

## 연약지반 압밀 축진을 위한 초음파 에너지의 활용

박지호<sup>1</sup>, 황정하<sup>2</sup>, 김영옥<sup>3\*</sup>

### Application of Ultrasonic Energy to Fast Consolidation of Soft Clays

Ji-Ho Park<sup>1</sup>, Jung-Ha Hwang<sup>2</sup> and Young-Uk Kim<sup>3\*</sup>

**요 약** 최근 우리나라는 국토면적을 넓히기 위하여 많은 지역에 준설 및 매립 공사를 수행하고 있다. 준설 및 매립 공사에 주재료로 사용되는 해성점토는 매립 초기에 매우 연약한 지반을 형성하게 된다. 이에 빠른 구조물 시공을 위하여 대상지반의 압밀을 촉진시키는 다양한 공법이 활발히 연구되고 있다. 본 연구는 새로운 압밀축진 공법개발을 위한 기초시험으로 초음파 에너지를 연약지반 처리에 활용하고자 자체 고안된 초음파 발생장치를 적용하여 소규모 및 대형시험을 수행하였다. 시험에 사용된 연약지반 점토시료는 시험조건에 일관성을 유지하기 위하여 자체개발한 원심력 시료 성형기를 사용하였다. 초음파 적용에 따른 압밀시험결과 매우 큰 압밀량의 증가를 확인할 수 있었으며 대형 시험의 경우에도 빠른 간극수압의 소산을 확인할 수 있었다. 연구결과 초음파가 점토의 압밀시간을 단축시키는데 효과가 크다는 것을 볼 수 있었고, 차후 초음파를 통한 다양한 압밀축진공법이 개발될 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

**Abstract** Dredged fills have been widely used to secure a land for the engineering activities. Before the useful application of the area, the soils should be consolidated to acquire the aquate shear strength. Several research projects have attempted to develop a method for accelerating the consolidation of soft clay. Our study examined the effect of ultrasonic energy on the consolidation of soft clay. Tests were conducted using specially designed and fabricated equipment that was capable of directly applying ultrasonic energy to soil samples during consolidation tests. The specimens were prepared from slurry using a centrifuge facility, and tests were conducted at various levels of ultrasonic power and treatment time. The study showed that ultrasonic energy had a considerable effect on consolidation time, suggesting that ultrasound can be used to reduce the consolidation time of soft clay.

**Key Words** : Consolidation, Consolidometer, Permeability, Soft Clay, Ultrasonic energy, Ultrasound

### 1. 서론

최근 국내에 남서해안을 중심으로 진행되고 있는 해상 점토 및 연약지반위의 공사와 준설 및 매립공사가 점차 대규모화되면서 여러 지반공학적인 문제들이 대두되고 있다.

이와 같이 연약지반을 대상으로 하는 공사에서는 지반 개량이 필수적인데 국내·외적으로 가장 널리 사용되고 있는 공법 중 압밀을 촉진시키는 방법이 자주 사용되고 있다[1, 2]. 그러나 이러한 공법 적용시 원하는 압밀도를

달성하기 위해 소요시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있으며 고가의 공사비를 요구하고 있어 좀 더 경제적인 공법이 요구되고 있는 실정이다. 이러한 시간과 비용을 단축시키고자 많은 연구가 활발히 진행 중인데 이 연구에서는 초음파를 적용한 새로운 압밀축진법 개발을 제시하고자 한다. 점토입자에 초음파를 가하였을 때 초음파에 의한 압밀현상에 대하여 고찰한 후 기존의 압밀과의 차이를 분석하였다. 파동은 크게 진동수에 따라 이름을 달리하여 구분하고 있는데 이를 나타내면 다음 그림 1과 같다[3]. 초음파는 가청 주파수 범위 이상(16kHz)의 진동수

이 연구는 학술진흥재단 지역대학우수과학자 지원사업(KRF-2005-202-D00504)에 의해 지원되었음.

