

DAF와 혼화응집공정을 이용한 현탁성 고형물 함유 유류 오염 지하수 처리

Treatment of Contaminated Groundwater Containing Petroleum and Suspended Solids Using DAF and Mixed Coagulation Processes

이 채 영[†] · 장 영 수¹⁾

Lee, Chaeyoung · Jang, Yeongsu

ABSTRACT : Contamination of soil and groundwater by the compounds of hydrocarbon petroleum has been widely accepted as the main cause that harms the environments and health. To remove those pollutants, absorbing clothes, activated carbons, or oil-water separation devices with the gravity method are employed for treatment. However, those materials and devices cannot remove the emulsion pollutants despite of their efficiency for removing free products. Therefore, we investigated the problems which occur during the groundwater treatment for the highly concentrated suspended solid particles, which can be resulted from excavation, and to propose methods to remove TPH(Total Petroleum Hydrocarbon). After coagulation experiment with high molecular polymers, the concentration of SS(Suspended Solids) and COD(Chemical Oxygen Demand) turned to satisfy the groundwater quality criteria within 5 minutes while the concentration of TPH failed to meet the water quality standard of effluent. Consequently, the water quality criteria for effluent could not be met by single DAF(Dissolved Air Flotation) process. However all water quality criteria could be satisfied after 20 minutes when coagulation reactions are carried out simultaneously in the DAF reactor.

Keywords : Groundwater contamination, Petroleum hydrocarbon, Suspended solids, Dissolved air flotation, Coagulation

요 지 : 석유계 탄화수소 화합물로 인한 토양과 지하수 오염은 환경과 건강에 영향을 미치는 주된 원인으로 제기되어 왔다. 이러한 오염물질들은 흡착포, 활성탄 또는 중력 방식의 유수분리 장치 등을 이용하여 처리하고 있다. 하지만 이러한 경우 자유상 유류(free product)로 존재하는 경우에는 효과적이나 에멀전 상태의 유류는 제거할 수 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 굴착시 예상되는 지하수의 고농도 현탁성 고형물로 인한 지하수 처리시 문제점과 TPH(Total Petroleum Hydrocarbon)를 어떻게 효율적으로 제거할 수 있는지 방안을 제시하고자 한다. 고분자 폴리머를 사용하여 혼화 응집 실험을 수행한 결과 5분 이내에 SS(Suspended Solids)와 COD(Chemical Oxygen Demand) 농도가 지하수 수질 기준을 만족하는 것을 나타냈으나, TPH 농도는 방류수 수질 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. DAF(Dissolved Air Flotation) 실험 결과 단일 DAF 공정으로는 방류수 수질 기준을 만족하지는 못하였다. 단일 DAF 반응조를 이용하여 DAF와 혼화 응집 반응을 동시에 수행하는 경우 20분에 모든 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

주요어 : 지하수 오염, 석유계 탄화수소, 현탁성 고형물, 용존공기부상법, 응집

1. 서 론

석유계 탄화수소 화합물로 인한 토양과 지하수 오염은 환경과 건강에 영향을 미치는 주된 원인으로 제기되어 왔다. 그 결과 오염된 지하수 및 토양의 복원을 위한 획기적이고 안전한 기술개발에 대한 관심이 증가되고 있다(Whang 등, 2008). 지하수의 주요 오염물질은 석유계 총 탄화수소(Total Petroleum Hydrocarbon, TPH), 벤젠(benzene), 톨루엔(toluene), 에틸벤젠(ethylbenzene) 및 자일렌(xylene) 등의 BTEX, 염소계 지방족 탄화수소(Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons, CAHs) 등으로 구성되어 있다. 대부분의 유류오염물질은 지중 내 저밀도 비수용성 물질(Light Non Aqueous Phase Liquid, LNAPL)

상에 고농도로 존재하고 있는 것으로 알려져 있다(Yin 등, 1999). 저밀도 석유계 생산물(e.g., 가솔린, 디젤연료)은 세계 도처에서 흔히 사용되고 있고 또한 지하수 오염물로 광범위하게 퍼져있다(Van Stempvoort 등, 2002). 이러한 복합 유류오염물질 중에 TPH는 낮은 용해도를 가지고 주로 LNAPL 상에 고농도로 존재한다고 판단할 수 있어 유수분리 장치를 이용하여 처리되고 있다. 그러나 중력 방식의 유수분리 장치는 유류가 자유상 유류(free product)로 존재하는 경우에 효과적이나 에멀전 상태의 유류에는 제거할 수 없는 것으로 알려져 있다(김인수 등, 1993). 이에 반하여 DAF(Dissolved Air Flotation) 장치는 고형물 제거에 효과적일 뿐 아니라 공기방울을 이용하여 기름을 부착한 후 응고시키는 기

† 정회원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : chaeyoung@suwon.ac.kr)

1) 비회원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

술로 에멀전 상태의 유류에 효과적인 것으로 알려져 있다 (Alther, 2008). 따라서 본 연구에서는 굴착시 예상되는 지하수의 고농도 현탁성 고형물로 인한 지하수 처리시 문제점과 TPH를 효율적으로 제거할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 지하수 시료채취

강원도 OO시 소재 부지에서 유류 오염도가 심한 곳을 선정하여 지하수를 채취하여 시료로 사용하였다. 시료채취 현장은 과거 주유소로 이용되었으며, 유류가 유출되어 토양과 지하수가 많이 오염된 지역이다. 지하수 시료채취는 기존의 굴착과정에서 테프론 베일러를 이용하여 채취하였다.

