 오염물질은 주로 기름이며 원유의 채취 국가 및 장소에 따라 성상이 크게 달라진다. 원유는 모두 유조선을 통해 국내로 들어오게 되므로 대부분의 원유 저장 시설은 항구 근처의 바닷가에 위치하고 있어 자체적인 폐수 처리 시설을 통해 인근 바다나 하천으로 직접 방류하게 되어 있고 그 방류 수질기준도 환경

부와의 협의 기준을 따르게 되므로 일반 폐수처리장의 방류기준보다 까다로운 경우가 대부분이다. 원유 비축기지의 폐수는 물과 무기염류, 부유물질, 수용성 금속 등이 함유하고 있다(Afshin Pak et al., 2008). 그리고 mercaptans라는 물질로 인하여 악취가 발생하며, 이것은 석유 정제폐수 중의 포화되어 있는 탄화수소와 산성물의 반응에 의해 생성되는 것으로 알려져 있다(Choong H. Rhee, 1995). 이 폐수는 원유 비축시설에서 저장하던 원유를 반출할 때 발생하게 되며 별도의 폐수 저장조에 저류한 후 처리하게 된다. 최근 고유가로 인한 원유 수입선 다변화로 수입되는 원유의 유종도 다양해졌으며 이에 따라 원유 비축시설에

\* Corresponding author Tel:+82-2-910-5060, Fax: +82-2-910-8597, E-mail: etjung@kookmin.ac.kr(Tung, ET)

서 발생하는 폐수의 성상도 크게 달라져 기존 설치된 폐수처리시설로는 처리가 어려운 사례들이 발생하고 있어 새로운 폐수처리공정의 도입 필요성이 높아지고 있다(기문봉 등 1997).

일반적으로 난분해성 물질을 제거하는 방법으로는 응집침전, 가압부상, 모래여과, 활성탄흡착, 역삼투막 분리, 전기투석 등과 같은 물리화학적처리와 펜톤산화, 오존산화 등과 같은 고급산화법이 사용되고 있다(Goulin Jing et al., 2009, H.H. Sokker et al., 2011; Schneider, E.E et al., 2011). OH 라디칼의 높은 산화력을 이용하는 고도산화처리기술(advanced oxidation process, AOP)은 오존, 자외선 처리를 기반으로 한 다양한 방법이 제시되고 있으며 수중의 유기오염물질을 와 로 분해하기 때문에, 2차 오염을 유발하지 않으면서 난분해성 물질을 처리할 수 있는 장점이 있다(김성준 등, 2010; 조일형 등, 2003; Glaze and Kang, 1988).

이 중 자외선을 이용한 고도산화방법은 현재 자외선 소독에는 저압램프와 중압램프가 일반적으로 사용되고 있다. 저압 수은램프의 경우 자외선 발생 효율이 높기는 하나 254nm 파장에 국한되어 있으며 출력이 낮아(120~380W), 폐수의 고도 산화 공정에 사용할 경우 많은 수의 램프를 설치하여야 하는 단점이 있다. 중압 수은램프의 경우는 수은 기체의 UV 재흡수 현상에 의해 고도산화에 사용되는 Ultraviolet-C(UVC)의 180~280nm 발생효율이 크게 저하되는 단점이 있다. 또한 램프의 표면온도가 고온(600~800℃)으로 다량의 냉각수를 공급해야 하고 램프의 수명시간이 짧아 유지관리 비용이 증가한다(조민 등, 2004; 환경부, 2008; Karl G. Linden et al., 2009).

Pulse 램프는 전기에너지를 모아 짧은 시간에 수 MW의 강한 순간 출력을 냄으로써 유효투과 거리가 길고 UVC를 효과적으로 발생시키며 램프당 처리 용량이 크며 200~320nm의 빛을 충분히 낼수 있다(안영석 등, 2009). 이러한 Pulse 램프의 장점은 고도산화 공정에 적합할 것으로 판단된다. 또한 이 pulse 램프는 Xenon이나 Krypton 기체가 충전되어 있어 UV의 재흡수 현상이 없고, 비활성 기체를 사용함으로써 수은램프에 비해 친환경적이며 안전하다. 또한 순간적인 방전과 냉각이 동시에 이루어지므로 큰 출력에도 불구하고 별도의 냉각시스템이 필요하지 않다는 장점도 있다(Zuzana Bohrerova et al., 2008).

