

폐석회를 이용한 매립지 차수재 개발

A Development of Landfill Liner by Utilizing Waste Lime

김준섭¹⁾, Jun-Seop Kim, 이승학²⁾, Seong-Hak Lee, 박준범³⁾, Jun-Beom Park

¹⁾ 동부엔지니어링 지반공학부, Geotech Engineering Div., DongBu Eng. Co., LTD.

²⁾ 서울대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Seoul National Univ.

³⁾ 서울대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Eng., Seoul National Univ.

SYNOPSIS : As the size of our industry and population increase, the byproducts such as municipal solid wastes, industrial wastes are in the increasing phase. The treatment of such things is rising as a social problem. Today, the final disposal of these wastes depends mostly on the landfill, and the sanitary landfill is required and designed for preventing soil and groundwater contamination. Clays have been used for a liner material of a sanitary landfill, however, the high quality clay is hard to come by and quite expensive as a lining material in our country.

Using the waste lime produced abundantly every year from chemical processes was studied here, made from the proper mixing of the bentonite and the waste lime meets the regulations from the USEPA. The soil property index tests (sieve analysis, specific gravity test, Atterberg limit test) were performed, and at last to confirm the sorption characteristics of the bentonite and the waste lime the sorption isotherm equilibrium test and the sorption isotherm were performed with Toluene and Ethylbenzene which are the main components of the leachate from the landfill.

Key words : Waste lime, Bentonite, Liner, Freeze-thaw cycling, Sorption

1. 서론

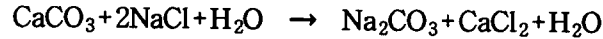
인구증가 및 산업발달로 인하여 부수적으로 발생하는 도시폐기물, 산업폐기물, 준설폐기물 등이 매년 증가추세에 있고 이들의 처리는 새로운 사회문제로까지 대두되고 있다. 이들 폐기물의 최종적인 처분은 매립에 의존하고 있으며 2차적인 환경문제가 유발되지 않도록 위생매립이 이루어져야 한다. 위생매립장이란 매립장 바닥에 불투수의 차수재가 설치되어 있어 매립지내의 침출수 확산이나 주변 지하수의 오염이 야기되지 않도록 건설된 매립장을 말한다.

이러한 위생매립장의 차수재로는 주로 점토를 이용하고 있으나, 우리 나라 현실상 양질의 점토가 부족하여 비교적 고가인 외국의 점토를 수입하여 사용하는 현실이다. 이러한 문제의 해결을 위하여는 점토를 대신할 수 있는 차수재의 적용이 요구되어 진다. 따라서 본 연구에서는 연간 많은 양이 발생하고 있는 폐석회를 재활용하기 위해 매립지의 차수재로 흔히 이용되는 벤토나이트와 적절히 혼합하여 USEPA가 제안한 매립지 차수재의 규정을 만족하는 지 살펴보았다. 본 연구에서 실시한 실험은 기본물성치시험(체분석, 비중, 액·소성시험)과 다짐시험, 변수두시험을 실시하였다. 마지막으로 벤토나이트와 폐석회의 흡착특성을 보기 위해 매립지의 침출수에 가장 많이 포함되어 있는 성분인 톨루엔과 에틸벤젠에 대하여 흡착평형시험과 등온흡착시험을 실시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 폐석회의 생성과정

본 시험에서 사용한 시료는 소다회(염화칼슘)를 제조하는 인천광역시 남구 소재 화학회사로부터 발생하는 폐석회를 이용하여 시험하였다. 이때 발생하는 폐석회는 아래의 화학식에 따라 소다회를 생성하고 이때 미반응 석회잔류물이 폐석회로 발생한다.



위의 반응은 소다회를 발생키기 위한 슬베이커법으로 석회석, 소금, 물을 반응시켜 소다회를 형성한다.

2.2 벤토나이트의 특성

벤토나이트는 매우 높은 소성성과 팽창성을 갖고 있는 점토로서, 분재로서의 미분말성 및 수용액의 팽윤성, 콜로이드 분산성, 점성, 양이온 교환 능력, 흡착력, 현탁성 등의 물리 및 화학적 특성을 이용하여, 진흙을 뚫는 것부터 맥주나 와인을 정화에 이르기까지 다양한 목적에 쓰여지고 있다. 500% 혹은 그 이상의 액성 한계와 점토 중 가장 낮은 투수 계수를 가지며, slurry wall을 건설할 때 backfill로서, 매립지의 차수재로서, piezometer 설치시의 방수재로서, 그리고 다른 특별한 목적으로 널리 이용되고 있다. 벤토나이트의 주요 구성 광물은 Montmorillonite이며 그 결정 구조에 따라 다소 차이가 있다.

