

## 유류로 오염된 지하수의 처리 효율을 향상시키는 새로운 유수분리 장치 개발

박인식 · 김종원\* · 신동춘 · 전종욱  
백산엔지니어링(주) 지반사업부

### A New Method of Oil and Water Separation for Enhancing Efficiency of Oil Removal from Contaminated Groundwater

In-Sik Park · Jong-Won Kim\* · Dong-Chun Shin · Jong-Wook Jeon  
Geotechnical Div. Byuck-San Engeering Inc.

#### 1. 서 론

유류로 오염된 지하수의 처리에서 가장 중요한 것은 지하수 내에 포함되어 있는 유분의 분리에 있다. 이를 위해서 기포와 물의 밀도차에 의해 유분을 분리하는 유수분리 방법이 사용된다. 유분을 부상시키는 방법은 버블을 생성하는 기술에 따라 분산공기부상법, 진공부상법, 전해부상법, 미생물학적 부상법, 용존공기부상법으로 분류된다. 이중 용존공기부상법은 과포화상태로 있는 기체와 액체의 혼합액을 대기 중에서 압력을 감소시켜 버블을 발생하도록 하는 방법으로 대기압보다 높은 압력으로 공기를 과포화시킨 가압수를 니들밸브나 노즐을 통해 대기압 중에 방출시키면 압력이 낮아져 버블을 형성하여 표면으로 상승하게 하는 방법이다. 이 방법은 콜로이드, 미세입자, 침전물, 금속 이온, 미생물, 유류 등을 제거하는데 광범위하게 이용되고 있다(Al-Shamrani, 2002; Matis and Lazaridis, 2002; Carissimi and Rubio, 2005; Rodrigues and Rubio, 2007).

용존공기부상법의 효율은 여러 가지 인자에 의해 결정이 되며 이들은 압력, 버블크기, 주입수의 오염물질 농도, 부상시간, 공기/고체 비 등으로 알려져 있다(Krofta et al., 1995; Al-Shamrani, 2002; Naardi et al., 2008).

국내에서도 용존공기부상법의 효율과 이들의 상관성은 여러 연구자에 의해 발표되었다(이상호 외, 1997; 박중현 외, 1999; 박용호 외, 2000; 신흥식, 2003; 민진희 외,

2005; 김동석 외, 2005). 특히 박용호 외(2000)는 용존공기부상법에서 기포크기 측정 연구에서 4 atm 이상의 가압 조건에서는 버블크기가 압력에 크게 영향을 받지 않으나 2 atm 이하에서는 버블크기가 커져 효율이 낮아지는 실험 결과를 발표하였다. 민진희 외(2005)는 플럭과 미세기포 결합체의 부상속도 평가 실험에서 압력별 기포의 누적분포를 통해 압력이 높을수록 미세기포가 많이 분포함을 보고하였다. 또한 플럭에 기포가 많이 붙을수록, 플럭/기포비가 증가할수록 부상속도가 증가함을 확인하였다.

가압 공정에서 오염수의 공기 접촉 표면적이 클수록 산소의 용해 정도가 커져 미세기포의 생산 능력이 커지며 이는 유수분리의 효율을 크게 향상시킬 수 있다. 이에 기존의 연구 결과들을 바탕으로 가압공정에서 오염수와 공기의 접촉을 극대화하고 혼합수의 공기 용존 능력을 개선하는 새로운 기기를 개발하고자 하였다. 본 고에서는 새로운 유수분리기 개발을 위해 수행된 연구 결과를 기술하였다.

