

論 文

## 초음파 오일 슬러지 처리 시스템 개발을 위한 기초 연구

이 은 방\*

### A Basic Study on the Development of Oily Sludge Treatment System by Ultrasonic Waves

E. B. LEE\*

〈목 차〉

Abstract

1. 서론

2. 오일 슬러지 처리 기법

3. 강력 초음파 에너지 특성

4. 초음파에 의한 슬러지 유동화

5. 결론

#### Abstract

All crude oil carries a little of water, sand, and mineral sediment molecules tightly bounded with hydrocarbons. The result is the gradual precipitation of these heavier elements into thick, granular petroleum by products known as crude oil sludge. The oily sludges in ship tanks and in storage facilities have to be treated efficiently in order to keep the security and the capacity of storage facilities, to protect a serious environmental pollution, and to retrieve lost resource. The oily sludge treatment system should be designed to satisfy requirements mentioned in safe work condition.

As a basic study, in this paper, an oily sludge treatment system by ultrasonic waves was proposed. Then, the features of ultrasonic energy and recovery of sludge with ultrasonic waves are investigated by experiments. As results, we found that ultrasonic waves are a new energy to flow oil sludge environment-friendly in safe work condition. In addition, it was shown that ultrasonic energy is more efficient than thermal energy in treating oil sludge, and that the volume of wastes for disposal is reduced remarkably.

\* 한국해양대학교 해양경찰학과 조교수

## 1. 서론

원유는 가장 활용도 높은 에너지원으로 또는 그 부산물로 현대산업을 이끌어 온 주요한 자원의 하나이다. 그러나 원유수송이나 저장과정에서 발생할 수 있는 여러 위험요소를 비롯하여 정제 과정과 사용 중에 발생하는 환경 오염 등 부정적인 면도 내포하고 있다.

특히 원유수송과 보관과정에서 발생하는 오일 슬러지 처리 문제는 수송선과 보관시설 용량을 확보하고 원유의 회수율 증대로 자원의 활용도를 높이는 데는 물론 직·간접적인 환경오염을 예방하기 위하여 해결해야 할 과제이다. 오일 슬러지 처리는 원유에 포함된 수분이나 흙, 철분 등의 불순물과 원유의 왁스 성분 등이 결합되어 운송선이나 저장시설 저층에 고형화된 탄화수소 화합물(슬러지)을 제거하고 원유 성분을 추출하여 정제할 수 있도록 하는 과정이다[1,2].

오일 슬러지 처리 방법은 주로 슬러지에 열에너지를 가하여 결합 상태를 완화시키고 유동성을 높여 분자량이 큰 물질을 분리하는 기본 원리는 동일하나 슬러지에 열을 가하는 방식과 유동화된 슬러지에서 고형물을 분리하는 방식, 잔류 가스의 처리방식 등에 있어서 차이가 있다. 그 대표적인 방법들로 MST기법, Decant기법, Separation기법, COW 등이 개발되어 사용되고 있다. 여기서, 슬러지 처리 효율을 결정하는 중요한 요소는 고형화된 슬러지를 유동화 시키는 기술이다. 기존에 채용된 슬러지 유동화 방법에는 스팀, 전파, 마찰 등의 열에너지를 직접 부가하고 있으나 유동화 효율, 설치비용, 유지관리 비용, 작업 안전성, 환경 오염 등 면에서 문제점이 지적되고 있다[3].

본 논문에서는 초음파에 의한 오일 슬러지 처리 시스템 개발을 목표로 비교적 인체에 무해하고 환경에도 친화적인 에너지원으로 초음파의 음향에너지를 이용하여 고형화된 슬러지를 유동화시키는 기술을 개발하고자 한다. 먼저 강력 초음파의 에너지 특성을 조사하고 실험 장치를 구성하여 다양한 매질과 오일 슬러지의 초음파 특성

실험을 통하여 슬러지의 유동화에 필요한 에너지원으로 초음파의 특성을 평가하고 저장시설의 오일 슬러지 처리 시스템에 초음파 활용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 오일 슬러지 처리기법

### 2.1 오일 슬러지의 발생

국내외의 정유사들은 원유의 원활한 확보와 적기의 정유제품 생산을 위해서 원거리 원산지로부터 원유를 수송하여 보관하는 원유저장 시설이 필요하다. 원유 저장 시설물을 관리하고 운용하는 데에 발생하는 문제 중 하나가 저장 탱크 밑에 침전되어 퇴적 상태를 이루고 있는 슬러지(sludge) 처리에 관한 것이다. 지하에 매설되어 있는 원유는 채굴하는 과정에서 수분이나 지하의 흙과 같은 이물질과 선박에 의한 운송과정에서 철분을 포함한 불순물을 함유하게 된다. 이와 같은 불순물과 원유 내부의 왁스 성분은 운송과정의 환경 변화와 장기간 저장시설에 보관 과정에서 온도의 변화를 반복적으로 겪으면서 분자결합이 촉진되어 유동성이 저하된 결합물이 생성된다. 이런 결합물은 원유의 다른 성분에 비하여 비중이 높아 저장 시설 하부에 가라앉아 고형화되는 데 이것을 슬러지라고 한다. 슬러지 양은 원유의 종류에 따라 약간 차이가 있지만 대략 2~8% 정도로 알려져 있으며 그 주요 성분은 표 1과 같다[2].