2.2 분석 방법

TPH(Total Petroleum Hydrocarbon) 분석을 위하여 지하수 시료 5mL에 무수황산나트륨 1g을 첨가하여 수분을 제거한 후 디클로로메탄 5mL를 주입하였다. 그리고 교반기를 이용하여 120rpm에서 12시간 동안 교반 후 추출된 시료를 농축하고 GC/FID(Agilent 7890A)를 이용하여 분석하였다. 컬럼은 HP-5(30m×0.32mm I.D., 25µm df, Agilent Technologies)를 사용하였으며 GC 오븐 온도는 50°C(3min)에서 10°C/min로 프로그래밍하여 최종 온도가 310°C(10min)가 되게 운전하였다. GC의 injector와 detector 온도는 각각 280°C와 300°C로 고정하여 분석을 수행하였으며 운반기체로는 고순도 질소를 사용하였다. 철을 포함한 중금속은 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, Shimadzu ICP-7500)를 이용하여 분석하였다. COD(Chemical Oxygen Demand)는 closed reflux 방법에 따라 분석을 수행하였으며 과산화수소에 의한 영향은 Talinli 등(1992)의 방법을 이용하여 배제하였다. 기타 분석 방법은 standard methods(Eaton 등, 2005)에 준해 실험을 수행하였다.

2.3 실험 조건

2.3.1 응집 실험

현탁성 고형물, TPH 및 COD 등의 침강특성 및 제거효율을 평가하기 위하여 양이온 폴리머(Z-7530, (주)크린켄)와 철염(황화제일철)을 사용하여 실험을 실시하였다. 응집 실험 방법은 1L의 허드슨 자(jar)에 지하수 시료 1L를 채우고 응집제를 각각 0.5, 1, 2, 4, 8, 16mg/L의 농도로 주입하였다. 응집제 주입 후 Jar-tester를 사용하여 150rpm으로 5분 동안 급속교반, 50rpm으로 15분 동안 완속교반하여 시간대별로 시료를 채

취하여 COD와 SS를 측정하였다. 황화제일철의 경우 Georgiou 등(2003)이 제시한 방법에 따라 실험을 수행하였다.

2.3.2 DAF 실험

그림 1에 제시된 DAF 반응조를 이용하여 지하수에 존재하는 오염물질 제거능 평가를 수행하였다. DAF 반응조의 경우 가압조(Ø 100mm × H 300mm × T 5mm, STS304), 부상조(Ø 80mm × H 200mm × T 5mm, acrylic), 콤퓨레사(0.75KW)와 탈부착이 가능한 분사노즐(Ø 0.2mm, 0.4mm, 0.6mm)로 구성되어 있다. 분사노즐은 부상조 내부에 총 4개까지 장착이 가능하며 압력은 0~8atm 까지 조절이 가능하도록 제작하였다. 부상조는 상부가 탈부착이 가능하도록 제작하였다.

DAF 실험에서는 TPH 및 COD 제거능을 평가하였다. 또한 DAF와 혼화응집을 DAF 단일 반응조에서 동시에 수행하였다. 실험은 침사지를 거치지 않아 현탁성 고형물 농도가 높은 시료와 침사지를 거쳐 상대적으로 농도가 낮은 경우를 대상으로 구분하여 수행하였다. 최적의 분사노즐 크기에 대한 효과를 평가하기 위하여 압력을 2atm으로 고정하고 노즐 크기를 변화시켜 실험을 수행하였다. 선정된 최적의 노즐 크기에서 가압조의 압력을 2, 4, 6, 8atm으로 변화를 시켜서 DAF 실험을 수행하여 최적의 압력을 선정하였다.

3. 실험 결과 및 토의

3.1 지하수 특성

대상지역의 지하수 특성을 평가하기 위하여 채취한 시료의 수질분석을 수행하였다. 그 결과는 표 1에 제시되어 있다. 지하수의 주 오염물질은 표 1에 제시된 것과 같이 화학적 산소요구량(COD)과 석유계 총탄화수소(TPH)로 나타났으며 염소계화합물은 검출한계 미만으로 나타났다. 일반적인 지하수 시료와는 달리 현탁성 고형물(SS)의 농도가 높게

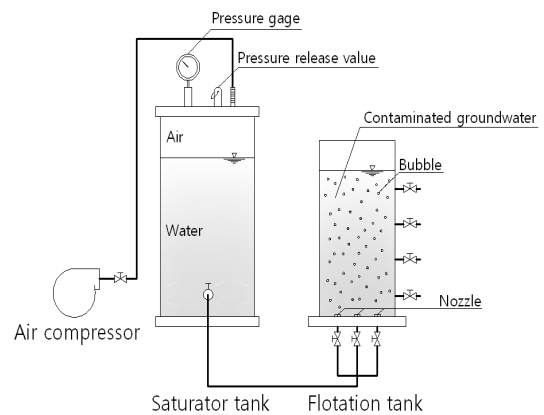


그림 1. DAF 반응조

표 1. 지하수 수질분석 결과

Parameter	Concentration		
	S1*	S2*	DL*
pH	6.5	6.9	-
ORP(mV)	-246.9	-333.7	-
Alkalinity	152	154	-
TSS	780.3	680.0	-
VSS	106.7	95.6	-
COD	175.3	180.5	-
TPH	16.1	18.9	-
TN	2.60	2.10	-
NH ₄ -N	0.8	0.6	0.01
1.1.1-TCE	N.D.	N.D.	0.001
PCE	N.D.	N.D.	0.001
TCE	N.D.	N.D.	0.001
Benzene	N.D.	N.D.	0.001
Toluene	N.D.	N.D.	0.001
Ethylbenzene	N.D.	N.D.	0.001
Xylene	N.D.	N.D.	0.001
Fe	7.9	8.3	0.05