Pulse UV는 2000년대 들어와 연구가 본격적으로 수행되고 있고 현재까지 병원성 미생물에 대한 소독효과, 맛 냄새 유발물질인 2-MIB, Geosmin에 대한 제거효과, UV 조사강도 평가, 탁도에 의한 영향, Nitrate 분해, 미량유해물질의 분해효과 등에 관한 연구가 수행되어 왔다(정의택 등, 2011; Bohrerova et al., 2008, Liang et al., 2003; Mofidi et al., 2001).

본 연구에서는 Pulse UV 시스템을 이용한 고도산화공정을 이용하여 석유비축시설 발생폐수의 난분해성 물질에 대한 제거 효율을 고찰하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 대상폐수 특성

실험에 사용된 석유비축시설 발생폐수는 충청남도 소재의 석유비축시설에서 채취하였다. 폐수 성상은 Table 1과 같다.

Wastewater A는 이라크 지역에서 도입된 원유에서 나온 폐수로 기름 냄새가 심하고 해수가 포함되어 있다. Wastewater B는 앙골라 지역에서 도입된 원유에서 나온 폐수로 CODMn 값이 높고 공기에 노출되면 시간이 지남에 따라 CODMn 값이 상승한다(Fig 1). 박영규 등(1981)은 난분해성 유기오염물질이 다량 함유되어 있는 폐수는 시간 경과에 따른 수질의 변동이 크다고 보고한 바 있다. 이 현상은 폐수 처리 후에도 나타나 기존 공정 처리 후에도 잔류 CODMn가 높을 뿐만 아니라 시간

Table 1. Characteristics of crude oil stockpiling wastewater

Component	Items			Water Quality Standard(COD)
	COD <sub>Mn</sub>	pH	Temperature	
Wastewater A	170mg/L	6.8	20.6℃	15mg/L
Wastewater B	460mg/L	7.3	19.3℃	15mg/L

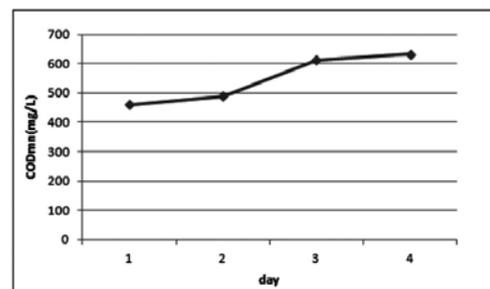


Fig 1. Variation of CODMn of Wastewater B over time exposed in the air

이 지남에 따라 처리수의 CODMn값이 다시 상승하며 변색, 플록 형성 등의 특이한 특징을 나타낸다.

### 2.2 실험장치

난분해성 폐수처리를 위해 본 연구에 적용된 lab scale 실험 장치는 Fig. 2에 도식화 하였다. 처리시스템은 응집·응결 및 부상분리조(Micro Bubble Flotation, MBF)에서 기름성분의 물질을 제거하고 모래여과로 부유물질을 제거한 뒤 pulse UV조사에 의한 유기물의 특성 변화를 유도하여 활성탄 흡착공정의 최종처리와 색도 등의 흡착효과를 높일 수 있도록 구성하였다. 응집·응결조에서는 pH조절과 플록 형성을 위해 NaOH, alum, polymer를 사용하였다. Pulse UV 장치는 강력한 산화력을 가진 OH 라디칼을 발생시켜 물

속에 용존된 유기물을 이산화탄소와 물로 완전히 산화하여 처리한다(Elovitz, M.S, 2008).