슬러지의 주요 성분 분석에서 알 수 있듯이 정제하여 사용 할 경우 약 53%를 원유로 활용할 수 있다. 그러나 고형화된 결합물이기 때문에 원유와는 다르게 별도의 이송 시스템과 폐기물 처리에 추가 비용 발생은 물론 직·간접적인 환경 오염을 야기할 수 있다. 한편 슬러지를 그대로 방치 할 경우에는 저장 시설물의 국부적 부식을 촉진시켜 시설물 관리비용 증대와 안전성에 문제가 발생할 뿐만 아니라 저장 용량의 감소와 가용 성분의 방치로 경제적 손실이 발생한다.

Table 1 The principal Ingredients of the oily Sludge used in Experiment.

성분	부피 (%)		
수분	23.0 %		
유분	53.0 %		
아스팔틴	11.8 %		
고형분	9.2%	carbon	7.8 %
		hydrogen	2.4 %
		sulfur	9.4 %
		Fe	42.3 %
		기타	38.1 %
기타	3.0 %		
합계	100.0 %		

따라서 환경 친화적이고 경제적으로 높은 효율을 갖는 슬러지 처리 시스템의 개발이 필요하다. 세계 각국은 슬러지 처리기법과 처리 시스템 개발에 지속적인 연구와 투자로 몇 가지 방법들이 개발되어 사용되고 있으나 처리 시스템의 안전성, 오일 회수율, 환경 오염, 시스템의 설치비용과 관리비용 면에서 개선점이 요구되고 있는 실정이다.

2.2 기존 오일 슬러지 처리기법

오일 슬러지 처리에는 크게 슬러지를 구성하는 성분들과 그들 간의 분자 결합상태의 정도에 따라 조금씩 다르지만 탄화수소 화합물 내에 혼합된 왁스 성분이 물과 진흙 등의 팻류와 분자 결합 상태를 완화시키는 방법과 슬러지 그 자체를 기계적으로 제거하여 처분하는 방법이 있다. 후자는 인건비와 처분 비용이 많이 들뿐만 아니라 매립 및 소각과정에서 환경오염을 야기하고 가용 원유를 사용할 수 없으므로 비경제적이라 할 수 있다. 여기서는 주로 전자에 해당하는 처리기법을 알아보기로 한다.

슬러지에 열에너지를 가하면 유동성이 높아지게 되어 분자량이 큰 이물질들은 아래로 침전되고 탄화수소 화합물은 탱크 상층부로 부상하여

분리 될 수 있다. 그 중 분자량이 작은 메탄, 에탄, 프로판, 부탄 등은 기화될 수 있으므로 기화 상태에 이르지 않을 정도의 온도와 압력을 유지하는 것이 원유 회수율을 높이는 데 중요하다. 기존의 슬러지 처리 기법의 기본 원리는 비슷하나 슬러지에 열을 가하는 방식, 유동화된 슬러지에서 고형물을 분리하는 방식, 잔류 가스의 처리 방식 등에 있어서 그 차이를 발견할 수 있다. 그 대표적인 방법들을 들어 비교 설명하면 다음과 같다.

2.2.1 MST(Microwave Sludge Treatment)기법

미국 Imperial사에서 98년에 개발한 기법으로 Illuminator를 이용하여 퇴적되어 있는 슬러지에 약 2.4 GHz의 전자파를 발사하여 슬러지를 유동화시켜 Decanter로 보내 유수 및 고형물을 분리한 후 이송시키는 방식이다. 별도의 Steam배관이 불필요하고 탱크 내의 모든 장소를 용이하게 처리할 수 있으며 탄화수소 화합물의 회수율도 95%로 하루 약 4000 barrels 정도의 처리 능력을 가진다[3]. 그러나 장비가격과 설치비용이 고가이고 강한 전자파로 탱크가 가열되어 부식을 촉진시키며 전자파의 영향으로 근로환경을 악화시킬 가능성이 높아 국내에는 아직 도입되지 않은 상태이다.

2.2.2 Decant 기법

미국의 Philip사에서 개발한 기법으로 사람이나 로버트를 이용하여 슬러지를 컨베이어에 적재시켜 외부로 운반한 후 Decanter에 모아 놓고 외부에서 열을 가하여 유동화 시키는 기법이다. 탄화수소 액체는 원유 이송관을 통해서 정제시설로 보내고 찌꺼기는 폐기물로 처리하며 발생한 탄화수소 가스는 이동용 산소 공급기를 이용하여 소각 처리한다. 원유 회수율은 96%정도로 국내 대부분 정유사에서 최근까지 주로 운용해 온 방식이나 작업기간이 많이 소요되고 인력 운용비용과 작업 안전성 확보 등에 어려움이 있어 새로운 방식을 모색하고 있는 실정이다.

### 2.2.3 Separatherm 기법

미국 Tetra사가 제안하여 Separatherm사가 개발한 기법으로 슬러지에 계면 활성용 화학제품을 혼합시키어 유동화하는 원리이다. 물과 화학제품이 첨가된 슬러지성 유체는 Coalescer로 들어가 고르게 섞여 다시 Recovery Organic Unit로 모아 기계적 방식으로 물과 원유, 고용체를 분리한다. 원유 회수율은 98% 정도로 1일 처리량은 약 1500 barrels 정도이나 물과 화학제품의 혼합을 위하여 일정한 온도(40 ° - 45 °C)를 유지해야 하기 때문에 보일러 시설이 필요하고 첨가된 화학약품과 물을 처리하기 위한 별도의 시설이 필요하다. 또한 슬러지 처리 시스템의 성능이 계면 활성제의 효능에 크게 좌우되며 그 비용도 큰 것이 단점으로 지적되고 있다.