* mg/L except for pH & ORP

DL: Detection Limit

N.D.: Not Detected

나타났다. 시료의 VSS/TSS 비는 약 0.14로 나타나 현탁성 고형물은 대부분 토사 유입에 기인하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 토양복원을 위한 굴착시 예상되는 지하수의 고농도 현탁성 고형물로 인한 지하수 처리시 문제점과 해결방안을 도출하기 위하여 채취한 지하수 시료를 고형

표 2. 지하수 시료에 포함된 고형물의 물리적 특성

Grain Size Distribution(%)							
No.4 (4.76mm)	No.10 (2.0mm)	No.16 (1.18mm)	No.40 (0.425mm)	No.60 (0.25mm)	No.100 (0.15mm)	No.200 (0.075mm)	No.200 이하
0	10.14	11.81	35.25	7.98	10.69	17.83	6.30
액성한계(%)		소성지수(%)		비중		흙의 성질	
45.36		24.88		2.65		SM	

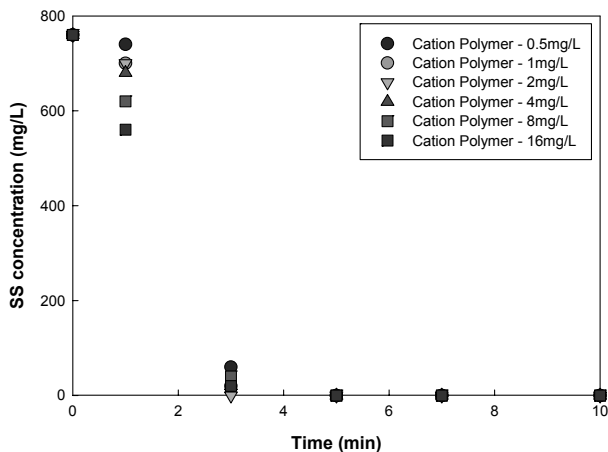


그림 2. 양이온 폴리머의 주입에 따른 SS 농도 변화

물이 높음에도 불구하고 실험대상 시료로 선정하였다. 지하수의 VSS/TSS 비는 상대적으로 낮으나 VSS 농도가 높게 나타나 산화제를 이용한 TPH 처리시 잠재적인 저해물질로 작용할 수 있는 것으로 판단된다.

3.2 지하수에 함유된 고형물 특성

지하수 시료에 포함된 고형물의 경우 체거름 실험, 액성 및 소성 실험과 비중 실험을 통하여 고형물의 물리적 특성을 평가하여 표 2에 나타내었다. 표 2에 제시된 것과 같이 0.425mm 입경 크기가 가장 많았고 통일분류법에 의하여 SM(Silty Sand), 즉 실트질의 모래로 모래와 실트의 혼합토인 것으로 나타났다.

3.3 응집 실험

응집 실험의 경우 Jar-tester를 이용하여 실험을 수행하였다. 지하수 시료는 굴착 배수의 경우를 고려하여 고농도의 현탁성 고형물이 함유되어 있는 경우를 대상으로 실험을 수행하였다. 응집 실험은 150rpm으로 5분 동안 급속교반, 50rpm으로 15분 동안 완속교반 하였고 반응 시간은 10분간 수행하였다.

3.3.1 고분자 응집제를 사용한 응집 실험 결과

응집제로 고분자 응집제인 양이온 폴리머(Z-7530)를 사용한 경우 고농도의 현탁성 고형물 함유에도 불구하고 그림

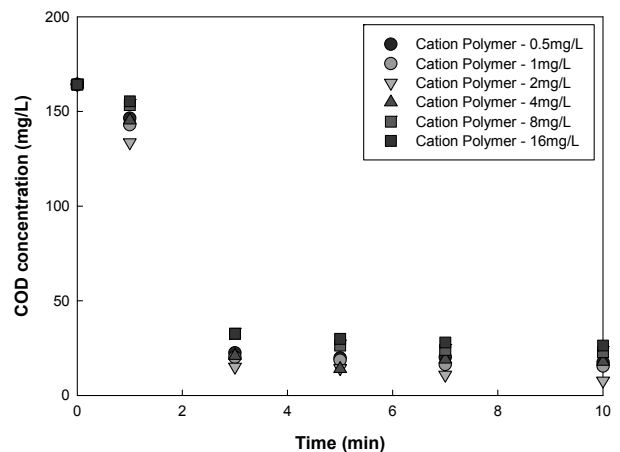


그림 3. 양이온 폴리머의 주입에 따른 COD 농도 변화

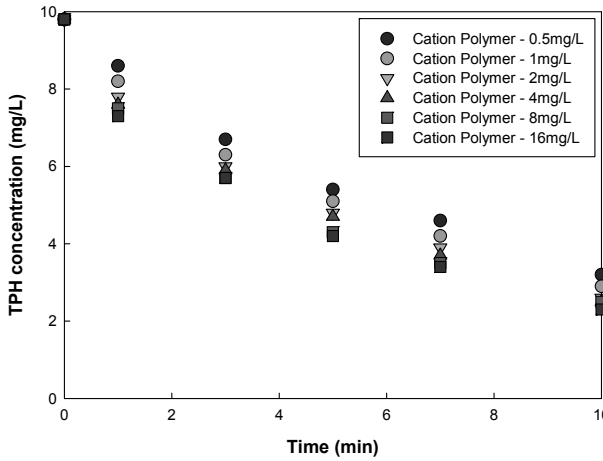


그림 4. 양이온 폴리머의 주입에 따른 TPH 농도 변화

2와 3에서 제시된 것과 같이 5분 만에 감소하여 SS는 검출되지 않았고 COD의 경우 7.7mg/L로 나타났다. 특히 양이온 폴리머의 경우 2mg/L이 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다. 그러나 그림 4에 제시된 것과 같이 TPH의 경우 10분의 반응 시간에 최소농도는 2.3mg/L로 나타났다.