2.3 흡착

지반내로 유입된 유기오염물질은 흙의 간극을 통하여 이동하며 이때 일부는 흙입자와의 물리, 화학적 작용으로 인하여 흙에 흡착한다. 흡착(sorption)이란 오염물질이 흙입자의 표면 혹은 지반내의 유기탄소(유기물)와 결합하는 것을 말한다. 따라서 흡착은 지반내의 오염물질이 지하수를 통하여 이동할 때 오염물질의 이동을 저지하는 역할을 하게 된다.

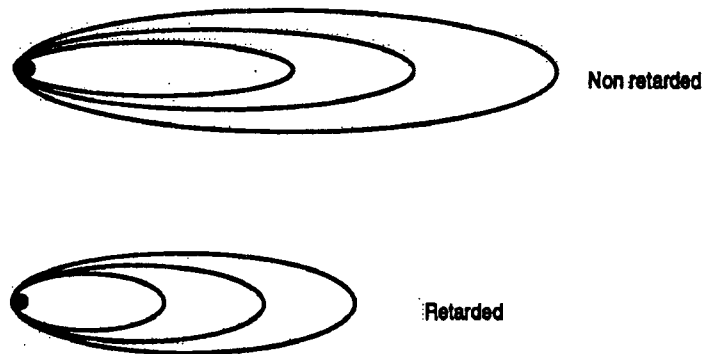


그림 1. 흡착에 의한 오염물질 이동의 저지

그림 1은 흡착에 의하여 지하수를 통해 이동하는 오염물질의 이동이 저지되는 것을 보여주고 있다.

3. 차수재 요구사항

1989년 미국의 EPA에 따르면 위생매립장에 건설될 차수재가 갖추어야할 요구조건들을 다음과 같이 들고 있다.

- ① 투수계수 : $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 이하
- ② 점토 및 실트함유량 : 20% 이상
- ③ 소성지수(PI) : 10% 이상, 30% 미만
- ④ 자갈함유량 : 10% 미만
- ⑤ 직경 2.5cm이상 입자: 0%

4. 실험방법 및 내용

4.1 기본물성치시험

수행한 기본물성치시험은 체분석(KS F 2305), 액소성시험(KS F 2303, KS F 2304)을 실시하였다. 시험대상은 폐석회, 벤토나이트를 5% 첨가한 것(중량비), 벤토나이트 10%, 벤토나이트 15%, 벤토나이트 20%를 첨가한 것에 대하여 한국공업규격에서 규정한 방법을 따라 실시하였다.

4.2 다짐시험 (KS F 2312)

이 시험의 목적은 폐석회와 벤토나이트 혼합물의 다짐특성 및 수행하게 될 투수시험에서 최적함수비의 습윤층의 함수비를 알아보기 위함이다. 다짐시험은 표준다짐시험(A-1 방법)을 시행하였다. 몰드의 부피는 약 1000cm^3 이며 2.5kg의 램머로 25회씩 3층다짐하여 실험을 실시하였다. 시험대상은 폐석회, 벤토나이트를 5% 첨가한것(중량비), 벤토나이트 10%, 벤토나이트 15%, 그리고 벤토나이트에 대하여 실시하였다.

4.3 변수투수시험 (KS F 2322)

시료의 제조는 다짐시험 결과로부터 구한 최적함수비보다 약간 높은 함수비로 맞추고 표준다짐시험의 다짐에너지로 몰드에 직접 다져서 실험을 실시하였다. 시료의 포화는 우선 몰드를 24시간이상 증류수에 담구어 모세관 현상으로 시료에 물이 차도록 하였고 진공펌프를 이용하여 시료내의 기포를 제거한 후에 실험을 실시하였다.

4.4 동결융해를 받은 시료에 대한 투수시험

폐석회를 이용한 차수재가 반복적으로 동결융해작용을 받을 경우 투수계수의 변화가 있는 지를 알아보기 위하여 동결융해를 받은 시료에 대하여 투수시험을 실시하였다. 시료는 위에서 실시한 투수시험과 동일한 방법으로 시료를 성형한 후에 동결 및 융해시간을 각각 24시간동안으로 하고, 동결은 -12°C , 그리고 융해는 상온으로 하였다. 동결융해 반복회수는 3회로 하여 투수시험을 실시하였다.