### 2.2.4 COW 기법

해상 원유 수송선에서 원유를 강하게 분사하여 탱크의 벽과 선저에 있는 슬러지를 제거하는 방식을 육상 탱크에 도입한 것이다. 일단 슬러지를 강한 원유 분사로 분해시키고 응고 상태가 심한 것은 스템을 이용하여 유동화함으로 정제 시설이나 원유저장소로 보낸다. 강한 노즐 압력에 의한 마찰로 인한 폭발 방지를 위한 질소 공급장치와 응고 상태를 유동화하는 데 온도 제어 에너지가 필요하다. 또한 슬러지로부터 원유와 고형물을 분리하는 데 별도의 장치가 필요하기 때문에 슬러지 처리기법이라기보다는 슬러지 양을 줄이는 역할을 하는 방식이라고 할 수 있다.

## 2.3 슬러지 처리의 문제점과 과제

원유 저장 시설내 내의 오일 슬러지 처리는 활용 가능한 원유의 자원화와, 저장 탱크 용량 극대화, 저장시설의 안전 확보 등 여러 차원에서 해결해야 할 문제이다. 이러한 문제 해결을 위하여 여러 원리들을 응용한 오일 슬러지 처리 기법들이 제안되어 사용되고 있으나 운용 비용, 시설 투자, 원유 회수율, 잔유 환경오염물, 안전성, 운

용 용이성 등에서 연구 개발이 필요한 실정이다.

오일 슬러지 처리 시스템 개발과정에서 그 효율을 결정하는 중요한 것은 고형화된 슬러지를 유동화 시키는 요소기술이다. 기존의 슬러지 처리 시스템에서 채용된 슬러지 유동화 방법은 스템, 전파, 마찰 등의 열에너지를 직접 공급하는 것들이 주종을 이루고 있으나 유동화 효율, 설치 비용, 유지관리 비용, 작업 안전성 등에서 문제가 제기되고 있다.

따라서 슬러지를 고효율로 유동화시키고 비교적 인체에 무해하고 환경에도 친화적인 에너지원의 개발이 요구되고 있다. 본 논문에서는 초음파 음향에너지를 이용한 슬러지 유동화의 요소기술 개발을 목적으로 강력 초음파의 에너지 특성을 알아보고 슬러지의 초음파 특성 실험을 통하여 초음파 음향에너지를 활용한 저장시설내의 슬러지 처리 시스템의 가능성을 검토하고자 한다.

## 3. 강력 초음파 에너지 특성

### 3.1 강력 초음파의 발생

일정한 전파 특성을 가지는 강력 초음파를 발생하기 위해서는 전기신호를 음향신호로 전환하는 진동자(transducer)가 필요하다. 진동자는 요구되는 입·출력, 응답 특성과 음향신호를 발생시키는 방법에 따라 압전진동자, 자왜진동자, 전왜진동자가 있다. 여기서는 실험 장치에 사용된 자왜진동자를 중심으로 강력 초음파 발생 과정을 살펴보기로 한다. 먼저 인가되는 자기력에 따라 압축되거나 신장되는 자기왜곡재료를 코일 내부에 넣어 코일에 특정 주파수의 교류를 인가하면 자기왜곡재료가 압축과 신장을 교번하면서 음파를 발생한다. 이 때의 단위 단면적 당 교번 압력  $P$ 는 다음 식과 같이 재료 중에 인가되는 교류자계에 비례한다[4].

$$P = \kappa H \quad (1)$$

여기서,  $\kappa [Pa \cdot m/A]$ 는 자기왜곡정수로 400

- 900정도이고,  $H[A/m]$ 는 교류자계의 세기이다.

교번 압력이 크면 클수록 강력한 초음파가 발생된다. 따라서 초음파를 동력적인 에너지원으로 물질의 분쇄, 용접, 가공 또는 오일 슬러지 유동화 촉진에 활용하기 위해서는 자기왜곡재료의 특성을 유지하는 범위에서 적절한 교번 압력을 인가함으로써 필요한 초음파를 발생시킬 수 있다.

### 3.2 초음파 에너지

#### 3.2.1 초음파의 강도

초음파를 방사하면 매질은 이동하지 않으나 한 곳에서 다른 곳으로 음압, 밀도, 입자 운동이 변화하면서 에너지를 가지고 전파한다. 초음파를 매질에 방사하면 매질이 진동을 시작하게 됨에 따라 운동에너지와 분자력에 의한 위치에너지가 존재한다. 에너지의 크기는 음파의 진행 방향에 대해 수직인 단위 면적을 단위 시간에 통과하는 에너지량으로 한다. 즉, 탄성 매질에 초음파가 전파되어 질점  $m$ 이 단진동을 발생시킨 사인파에 의한 음파 에너지  $S_e$ 는 다음 식으로 표시된다 [5].

$$S_e = K + P \quad (2)$$

여기서,  $K$ 는 운동에너지이고,  $P$ 는 위치에너지이다. 초음파의 진폭을  $A$ , 주파수를  $f$ 라 하면 매질 진동이 최대 속도인 점에서의 에너지는 다음 식으로 표시 할 수 있다.