3.3.2 황화제일철을 사용한 응집 실험 결과

황화제일철을 이용하여 실험을 수행한 결과 그림 5와 그림 6에 제시된 것과 같이 SS와 COD제거 효과는 앞서 실험한 양이온 폴리머와 비교하였을 경우 시간이 다소 더 걸렸지만 비슷한 경향을 나타내었다. 그림 7에 나타내어진 TPH의 경우에도 고분자 응집제의 경우와 동일하게 감소하는 경향을 보였지만 저감 효율은 고분자 응집제가 더 좋은 것으로 나타났다. 따라서 지하수에 고농도의 SS, COD 및 TPH가 함유되어 있는 경우 안정적인 처리를 위해서는 1) 침사지 → 응집공정 또는 2) 응집공정 → 후속공정이 필요한 것으로 나타났다. 또한 DAF 공정에서 응집 공정을 동시에 수행하여 공정이 단순화될 수 있도록 추가적인 실험이 필요한 것으로 나타났다.

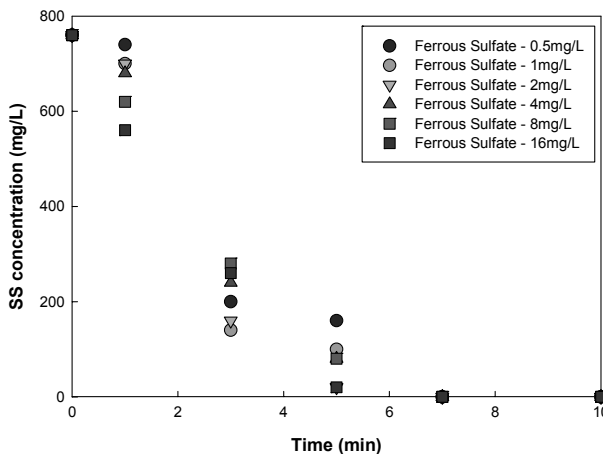


그림 5. 황화제일철의 주입에 따른 SS 농도 변화

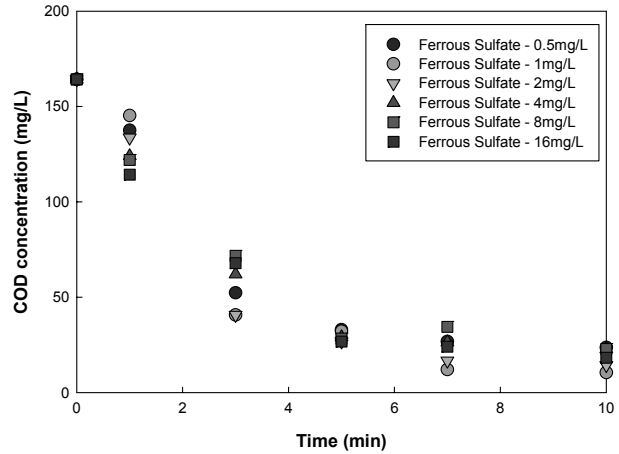


그림 6. 황화제일철의 주입에 따른 COD 농도 변화

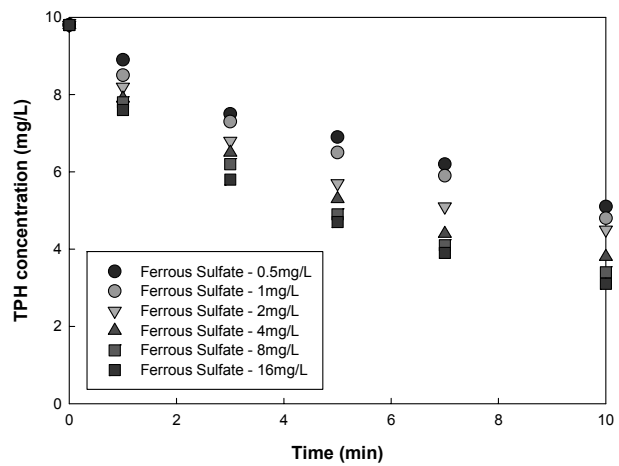


그림 7. 황화제일철의 주입에 따른 TPH 농도 변화

3.4 DAF 실험

3.4.1 최적의 노즐 크기 선정

노즐 크기에 대한 효과를 평가하기 위하여 압력을 2atm으로 고정해놓고 노즐 크기를 변화시켜가며 실험을 수행하

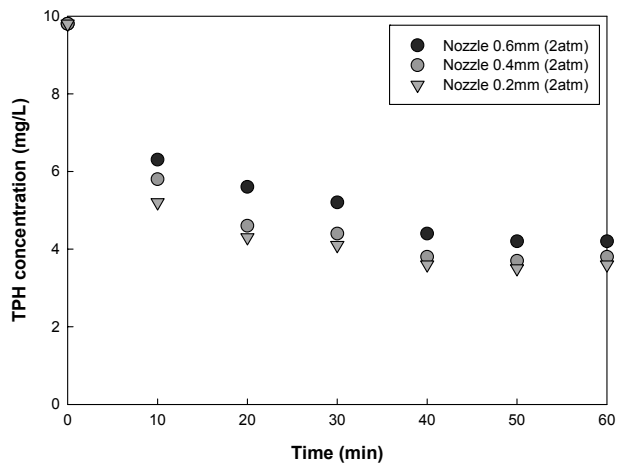


그림 8. DAF 노즐 크기에 따른 TPH 농도 변화

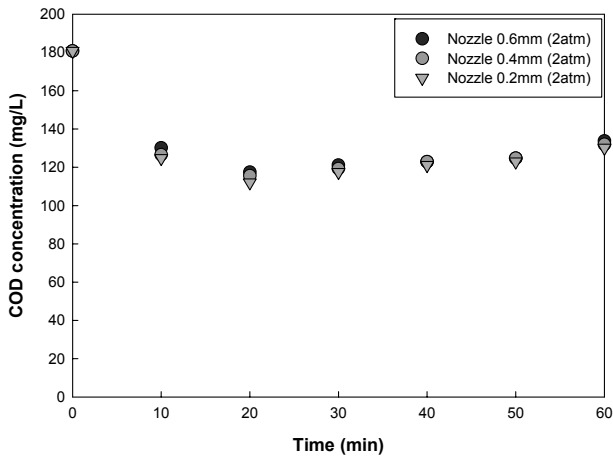


그림 9. DAF 노즐 크기에 따른 COD 농도 변화