4.5 흡착시험

도시고형폐기물 매립장의 침출수에 가장 많은 부분을 차지하고 있는 물질인 톨루엔(Toluene)과 에틸벤젠(Ethylbenzene)을 선정하여 침출수가 매립장의 차수재와 접촉하였을 때 어느 정도의 침출수성분을 흡착할 수 있는지 하는 능력을 평가하기 위하여 등온흡착실험을 실시하였다. 흡착대상물질은 폐석회, 벤토나이트 10%, 벤토나이트 20%에 대하여 실시하였다. 흡착물질은 도시고형폐기물 매립장의 침출수에 가장 많은 부분을 차지하고 있는 물질인 톨루엔과 에틸벤젠을 이용하였다. 흡착시험은 크게 두가지로 나뉘어 지는데 우선 등온흡착시험에 앞서 흡착이 평형상태에 도달하는 시간을 알기위해서 흡착평형시험을 하게 된다. 흡착평형시험이란 시간대별로 흡착상태를 측정하여 흡착평형이 도달되는 시간을 구하는 시험이다(그림 2 (a)). 그리고 흡착평형도달시간 이상으로 교반한 다음에 평형상태에서의 간극내의 유기물질의 농도와 흡에 흡착된 오염물질의 양의 관계를 나타내는 시험인 등온흡착시험을 실시한다(그림 2 (b)). 교반시의 온도는 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다.

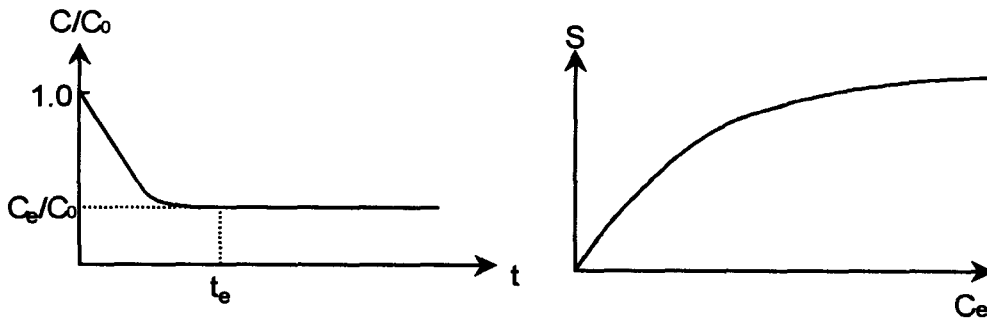


그림 2 . (a) 흡착평형시험

(b) 등온흡착시험

여기서 C_0 는 액상의 초기농도 C_e 는 평형상태의 농도이고, S 는 고체상에 오염물질이 흡착된 농도이다. 침출수내의 유기오염물질인 톨루엔과 에틸벤젠은 각각 34.9~280ppm과 7.3~87.5ppm의 범위에 있다. 따라서 흡착평형시험에서는 톨루엔 100ppm과 에틸벤젠 20ppm을 사용하였고 등온흡착시험에서는 4가지의 서로 다른 농도에다가 시료의 중량을 두 가지로 달리하여 실시하였다. 우선 톨루엔의 경우에는 100, 80, 60, 50ppm을 사용하였고 시료의 중량은 1, 2g으로 달리하여 실험하였다. 에틸벤젠은 20, 15, 10, 5ppm을 사용하였고 시료의 중량은 1, 2g으로 달리하여 실험하였다. 또한 농도의 분석은 먼저 원심분리용 튜브를 원심분리기에 넣어 고액분리를 시킨 후 상징액만을 뽑아내어 분석을 실시하였다. 농도를 분석한 기기는 Gas Chromatography로 휴렛팩커드사 제품인HP6890을 이용하였고 column은 capillary column인 HP5를 사용하였다.

5. 실험 결과 및 분석

5.1 기본물성치시험

체분석 시험결과 USEPA에서 점토 및 실트함유량(통상 실트의 크기는 $74\mu\text{m}$ 즉, 200체 통과량으로 결정된다.), 자갈함유량, 직경 2.5cm이상 입자에 대한 규정을 모두 만족시키는 것으로 나타났다. 액소성 시험결과는 아래의 표 1과 같이 나타났다.