실험은 pulse UV에 의한 난분해성 유기오염물질 제거효과를 고찰하기 위하여, 위의 처리장치에서 pulse UV 공정을 적용한 경우와 적용하지 않은 공정 등 두 가지 경우에 대하여 비교실험을 수행하였다. 실험에 사용된 폐수가 발생하는 석유비축시설에서 기존에 적용하고 있던 공정인 pulse UV 미적용 공정은 응집·응결 공정, 부상분리조, 모래여과, 활성탄 흡착으로 이루어진 공정이다. 이를 Process 1으로 명명하고, pulse UV 적용공정은 응집·응결 반응조, 부상분리조, 모래여과, pulse UV장치, 활성탄 흡착으로 이루어진 공정으로 Process 2로 명명한다(Fig. 2).

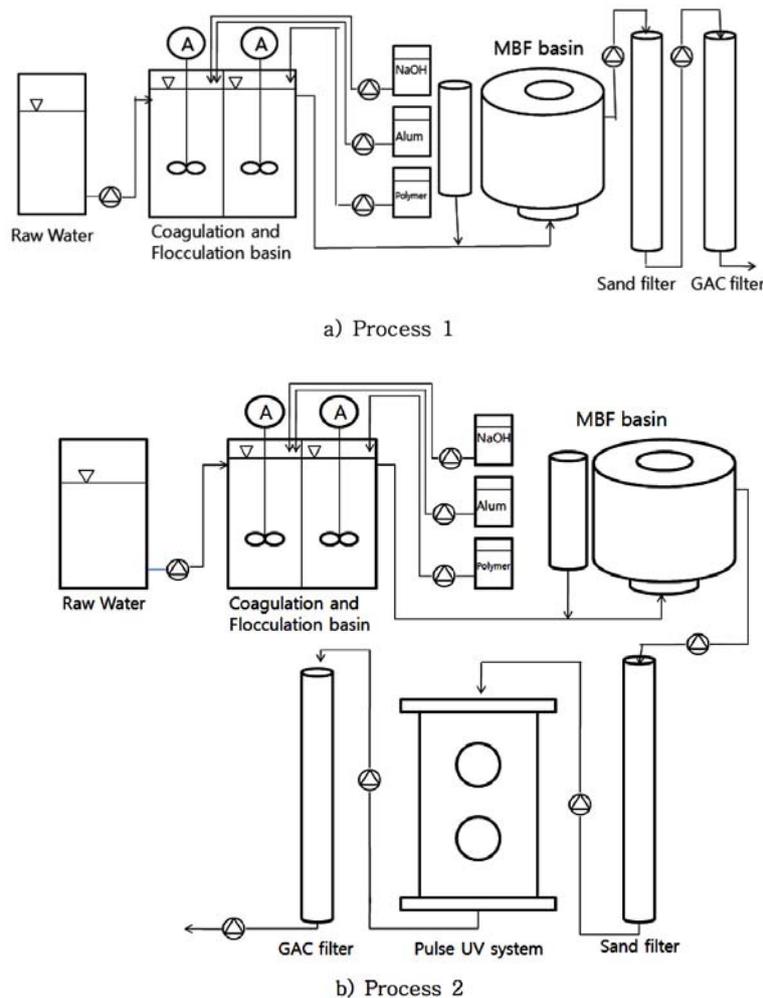


Fig. 2 Schematic diagrams of the lab scale continuous experiment system

### 2.3 실험방법

실험은 연속식으로 수행하였고, 처리용량은 6L/hr으로 하였다. 응집·응결 반응조에서 급속교반은 180~200rpm, 완속교반은 40~50rpm으로 하였고, 약품주입량은 Jar-test를 통해 최적의 약품 주입량을 산정하였는데 NaOH와 alum, polymer를 각각 10mg/L, 400mg/L, 100mg/L으로 산정하고 5mg/L/min씩 주입하였다. 가압부상조는 압력을 3.5~4atm으로 유지하여 미세기포를 발생시켰다. Pulse UV장치의 운전조건은 가동전압 2200V, 가동주기 1~3Hz, 램프의 조사강도 9.58mW/cm<sup>2</sup>, 체류시간은 3.3hr, 온도는 25~30℃에서 운영하였다.

