

유기질토에 대한 생분해처리 효과에 관한 연구

A Study on the Effects of Biodegradation for Organic Soils

송 영 우*¹

Song, Young - Woo

박 준 범*²

Park, Jun - Boum

김 형 석*³

Kim, Hyung - Suk

Abstract

The compressibility and the permeability of organic soil are so high that they cause many engineering problems when constructing a structure on the soil. If the organic content of the soil could be reduced by any applicable engineering technique, the engineering properties of the soils can be improved to some extent. The purpose of this study would thus be focused on how to decrease the amount of organic matters by applying aerobic biodegradation for eliminating post-construction settlement problems. To enhance the aerobic decomposition, oxygen was supplied to the soil samples prepared by the mixture of kaolinite and sawdust as organic matter. The dissolved oxygen and the organic content of the soil samples were measured in accordance with the passage of time through the tests. As oxygen suppliers, H_2O_2 liquid and pure oxygen gas were compared to meet the requirement of the test purposes. Newly manufactured oedometer with the diameter of 130 mm and the height of 300 mm was used for 100 days to perform the compressibility tests for the soils. Based on the results of this experiment, the oxygen gas-treated samples with nutrient settled 30% more than the samples untreated. This confirmed the efficiency of the aerobic biodegradation. $NaNO_3$ added into the soils as nutrients was proved more effective than K_2HPO_4 . To confirm the activity of micro-organisms, sodium azide was also added to the soils.

요 지

유기질 지반은 압축성과 투수성이 매우 커서 구조물을 시공하는 데 많은 문제를 발생시켜 토지의 효율적인 이용을 어렵게 한다. 이러한 지반에 특별한 공법을 적용하여 유기물의 함량을 감소시

*1 정희원, 한남대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수

*2 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 전임강사

*3 경동기술공사 지반부

킬 수 있다면, 지반의 공학적 성질을 어느 정도 개선할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 유기질 지반 내 유기물 함량을 감소시켜 시공후 침하문제 해결하기 위해 호기성 생분해처리법(aerobic biodegradation)을 이용하여 지반내 유기물의 함량을 감소시키는 방안에 대해 연구하였다. 생분해 처리 효과를 높이기 위해 고령토에 톱밥을 섞어 조제한 모형 유기질 지반에 산소를 공급하고, 시간에 따른 용존산소량, 유기물 함량의 변화를 관찰하였다. 산소원으로는 과산화수소 수용액과 산소가스를 사용하였다. 본 실험을 위해 새로 제작한 직경 130 mm, 높이 300 mm 의 압축시험기로 100 일 동안 모형압축시험을 하였다. 시험결과 산소가스와 영양분을 공급한 시료는 그렇지 않은 경우에 비해 압축량이 30% 정도 더 크게 나타났다. 영양분으로는 K_2HPO_4 보다 $NaNO_3$ 를 첨가하는 것이 더욱 효과적이었다. 또한 시료에 아지드 나트륨을 사용하여 미생물의 작용을 확인하였다.

Keywords : Biodegradation, Dissolved oxygen, Organic content, Compressibility test, Nutrient

1. 서 론

산업화와 인구증가의 영향으로 도시폐기물(municipal solid waste)의 양이 크게 증가하여, 이를 적절히 처리하기 위한 매립(landfill)과 소각(incineration)시설에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 매립은 지가의 상승으로 매립지에 대한 사후이용이라는 측면에서 관심이 높아지고 있다. 사후이용 종료된 매립지반은 시간이 경과됨에 따라 지반내의 유기물 분해에 의한 압축성과 투수성이 매우 커서 구조물을 시공하는 데 많은 문제를 발생시킨다. 이런 지반은 단순히 탈수나 고결, 다짐 등 개량 공법의 적용이 매우 어렵고, 가능하다 하더라도 안정화시키는 데 시간이 매우 오래 걸리는 단점이 있다. 따라서 쓰레기 매립장과 같이 유기질이 많이 함유된 지반을 단시일 내에 유기물 분해를 통한 안정화를 이룰 수 있다면 조기 안정화에 따른 토지의 이용효율을 높일 수 있을 것이다.

본 연구는 유기물질로 오염된 지반을 정화 처리하는 방법의 하나인 호기성 생분해처리법(aerobic biodegradation)을 적용하여 유기질 지반의 압축성을 개선하는 방법에 관한 것으로 여러 생분해 조건 아래서 시료의 유기물 함량 변화를 측정하고, 새로 제작한 실험장치로 모형압축시험을 실시하여 시간에 따른 침하량을

측정하였다. 산소원으로는 과산화수소 용액과 산소 가스를 사용하였다. 영양분으로는 K_2HPO_4 와 $NaNO_3$ 를 사용하였다.

2. 문헌연구

2.1 유기질토의 정의 및 특성

유기질토는 분해중인 동·식물과 무정형의 부식물을 포함한 흙으로, 미생물학적으로 대략 10% 정도의 유기물을 함유하고 있는 흙을 말한다. 그러나 흙 속의 유기물 함량이 2~4%를 초과하면 그 영향이 인정된다고 본다. 유기물질은 대표적으로 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N) 등을 함유하고 있다(Alexander, 1985). 유기질토의 공학적 특성은 다음과 같다(김 등, 1986).

- 1) 압밀침하량이 크고 대부분 2차압축이 일어난다.
- 2) 압축성과 투수성이 크다.
- 3) 수직방향보다 수평방향의 투수성이 크다.
- 4) 초기함수비가 강도에 큰 영향을 미친다.
- 5) 압밀시험 직후 큰 압밀침하가 발생한다.
- 6) 유기질 함량이 20% 이하이면 대체로 Terzaghi 의 압밀이론과 일치한다.
- 7) 유기질 분해도가 증가하면 압축지수가 감소한다.
- 8) 과잉간극수압이 0이 되어도 압밀이 끝나

지 않고 유효응력하에서 2차압축이 발생한다.