표 1. 엑소성시험 결과

폐석회			N.P
벤토나이트 5%	49.4	36.9	12.5
벤토나이트 10%	51	38.6	12.4
벤토나이트 15%	54.2	36.8	17.4
벤토나이트 20%	54	36.8	17.2

폐석회 자체는 N.P로 나타났으며 벤토나이트의 함량을 증가시키면 소성지수는 12.4~17.4%사이 에 있는 것으로 나타났다. 따라서 USEPA가 규정한 소성지수 10%이상은 벤토나이트를 5%이상 첨가하면 만 족할 것으로 판단된다. 또 액성한계가 500% 이상인 벤토나이트를 20%정도 첨가하여도 액성한계에 큰 변화가 없는 것은 폐석회에 다량으로 함유된 2가 이온인 Ca^{2+} 이 벤토나이트의 Na^+ 와 교환되어 벤토나이트의 물 흡수에 의한 팽창을 막아 비교적 작은 액성한계를 보이는 것으로 판단된다.

5.2 다짐시험

다짐시험결과는 아래와 같다.

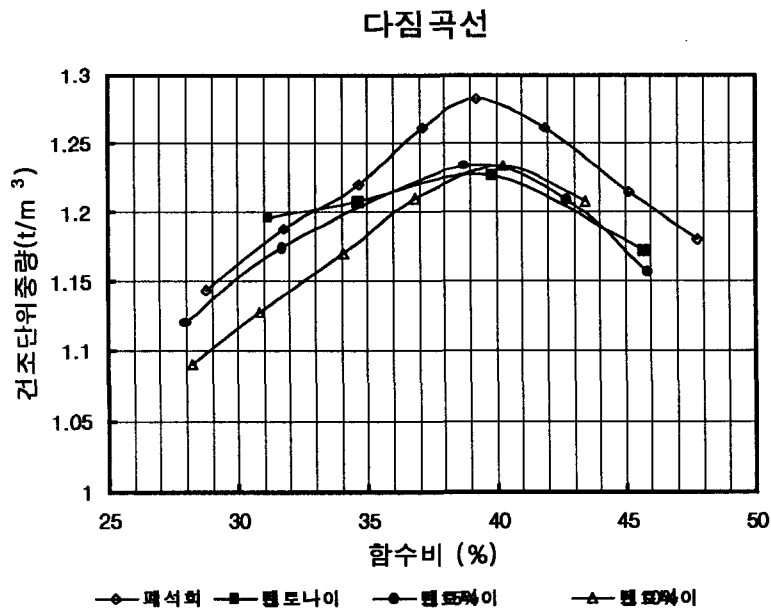


그림 3. 다짐시험 결과

다짐시험결과는 최적함수비는 폐석회와 벤토나이트 혼합물 모두 40% 정도이고 최대건조밀도는 폐석회 가 가장 커서 $1.282g/cm^3$ 이고 벤토나이트 혼합물은 모두 비슷하고 약 $1.233g/cm^3$ 정도이다.

5.3 변수두시험

변수투수시험에 의한 투수계수는 아래의 그림 4와 같다.