$$S_e = K + P = \frac{1}{2} m(A\omega^2) = 2\pi^2 mA^2 f^2 \quad (3)$$

따라서, 밀도  $\rho$ 의 매질 안에서는 초음파의 진동에 의한 단위 체적의 에너지  $E_V$ 는 다음과 같다.

$$E_V = 2\pi^2 A^2 f^2 \rho \quad (4)$$

여기서, 초음파의 전파 속도를  $c$ 라 하면 단위

시간에 진행 방향으로 수직인 단위 면적을 진행하는 총 에너지 즉, 초음파의 강도는 다음 식으로 표시된다.

$$I = 2\pi^2 A^2 f^2 \rho c \quad (5)$$

초음파 강도는 전달 매질의 성질인 밀도  $\rho$ , 매질의 초음파 전파 특성인 음속  $c$ 와 방사되는 초음파 성질인 진폭  $A$ 와 주파수  $f$ 에 의해서 결정된다. 따라서 슬러지를 유동화하는 데 필요한 초음파 에너지는 방사되는 초음파의 진폭과 주파수를 적절히 결정하면 얻을 수 있다.

#### 3.2.2 초음파에 의한 발열

초음파의 파동에너지가 매질 내부를 전파하여 가면 열이 발생한다. 매질의 초음파 응답에 해당하는 열에너지는 오일 슬러지의 유동화를 촉진시키는 에너지원으로 활용이 기대된다. 초음파에 의한 발열 과정은 첫째로 매질에서 음파를 흡수하여 열이 발생하고 둘째로는 Cavitation 작용으로 기포에서 발생하는 압축에 의한 국부적 발열, 셋째로 다공질의 매질에 음파에 의한 유체 흐름이 통과하면서 발생하는 마찰에 의한 발열, 넷째로 액체 매질과 일부 고체 매질 표면 부근에서 경계층의 점성에 의한 발열 등이다[6].

#### 3.2.3 초음파의 가속도

초음파에 의한 매질의 진동에서 진동 변위  $\xi$ , 주파수  $f$ , 진동 속도  $v$ 라 하면 그 가속도는  $a = \omega^2 \xi$ 로 표시된다. 가속도의 대략적인 크기를 비교하기 위하여 실험에 사용된 초음파의 진동 변위  $20\mu m$ , 주파수 28 kHz 대입하여 그 크기를 계산하여 보면 다음과 같다.

$$a = (2\pi f)^2 \cdot \xi \approx 6.18 \times 10^5 (m/sec^2) \quad (6)$$

가속도의 크기는 중력 가속도의 약 6만 배 정도에 달한다. 이와 같은 초음파 에너지는 대단히

큰 동력적 힘을 가지므로 세척을 비롯한 동력원으로 초음파 응용이 가능할 뿐만 아니라 오일 슬러지의 유동화하는 에너지원으로 활용가치가 기대된다[7].

### 3.2.4 초음파 Cavitation 현상

액체 중에 강력 초음파를 방사하면 초음파 음압이 부(-)인 액체 내의 영역에서 압력이 대기압보다 순간적으로 작은 곳들이 발생하게 됨에 따라 액체들이 국부적으로 소용돌이치는 cavitation 현상이 발생한다. 이 현상은 액체매질을 균일하게 만들고 고분자의 요소들을 파괴하여 액체의 유동화를 가속화하는 에너지원으로 작용할 수 있다. 또한 고형화된 슬러지를 분쇄하여 소립자화함으로 침전물을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

## 4. 초음파에 의한 슬러지 유동화

### 4.1 실험장치 및 방법

초음파에 의한 다양한 매질에 대한 점도와 온도 특성을 조사하고 슬러지 유동화에 초음파의 활용 가능성을 살펴보기 위하여 다음과 같은 실험 장치를 설계하였다. Fig. 1은 실험 장치의 개략도이고 Fig. 2는 초음파의 발생 및 제어를 위한 회로도를 나타낸다.

먼저 일정한 전파 특성을 가지는 강력 초음파를 발생하기 위해서 자왜진동자를 3.3ℓ stainless 용기에 반사와 굴절을 방지하기 위하여 완충재를 넣어 부착하였다. 입력 전원을 AC 100 V, 50/60 Hz를 부가하면 진동자에서 주파수 28 kHz의 정현 사인파로 약 200 W 강력 초음파를 발생하도록 조정하였으며 초음파의 방사 시간은 타이머를 설치하여 제어할 수 있도록 하였다. 또한 초음파를 시료에 방사하면서 시간에 따라 시료의 온도 변화를 컴퓨터로 기록할 수 있도록 하였으며 별도로 부착된 heater의 열에너지 이용하여 직접 열에너지로도 시료를 가열할 수 있도

록 설계하였다.

실험은 각각의 2ℓ 시료를(증류수, 소금물, 헤어젤, 오일 슬러지) 용기에 넣은 후 10 °C로 온도를 유지한 후 시료에 초음파를 방사하면서 시료의 점도와 온도 변화를 관찰하였다. 한편 초음파와 열에너지에 의한 시료의 변화를 비교하기 위하여 동일 조건으로 heater로 시료를 가열하면서 그 변화를 관찰하였다. 그러나 슬러지의 유동화 정도는 정량화하기가 어려워 5분 간격으로 목측과 점도 측정을 통하여 조사하였다.