### 2.4 분석항목 및 방법

석유저장시설 발생폐수 내 난분해성 물질 처리 효율은 COD<sub>Mn</sub> 제거 효율을 가지고 판단하였으며 수질 오염공정시험기준으로 분석을 수행하였다. 원수는 염소성분이 다량 함유되었기 때문에 알칼리법으로 분석했는데, COD<sub>Mn</sub> 알칼리법은 산성법에 비해 시간도 오래 걸리고 정확도도 약간 떨어진다고 알려져 있지만 해수 성분이 포함되어 있거나 염소 성분이 다량 함유 되었을 때 적합한 방법이다(환경부, 2000).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Pulse UV 미적용 공정(Process 1)에 의한 COD<sub>Mn</sub> 처리 효율

Fig. 3은 Process 1에 의한 wastewater A의 처리효과를 나타낸 것이다. 부상분리조(MBF)에서의 처리수의 COD<sub>Mn</sub>농도는 80mg/L로 처리효율은 유입수 농도 대비 53%가 제거되었고, 모래여과(SF) 처리수에서는 75mg/L로 56%가 제거되었다. 최종처리수(A/C)의 COD<sub>Mn</sub>농도는 54mg/L로 68%의 제거율을 보였다.

Fig. 4는 Process 1에 의한 Wastewater B의 처리효과를 나타낸 것이다. 부상분리조(MBF) 처리수는 530mg/L에서 201mg/L까지 떨어져 처리효율은 62%이었고, 모래여과(SF) 처리수는 156mg/L로 71%가 제거되었다. 최종처리수(A/C)의 COD<sub>Mn</sub>농도는 83mg/L로 84%의 제거율을 보였다.

공정별 처리효율은 Wastewater A와 Wastewater B 모두 부상분리조(MBF)에서의 유기물 제거효과가 가장 크게 나타났고, 다음으로 활성탄(A/C)이었으며,

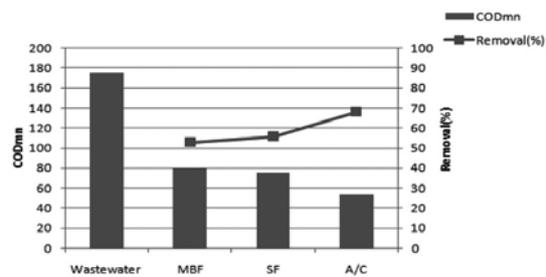


Fig. 3 COD<sub>Mn</sub> and variation removal efficiencies for wastewater A in process 1

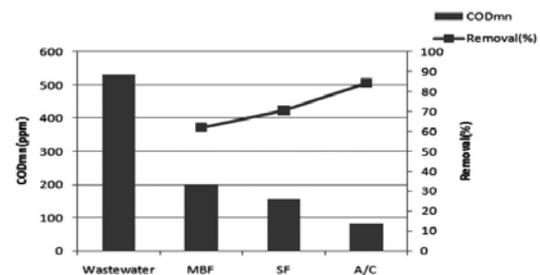


Fig. 4 COD<sub>Mn</sub> and variation removal efficiencies for wastewater B in process 1

모래여과는 처리효과가 크지 않았다. 일반적으로 모래여과는 부유물질이나 콜로이드의 제거에는 효과적이거나 용존성 유기물의 제거에는 효과적이지 못하기 때문에 이러한 결과는 타당하다고 판단된다.(wu Linlin et al,2011)

Pulse UV 미적용공정에 의한 Wastewater A와 Wastewater B의 폐수처리결과 최종 처리수(방류수) 수질이 각각 54mg/L과 82mg/L으로 나타나, COD<sub>Mn</sub> 방류기준인 40mg/L보다 높은 결과가 나왔다.

### 3.2 Pulse UV 적용공정(Process 2)에 의한 COD<sub>Mn</sub> 처리 효율

Fig. 5는 Process 2에 의한 Wastewater A 처리효과를 나타내었다. 유입수의 COD<sub>Mn</sub>농도는 170mg/L이었고, 부상분리조(MBF)에서의 처리수 COD<sub>Mn</sub>농도는 70mg/L로 유입수 농도대비 처리효율은 59%, 모래여과(SF) 처리수에서는 67mg/L로 60%가 제거되었다.

