

투수계수에 미치는 초음파의 영향 Effect of Ultrasound on Permeability

목진만¹⁾, Jin-Marn Mok, 김영욱²⁾, Young-Uk kim, 김지형³⁾, Jeehyeong Khim

¹⁾ 고려대학교 토목환경공학과 대학원생, The Graduate Course, Dept. of Civil & Environment Engineering, Korea Univ.

²⁾ 명지대학교 토목환경공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil & Environment Engineering, MyongJi Univ.

³⁾ 고려대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil & Environment Engineering, Korea Univ.

SYNOPSIS: This study investigated the effect of ultrasound on the permeability of the granular soil. The investigation laboratory experiments, and laboratory tests were conducted under a broad range of conditions including energy levels of ultrasonic waves, time for the treatment, and type of the soil. The results of the study show that sonication enhances the permeability of the soil specimens significantly. The degree of varies with sonication power and duration of application, and type of soil.

Keywords: laboratory test, permeability enchancement, sandy soils, sonication, ultrasound

1. 서론

흙 및 지하수의 오염 문제가 심각하게 부각됨에 따라 오염물질의 이동에 영향을 미치는 요인에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 주목할 만한 기술중에서 초음파의 자극에 의해 변환되는 흙의 성질에 관한 연구를 들 수 있는데, 1800년대 후반 이후 Rudolph Koeng에 의해 어떤 물질의 성질을 변화시키려는 초음파의 적용이 근대 산업의 거의 모든 분야에 적용하는 계기가 되었다(Frederick 1965; Ensmmger 1988). Berliner 외에(1984, 1987) 몇 명은 고강도 초음파를 이산된 부유 미립자, 유동화된 지층, 그리고 오염토에서의 오염물질 제거를 시험하였다. 지반공학에서의 초음파의 적용에 대한 연구는 거의 없으며, 단지 개념적인 상태에 머물고 있는 상태이다. 실내 시험에서 Busacca 등은 (1984) 모래 샘플로부터 무기화합물을 분산시키는 초음파 액체 처리 장치의 효과를 입증하였다. 비슷한 연구로 Beard와 Stulen(1985)은 표토 손상을 처리하기 위한 굴착기를 사용할 때 액체 초음파 처리기의 사용 가능성을 입증하였다. 그들은 우물 안에서 자연스런 흐름과 같은 간극 시스템에서 트랩된 입자의 흐름으로 저 저항성의 지질 구조를 유발시킬 때의 초음파가 입자를 깨끗이 청소 할 수 있다고 밝혔다. Murdoch 등은 (1988) 초음파 세척 원형 통 안에서 모래질 점토의 수두 손실 투수 시험을 수행했고, 그 샘플의 투수계수가 $3.8 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 에서 $1.8 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 까지 갑자기 증가하는 것을 알아냈다. 후에 그 연구자는 초음파 투사 시험을 수행했으며, 투수

계수의 증가가 흙 시료의 접촉 배열 상태와 샘플의 구속 상태에 영향을 받는다는 것을 관찰했다. Coles 등에(1990) 의한 시험은 유기질의 반 휘발성을 함유한 흙의 초음파 세척이 오염물을 99%까지 만족할 만한 성과를 이룰 수 있다고 지적했다. 그 중 초음파에 의해 변화되는 지반의 특성 변화에 대해 관심이 높아지고 있는데 본 연구에서는 초음파에 의한 투수계수 변화를 실내시험을 통하여 알아보았다.

2. 기존의 연구 동향

NAPL (non-aqueous phase liquid) 상태의 오염물 제거에 초음파가 미치는 영향에 관한 연구는 극히 제한적이며 미비한 실정이다. Pogosyan 등은(1989) 초음파를 물과 탄화수소로 포화되어 있는 시료에 가함으로 물과 탄화수소의 phase separation이 순수 중력에 의한 분리보다 굉장히 크게 증가되었음을 보였으며 같은 해에 Nikolayevskiy는(1989) 다공매질(porous media) 속에 분산되어있는 기름 입자가 초음파에 의해 서로 모여 흐름을 형성한다고 발표하였다.