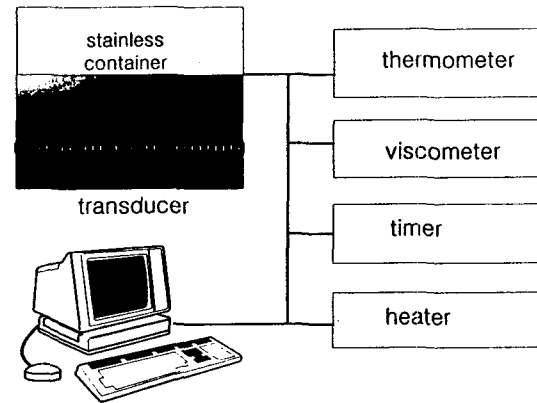


Fig. 1 Schematic Apparatus of Experimental System.

### 4.2 초음파의 유동화 실험

초음파에 의한 시료의 온도 특성을 조사하기 위하여 증류수, 소금물, 젤, 오일 슬러지 2ℓ를 각각 용기에 넣은 후 강력 초음파를 방사한 후 시간에 따른 온도의 변화를 관찰하였다. 그 결과 초음파에 의한 발열은 시료에 따라 Fig. 3과 같은 결과를 얻었다. 고밀도의 시료가 빠르게 온도가 증가함을 보이고 있으며 이것은 초음파의 진동에너지가 분자 운동을 촉진하여 마찰열에 기인한 것으로 보인다. 20 - 30분의 초음파 방사로 슬러지의 유동화에 필요한 에너지를 얻을 수 있었다.