9) 비중은 유기질토, 실트 등이 2.3~2.65의 범위이다.

본 연구의 주제인 유기질토의 범주에는 쓰레기 매립장의 매립된 폐기물도 포함되는데, 폐기물의 구성 성분은 cellulose가 제일 많고 lignin, hemicellulose, protein 순이다. 이 중에서 식물질의 주요 세포구성 물질인 cellulose와 hemicellulose는 91%의 메탄생성 잠재 가능성을 나타내고 있다. 만약 물질대사를 활발하게 하면 이 두가지 유기물질의 약 74%가 무기화(mineralization)된다는 보고가 있다(Wall 등, 1994). 또, 이에 따르면 도시쓰레기의 경우 유기 폐기물의 25 ~ 40%가 생물학적 분해가 가능하다고 한다. 이는 생물학적 분해에 의하여 매립지반의 조기안정화가 가능함을 시사하는 것이다. 그림1은 유기물이 함유된 지반의 생분해 처리 과정을 나타낸 것이다.

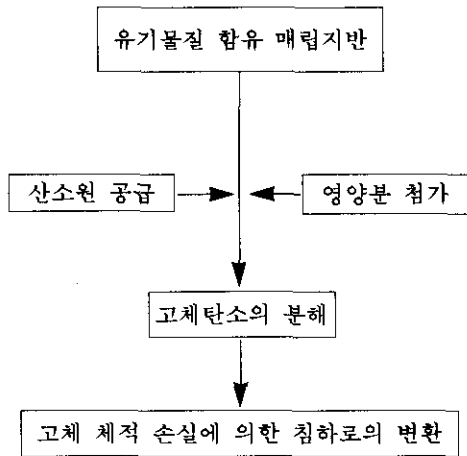
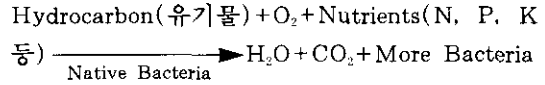


그림 1. 생분해처리에 따른 매립지반침하 발생과정

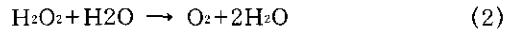
2.2 생분해처리법

생분해처리법에는 호기성 생분해처리법과 혐기성 생분해처리법이 있다. 호기성 생분해처

리법은 유기물 매립지반을 호기성 상태로 만들어 호기성 미생물의 활동을 활발하게 하여 유기폐기물질을 정화처리하는 방법이다. 이 방법의 처리 메카니즘은 다음과 같다(Pardieck 등, 1992).



유기물매립지반을 호기성 상태로 만들기 위해 지반에 공급하는 산소원으로는 과산화수소 용액, 산소, 공기 등이 있다(Wilson 등, 1994, Bedient 등, 1994). 과산화수소는 물과 결합하면 식(1), (2)와 같이 많은 산소를 발생시킨다(Ravikuman 등, 1994). 이때, 호기성 미생물이 분자화된 산소 즉, 용존산소를 이용하여 유기 오염물질을 분해할 수 있게 된다.



H_2O_2 용액의 적정 주입농도는 50~500ppm으로 알려져 있고, 그 이상이면 미생물에 독성으로 작용할 위험이 따른다. 그러나 500ppm 이상의 농도에서 주입농도를 5ppm 범위에서 점진적으로 증가시키면 2000ppm까지도 증가시킬 수 있다고 한다(Pardieck 등, 1992, Brubaker 등, 1995). 산소를 공급하는 경우는 99, 99.9, 99.99, 99.999% 등 고순도의 기체상태로 주입한다. 공기를 이용하는 경우는 콤프레셔를 이용하거나, 대기중의 공기를 블로어(blower)를 이용하여 처리대상 지반에 영양분과 함께 공급한다. 공기를 주입하여 정화처리하는 방법이 그림 2에 나타나 있다.

생분해처리법에서는 온도, 공기공급, 수분 등의 영향인자가 분해능력을 크게 좌우한다. 온도는 물질대사 속도를 결정하는 데 가장 중요한 조건 중의 하나이다. 물질대사에 최적의 온도는 30~40°C 전후에서 나타난다(Wardwell 등, 1983). 온도가 상승하면 유기물의 분해가

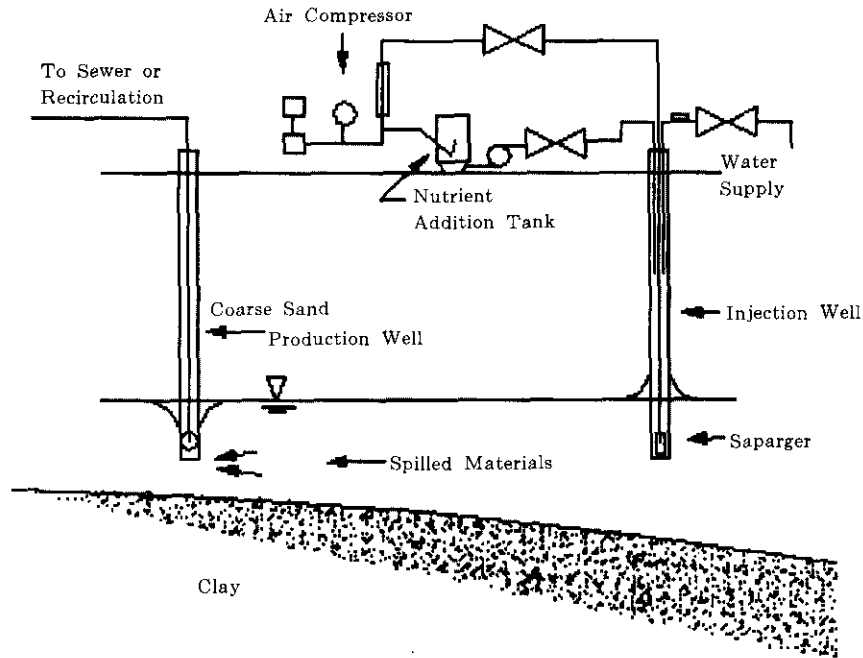


그림 2. 공기를 이용한 주입 시스템(Bedient 등, 1994)