Pulse UV장치의 처리수는 59mg/L로 65%가 제거되었고, 최종처리수(A/C)의 COD<sub>Mn</sub>농도는 7mg/L로 96%의 제거율을 나타내었다.

Fig. 6은 process 2에 대한 Wastewater B의 처리효과를 보여주고 있다. Wastewater B의 원수 COD<sub>Mn</sub> 농도는 460mg/L으로 부상분리조(MBF) 처리시 농도는 190mg/L으로 떨어져 59%의 제거효율이 나타났다. 모래여과(SF)를 거친 처리수의 COD<sub>Mn</sub> 농도는 152mg/L으로 67%의 처리효율이 나타났다. Pulse UV장치에서는 129mg/L으로 농도가 떨어져 제거율이 71%이었으며, 최종처리수(A/C)에서는 13mg/L으로 97%의 높은 제거효율이 나타났다.

### 3.3 처리 효율비교

Pulse UV 미적용 공정인 Process 1에 의한 Wastewater A의 난분해성 물질 제거율 68%에 비해, pulse UV가 적용된 Process 2에서는 제거율 96%로 28%의 처리효율이 향상되었다. Wastewater B의 경우 Process 1에 의한 제거율은 84%, Process 2에 의한 제거율은 97%로 13%의 처리효율이 향상되었다(Fig. 7).

Pulse UV에 의한 직접적인 유기물 제거율은 모래여과 처리수 대비 9%(wastewater A)에서 15%(wastewater B)로 다른 공정에 비해 낮은 수준을 보이고 있으나, 후속공정인 활성탄 여과기(A/C)에 의한 처리효율을 최대 28%까지 크게 증가시키고 있다. 이러한 사실은 UV 조사만으로는 난분해성 유기물질을 직접적으로 분해하기에 한계가 있으나, UV 조사에 의해 유기물의 특성의 변화(작은 분자량을 갖는 물질로 변화)로 인하여 후속공정인 활성탄의 흡착효과를 증가 시킨 것으로 판단된다. 유기물의 분자량 분석 등 유기물 특성에 대한 후속적 연구가 필요하다.

### 3.4 처리수의 시간 경과 후 COD<sub>Mn</sub> 변화 비교

Fig. 8은 각각 Process 1에 의해 처리된 Wastewater A와 Wastewater B의 최종 처리수에 대해 시간경과에 따른 COD<sub>Mn</sub> 변화를 나타낸 것이다. Wastewater A의 최종처리수의 수질은 처리 직후 54mg/L이었으나, 하루가 경과한 후의 COD<sub>Mn</sub>은 98mg/L으로 약 1.8배가 증가하였다. Wastewater B의 최종처리수의 COD<sub>Mn</sub>은 처리직후 83mg/L이었으나, 하루가 경과한 후의 COD<sub>Mn</sub>은 190mg/L으로 2.3배가 증가했다. 원유 저장 시설에서 발생하는 폐수 중에 포함된 유기물은 저장 탱크에서 원유와 접촉한 면을 통해 폐수 중에 용해된 것이라고 예상할 수 있다. 이 폐수는 저장 탱크에서 원유 아래층에 위치하므로 공기와의 접촉이 거의 차

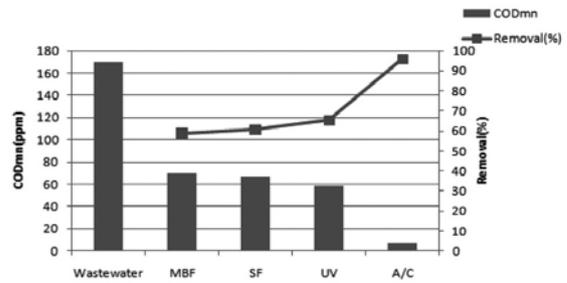


Fig. 5 COD<sub>Mn</sub> and variation removal efficiencies for wastewater A in process 2(incorporating pulse UV process)