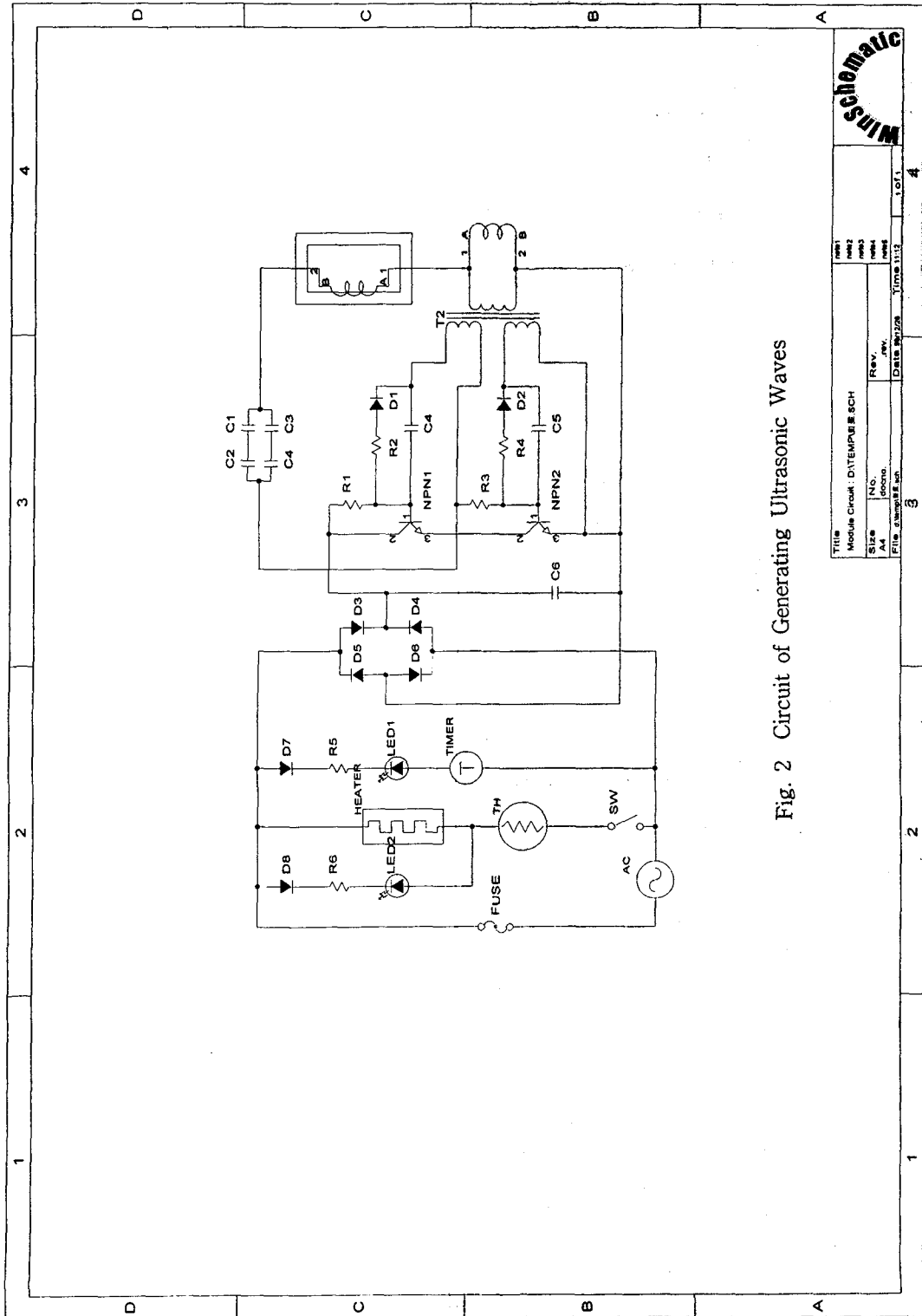


Fig. 2 Circuit of Generating Ultrasonic Waves

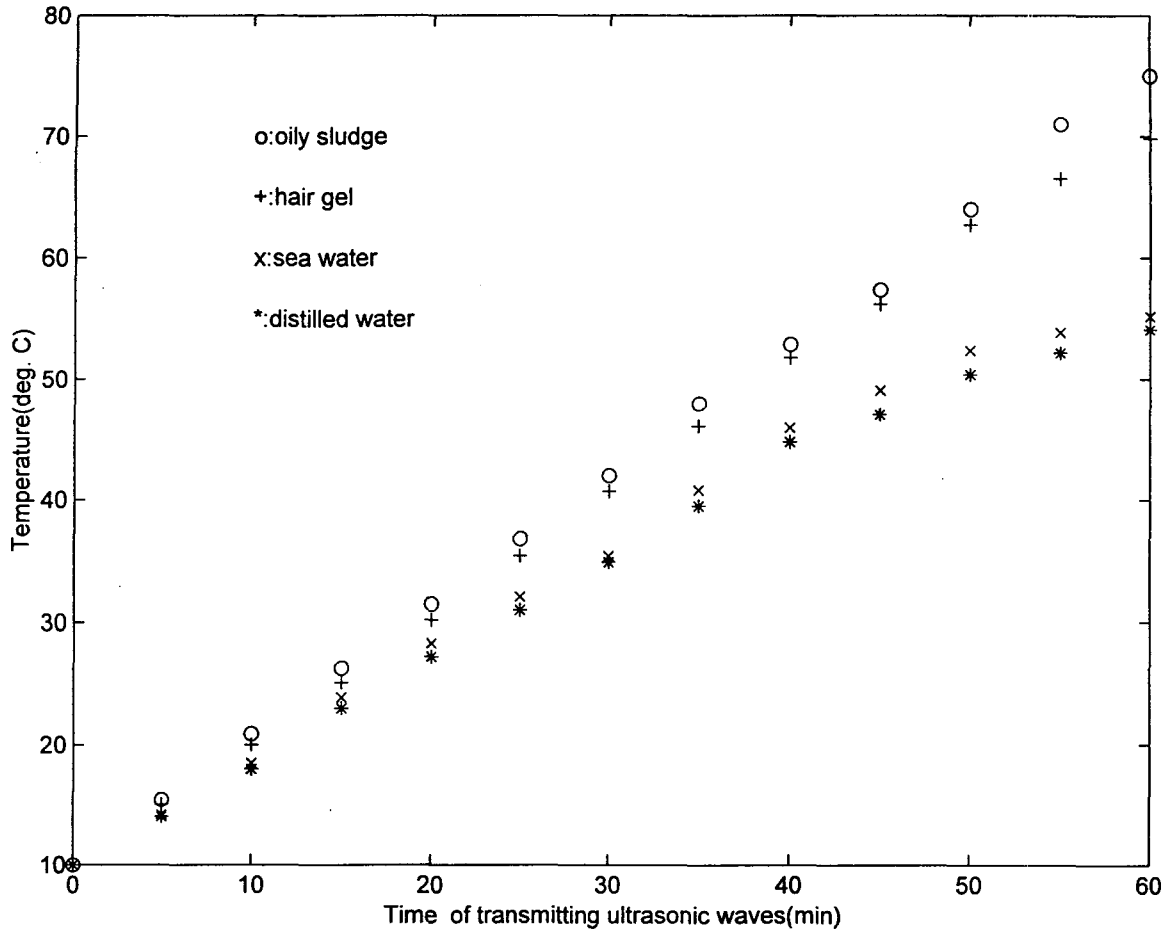


Fig. 3 Temperature Property of Sample Media for Ultrasonic.

스러지의 유동화 관찰을 위하여 200 W의 강력 초음파를 5분 간격으로 약 2ℓ의 스러지 샘플에 방사한 후 점도의 변화와 고형화 정도를 관찰하였다. 5분 경과 후에는 약 20% 정도 고형물이 감소되었고 10분이 경과한 후에는 50% 이상 고형물의 감소가 관측되었으며 25분이 지난 후에는 침전물을 제외하고는 고형물을 발견 할 수 없었다.

한편, Fig. 4에서와 같이 스러지를 직접 열에너지로 가열한 경우와 초음파를 방사한 경우 스러지 유동화 정도를 비교 관찰하기 위해서 동일 온도에서 스러지 점도를 관찰하였다. 그 결과 동일 한 온도에서 초음파에 의한 경우가 직접 열에너지를 가한 경우와 비교해서 점도가 낮아짐을

확인하였다. 그리고 고형물이 완전 제거되어 침전물과 원유가 분리되는 데 직접 열에너지를 가한 경우에 더 높은 온도가 요구되었다. 이것은 초음파 cavitation작용, 교반작용, 분쇄작용 등으로 고형물이 분쇄되어 미세해지고 균질화 되었기 때문으로 보인다. 또한 오일 스러지의 점도는 원유 보다 높았으며 고온에서 원유와 스러지의 점도차는 감소하였다[8].

Fig. 5는 열에너지와 초음파 에너지를 각각 스러지 시료에 추가하였을 때 점도에 따른 고형분의 존재를 관찰한 것이다. 같은 스러지 점도에서도 초음파에 의한 경우가 고형분의 존재가 적었으며 침전물도 감소됨을 관찰하였다.