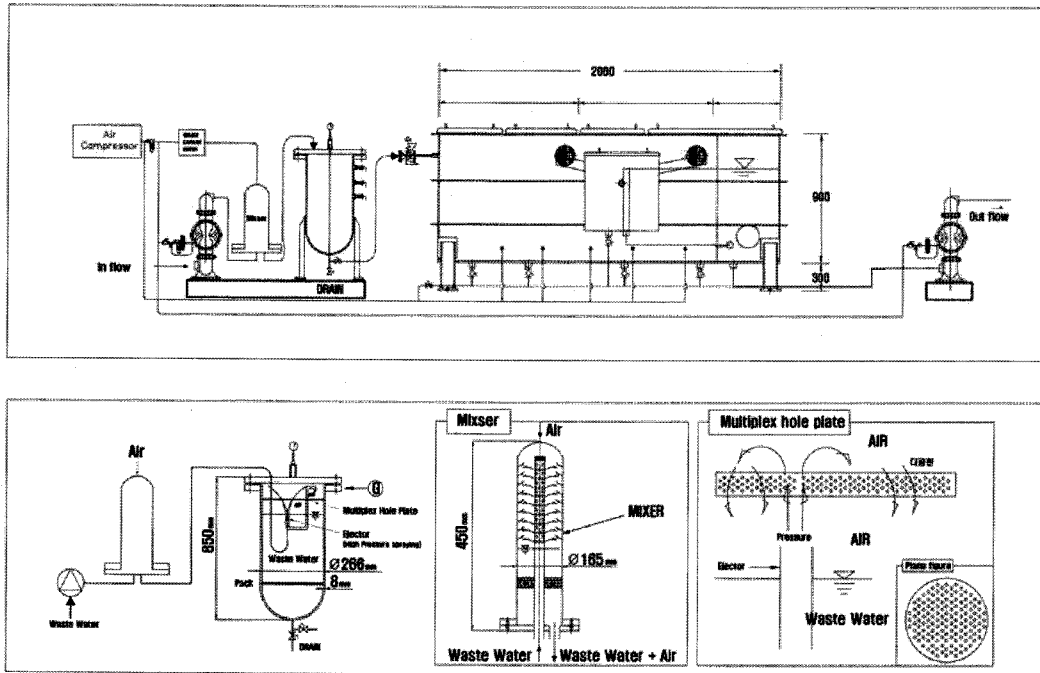
#### 2. 실험 방법

##### 2.1. 유수분리장치 소개

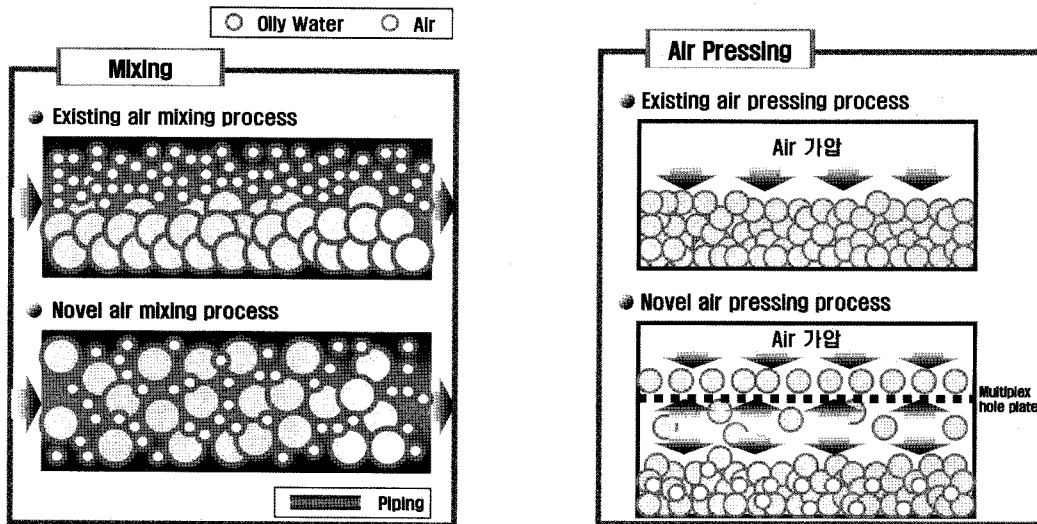
본 연구에 사용된 유수분리장치의 단면은 Fig. 1에 제시되어 있다. 유수분리 과정은 크게 혼합, 가압, 가압해제 공정한 3가지 단계로 구분할 수 있다. 유수분리 과정에 새롭게 적용한 핵심적인 기술은 혼합과 가압공정으로 그

\*Corresponding author : kjw@bseng.co.kr

원고접수일 : 2008. 2. 26 심사일 : 2008. 3. 25 게재승인일 : 2009. 10. 24  
질의 및 토의 : 2009. 12. 31 까지



a) Schematic diagram of oil-water separator



b) Mixing process

c) Air pressing process

Fig. 1. The schematic diagram of oil-water separator a), new mixing process applied to this study b), and new air pressing process applied to this study.