가속되지만 일반적으로 40°C 이상에서는 오히려 분해속도가 감소한다(Alexander, 1985). 공기 또한 물질대사의 범위와 속도를 좌우하는데, 호기성 상태에서 물질대사가 더욱 활발해진다. 수분의 공급도 충분해야 하나 흠에서는 수분이 많으면 오히려 공기의 이동을 방해하여 미생물의 활동을 감퇴시키는 경우가 있다. 따라서 환기가 잘 되는 조건을 조성하는 경우 수분은 물질대사에 중요한 역할을 한다.

위의 기본적인 조건 외에 영양분도 물질대사를 촉진시키는 역할을 한다. 영양분의 종류는 미생물의 종류에 따라 다양하지만, 대표적으로 질산염, 인산염, 칼륨 등을 영양분으로 사용한다(최 등, 1994). 본 연구에서는 NaNO_3 , K_2HPO_4 를 사용하였다.

혐기성 생분해처리법은 호기성과 달리 산소원을 공급하지 않고 영양분만 첨가하여 지반을 혐기성 상태에서 혐기성 미생물의 활동을 활발하게 하여 오염물질을 정화처리하는 방법이다. 혐기성 처리는 전형적으로 호기성 처리보다 기

간이 오래 걸리는 특징이 있다. 생분해처리법은 2차적인 환경문제를 발생시키지 않고, 다른 처리법에 비해 경제적이며, 유기오염물질의 완전한 분해가 가능하다는 장점이 있다. 단점으로는 흠에서는 효과적인 폭기, 처리지역 선정 및 처리 범위 결정이 어렵다는 점이다.

2.3 2차압축이론

폐기물 매립지반의 경우 시간이 경과하면서 초기압축, 1차 및 2차압축이 발생한다. 초기압축은 외부하중 작용시 탄성압축과 유사하게 즉시 발생하며, 1차압축은 간극수와 간극가스의 소실에 기인하며 하중작용 후 30일 안에 발생하며 경험적으로 Terzaghi 이론을 적용한다. 2차압축에 관해서는 많은 논란이 있으나, Sowers(1973), Gordon 등(1986)에 의하면 폐기물 구조의 붕괴와 생물학적 부패에 의한 크립현상(creep)에 기인한다고 한다. 2차압축은 오랜기간에 걸쳐 발생하여 폐기물 두께의 18-

25% 정도로 압축된다. Sowers(1973)는 수개의 매립장에 대해 관찰한 침하량에 근거하여 처음으로 매립장의 2차압축에 대한 모형을 제시하였는데 그의 식은 본래 Buisman(1936)의 2차압축이론을 수정한 것이라 한다(Wall 등1995). Sowers(1973)는 쓰레기 매립장의 2차압축을 역학적 2차압축, 물리화학적 작용, 생화학적 부패 등의 복합작용으로 보았다. 그의 이론은 2차압축곡선이 시간의 상용대수에 비례한다는 것인데 이는 많은 연구자들에 의해 확인되었다. Sowers(1973)는 위생매립장의 2차압축 모델을 다음 식과 같이 제안하였다.

$$S_s = H_p C_{cs} \log(t/t_p) \quad (3)$$

여기서,

$$C_{cs} = C_s / (1 + e_p)$$

$$C_s = \Delta e / \Delta \log t$$

e_p = 초기간극비(1압밀이 끝난 후 간극비)

여기서 2차압축지수(C_s)는 고체유기폐기물에 대해 초기간극비(e_p)와 분해조건에 따라 다음과 같이 변한다고 제안하였다. 여기서 0.03은 분해조건이 나쁜 경우이고, 0.09는 좋은 경우이다.

$$C_s = (0.03 \sim 0.09)e_p \quad (4)$$

3. 실험

3.1 실험장치

장기간에 걸쳐 발생하는 폐기물 매립지반의 압축현상을 생분해효과를 이용하여 조기에 발생시키고자 실내실험을 실시하였다. 기존의 압밀실험기계로는 산소의 공급 및 온도조절이 곤란하고, 압축실이 작아 관찰이 어려우므로 새로 실험장치를 고안하여 사용하였다. 실험장치가 갖춰야 할 조건은 산소 및 영양분의 공급이 가능하여야 하고, 온도를 일정하게 유지할 수 있어야 한다.

압축실은 그림 3와 같이 기존의 압밀실험장치보다 규격이 큰 두께 10mm 외경 150mm 높

이 300mm의 아크릴로 제작하였다. 산소가 시료에 고르게 확산되도록 압축실 하부에 밸브를 설치하여 산소통의 호스와 직접 연결되도록 하였다. 유공판은 두께 10mm의 아크릴로 제작하고, 매우 작은 직경의 구멍을 촘촘히 만들어 배수와 산소의 확산이 원활히 되도록 하였다. 재하판은 두께 15mm의 아크릴판으로 제작하되 압밀하중으로 사용될 약 30kg의 하중에 견딜 수 있도록 하였고, 재하판에는 시료내에 영양분을 공급하기 위해 P.V.C 파이프를 삽입할 수 있도록 직경 20mm의 구멍을 뚫었다. 재하판의 밑에는 두께 10mm의 아크릴판으로 유공판을 설치하여 상·하 양면배수가 되도록 하였다.

