

토양세척에 있어서 탄성파의 효과에 관한 연구

Investigation on the Effect of Stress Waves on Soil Flushing

김영욱 · 김지형 · 이인모

고려대학교 공과대학 토목환경공학과

ABSTRACT

Acoustically enhanced soil flushing method is a newly developed in-situ remediation technique. However, there has not been an analytical method that can be used to evaluate the effectiveness of ultrasonic wave under different conditions. This study was undertaken to investigate the degree of enhancement in contaminant removal due to ultrasonic energy on the soil flushing method. The test conditions included different levels of ultrasonic power and hydraulic gradient. The test soils were Ottawa sand, a fine aggregate, and a natural soil, and the surrogate contaminant was a Crisco Vegetable Oil. The test results showed that sonication could increase contaminant removal significantly. Increasing sonication power increased pollutant removal. The faster the flow is, the smaller the degree of enhancement will be. The pollutants in dense soils are more difficult to be removed than in loose soils.

key word : Soil Flushing Method, Ultrasound, Stress Waves, NAPL

I. 서론

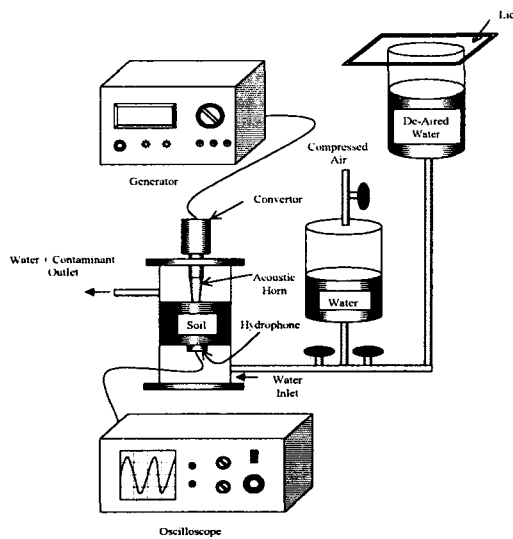
탄성파가 다공질재료에 미치는 영향에 관한 연구의 시작은 지진에 의해 우물 수위의 변화가 관측된 1950년까지 거슬러 올라간다. Voytov(1972)등은 고갈된 유정(oil well)에서 지진에 의해 원유생산이 다시 시작됨을 발견하였으며 그후 원유생산을 증가시키기 위하여 탄성파를 이용하는 실험 및 연구가 활발히 진행되어왔다. Wright(1980)는 초음파 발생기를 저유지(oil reservoir)에 묻어 탄성파를 발생시키면 이로 인하여 지반 내에 모세관압(capillary pressure)이 감소하여 원유생산량이 증대된

다고 발표하였다. Reddi와 Challa (1994)는 탄성파에 의한 NAPL의 이동특성의 변화에 관해 연구하였으며 토양오염 복원에 있어서 탄성파의 이용 가능성에 대해 제시하였다. 그러나 대부분의 실험 및 연구들은 제한된 범위의 실험 조건에서 행하여졌으며 탄성파가 토양오염 복원에 미치는 영향에 관하여서는 아직 체계적인 연구가 이루어져 있지 않은 실정이다.

본 연구는 토양오염 복원에 있어서 토양세척법을 사용할 때 탄성파가 토양세척률에 미치는 영향에 관하여 실내실험을 통하여 연구하였다. 실내실험의 조건으로는 시료의 종류, 유출수의 온도 및 속도, 그리고 탄성파 에너지의 강도 등이며 각각의 조건이 토양세척률에 미치는 영향에 대하여서도 아울러 고찰하였다.

II. 실내실험

1. 실험기구



실내실험에 사용된 기구는 Fig. 1에 나타내었는데 이는 크게 두 부분으로 이루어져 있다. 시료를 넣을 수 있는 원통형 테스트 챔버와 탄성파를 실험시 시료에 가할 수 있도록 되어있는 프로세서(processor)로 이루어져 있다. 테스트 챔버에는 일정한 압력 하에서 세척수의 유입속도를 조절할 수 있도록 고안된 장치가 연결되어 있다.

Fig. 1 Schematic of test setup

2. 시료 및 실험방법

사용된 시료로는 Ottawa Sand, 잔골재, 그리고 입도분포가 비교적 좋은 모래가 사용되었으며 대체오염물로는 식물성 식용유(Crisco 사)가 사용되었다. 자연 건조된 일정양의 모래와 대체오염물을 혼합한 뒤 테스트 챔버에 조심스럽게 다져서 준비한 후 탄성파와 세척수를 동시에 가하여 유출수에 포함된 오염물의 농도를 구하였다. 전체 실험기간동안 세 가지의 수두 ($i=1.6, 5.5, 12.9$) 및 두 가지의 탄성파 에너지(0W, 100W)를 사용하였으며 그에 따른 실험결과와의 차이를 비교 검토하였다.