특징은 다음과 같으며, 개략적인 개념을 Fig. 1 b)와 c)에 각각 도시하였다.

역분사(아래에서 위로)에 의한 공기와 오염수의 섞임 효과를 극대화하였다.

(1) 혼합(Mixing): 가압 공정의 전처리 과정으로 Air Mixer를 이용하여 공기와 오염수를 섞어 주는 방식으로

(2) 가압(Pressing): 가압탱크에서는 1차 혼합수(Air Mixer에서 공기와 혼합한 오염수)를 가압탱크 내에서 아

래에서 위로 고압 분사하여 다공판을 타격하고, 그 타격 에너지가 오염수내의 유수분의 결합력을 저하시키는 역할을 수행하게 하였다. 또한 고압 분사된 혼합수는 다시 탱크 상부에서 공기와 혼합되어 물 단위 체적당 산소의 함유 비율을 극대화시켰고, 공기층 내에서의 체류 시간을 길게 하여 공기의 물에 대한 용존 능력을 크게 향상시켰다.

가압해제 공정에서는 가압 과정에서 발생된 가압수가 전처리조에서 감압되며, 이때 미세기포가 발생된다. 이들 기포는 플릭과 충돌/부착되어 복합체를 형성하여 부상하게 된다. 전처리조에서 1차 분리된 처리수는 유수분리조를 통과하며 전처리조에서 미처 분리되지 못한 오염물질은 부상하게 되는데 이는 스키머를 통해 분리 제거한다.

## 2.2. 유분제거 효율 실험

위의 기술이 적용된 유수분리기를 제작/활용하여 오염된 지하수에서 유분의 제거 효율 실험을 수행하였다. 유수분리기는 유류로 오염된 지하수 현장에 설치되었으며 오염된 지하수 처리량은 0.5 m<sup>3</sup>/hr로 운전하였다.

장치의 효율 검증을 위한 물시료는 오염된 지하수와 처리수, 방류수 3개로 구분하여 채취하였으며 채취 전 유수분리장치는 3회 세척 및 2시간 가동 후 1시간 간격으로 2회 시료를 채취하였다.

분석항목은 수질오염공정시험방법에 제시된 표준절차에 따라 BTEX와 노말헥산추출물질 항목에 대해 평가하였다(환경부, 2000).

## 3. 결과 및 토의

유수분리 장치의 효율 검증을 위해 채취된 지하수, 처리수, 방류수의 수질 분석 결과는 Table 1에 제시되어 있으며 Fig. 2에 도시하였다. 분석결과 벤젠은 농도가 낮아 모든 시료에서 검출되지 않았다. 그 외에 톨루엔, 에틸벤

젠, 크실렌은 국내 먹는물 수질 기준치를 초과하지 않는 낮은 농도를 보여주고는 있으나 지하수에서 농도가 높게 나타나고 있다. 하지만 이들은 배출수에서는 검출되지 않거나 매우 낮아 저 농도의 BTEX도 제거 가능함을 보여주고 있다. 노말헥산추출물질은 역시 오염된 지하수에서 농도가 높게 나타나고 있으나 방류수에서는 검출되지 않거나 매우 낮은 농도를 보여주고 있다. 특히 1차 실험의 경우에는 지하수에서 113.0 mg/L가 검출된 반면 배출수에서는 0.5 mg/L로 검출되어 약 99%가 제거되고 있음을 보여주고 있다. 또한 2차 실험에서도 지하수에서는 49.5 mg/L가 검출되었으나 배출수에서는 4.5 mg/L로 약 90%의 제거 효율을 보여주고 있다.