일정한 온도를 유지하기 위해 압축실을 향온수조 안에 2/3정도 수침시키는 방법을 사용하였다. 높이 300mm, 넓이 670mm, 폭 330mm의 영국 Wykham사 향온수조는 일정한 수온이 수조 전체에 고루 확산 유지할 수 있도록 수조내에 프로펠러가 설치되어 있어, 긴 실험기간 동안 온도 유지에 적합한 특징이 있다.

상온에서의 시험은 두께 5mm, 너비 670mm, 높이 300mm, 폭 330mm의 유리 수조를 제작하여 수조에 압축실을 수침시켜 상온에서의 수온을 유지할 수 있도록 하였다. 수조내 물이

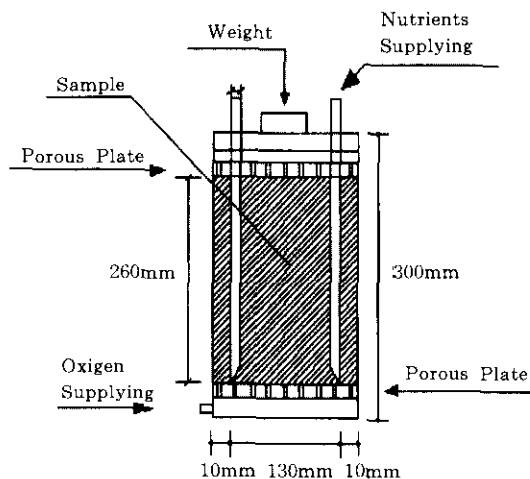


그림 3. 압축실

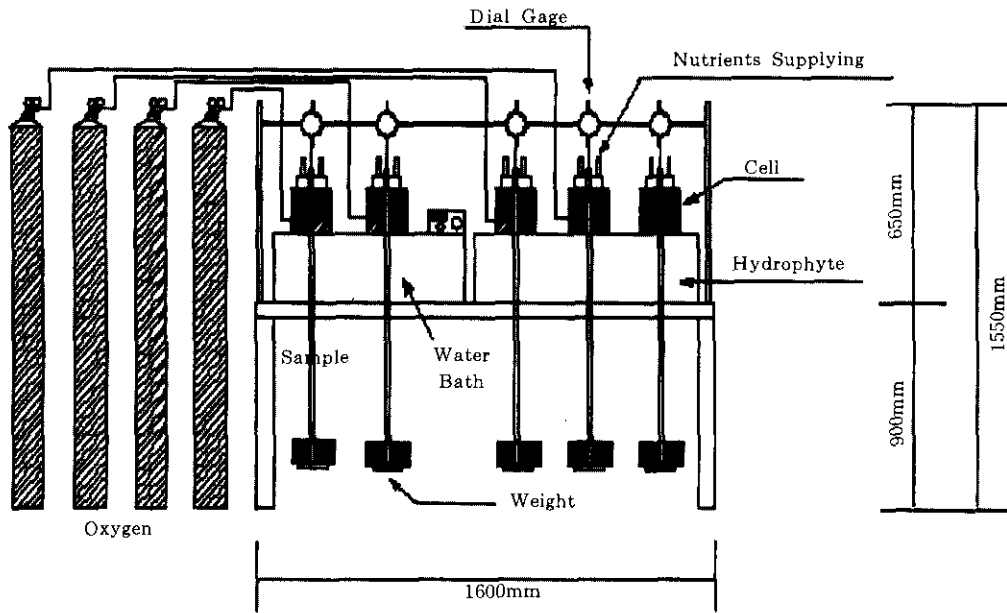


그림 4. 압측실험장치

흔탁해 지는 것을 방지하기 위하여 7일 간격으로 교환하였다. 침하량 측정용 다이얼 게이지는 일본 Mitutoyo 사에서 제작한 50mm 용량의 것을 사용하였다.

실험장치의 전경은 그림 4와 같다. 실험장치는 전장1600mm, 높이900mm, 측면 폭 350mm의 강재로 제작하였다. 받침판과 다리는 일체로 제작하였으며, 4개의 다리에 각각 높이 조절장치를 부착하여 수평을 조절할 수 있게 하였다. 다이얼 게이지를 부착하기 위해 실험대 상부 좌우에 직경 10mm, 길이 650mm의 강봉을 수직으로 설치하고, 여기에 동일한 직경의 길이 1400mm의 강봉을 수평으로 설치하였다. 다이얼 게이지가 부착된 수평강봉의 중앙부 처짐 발생을 억제하기 위해 수직강봉과의 이음부에 압나사를 설치하였다.

3.2 시료의 준비 및 산소의 공급

실험에 사용될 유기질토 시료는 무기질 재

료인 고령토(kaolinite)에 유기질 재료로 톱밥을 섞어 제조하였다. 고령토는 점토시료로 널리 사용될 뿐만 아니라, 기타 광물의 함량이 적어 유기물 함량 시험시에 오차를 줄일 수 있다. 자연시료로는 균질성(homogeneity)의 보장과 유기물 함량이 다양한 시료의 확보가 어려워 조제시료를 사용하였다. 본 실험에서는 유기물 함량이 중량비로 20~80% 정도가 되도록 톱밥의 양을 조절하였다. 산소원으로 H_2O_2 용액이나 산소 가스를 유기질 지반에 주입하고, 시간에 따른 용존산소량의 변화를 측정하였다. 아울러 이러한 변화가 미생물에 의한 것인지를 확인하기 위해 시료에 박테리아의 활동을 억제하는 물질인 sodium azide(NaN_3)를 주입한 후 용존산소량의 변화를 관찰하였다.

과산화수소 수용액은 미생물 활동에 적정농도인 0~200ppm의 범위로 수돗물 및 증류수를 사용하여 제조하였다. 이 용액을 유기질토 시료 500g에 3리터씩 주입하고 35°C에서 6시간 간격으로 용존산소량의 변화를 측정하였다.