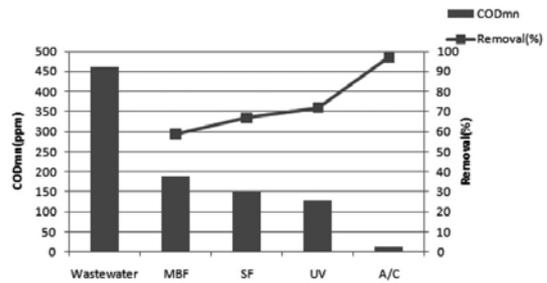


Fig. 6 COD<sub>Mn</sub> and variation removal efficiencies for wastewater B in process 2(incorporating pulse UV process)

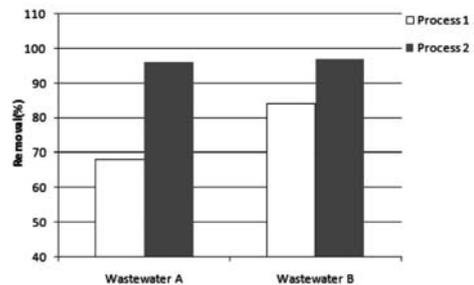


Fig. 7 Comparison of final effluent of process 1 and 2

단된 상태로 저장 시설에 보관되어 있다가 원유의 방출 시점에 폐수 저장조로 유입된다. 식품 중에 포함된 유지 성분이 공기 중의 산소에 의해 산화되어 알데히드류, 케톤류, 저급 지방산 등으로 분해되는 것처럼 이 공기 중에 노출된 폐수 중에 포함된 유기물인 기름 성분도 이와 유사한 반응을 거치는 것으로 보인다. 즉 산화 반응 전의 일부 기름 성분이 COD<sub>Mn</sub>으로 검출되지 않다가 산화반응이 진행됨에 따라 상대적으로 분자량이 적은 산화생성물로 전환되어 COD<sub>Mn</sub>으로 검출됨으로써 보관된 원폐수와 처리수 COD<sub>Mn</sub> 값이 시간이 경과함에 따라 상승하는 현상을 나타낸

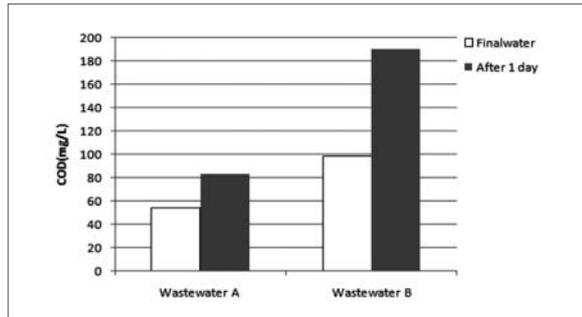


Fig. 8 Increase of COD<sub>Mn</sub> of wastewater A and B in process 1 over time

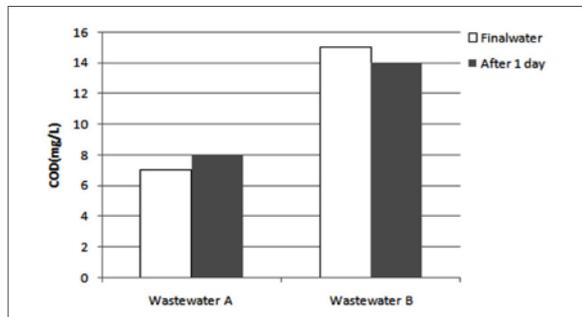


Fig. 9 Increase of COD<sub>Mn</sub> of wastewater A and B in process 2 over time

것으로 추측된다. 이 현상은 원폐수에 과산화수소를 투입하는 방법을 통해서도 확인할 수 있다. 상대적으로 빠른 산화반응을 일으키는 과산화수소를 투입하게 되면 산화반응이 급속하게 진행되어 1~2일 정도 걸리던 COD<sub>Mn</sub> 증가 현상이 단 10분 전후로 단축되어 일어나는 결과를 통해서도 확인되었다.