본 연구결과는 많은 관측을 통해 얻어진 결과가 아니라 현재까지 2회 실험을 통해 획득된 결과이기 때문에 효율성을 평가하기에는 제한적이라고 할 수 있다. 하지만 BTEX의 경우 저 농도에서 처리효율을 보이고 있어 까다로운 조건하에서도 그 효율이 나타나고 있는 것으로 해석되며 또한 노말헥산추출물질은 처리효율이 매우 높은 것으로 판단된다. 추후 이를 검증하기 위해서는 추가적인 현장자료의 획득이 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서 새롭게 개발된 유수분리기는 가압공정에서의 오염수가 공기와 접촉되는 시간을 극대화하고, 혼합수의 공기 용존 능력을 개선하고자 하였다. 따라서 기존 기술에 비해 공기 용존 능력을 향상시키고, 오염수 처리 능력을 획기적으로 개선하고자 하였다. 실험결과에 의하면 개발된 유수분리장치는 지하수에 포함된 저농도의 BTEX를 처리할 수 있는 가능성을 보여주고 있으며 노말헥산추출물질의 경우에는 매우 높은 효율성을 보여주었다. 다만, 본 고에 제시된 결과는 2회 수행되어 얻어진 결과이기 때문에 효율성 평가에 있어 성급하고 제한적인 단계이므로

**Table 1.** The concentrations of pollutants in groundwater, treatment water, and effluent

Sample	Times	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylene	n-hexane
		mg/L				
Contamination water		n.d.	0.15	0.03	0.09	113.0
Treatment water	1	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	0.5
Drain water		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.5
Contamination water		n.d.	0.09	0.07	n.d.	49.5
Treatment water	2	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	0.5
Drain water		n.d.	0.06	n.d.	n.d.	4.5