<sup>1</sup>명지대학교 토목환경공학과(박사과정)

<sup>2</sup>(주)제일엔지니어링

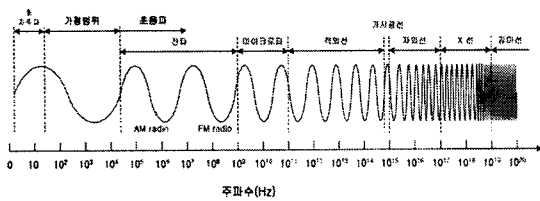
<sup>3</sup>명지대학교 토목환경공학과(부교수)

\*교신저자: 김영옥(yukim@mju.ac.kr)

접수일 08년 6월 12일 수정일 08년 7월 15일

제재확정일 08년 8월 11일

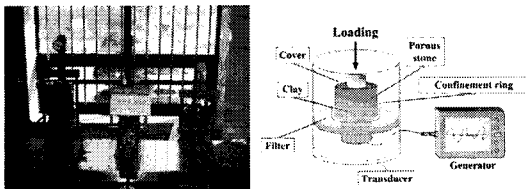
를 갖는 소리로 매체에 발사하면 액중에 수축과 팽창이 매우 빠르게 교대로 일어나며 파동에너지가 매체 중으로 전파된다. 초음파 에너지를 증가시키면 분자 간에 응집력이 파괴되고 수 천 만개 이상의 미세한 공동이 발생된다. 이를 캐비테이션(cavitation)현상이라 하며 이러한 공동이 폭발하면서 수천도(5000 °K)의 높은 온도와 압력(1000 atm)의 강력한 에너지를 방출하게 되며 이 연구에서는 이러한 에너지를 압밀을 촉진 시키는 유발에너지원으로 사용하고자 하였다.



[그림 1] 파동의 진동수에 따른 구분

## 2. 실내실험

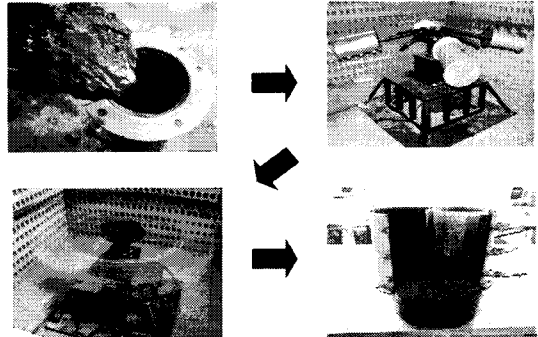
초음파에 의한 압밀촉진 효과를 조사하기 위하여 특별히 제작된 압밀 시험기를 사용하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 일반적인 압밀시험기와 동일하지만 바닥에서 초음파 에너지를 시험 중 시료로 조사할 수 있도록 제작하였다. 진동수는 piezoelectric 재료의 특성상 28kHz로 튜닝이 되어있지만 진폭은 전압에 따라 조정 할 수 있도록 하였다.



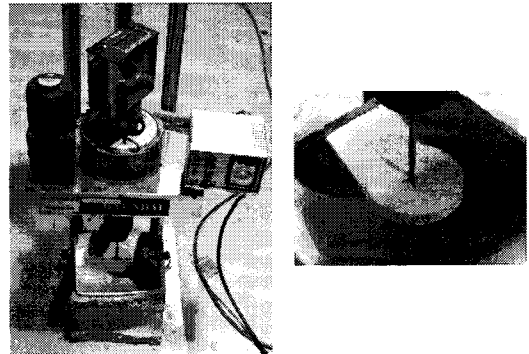
[그림 2] 초음파 압밀시험기

시료의 특성상 일관성(특히 간극비, 함수비 등의 초기 조건) 있는 점토시료를 구하기가 쉽지 않다. 이를 위하여 원심력 시료 성형기를 사용하여 시료를 준비하였으며 자세한 시료성형 방법 및 적용은 그림 3의 순서를 따랐다. 초음파적용에 따른 시료의 강도가 변할 수 있을 것 같다는 판단에 시험 전후의 배인시험을 수행하여 시료의 강도 변화를 측정하였다. 시험에 사용된 배인시험기(현대정밀 HD-348)는 그림 4와 같고 시험이 끝난 시료의 다수점을 측정하여 평균값을 산출하였다. 또한 실험의 스케일