Process 2에 의한 Wastewater A와 Wastewater B의 최종처리수는 처리직후와 24시간 경과 후에도 COD<sub>Mn</sub>에 변화가 거의 없었다(Fig. 9). Pulse UV에 의한 산화과정은 산소와의 산화 반응과 유사한 기작이며 더 빠른 속도로 폐수 중의 oil 성분을 산화시켜 제거함으로써 이러한 현상을 사전에 방지한 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 Pulse UV 장치를 이용한 산화공정을 이용하여 석유저장시설 발생폐수의 난분해성 유기오염물질에 대한 제거 효율을 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. Pulse UV 미적용공정에 의한 2가지 폐수에 대한 처리결과 최종 처리수(방류수) 수질이 각각 54mg/L과 82mg/L으로 나타났으며, pulse UV 적용공정의 경우 처리수질이 각각 7mg/L과 13mg/L으로 나타나, pulse UV 공정적용으로 방류수의 최종수질이 크게 개선되었다.

2. COD<sub>Mn</sub>의 공정별 처리효율은 실험에 사용된 두 가지 폐수 모두 부상분리조(MBF)에서의 유기물 제거 효과가 가장 크게 나타났고, 다음으로 활성탄(A/C)이었으며, 모래여과는 처리효과가 크지 않았다. 일반적으로 모래여과는 부유물질이나 콜로이드의 제거에는 효과적이거나 용존성 유기물의 제거에는 효과적이지 못하기 때문에 이러한 결과는 타당하다고 판단된다.

3. Pulse UV 적용공정의 경우 최종처리수의 COD<sub>Mn</sub> 처리효율은 각각 96%와 97%로 두 가지 시료 모두 매우 높게 나타났으며, pulse UV 미적용공정(각각 68%, 84%)과 비교하여 최대 28%의 처리효율 개선이 이루어졌다.

4. Pulse UV에 의한 직접적인 유기물 제거율은 모래여과 처리수 대비 9%(wastewater A)에서 15%(wastewater B)로 다른 공정에 비해 상대적으로 낮은 수준을 보이고 있으나, 후속공정인 활성탄 여과기(A/C)에 의한 처리효율을 최대 28%까지 개선시켰으며 기존 공정에서 최종 처리 후에도 COD<sub>Mn</sub>값이 시간이 지남에 따라 상승하는 문제도 해결하였다.

본 연구결과 난분해성 유기물질의 제거에 pulse UV 처리가 효율적으로 적용될 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 고농도 원유폐수의 경우 pulse UV 공정만으로는 직접적인 난분해성 유기물질의 분해는 한계가 있어, 향후 오존공정 또는 과산화수소 등을 활용한 연구가 수행될 필요가 있다. 또한 UV 조사에 의해 후속공정인 활성탄의 흡착효과 증가와 유기물의 안정화 등을 규명하기 위하여 유기물 분자량 분포, 친수성 분석 등 유기물특성분석에 대한 후속적 연구가 요구된다.

#### 사 사

본 연구는 환경부 '글로벌 탑 환경기술개발사업'으로 지원받은 과제임(과제번호: GT-11-B-02-002-5)