III. 실험결과

세척수의 온도가 토양세척에 미치는 영향에 관한 결과가 Fig. 2에 나타났으며 탄성파를 가하였을 때와 가하지 않았을 때의 오염물 제거량의 차이는 Fig. 3에 나타나고 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 탄성파를 가하지 않은 상태에서 세척수의 온도는 오염물 제거에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. Fig. 3은 일정량의 세척수를 시료에 통과시켰을 때 세척되어지고 시료에 남아있는 오염물의 양을 나타내고 있는데 Fig. 3에서 보는바와 같이 탄성파 에너지가 오염물 제거에 상당히 큰 작용을 하는 것을 볼 수 있다. 간극부피(pore volume, PV)의 25배에 해당하는 25 PV의 세척수를 통과시켰을 때 탄성파가 세척률을 약 30%정도 증가시키는 것을 알 수 있다.

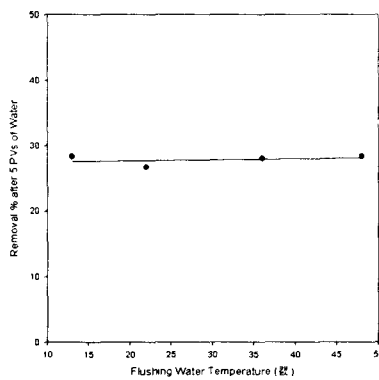


Fig. 2. Percent oil removal vs. flushing water temperature without sonication

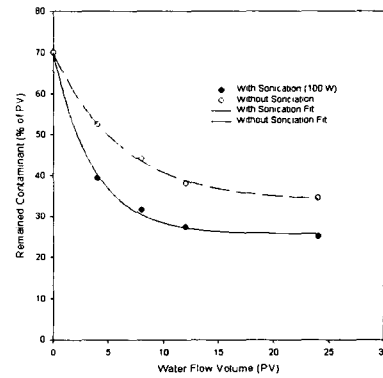


Fig. 3. Sonication effect on contaminant removal

탄성파 에너지의 강도(power)가 오염물 제거에 미치는 영향에 관하여서는 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4에서와 보는 바와 같이 탄성파 에너지의 강도를 증가시킬수록 오염물 제거량이 증가되나 100W가 넘어가면 오염물 제거량이 감소하기 시작한다. 갑자기 감소되는 현상은 초음파에 의해 생성되는 cavitation에 의한 영향으로 설명될 수 있겠다. Fig. 5는 실험에 사용된 모든 시료에 대한 결과를 종합적으로 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 모든 시료에서 탄성파가 오염물 세척에 큰 영향을 나타내었으며 세척수의 유입속도 또한 중요한 영향인자로 나타났다. 유입속도 즉 수두가 낮을수록 세척률이 증가됨을 알 수 있고 유입속도가 증가할수록 탄성파가 세척률 증가에 미치는 영향이 감소됨을 알 수 있다.

IV. 결론

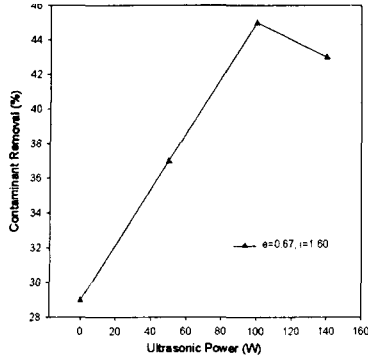


Fig. 4 Ultrasonic power vs. contaminant removal

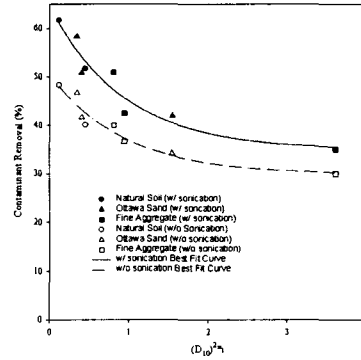


Fig. 5 Contaminant removal vs. $(D_{10})^2 * i$

본 연구에서는 초음파 에너지가 토양세척에 미치는 영향에 관하여 실내실험을 통하여 고찰하였다. 실험 결과, 세척수의 온도는 토양세척에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나 탄성파에 의해 세척률은 상당히 크게 변화되는 것으로 나타났다. 탄성파 에너지의 증가에 따라 세척률도 증가하였지만 cavitation 발생이후 세척율은 감소하였다. 세척수의 유입속도에 따라 실험결과도 다르게 나타났는데 유입속도가 낮을수록 세척률이 증가됨을 알 수 있었다. 본 연구를 통하여 탄성파를 이용한 보다 경제적이고 효율적인 현장 토양세척법의 개발에 대한 잠재성을 확인하였다.

V. 감사의 글

이 연구의 일부는 교육부의 BK'21 프로그램에 의해서 지원되었습니다.

VI. 참고문헌

1. Reddi, L. N. and Challa, S., "Vibratory mobilization of immiscible liquid ganglia in sands", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 120, No. 5, pp. 1170-1190 (1994)
2. Voytov, G. I., Osika, D. G., Grechukhina, T. G., and Plotnikov, I. A., "Some geological and geochemical consequences of the Daghestan earthquake of May 14, 1970", *Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Science, Earth Science Sections*, 202, 576-579 (1972)
3. Wright, T. R., Jr., "Ten new ideas in production technology", *World Oil*, Vol. 191, pp.79-85 (1980)