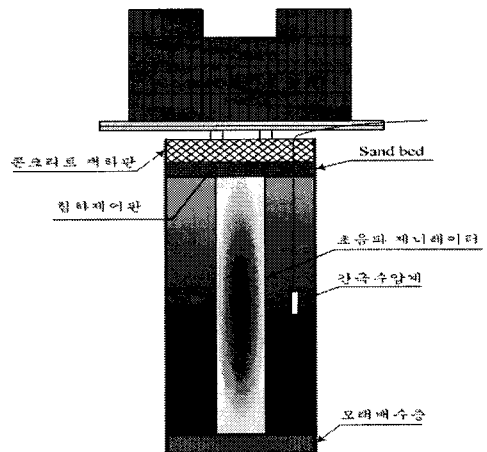
영향을 알아보기 위하여 대형 토조(지름 40cm, 높이 250cm)에 시료를 성형한 후 초음파 모듈을 적용하여 동일한 압밀 실험을 수행하였다. 이에 대한 개략도는 그림 5와 같다. 정확한 침하량 측정이 용이하지 않아 간극수압을 측정하여 소산정도로 압밀에 미치는 초음파 적용 효과를 알아보았다.



[그림 3] 원심력을 이용한 시료의 성형



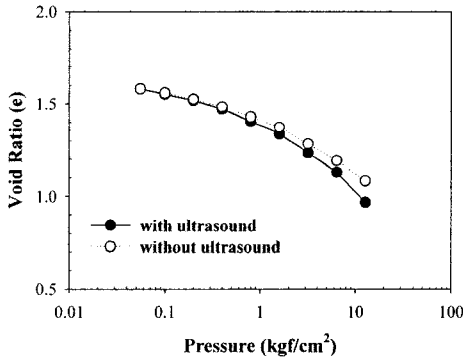
[그림 4] 배인시험



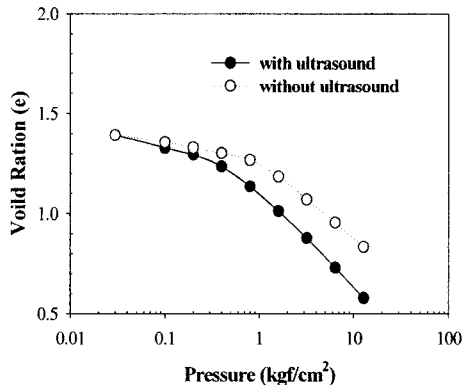
[그림 5] 모형토조실험

### 3. 실험결과

ASTM D4318-05에 나와 있는 압밀시험을 원심력 시료성형기에 의해 준비된 시료에 대하여 시행하였다. 압밀 시험 조건은 동일하지만 각 단계별로 초음파를 가한 경우와 가하지 않은 경우에 대하여 결과분석을 실시하였다. 그림 6은 카올리나이트(Kaolinite)계열의 시료에 대한 실험 결과이고 그림 7은 몬트모릴로나이트(Montmorillonite)계열 시료의 실험결과이다. 두 그림에서 볼 수 있듯이 초음파를 가하면 시료의 침하가 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 즉 같은 하중 하에서 더 많은 침하가 발생하였으며 압축속도를 나타내는 압축지수 또한 초음파를 가하게 되면 더 크게 나오는 것으로 나타났다. 그러나 시료의 특성에 따라 그 영향도는 다른 경향을 나타내는데 이는 팽창성이 다르기 때문이라 판단이 된다. 팽창성이 몬트모릴로나이트가 카올리나이트보다 훨씬 더 많은 것으로 알려져 있다.