용존산소량이 0ppm이 되면 H₂O₂ 용액을 초기 농도로 재충전하며, 유기물 함량은 5일 간격으로 측정하였다.

O₂ 가스를 사용한 경우는 유기질토 시료에 영양분으로 물과의 중량비로 10%의 K₂HPO₄, NaNO₃ 용액을 첨가하고, 순도 99.99%의 O₂ 가스는 지반내 확산이 용이하도록 시료에 양력이 거의 작용하지 않도록 분당 100cc를 주입하여 시험하였다.

시험에 사용된 미생물은 특별히 규명하지 않았고, 시험에 사용된 흙에 서식하는 호기성 박테리아(aerobic bacteria)로서 토착세균(indigenous bacteria)을 이용하였다. 흙마다 pH, 함수비, 온도 등이 달라서 모든 토양에 특정 박테리아가 생분해를 최대로 일으키는지 혹은, 흙에 이미 기생하는 세균을 이용하는 것이 생분해에 더욱 효과적인지는 추후 연구과제라 할 수 있다.

3.3 용존산소량 및 유기물 함량의 측정

생분해처리 효과는 용존산소량의 변화를 측정하여 간접적으로 확인할 수 있으며, 직접적으로는 흙속의 유기물 함량의 변화를 측정하거나 압축시험을 통한 압축량의 증가로 알 수 있다.

용존산소량의 측정은 화학약품을 사용하는 방법과 장비를 사용하는 방법이 있는데 전자에 속하는 Winkler법은 정확한 용존산소량의 측정이 가능하나 시료의 채취부터 측정까지 많은 시간이 소요되고 측정상의 제약조건이 많으며, 숙달되지 않을 경우는 오차가 큰 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 최대 용존산소를 20ppm까지 측정할 수 있는 이탈리아 HANNA 사 제품인 휴대용 측정기를 사용하였다. 유기물 함량은 JIS(일본공업규격)에 따라 다음 식으로 측정하였다.

$$OC = \frac{A - B}{A - B} \times 100 (\%) \quad (5)$$

여기서

OC = 유기물 함량(Organic Content)

A = 시료와 도가니 중량

B = 700°C로 가열한 후의 시료와 도가니 중량

C = 400°C로 가열한 도가니 중량

3.4 압축량 측정

제작한 압밀(압축)시험장치로 표 1과 같이 산소공급 여부, 영양분공급 여부, 온도조건을 달리하여 실험하였다. 시료의 유기물 함량은 75%, 초기 함수비는 250%로 제조하였다. O₂ 가스는 99.99%의 고순도로 원형 셀에 직접 주입하였다. 흙 속에서 폭기가 원활하도록 아크릴로 제작된 유공판을 셀 하부에 설치하고, 100cc/min 비율로 O₂ 가스를 시료의 하부에서 상부로 주입하였다. NaNO₃는 물과의 중량비로 10% 수용액 상태로 3일 간격으로 첨가하였다. 압밀시험시 포화된 시료에서 발생하는 간극수압으로 주입한 영양분이 잘 침투하지 않을 것에 대비하여, 재하판에 직경 20mm 정도의 구멍을 만들어 PVC파이프를 시료에 삽입시킨 후, 이것을 통해 영양분을 주입하였다. 또한 셀 상부에도 영양분 수용액을 상존시켰다. 항온을 유지하기 위해 매일 수온을 측정하였다. 압밀시험시 사하중으로 30kg의 추를 사용하였다. 이를 압축실의 면적으로 나누면 압밀하중은 0.23kg/cm²에 해당한다. 전통적인 압밀시험에서는 시료의 직경이 비교적 작고 지렛대의 원리를 이용함으로써, 하중이 작은 추를 사용하여도 여러 단계의 압밀하중을 재현할 수 있으나, 본 시험에서는 비교적 직경이 큰 시료를 사용하였고, 제작한 시험장치의 특성상 더 큰 사하중의 사용이 어려워, 압밀하중이 0.23 kg/cm₂으로 제한되었다. 이 하중은 전통적 압밀시험에서 비교적 작은 하중단계에 해당한다. 이 하중을 100일 동안 재하하고 10일 간격으로 압축량을 측정하였다.

표 1. 생분해처리 조건

시험번호	온도	산소가스 주입	영양분 첨가
No.1	35°C	○	○
No.2	35°C	×	×

4. 실험결과

4.1 용존산소량의 변화

과산화수소수를 이용한 용존 산소량 시험결과는 다음과 같다. 그림 5는 초기 유기물 함량이 26%, 온도를 35°C로 유지한 경우 H₂O₂ 용액의 농도별, 시간에 따른 지반내 용존산소량의 변화를 보여주고 있다. 여기서 과산화수소 수용액의 농도가 0ppm에서 200ppm으로 변할 때, 용존산소량이 0이 되는 데 소요되는 시간은 19~72시간 정도임을 알 수 있다. 용액의 농도가 낮을 수록 소요시간은 짧아진다. 이 사실은 농도가 높으면, 산소가 많이 발생하여 미생물이 발생된 용존산소를 섭취하는 데 더 많은 시간이 걸리기 때문인 것으로 생각된다. 또 초기단계에서는 오히려 용존산소량이 증가하는 경향을 보이는데 이는 발생하는 산소의 양이, 미생물이 산소를 소모하는 양보다 많기 때문인 것으로 생각된다.

그림 6은 초기 유기물함량이 51%인 경우로 과산화수소 수용액의 농도가 0ppm에서 200ppm으로 변할 때, 용존산소량이 0이 되는 데는 6~19시간 정도가 소요되고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 온도 및 과산화수소 수용액의 농도(200ppm)가 같고 유기물의 초기 함량만이 다른 경우로서, 용존산소량이 0이 되는 데 소요되는 시간은 유기물함량이 51%인 경우가 24시간 정도인데 비해, 26%인 경우는 전자의 약 3배인 72시간 정도 소요된다. 이는 유기물질이 많이 포함된 시료는 산소 소모량이 많아 용존산소가 더 빨리 소진되는 것으로 생각된다. 이런 사실로부터 실제 현장 적용시 산소 공급 주기는 지반내 유기물의 함량을 고려해서 결정하여야 할 것이다.