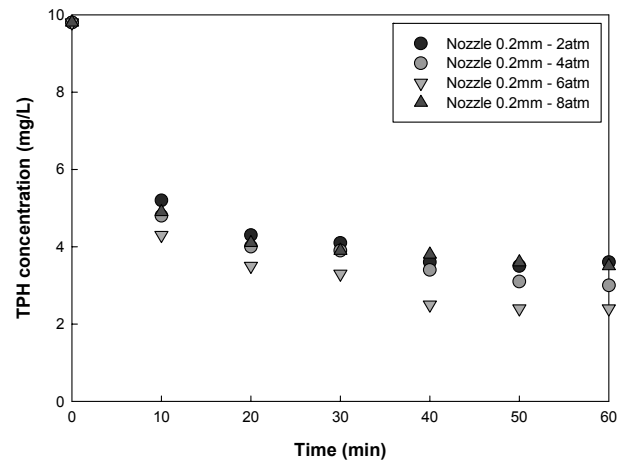


그림 11. DAF 압력에 따른 TPH 농도 변화

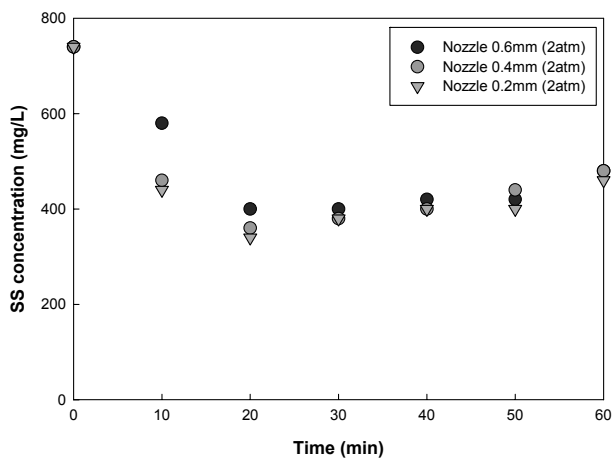


그림 10. DAF 노즐 크기에 따른 SS 농도 변화

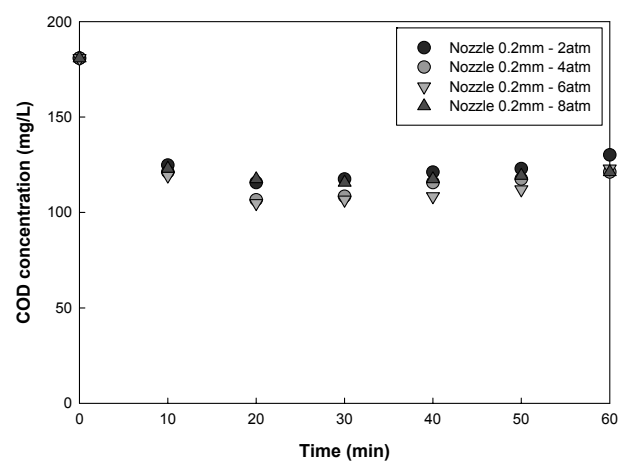


그림 12. DAF 압력에 따른 COD 농도 변화

였다. 그림 8에 제시된 것과 같이 TPH는 노즐의 크기가 작을수록 처리효율이 증가되는 것으로 나타났다. 그러나 TPH의 경우 4.2mg/L로 크게 저감되지 않는 것으로 나타났다. 또한 그림 9와 10에서 제시된 것과 같이 COD와 SS의 경우에도 초기 농도에서 크게 저감되지 않는 것으로 나타났다. 그림 8, 9 및 10에 제시된 것과 같이 실험에 사용된 노즐 크기 중 0.2mm가 가장 좋은 제거효능을 보이는 것으로 나타났다.

3.4.2 최적의 압력 선정

노즐 크기를 최적인 0.2mm로 고정을 시킨 후 가압조의 압력을 2, 4, 6, 8atm으로 변화를 시켜서 DAF 실험을 수행하였으며 관련 실험 결과는 그림 11과 그림 12 그리고 그림 13에 제시되어 있다. 그림 11에 제시된 것과 같이 TPH 농도는 압력 6atm에서 2.4mg/L로 가장 효과적으로 저감되는 것으로 나타났다. 또한 그림 12에 보여지는 것과 같이 COD도 마찬가지로 압력 6atm에서 121.1mg/L로 가장 효과적으로 나타났다. SS 역시 그림 13에서 나타난 것과 400.0mg/L로

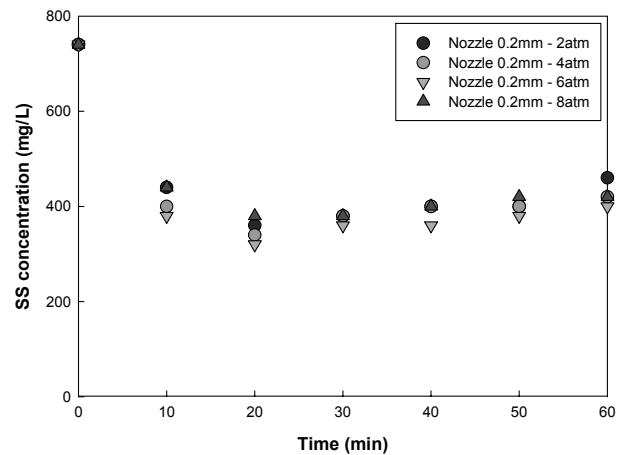


그림 13. DAF 압력에 따른 SS 농도 변화

나타났다.