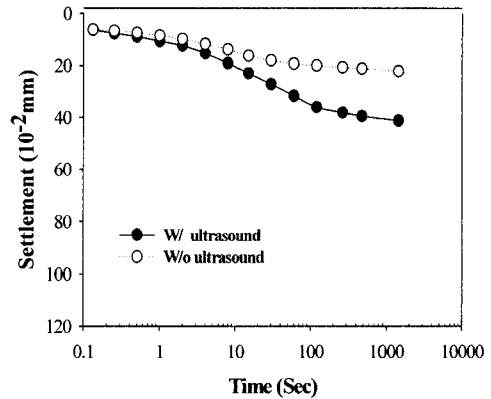


[그림 6] 카올리나이트 실험결과

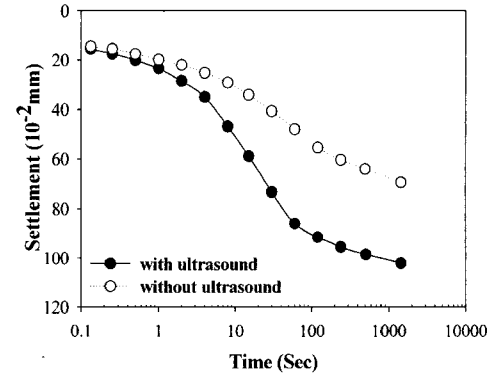


[그림 7] 몬트모릴로나이트 실험결과

kgf/cm<sup>2</sup>와 6.4 kgf/cm<sup>2</sup>의 하중단계에서의 시험 결과를 보여주고 있다. 각각 24시간동안의 결과이며 그림에서 알 수 있듯이 초음파의 적용이 매우 큰 추가 침하를 발생시킨 것을 보여주고 있다. 표 1은 배인시험의 결과를 정리한 것이다. 각 시료의 3개소를 측정하여 평균값을 구한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 초음파에 의해 발생하는 시료의 추가적인 교란은 없는 것으로 판단되며 도리어 시료의 강도가 초음파 적용으로 인하여 다소 증가되는 것으로 나타났다.



(a) 0.4kgf/cm<sup>2</sup> 단계



(b) 6.4kgf/cm<sup>2</sup> 단계

[그림 8] 압밀시험 중 각 단계에서의 침하

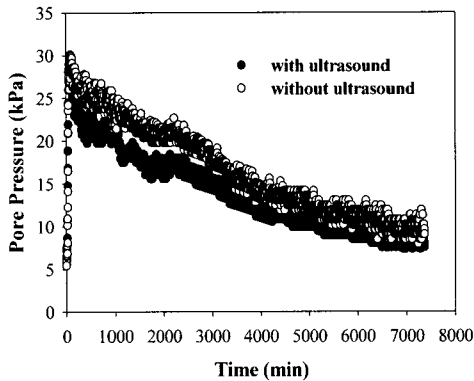
[표 1] 배인시험결과

조건	비배수전단강도 CU (tf/m <sup>2</sup> )	비고
with ultrasound	1.13	3개소/ 시료
without ultrasound	0.99	

그림 9는 대형토조를 이용한 시험의 결과를 정리한 것이다. 이 시험은 시간이 지남에 따라 간극수압의 소산을

그림 8은 몬트모릴로나이트 시료에 대한 시험 중 0.4

측정한 것으로서 압밀 진행과정을 간접적으로 판단할 수 있는 방법으로 알려져 있다. 그림에서 알 수 있듯이 초음파를 가한 경우가 가하지 않은 경우보다 간극수압의 소산이 빨리 그리고 크게 일어났다. 따라서 압밀시험기에서 소량의 시료뿐만 아니라 대형토조에 사용되는 비교적 큰 점토에서도 초음파를 가한 경우 압밀 진행이 빠르게 일어남을 알 수 있다.



[그림 9] 대형토조 시험 중 간극수압소산

#### 4. 결론

이 연구에서는 초음파에 의한 압밀촉진 효과를 두 개의 점토시료에 특별히 제작된 압밀 시험기를 사용하여 조사하였다. 점토 시료는 원심력 시료성형기를 이용하여 준비하였으며 시험조건은 초음파를 가한 경우와 가하지 않은 경우로 나누어 침하량 및 간극수압소산정도를 측정하였다. 시험결과 초음파를 가한 경우 압축량 뿐만 아니라 압축계수 그리고 간극수압의 소산 정도가 크게 나타났으며 이를 통하여 초음파를 이용한 압밀촉진공법 개발의 가능성을 발견하였다.

#### 참고문헌

- [1] 김명도, 김병일, 이승원, 조성민(2000), 지반 개량공법 설계, 도서출판 새론.
- [2] 박용원, 권호진, 송영우, 이원택, 임종석(1996), 지반공학용어사전, 엔지니어즈
- [3] Frederick, J.R, (1965), Ultrasonic Engineering, New York; Jone Wiley and Sons.

#### 박 지 호(Ji-Ho Park)

[정회원]



- 2004년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과(공학석사)
- 2004년 8월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과(공학박사)

<관심분야>

인공신경망, 초음파, 음향방출, 연약지반처리, 원심모형시험

#### 황 정 하(Jung-Ha Hwang)

[정회원]



- 2003년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과(공학석사)

<관심분야>

인공신경망, 초음파, 음향방출, 연약지반처리, 원심모형시험

#### 김 영 옥(Young-Uk Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 : The Pennsylvania State University 토목환경공학과 (공학박사)

- 2001년 3월~현재 : 명지대학교 토목환경공학과 부교수

<관심분야>

토양오염 복원, 음향방출, 연약지반처리, 원심모형시험