Cleveland와 Garg는(1993) 오염된 점토시료에 초음파를 가함으로 점토입자에 흡착되어 있는 오염물질을 점토입자와 함께 제거 할 수 있음을 시험을 통하여 보였고 Reddi와 Challa(1994) 및 Reddi와 Wu는(1996) 초음파가 다공매질속의 NAPL의 흐름을 용이하게 할 뿐 아니라 간극비도 증가시킴을 보였다. Ellen등은(1995) 초음파를 오염토에 가함으로 가하지 않았을 경우보다 약 30%에의 오염물 세척율이 증가됨을 보고하였고 Iovenitti 등은(1996) 오염된 모래시료에 초음파를 가함으로 작게는 6%에서 크게는 26%까지의 오염물 제거율이 증가되었음을 보였다.

위의 연구들의 결과를 종합해 보면 초음파가 다공매질에 대한 영향에 관하여서는 두 가지로 나뉘어짐을 알 수 있다. 초음파에 의한 진동에 의해 입자의 재배열 및 순간적인 간극비의 증가로 인한 투수성의 증가를 들 수 있고 초음파 에너지에 의해 간극액(pore liquids)의 점도(viscosity) 감소와 간극압(pore pressure)의 증가로 인하여 간극액 흐름이 더욱 용이하여 짐을 들 수 있겠다.

3. 실내 시험

3.1 시험장치

실내시험은 특별히 제작되어 조립된 실험기구를 통하여 행하여졌는데 시험기구의 개략적 설명은 그림 1에 나타나 있다. 그림에 나타나 있듯이 시험기구는 크게 두 가지 즉 초음파 프로세서와 시료를 담을 수 있는 챔버로 나누어져 있다.

챔버는 원통형 Plexiglas로 만들어 졌으며 내경은 4.5cm이고 실린더의 높이는 50cm로 제작되었다. 실린더의 아래 부분에 유입구를 두어 시험 중에 유출수를 메스실린더에 모을 수 있도록 제작되었다.

초음파 프로세서는 발전기, 변환기, 그리고 음향기로 이루어져 있다. 발전기(power supply)

는 일반적인 120V 의 60Hz AC를 약 1,000V의 20kHz 전기 에너지로 바꾸는데 사용되며 이 전기 에너지는 변환기에 의해 진동으로 바뀐다. 기계적 진동이 음향기에 의해 시험 중 시료에 가하여지게 되어있다.

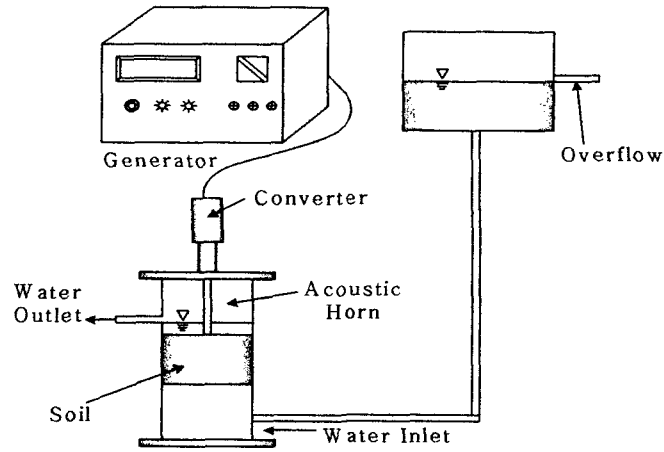


그림 1 시험 개략도

3.2 시험 시료

시험 시료로는 표준사인 주문진 모래와 안암동 인근 야산에서 채취한 화강풍화토를 사용하였으며 그에 대한 기본 물성치는 표 1에 정리하였으며, 그림 2에서 화강풍화토1의 입도 분포 곡선을 나타내었다.

표 1 시료의 기본 물성치

	C_u	C_c	γ_{dmax} (g/cm ³)	G_s
주문진 모래	1.19	1.01	1.682	2.6
화강풍화토 (안암동)	4.6	1.09	1.86	2.65

입도 분포 곡선(화강 풍화토)