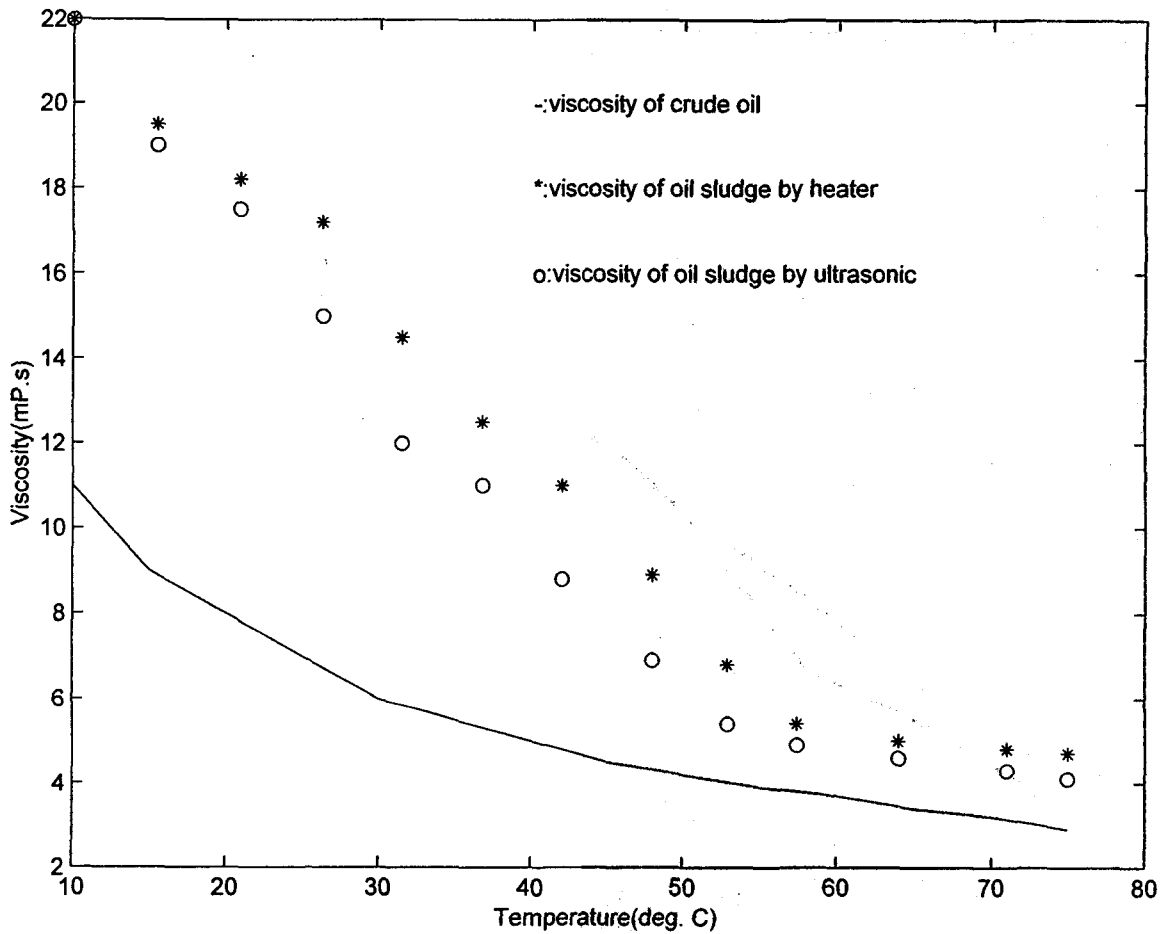


Fig. 4 The Viscosity of Oily Sludge for Ultrasonic and Heater.

4.3 실험 결과 및 과제

초음파에 의한 슬러지 유동화 실험 결과 초음파의 음향에너지는 다음과 같은 특성이 관찰되었다. 첫째, 고밀도의 매질일수록 발열 효과 높아 오일슬러지의 유동화에 필요한 열에너지를 얻을 수 있었다. 둘째, 직접적인 열에너지 보다 고형물의 분쇄 및 균질작용이 추가되어 슬러지의 침전물의 감소와 분리에 적합한 에너지원이다. 셋째, 비교적 낮은 온도에서도 슬러지 고형물의 제거가 가능하므로 유해 가스나 폭발 위험 등을 예방할 수 있다. 넷째, 환경에 친화적이고 인체가 무해한 에너지원으로 발생 및 제어가 쉽고 부대 시설이 필요하지 않는 장점이 있어 슬러지 처리 시스템

에 새로운 요소 기술로 활용이 가능할 것으로 기대 된다.

본 실험에서는 실험장치의 미비로 동일 주파수와 출력으로 슬러지의 초음파 특성을 실험하였으나 초음파 주파수나 출력 변화에 의한 슬러지의 특성을 조사하여 슬러지 유동화에 필요한 최적의 주파수와 출력 결정이 필요하다. 또한 다양한 원유 슬러지 샘플에 대한 실험도 추가되어야 할 것이다.