그림 7은 과산화수소 수용액 200ppm에 독성물질인 아지드화 나트륨(sodium azide)을 첨가한 시료와 첨가하지 않은 시료의 시간에 따른 용존산소량의 변화를 나타내고 있다. 두 경우 모두 초기에 용존산소량이 증가하는 것은

비슷하지만, 아지드화 나트륨을 첨가한 시료의 용존산소량은 그 후 일정한 농도로 유지되는 것을 관찰할 수 있다. 그 이유는 첨가하지 않은 시료에서는 미생물이 살아있어 물질대사에 필요한 산소를 지속적으로 섭취하여 궁극적으로 용존산소량이 0이 되나, 첨가한 시료에서는 미생물의 활동이 둔화되거나 소멸하여 더 이상의 산소를 섭취하지 못하므로써 용존산소량이 일정하게 유지되는 것으로 생각된다. 이 사실로부터 용존산소량의 변화, 즉 생분해현상은 미생물의 물질대사에 의한 것이라는 사실을 알 수 있다.

4.2 산소원의 종류에 따른 유기물 함량의 변화

앞의 시험결과에서 지반내 용존산소의 감소가 미생물의 물질대사에 의한 것이라는 사실을

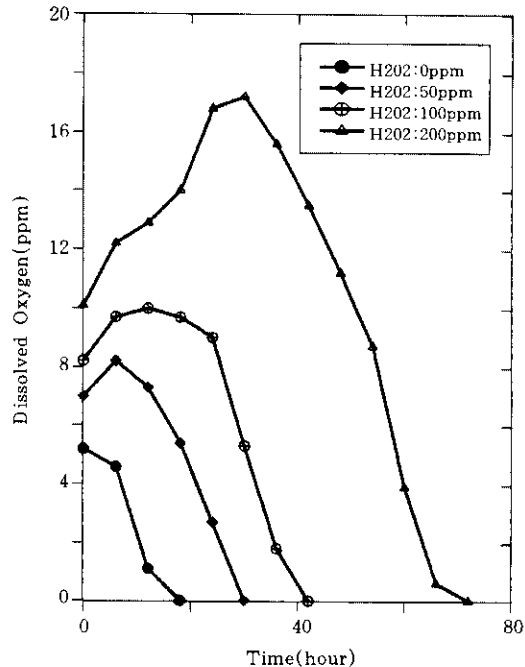


그림 5. 시간에 따른 용존산소량의 변화
(초기 유기물함량:26%, 온도 35°C)

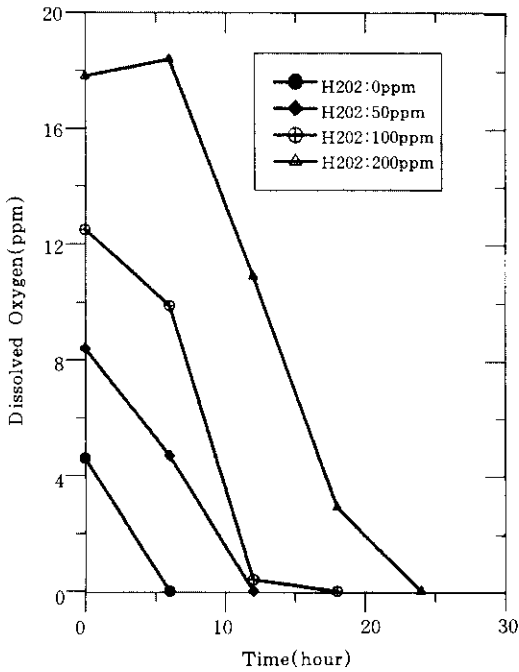


그림 6. 시간에 따른 용존산소량의 변화
(초기 유기물함량:51%, 온도 35°C)

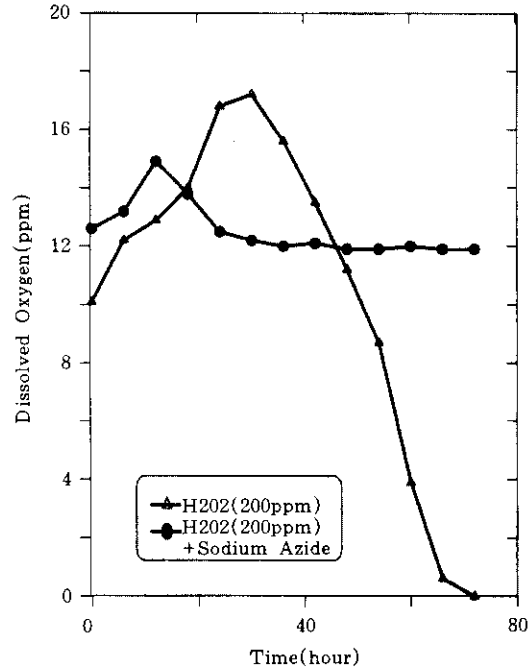


그림 7. 미생물의 작용을 확인하는 시험
(초기 유기물함량:26%)

알았다. 여기서는 산소원의 종류에 따라 미생물의 물질대사에 의한 지반의 유기물 함량의 변화를 조사하였다.