DAF의 TPH, COD 및 SS의 제거효율이 상대적으로 낮은 이유는 다음 세 가지 이유로 예상되어 진다.

- (1) 본 실험에 사용된 지하수에 포함된 SS가 실트질의 모래(SM)로써 비중이 높아 부상에 의해 제거하는 것

이 침전에 의해 제거하는 것보다 효율적이지 못하기 때문이다.

- (2) 대부분의 TPH 및 COD 성분이 SS에 흡착되어 있는 형태로 존재하여 SS 제거와 비슷한 경향을 보이기 때문이다.

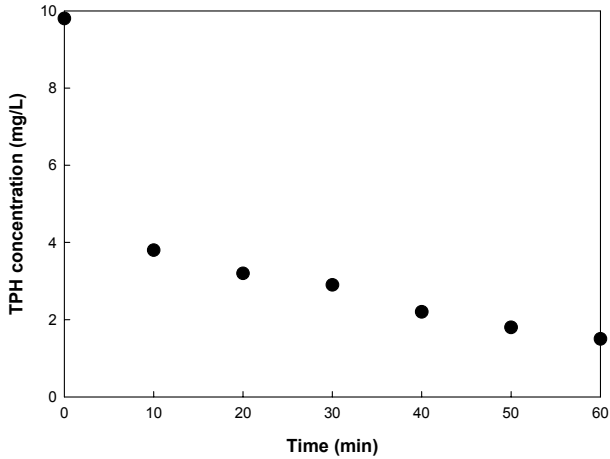


그림 14. DAF 노즐 0.2mm×4개, 압력 6atm TPH 농도 변화

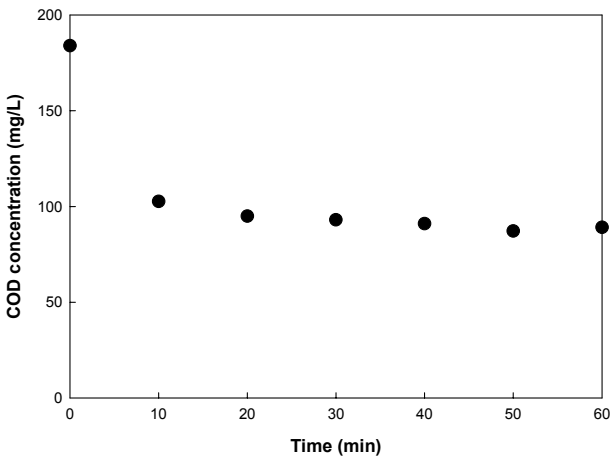


그림 15. DAF 노즐 0.2mm×4개, 압력 6atm COD 농도 변화

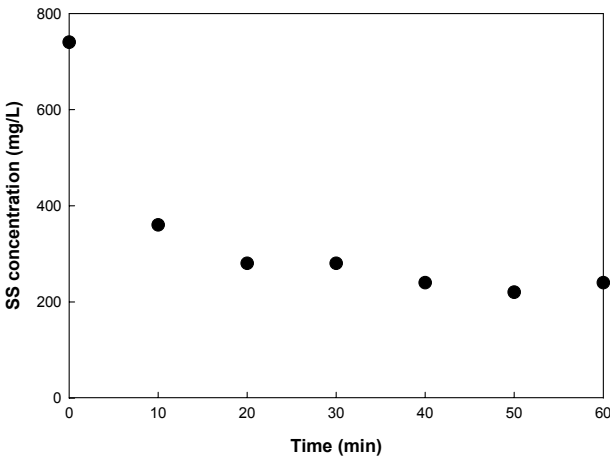


그림 16. DAF 노즐 0.2mm×4개, 압력 6atm SS 농도 변화

- (3) 가운데 노즐이 부착되어 있는 경우 사영역(dead space)이 생겨 처리 효율이 떨어지기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 우선적으로 사영역을 제거할 수 있게 노즐 수 증가(1→4)를 통해 DAF 공정을 개선하여 최적의 조건인 노즐 0.2mm와 6atm의 가압조건에서 실험을 수행하였다.

실험 결과 그림 14, 그림 15 그리고 그림 16에 제시된 것과 같이 TPH와 COD 및 SS의 제거효율이 노즐 하나만을 사용하였을 경우에 비하여 높게 나타났다. 그림 14에 제시된 것과 같이 TPH는 운전시간 60분에서 1.5mg/L로 나타났다. 그리고 그림 15와 그림 16에 제시된 것과 같이 COD와 SS는 각각 최대 87mg/L와 220mg/L로 나타났다.

따라서 고농도의 현탁성 고형물을 함유하는 지하수의 경우 DAF 공정만을 사용하여 오염물질을 저감하는 것보다는 DAF 공정 앞에 1) 침사지 또는 2) 침사지 → 응집공정을 설치하여 효율적인 처리 방안 모색이 필요하다.

본 실험에서 사용된 지하수의 경우 BTEX 농도가 검출되지 않아 탈기에 의한 효과는 검출되지 않았으나 휘발성 오염물질이 함유되어 있는 경우 DAF 공정 도입시 탈기에 의한 휘발성 오염물질 제거도 고려하는 것이 필요하다.