5. 결론

원유 저장시설 저층에 퇴적되는 오일 슬러지

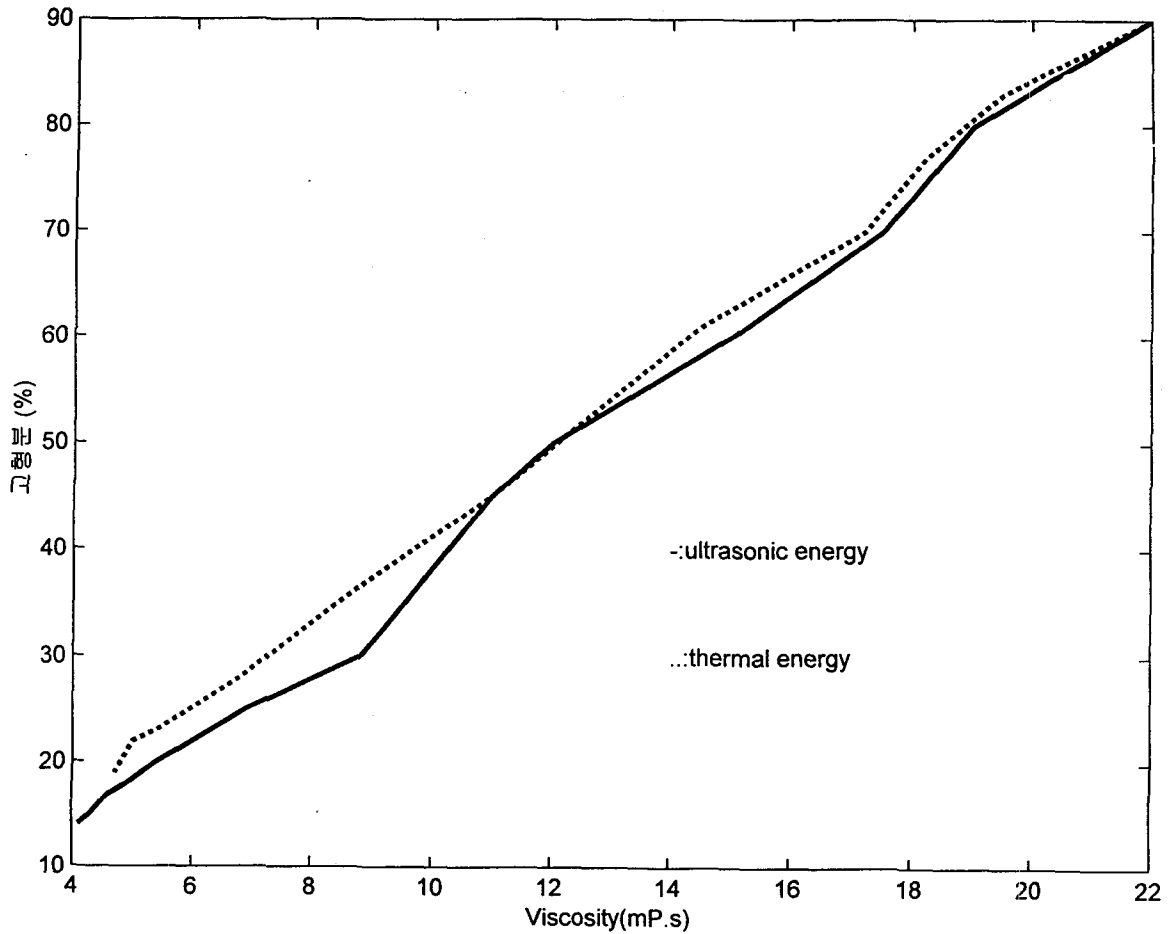


Fig. 5 Recovery of Sludge for Ultrasonic and Heater.

양을 최소화하고 슬러지로부터 원유 회수율을 높일 수 있는 환경 친화적이고 작업의 안정성을 확보할 수 있는 오일 슬러지 처리 시스템의 개발을 목표로 하여, 본 연구에서는 초음파의 음향에너지를 이용하는 방안을 제안하였다. 200 W 강력 초음파를 활용한 슬러지 유동화 실험 결과 초음파의 cavitation, 교반작용, 분쇄작용으로 슬러지의 고형분이 25분내에 거의 제거되어 소량의 침전물이 원유와 분리되어 펌프로 이송 가능한 유동체가 됨을 확인하였다.

오일 슬러지 유동화에 새로운 에너지원으로서 초음파는 비교적 낮은 온도에서도 효과적으로 유동화가 가능하며, 따라서 초음파를 이용하면 유

해 가스 발생이나 폭발 위험을 예방 할 수 있어 환경에 친화적이고 인체에 무해한 작업환경에서 오일 슬러지 처리가 가능하다. 뿐만 아니라 제어가 쉽고 부대 시설을 필요로 않는 장점이 있어 오일 슬러지 처리 시스템에 요소 기술로 활용이 기대 된다.

앞으로 다양한 원유 슬러지의 샘플에 대하여 초음파의 주파수와 출력에 따른 원유 회수율에 관한 연구와 더불어 소용량 초음파 오일 슬러지 처리 시스템을 제작하여 보고자 한다.

(감사의 글: 귀중한 자료와 오일 슬러지 샘플을 제공하여 주신 한국석유개발공사 우태영 과장과

관계자 여러분께 감사를 드립니다. )

### 참고문헌

- [1] 주식회사유공, 원유작업표준 지침서, 1999.
- [2] 한국석유개발공사, 탱크 청소 신 공법 검토 자료, 1999.
- [3] IPRC 개발실, Introduction of MST system, IPRC, 1999.
- [4] 谷腰, 超音波와 그 使用法, 日刊工業新聞社, 1994.
- [5] F.J. Fahy, Sound Intensity, Elsevier Applied Science, 1995.
- [6] F. Fujimori, The application of Ultrasonic, Akiba press, Tokyo, 1981.
- [7] P. Alland, Acoustic, ASA, N.Y. 1991.
- [8] 이종순, 표준유체역학, 동명사, 1987.