-n.d. : not detected

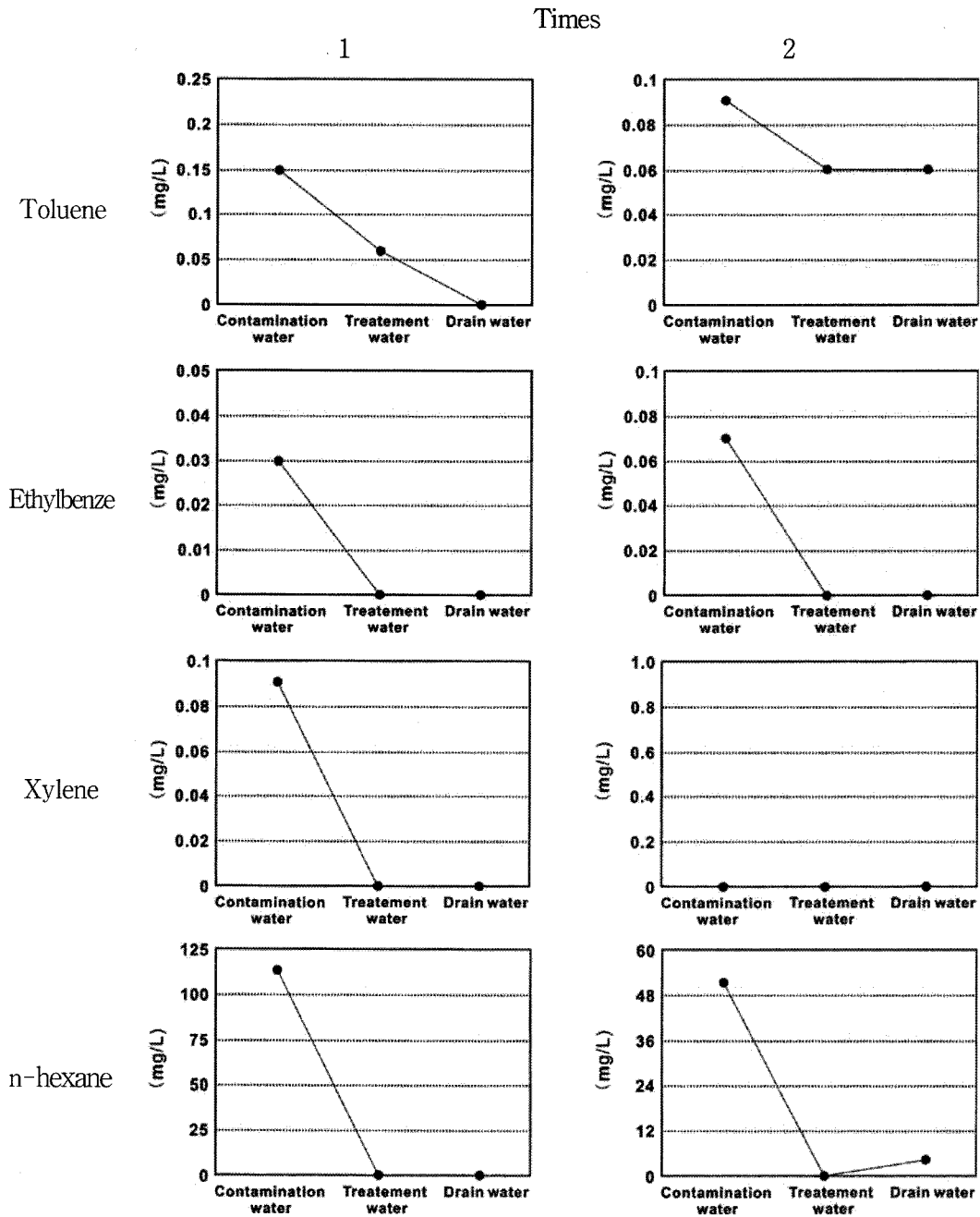


Fig. 2. The results of removal efficiency for BTEX and n-hexane extraction material of oil-water separator used in this study.

신뢰성을 확보할 수 있는 추가실험이 수행되어 이를 검증할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 사 사

본 연구는 환경부에서 지원하는 차세대 핵심환경기술개발사업의 성과물로서 과제 고유번호 041-061-039의 통합

형 과제 “유류오염 토양-지하수의 저온열처리 및 생물학적 정화기술을 연계한 동시 복원기술 개발(Development of LTD system combined with bioremediation to treat oil-contaminated soil and groundwater)”의 세부과제(과제명:추출된 유류와 지하수 분리기술 개발) 수행 중에 이루어졌다.

## 참 고 문 헌

- 김동석, 박영식, 2006, DAF(Dissolved Air Flotation)를 이용한 팽화 슬러지 농축, *한국환경과학회지*, **15**, 77-84.
- 민진희, 권순범, 배철호, 안효원, 2005, DAF공정에서의 플러카 미세기포의 부상속도 평가, *한국물환경학회 · 대한상수도 학회 2005년 공동 춘계학술발표 및 포럼*, p. 165.
- 박용호, 이준, 한무영, 2000, DAF에서 기포 생성 후 기포의 크기 변화, *한국물환경학회 · 2001년도 공동 춘계 학술발표회 논문집*, p. 671-674.
- 박중현, 한무영, 독고석, 남기진, 1997, 용존공기부상법(DAF)에서 조류계거시충돌/부착특성, *한국물환경학회 · 97년도 추계학술발표회 논문초록집*, p. 223-226.
- 신홍식, 2003, 용존공기부상설비(DAF) 시스템 구축, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, p. 431-447.
- 이상호, 장윤영, 최대기, 박진원, 황경엽, 1997, 유류오염토양의 세척공정에서 발생하는 세척수처리를 위한 가압부상법(DAF)에 관한 연구, *한국폐기물학회지*, **14**, 769-776.
- 환경부, 2000, 수질오염공정시험방법, p. 423.
- Al-Shamrani, A.A., James, A., and Xiao, H., 2002., Separation of oil from water by dissolved air flotation, *Colloids and Surfaces*, **209**, 15-26.
- Carissimi, E. and Rubio, J., 2005, Advances in particulates aggregation-flotation separation, *Proceedings in Centenary of Flotation Symposium*, Brisbane, Australia, p. 415-423.
- de Nardi, I.R., Fuzi, T.P., and Nery, V.D., 2008, Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater, *Resources Conservation and Recycling*, **52**, 533-544.
- Krofta, M., Herath, B., Burgess, D., and Lampman, L., 1995, An attempt to understand dissolved air flotation using multivariate data analysis, *Water Science and Technology*, **31**, 191-201.
- Matis, K.A. and Lazaridis, N.K., 2002, Flotation techniques in water technology for metals recovery: dispersed-air vs. dissolved air flotation, *Journal of Mining and Metallurgy*, **38**, 1-27.
- Rodrigues, R.T. and Rubio, J., 2007, Review Article: DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry, *International Journal of Mineral Processing*, **82**, 1-13.