3.5 단일반응조를 이용한 DAF+응집

3.5.1 고형물 함유 지하수의 DAF+응집

단일 반응조를 이용한 DAF와 응집 성능을 평가하기 위하여 최적 DAF 조건과 최적 응집 조건(양이온 응집제 2mg/L 주입)에서 실험을 수행하였다. 그림 17에 제시된 것과 같이 반응 20분에 TPH 농도가 1.4mg/L로 나타났고 COD의 경우에도 그림 18에 제시된 것과 같이 10분에 35.7mg/L로 검출되는 것으로 나타났다. 또한 그림 19에 제시된 것과 같이 SS 농도 저감에도 DAF 실험을 실시하였을 경우보다 효과

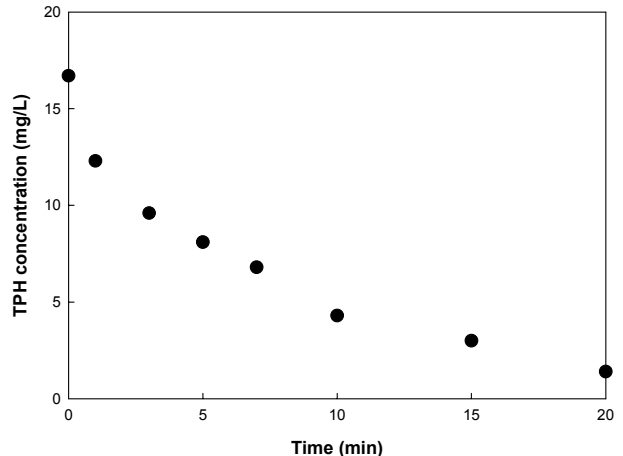


그림 17. DAF+응집(CP : 2mg/L) 공정에서 TPH 거동

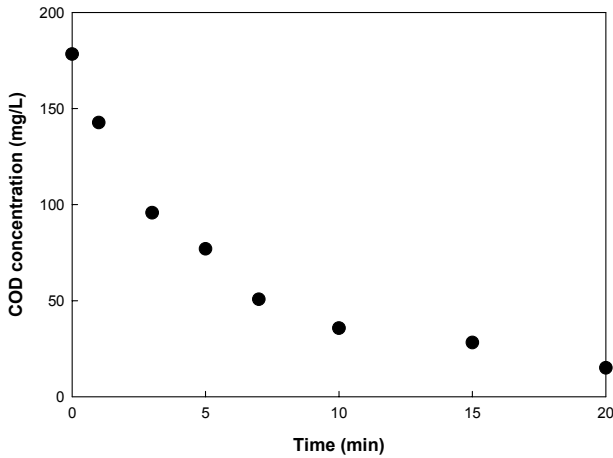


그림 18. DAF+응집(CP : 2mg/L) 공정에서 COD 거동

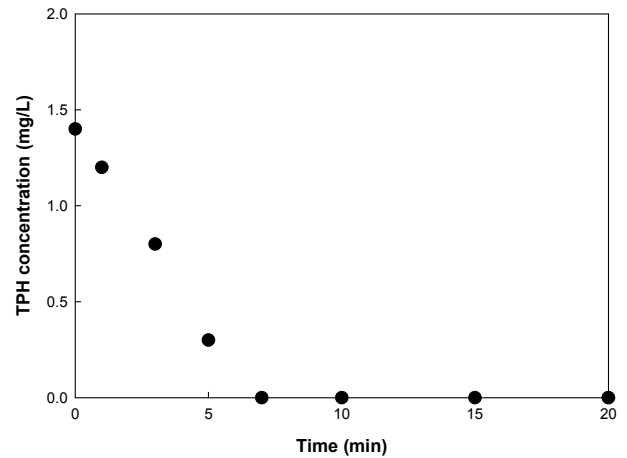


그림 20. DAF+응집(CP : 2mg/L)에 따른 TPH 농도 변화

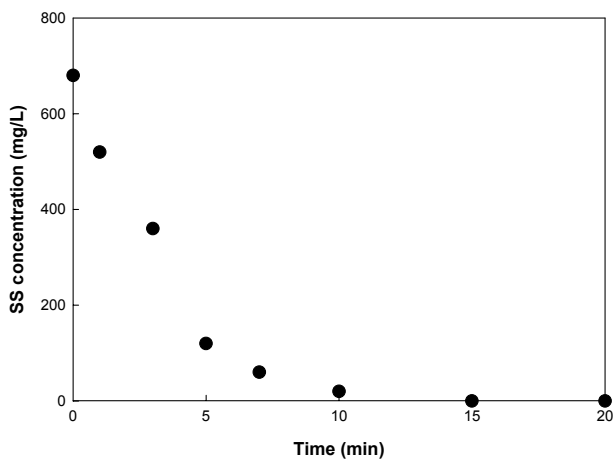


그림 19. DAF+응집(CP : 2mg/L) 공정에서 SS 거동

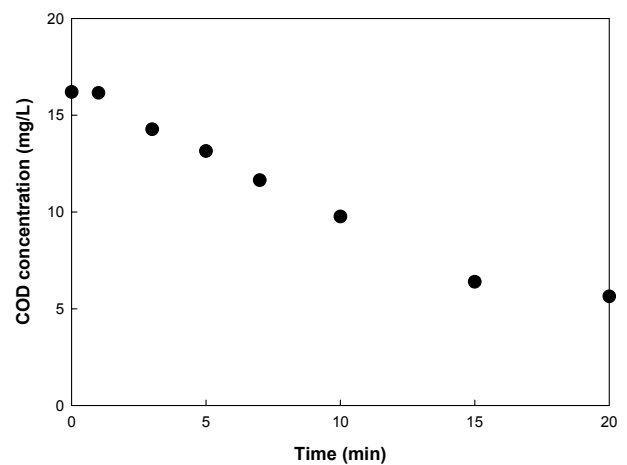


그림 21. DAF+응집(CP : 2mg/L)에 따른 COD 농도 변화

적인 것으로 나타났다. 특히 응집제를 투입하기 전과 응집제를 투입하고 나서 반응 시간 20분 뒤 확연한 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