4.2.1 과산화수소 수용액을 주입한 경우

그림 8은 초기 유기물 함량이 51%, 온도 35°C에서 과산화수소 수용액을 주입한 경우 시간에 따른 유기물 함량의 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 30일 동안의 실험기간내에는 과산화수소 수용액의 농도에 상관없이 유기물 함량이 감소, 증가를 반복하는 등 불규칙한 양상을 보이고 있어, 뚜렷한 유기물 함량 변화를 관찰할 수 없었다. 이것은 시험방법상으로 시험기간 동안 과산화수소 농도를 일정하게 유지하지 못한 데 그 원인이 있거나, 시험관찰 기간이 짧았던 때문인 것으로 보인다. 과산화수소 수용액은 30일 정도의 짧은 기간내에는 생분해 효과를 보이지 않을 가능성이 있다. 즉

강한 산화제의 특성상 地中の 박테리아가 이 물질에 적응하는 데 상당한 기간이 소요되는 것으로 사료된다. 초기 유기물 함량과 온도가 다른 조건에서의 시험도 같은 결과를 보였다.

4.2.2 산소가스 및 영양분을 주입한 경우

이번에는 과산화수소 대신 산소공급원으로 산소가스를 주입한 경우를 살펴보자. 그림 9에서 20일 동안 유기물 함량은 약 18% 내지는 22% 정도의 감소경향을 보이고 있다. 같은 기간 동안 별다른 유기물 함량의 감소를 보이지 않은 과산화수소 수용액을 주입한 경우와 비교할 때, 산소 가스를 주입한 경우는 유기물 함량의 감소 효과가 매우 크다고 말할 수 있다. 이는 후자의 경우, 산소 가스의 주입 농도를 항상 일정하게 유지할 수 있었기 때문으로 보인다.

또 산소외에 영양분을 함께 공급한 경우의

시간에 따른 유기물 함량의 변화도 함께 도시하였다. 산소만 공급한 경우는 유기물 함량이 20일만에 22.5% 감소하였으며, 산소와 NaNO_3 , 산소와 K_2HPO_4 를 함께 공급한 경우는 유기물 함량이 각각 27.5% 와 18.2% 감소하였다. 유기물 함량의 감소는 산소 가스와 NaNO_3 를 첨가한 경우가 가장 크고, 다음으로 산소 가스만 주입한 경우, 그리고 K_2HPO_4 를 첨가한 경우의 순으로 나타났다. 따라서 산소 가스를 NaNO_3 와 함께 공급하면 유기물 분해가 더욱 효과적으로 이루어질 수 있을 것으로 생각된다. K_2HPO_4 를 첨가한 경우 오히려 산소만 주입한 경우보다 유기물 함량의 감소가 작은 이유는, 본 시험에서는 K_2HPO_4 10% 수용액을 사용하였으나, 적정농도를 유지하지 못한 것에 기인하는 것이 아닌가 생각되며, 추후 보다 많은 시험으로 규명되어야 한다.

4.2.3 모형압축실험

유기질 지반의 생분해처리 효과에 따른 압축특성을 연구하기 위해 모형압축시험을 실시하였다. 이 실험에서는 산소원으로 단기간에 유기물 함량의 감소효과를 보이지 않은 과산화수소 수용액 대신 산소가스를 사용하고 지반에 영양분을 첨가하였다.

그림 10은 100일 동안 압축시험한 결과로, 산소의 공급을 분당 100cc, 온도 35°C에서 생분해 처리에 적합한 산소, 온도, 영양분 등의 조건을 조성한 경우와 산소 및 영양분의 공급이 없는 상온상태(약 20°C)의 경우의 시간에 따른 압축량이다. 여기서 전자의 경우가 후자의 경우보다 약 30% 정도 더 많은 압축량을 보이고 있다. 이 결과는 처리 지반의 조기 안정화 가능성을 시사해 주는 것이라 생각된다. 또 이 그림에서 아무 처리도 하지 않은 시료의

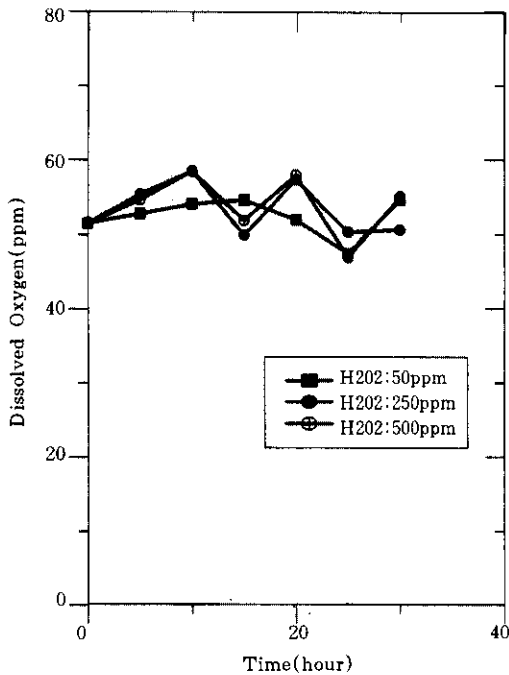


그림 8. 과산화수소 수용액 사용시 유기물 함량의 변화 (초기 유기물함량:51%, 온도 35°C)

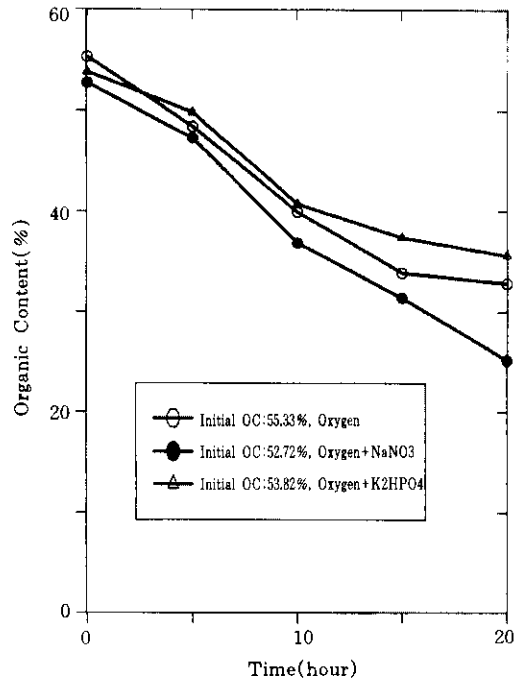


그림 9. 산소가스 사용시 유기물 함량의 변화

압축량이 약 20일 후 급격히 감소하는 것은, 처리된 시료에서는 지속적으로 유기물의 분해가 진행되는 것과 달리 조기에 일차압축이 완료되었기 때문이거나, 확인되지 않은 시험상의 착오인 것으로 추정되는 바 추후 계속 규명할 예정이다.