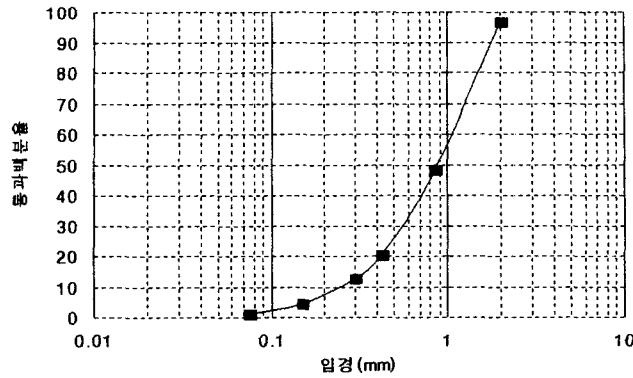


그림 2 화강풍화토(안암동)의 입도 분포 곡선

3.3 시험 방법

흙의 실내 투수 시험은 주문진 모래와 화강풍화토, 두 시료에 대해 각각 상대밀도를(D_r) 달리 하여 초음파를 투사하지 않은 경우와 초음파 강도를 각 240W, 260W, 480W 로 투사한 경우에 대해서 정수두 시험을 실시하였다. 시료는 24시간 이상 건조되었으며 128g의 시료를 챔버에 조심스럽게 다짐으로써 시료 준비를 완료하였다. 준비된 시료의 지름은 5cm이며 높이는 11cm이었다. 시료의 양끝에 #100 스크린을 두어서 시험 중 시료가 유실되는 것을 막았다. 또 시험 과정에서 기포가 발생되는 것을 방지하기 위해서 수돗물을 직접 흐르게 하지 않고 수통에 보관 한 실온과 거의 같아진 물을 사용하였다. 시험 준비가 완료된 후 물과 초음파를 동시에 가하여 줌으로써 시험을 시작하였다. 유출되는 물은 500ml 메스실린더에 모아 유출수를 측정하였다.

4. 시험 결과 및 고찰

토양의 투수계수에 대한 초음파의 효과를 검증하기 위해 주문진 모래와 화강 풍화토에 대해 초음파로 처리한 경우와 처리하지 않은 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 또한 초음파를 투사한 경우 초음파 강도를 변화시켜 시험을 실시하여 그 영향을 알아보았다.

4.1 주문진 모래

주문진 모래를 사용하고 상대밀도(D_r) 0.45 일 때 초음파를 투사하지 않은 경우 투수계수는 $5.386 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 이었고, 초음파 강도 240W, 360W, 480W에 대해 각각의 투수계수는 $5.56 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$, $5.714 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$, $5.864 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 로 그림 3에서 볼 수 있다. 위의 결과는 초음파를 투사하지 않은 경우와 관련하여 상대적으로 240W, 360W, 480W 각각

3.2%, 5.7%, 8.4% 증가한 것으로 나타났다.

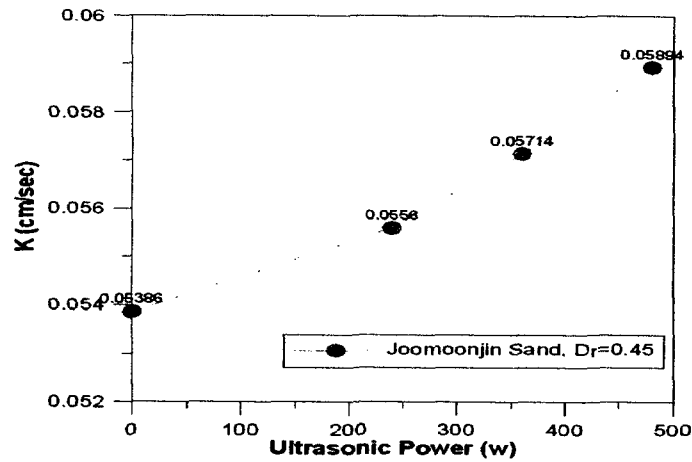


그림 3 상대밀도 0.45인 주문진 모래의 초음파 강도와 투수계수의 관계

그림 4은 주문진 시료에 대해 상대밀도 0.75를 취한 경우의 초음파 강도와 투수계수의 관계를 나타낸 것으로서 초음파를 투사하지 않은 경우 투수계수는 3.352×10^{-2} cm/sec 이었고, 초음파 강도 240W, 360W, 480W 에 대해서 각각의 투수계수는 3.536×10^{-2} cm/sec, 3.634×10^{-2} cm/sec, 3.712×10^{-2} cm/sec 이었으며, 이는 초음파를 투사하지 않은 경우에 대해서 상대적으로 각각의 초음파에 대해서 5.49%, 8.41%, 10.74% 증가한 것이다.