3.5.2 고흡물 함유 지하수의 침전 전처리 후 DAF+응집

현탁성 고흡물을 함유한 경우 공정의 안정성을 위하여 침전지(또는 침사지, 체류시간 13.5시간)를 설치 후 유출수의 DAF+응집 공정을 평가하였다. 침전을 거친 유출수의 초기 TPH와 COD 농도는 각각 1.4mg/L, 16.2mg/L로 나타났다. 그림 20과 21에서 제시된 것과 같이 TPH의 경우 반응 10분 만에 검출되지 않았으며 COD의 경우에도 10mg/L 이하로 나타나 매우 효과적인 것으로 나타났다. 침전 전처리 후 DAF+응집 공정을 실시하는 경우 고농도의 COD 및 SS가 있는 경우와 용해성 TPH, COD 및 BTEX가 함유되어 있는 경우에 침사지 후속 공정으로 안정적인 처리를 하는데 바람직한 것으로 판단된다.

본 실험기간 동안 채취한 지하수 시료에서는 BTEX가 검출되지 않았지만 대상지역의 지하수 조사 관련 자료에 따르면

BTEX 중 벤젠의 농도가 가장 높은 것으로 나타났다. 벤젠은 최대 생활용수기준(0.01mg/L)의 60배를 초과하는 0.595mg/L가 검출되었고 톨루엔은 최고농도 0.063mg/L, 에틸벤젠은 최고농도 0.437mg/L가 검출된 것으로 나타났다. 크실렌은 BTEX 중에서 가장 넓은 오염분포를 나타냈으며 최대 1.0mg/L를 초과하는 곳도 있는 것으로 나타났다. BTEX는 다른 탄화수소에 비해 높은 헨리상수 값을 가지고 있어 폭기에 의해 쉽게 탈기됨으로 DAF 공정을 BTEX 제거에 활용하는 것도 바람직할 것으로 판단된다.

4. 결 론

현탁성 고흡물 농도가 높은 지하수를 대상으로 혼화응집, DAF 실험과 변형된 DAF 실험을 통하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 혼화응집 공정에서 현탁성 고흡물 제거를 위해 고분자

폴리머를 이용한 경우 5분 이내에 SS와 COD 농도가 지하수 수질 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 철염을 이용하는 경우 반응속도가 고분자 폴리머에 비해 약간 낮게 나타났으나 TPH, COD 및 SS의 경우 지하수 수질 기준을 만족시키는 것으로 나타났다.

- (2) DAF 실험 결과 노즐 크기가 작을수록 처리 효율이 우수한 것으로 나타났으며 최적의 압력은 6atm으로 나타났다. 또한 노즐 수를 증가시키는 경우 사영역이 감소하여 오염물질 제거효율이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 오염물의 농도가 높은 경우 단일 DAF 공정으로는 지하수 정화 방류수 수질 기준을 만족시키지는 못하였다. 따라서 DAF 공정을 실시하기 전에 전처리 공정으로 침전 또는 응집을 실시하여 오염물질을 감소시킨 후 DAF 공정을 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- (3) 단일 반응조를 이용하여 DAF/혼화 응집 반응 적용시 반응시간 20분에 모든 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 공정의 단순화 및 성능 향상을 위해 가압부상조의 경우 혼화응집 공정과 단일 반응조로 운전하는 방안도 효율적이며 BTEX 탈기공정으로 사용하는 것도 바람직한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김인수, 박승조(1993), MHD 수처리방식에 의한 에멀전오일 폐수의 처리, *한국박용기관학회지*, Vol. 17, No. 4, pp. 20~27.
2. Alther, G.(2008), Cleaning Wastewater : Removing Oil from Water with Organoclays, *Filtration & Separation*, Vol. 45, No. 3, pp. 22~24.
3. Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W. and Greenberg, A. E.(2005), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA., AWWA., WPCF., 21th ed., Washington, DC. pp. 5-16~5-18.
4. Georgiou, D., Aivazidis, A., Hatiras, J. and Gimouhopoulos, K.(2003), Treatment of Cotton Textile Wastewater Using Lime and Ferrous Sulfate, *Water Research*, Vol. 37, No. 9, pp. 2248~2250.
5. Talinli, I. and Anderson, G. K.(1992), Interference of Hydrogen Peroxide on the Standard COD Test, *Water Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 107~110.
6. Yin, Y. and Allen, H. E.(1999), *In Situ Chemical Treatment*, Technology Evaluation Report TE-99-01, Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, Pittsburgh, PA., pp. 74.
7. Van Stempvoort, D. R., Lesage, L., Novakowski, K. S., Millar, K., Brown, S. and Lawrence, J. R.(2002), Humic Acid Enhanced Remediation of an Emplaced Diesel Source in Groundwater. 1. Laboratory-Based Pilot Scale Test, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 54, No. 3~4, pp. 249~276.
8. Whang, L. M., Liu, P. W., Ma, C. C. and Cheng, S. S.(2008), Application of Biosurfactants, Rhamnolipid, and Durfactin, for Enhanced Biodegradation of Diesel-Contaminated Water and Soil, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 151, No. 1, pp. 155~163.

(접수일: 2010. 3. 12 심사일: 2010. 4. 2 심사완료일: 2010. 5. 28)