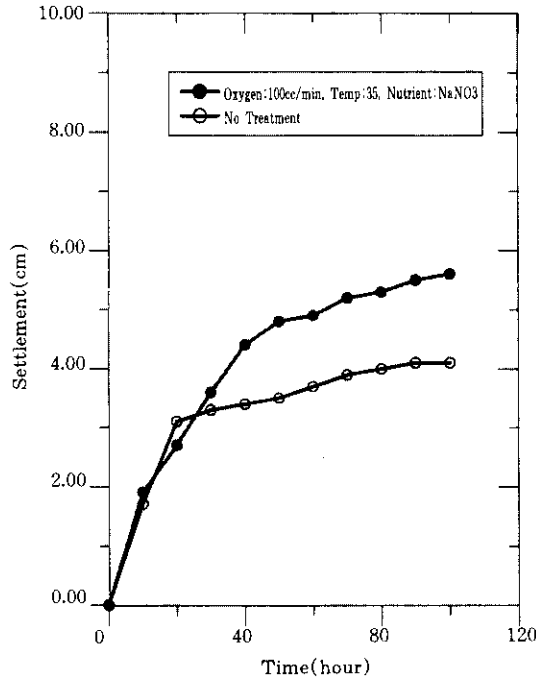


그림 10. 생분해처리법 적용시와 미적용시의 압축량

5. 결론 및 향후 연구과제

고령토에 톱밥을 섞어 만든 유기질토 시료에 산소, 영양분 등을 공급하고, 온도를 조절한 가운데 유기물의 분해효과를 관찰하였다. 또한 대형으로 제작한 압밀시험기로 모형 압축실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유기질토 시료에 산소원과 NaNO_3 를 주입하여 유기물의 분해가 미생물의 작용임을 용존산 소량의 변화를 관찰함으로써 간접적으로 확인하였다. 유기물의 양과

용존산소량과의 관계로 부터 현장 적용시 산소공급 주기는 지반내 유기물함량을 고려하여 결정하여야 할 것으로 나타났다

2. 30일 정도의 시험기간 동안, 주입 산소원으로 O_2 가스는 유기물 분해효과가 있었으나, 과산화수소는 이 기간 동안에는 효과가 없었다. 즉 지중 박테리아가 과산화수소수와 같은 강한 산화제에 적응하는 데는 상당한 시간이 소요되는 것으로 보인다. 또한 영양분으로는 K_2HPO_4 보다 NaNO_3 첨가한 경우가 유기물 분해효과가 크다.
3. 압축실험결과 산소와 영양분을 공급하고 미생물이 활동하기에 적합한 온도를 유지하였을 경우 그렇지 않은 경우보다 30% 정도 압축침하량이 컸다. 따라서 쓰레기 매립지와 같이 유기물이 다량 함유된 지반을 생분해처리하게 되면 조기안정화가 가능하리라 본다.
4. 향후 pH조절, 산소의 공급방법 개선 등 생분해처리 조건을 다양화하여 실제현장에의 적용성을 계속 연구할 필요가 있다.

참고 문헌

1. 김재영, 주재우(1986), "유기질토의 압밀특성에 관한 연구", *대한토질공학회*, 제2권, 제2호 제11권, 제4호, pp. 17-27.
2. 최의소, 조광명(1994), *환경공학*, 청문각.
3. Alexander, M.(1985), *토양 미생물학 개론*, 대광문화사, pp. 137~152.
4. Bedient, P. B., Rai, H. S., and Newwell, C. J.(1994), *Ground water Contamination*, Prentice Hall, New Jersey, U.S.A, pp. 419-484.
5. Brubaker, G. R.(1995), "The Boom in In-situ Bioremediation", *Civil Eng*, Oct., pp. 38-41.
6. Buisman, A.S.K.(1936). "Results of Long duration settlement tests", *Proc. 1st Int. Conf. Mech., Part 1*
7. Pardieck, D. L., Bouwer, E. J., and Stone, A. T.(1992), "Hydrogen Peroxide Use to Increase

- Oxidant Capacity for In-Situ Bioremediation of Contaminated Soils and Aquifer: A review", *J. of Contaminant Hydrology*, Vol. 9, pp. 221~242.
8. Ravikuman, J. X., and Gurol, M. D.(1994), "Chemical Oxidation of Chlorinated Organics by Hydrogen Peroxide in the Presence of Sand", *Environmental Science Technology*.
 9. Sower, G. F. (1973), "Settlement of waste disposal fills," *Proc. 8th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng.*, Part, pp. 207-210
 10. Wall, D. K., and Zeiss, C.(1994), "Municipal Landfill Biodegradation and Settlement", *J. of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 121, No. 3, March, pp. 214-224.
 11. Wardwell, R. E., Charlie, W. A., and Doxtader, K. A.(1983), "Test Method for Determining the Potential for Decomposition in Organic Soils", *Testing of Peat and Organic Soils*, ASTM STP820, pp. 218~229.
 12. Wilson, D. J., and Clarke, A. N.(1994), "Hazardous Waste Site Soi Remediation", *Theory and Application of Innovate Technologies Marcel Dekkar Inc*, New York, pp. 311~431.

(접수일자 1998. 5. 6)