## 참고문헌

- 기문봉, 김남주, 이시진 (1997) 산업폐수처리, 도서출판 동화기술, 서울
- 김성준, 김명희, 원찬희, 황정석, 이길용 (2010) 산업폐수 재이용을 위한 고급산화공정 시스템 연구, *한국물환경학회지* 26(4) pp. 580-584
- 박영규, 이철희, 이종달, 이무강, 조병락 (1981) 대규모 염색공업 단지의 폐수의 종합처리에 관하여, *환경연구(영남대학교)*, 1, pp. 24-34
- 안영석, 양동진, 채선하, 임재립, 이경혁 (2009) 펄스 UV 램프를 이용한 미생물 소독 및 2-MIB 제거 특성, *상하수도학회지*, 23(1) pp. 69-75
- 정의택, 손진식, 박순호, 경규선 (2011) Pulse UV 장치를 이용한 이취미 유발물질의 제거, *대한상하수도학회 · 한국물환경학회 추계학술발표회 논문요약집*, pp. 741-742
- 조민, 김지연, 윤제용 (2004) UV조사(Ultraviolet Irradiation)에 의한 미생물의 불활성화, *첨단환경기술* 12(2) pp. 5-12
- 조일형, 박재홍, 김영규, 이홍근 (2003) 반응표현 분석법을 이용한 염색폐수의 광촉매 산화처리 조건의 최적화, *한국물환경학회지* 19(3) pp. 257-270
- 환경부 (2008) 고출력 펄스 UV 시스템을 기반으로 한 정수장 소독 plant의 실증 사업화, 그린엔텍(주)
- 환경부 (2000) 수질오염공정시험방법 pp. 158-159
- Afshin Pak, Toraj Mohammadi (2008) Wastewater treatment of desalting units, *Desalination* 222 pp. 249-254
- Alex Wekhof (1991) Treatment of Contaminated Water, Air and Soil With UV Flashlamps, *Environmental Progress* 10(4) pp. 241-247
- Bohrerova, Z., Shemer, H., Lantis, B., Impellitteri, C., Linden, K.G. (2008) Comparative Disinfection Efficiency of Pulsed and Continuous Wave UV Irradiation Technologies, *Water Research*, 42(12) pp. 2975-2982
- Elovitz, M.S.a, Shemer, H.b, Peller, J.R.c, Vinodgopal, K.c, Sivaganesan, M.a, Linden, K.G. (2008) Hydroxyl radical rate constants: Comparing UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and pulse radiolysis for environmental pollutants, *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 57(6) pp. 391-401
- Choong H. Rhee (1995) Control of Malodorous Toxic Organic Compounds In Petroleum Refineries In The U.S., *Journal of Korea Technological Society of Water and Waste Water Treatment*, 3(3) pp. 15-31
- Glaze, W. H. and Kang, J. W. (1988). Advanced oxidation processes for treating groundwater contaminated TCE and PCE : Laboratory studies. *J. Am. Water Works Assoc.*, 80(5), pp 57-63
- Goulin Jing, Xiaoyu Wang, Hai Zhao (2009) Study on TDS removal from polymer-flooding wastewater in crude oil: extraction by electrodialysis, *Desalination* 244 pp. 90-96
- H.H. Sokker, Naeem M. El-sawy, M.A. Hassan, Bahgat E. El-Anadouli (2011) Adsorption of crude oil from aqueous by hydrogel of chitosan based polyacrylamide prepared by radiation induced graft polymerization, *Journal of Hazardous Materials* 190 pp. 359-365
- Karl G. Linden, Gwyam Shin, Jungkeun Lee, Karl Scheible, Chengyue Shen, Phllis Posy (2009) Demonstrating 4-log adenovirus inactivation in a medium-pressure UV disinfection reactor, *JAWWA* 101(3) pp. 90-99
- Kimberly Roy (1990) Series on UV/oxidation technologies, *Hazmat World* 6, n.6, n.7 and n.8.
- Liang, S., Min, J.H., Davis M.K., Green, J.F., Remer, D.S. (2003) Use of pulsed-UV processes to destroy NDMA, *JAWWA*, 95(9) pp. 121-131
- Mofidi, A.A., Baribeau, H., Rochelle, P. A., Ricardo de Leon, Coffey B.M., Green, J.F. (2009) Disinfection of *Cryptosporidium parvum* with polychromatic UV light, *JAWWA*, 93(6) pp. 95-109
- Schneider, E.E.a, Cerqueira, A.C.F.P.b, Dezotti, M.a (2011) MBBR evaluation for oil refinery wastewater treatment, with post-ozonation and BAC, for wastewater reuse, *Water Science and Technology*, 65(1) pp. 143-148
- Wu Linlin, Zhao Xuan, Zang Meng(2011) Removal of dissolved organic matter in municipal effluent with ozonation, slow sand filtration and nano filtration as high quality pre-treatment option for artificial groundwater recharge, *Chemosphere* 83(5) pp.693-699
- Zuzana Bohrerova, Hilla Shemer, Robert Lantis, Christopher A, Impellitteri, Karl G. Linden (2008) Comparative Disinfection efficiency of pulsed and continuous-wave UV irradiation technologies, *Water Research* 42 pp. 2975-2982