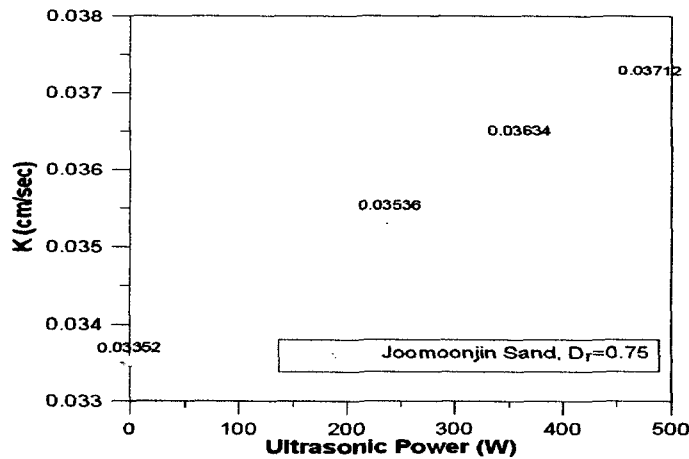


그림 4 상대밀도 0.75인 주문진 모래의 초음파 강도와 투수계수의 관계

4.2 화강풍화토

화강 풍화토를 사용하고 상대밀도 0.75 일 때 초음파를 투사하지 않은 경우 투수계수는 1.17×10^{-2} cm/sec 이었고, 초음파 강도 240W, 360W, 480W를 각각 투사한 경우의 투수계

수는 각각 $1.22 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$, $1.34 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$, $1.50 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 로 이는 또한 각각 초음파를 투사하지 않은 경우의 투수계수 값에 대해 4.27%, 14.53%, 28.21%로 증가한 값이다. 이에 대한 결과는 그림 5에 나타나 있다.

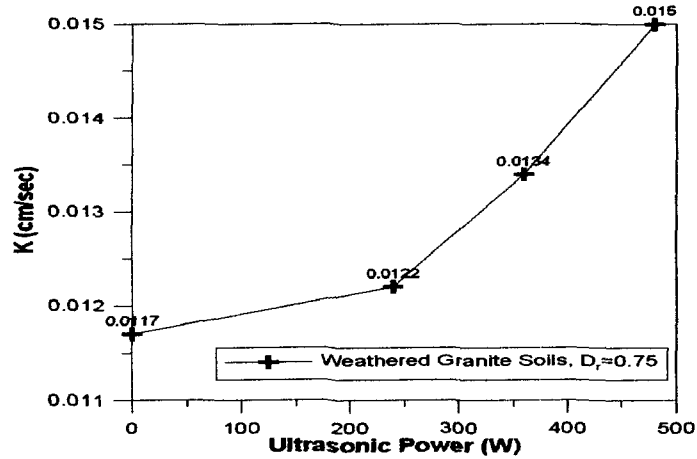


그림 5 상대밀도 0.75인 화강풍화토의 초음파 강도와 투수계수의 관계

그림 6은 화강풍화토, 상대밀도 0.45에 대해서 나타낸 것으로 초음파를 투사하지 않을 때의 투수계수는 $1.46 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 이었고, 초음파 강도 240W, 360W, 480W를 각각 투사한 경우의 투수계수는 각각 $1.59 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$, $1.73 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$, $1.87 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 로 이는 또한 각각 초음파를 투사하지 않은 경우의 투수계수 값에 대해 관계적으로 8.9%, 18.49%, 28.08%로 증가한 값이다.

화강풍화토에서 역시 상대밀도에 관계없이 초음파 투사에 의한 투수계수가 증가하는 것으로 나타났다. 또 초음파 강도 360W 이후로 급격히 투수계수가 상승하는 것을 볼 수 있다.

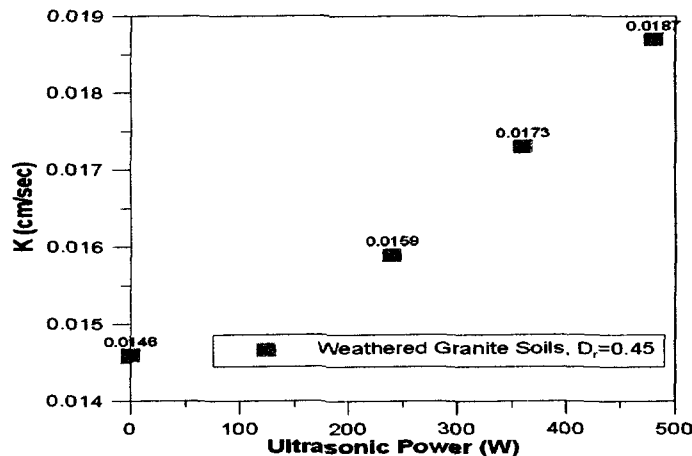


그림 6 상대밀도 0.45인 화강풍화토의 초음파 강도와 투수계수의 관계

이 연구 결과 초음파의 투사에 의해 흙의 종류나 상대밀도에 관계없이 따른 투수계수가 증

가하는 것을 알 수 있었으며, 초음파 강도가 커짐에 따라 투수계수가 증가하는 것을 볼 수 있었으나 증가의 정도는 흙의 종류와 상대밀도, 그리고 초음파의 강도에 따라 다르게 나타난 것을 알 수 있었다. 그림 7은 이 연구의 결과를 종합적으로 나타내 주고 있다.

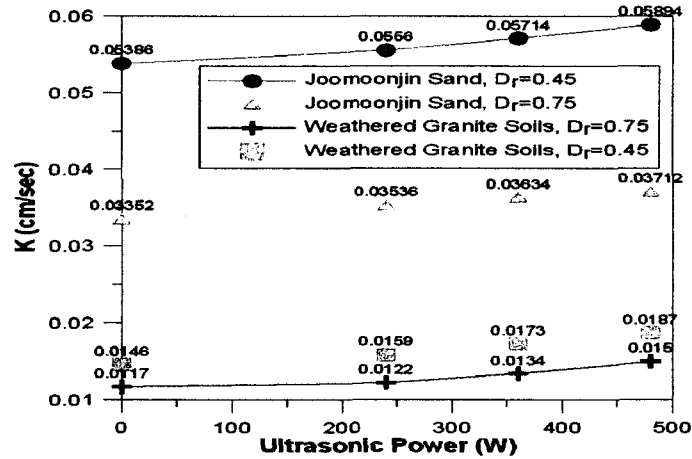


그림 7 토양에서의 초음파 강도와 투수계수와의 관계 - 종합

5. 결론

이 연구는 토양의 투수계수에 대한 초음파의 효과를 검증하기 위해 주문진 모래와 화강 풍화토에 대해 초음파로 처리한 경우와 처리하지 않은 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 또한 초음파를 투사한 경우 초음파 강도를 변화시켜 시험을 실시하여 그 영향을 고찰하였다. 이로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 주문진 모래와 화강풍화토 두 경우 모두 초음파를 투사하지 않을 때보다 초음파를 투사한 경우 투수계수가 증가하는 것을 볼 수 있었다.
2. 또, 두 경우 모두 상대밀도에 관계없이 초음파를 투사하지 않을 때보다 초음파를 투사한 경우 투수계수가 증가하는 것으로 나타났다.
3. 초음파 강도가 커짐에 따라 투수계수가 증가하는 것을 볼 수 있었으나 증가의 정도는 흙의 종류와 상대밀도, 그리고 초음파의 강도에 따라 다르게 나타난 것을 알 수 있었다.

6. 감사의 글

이 연구는 한국 과학재단 목적 기초 연구 사업 R01- 2002-000-00523-0(2002)에 의해 지원되었습니다.

7. 참고문헌

1. Cleveland, T. G and Garg, sanjay, (1993), Field demonstration of enhanced soil washing system for in-situ treatment of low-permeability soils, Waste Management Proceedings of the Gulf Coast Hazardous Substance Research Centers Symposium on Emerging Technologies: Metals, Oxidation, and Separation, Vol. 13, No 5-7, pp. 519-520, Belmont, TX.
2. Iovenitti, J. L., Rynne, T. M., and Spencer, J. W., Jr., (1995), Acoustically enhanced remediation of contaminated soil and ground water, Proceeding of opportunity 95-environmental technology through small business, Morgantown, West Virginia, November.
3. Kim, Y., Khim,, J., and Lee, I. (2000), sonication Effect on NAPL Extraction from soils, Journal of Korean Geotectotechnical Society, Vol. 16, No.2, pp. 25-28.
4. Miller, M. A. and Ramey, Jr., H. J., (1985), Effect of Temperature on Oil/Water Relative permeabilities of Unconsolidated Sands, Petroleum Transactions, AIME, Vol.279, pp. 945.
5. Nikolayevskiy, V. N,(1989), Mechanism and dominant frequencies of vibrational enhancement of yield of oil pools, Transactions (Doklady) of the USSR Academy of science: Earth Science Sections Vol. 307, No. 4, pp. 40-44.
6. Reddi L.N. and Challa, S., (1994), Vibratory mobilization of immiscible liquid ganglia in sands, Journal of Environmental Engineering, Vol. 120, No. 5, pp. 1170-1190.
7. Reddi. N. and Wu, H., (1995), Mechanisms involved in vibratory destabilization of NAPL ganglia in sands, Journal of Environmental Engineering, Vol. 122, No. 12,pp. 1115-1119