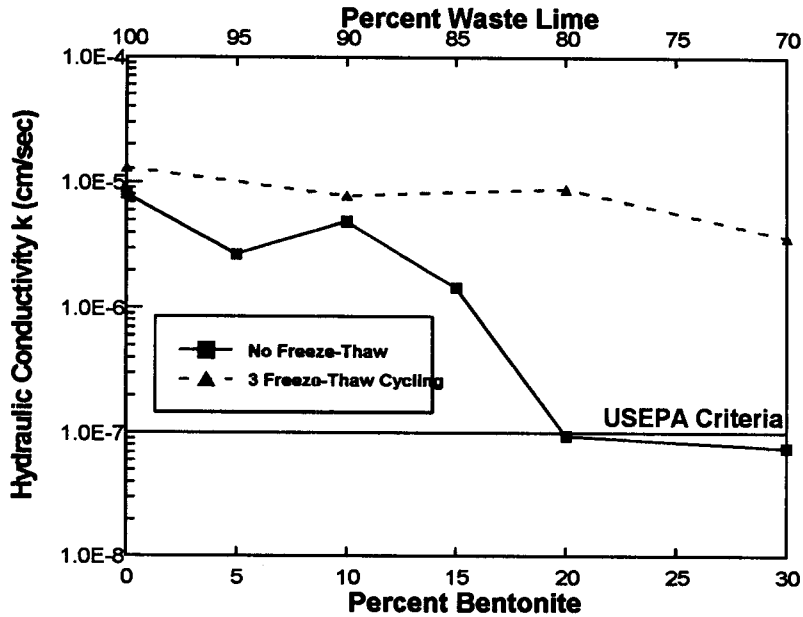


그림 4.벤토나이트 함량에 따른 동결융해 반복에 의한 투수계수 변화

위 시험결과에 따르면 동결융해를 받지 않은 상태에서는 벤토나이트의 함량이 20% 이상이면 투수계수에 대한 USEPA의 차수재규정을 만족시키므로, 폐석회에 벤토나이트를 20%이상 첨가하면 매립지의 차수재로 이용가능하다고 판단된다. 벤토나이트 30%첨가시에도 벤토나이트 20%첨가한 것과 큰 차이가 없는 것은 벤토나이트의 확산이중층이 폐석회의 Ca^{2+} 때문에 두께가 얇아져 투수계수 감소역할이 비교적 떨어지기 때문으로 생각된다. 동결융해를 받은 시료는 동결융해를 받지 않은 시료에 비하여 투수계수가 현저히 커지므로, 매립지에서의 시공시 반드시 최대동결심도 이하로 시공하여야 할 것으로 판단된다.

5.4 흡착시험

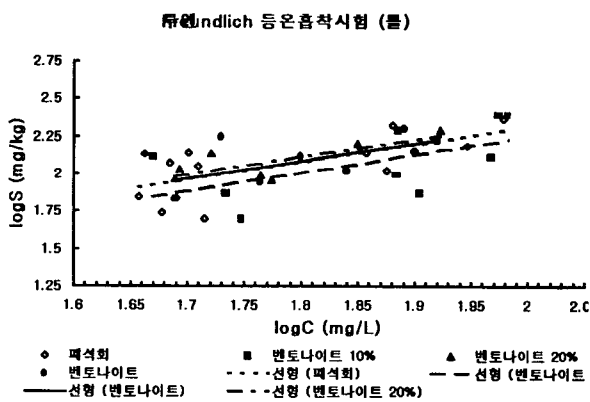


그림 5. 톨루엔에 대한 등온흡착시험

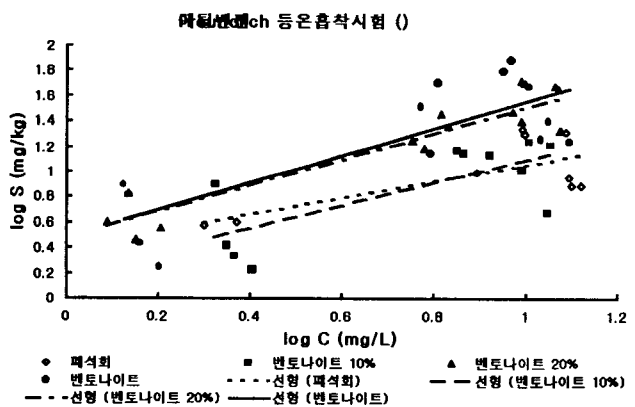


그림 6. 에틸벤젠에 대한 등온흡착 시험

톨루엔과 에틸벤젠에 대한 흡착평형시험결과 두 물질 모두에 대해 24시간 이내로 모두 흡착평형에 도달

하였다. 톨루엔은 폐석회, 벤토나이트, 벤토나이트와 폐석회의 혼합물 모두에 대해서 비교적 균일한 흡착양상을 나타내어 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 에틸벤젠의 경우 서로 큰 차이는 나타내고 있지 않지만 벤토나이트의 함량이 증가할 수록 흡착량이 증가하는 모습을 볼 수 있다. 최종적으로는 벤토나이트가 가장 많이 흡착하는 모습을 볼 수 있다. 그림 상에서 “선형”이란 표시는 선형으로 회귀분석하였다는 뜻이다.

6. 결 론

- (1) 기본물성치시험 결과 USEPA가 제안한 점토 및 실트 함유량, 소성지수(PI), 자갈함유량, 직경 2.5cm 이상 입자 등은 폐석회(N.P.)만 제외하고는 벤토나이트 5%, 벤토나이트 10%, 벤토나이트 15%, 벤토나이트 20%에 대해서 모두 만족시켰다. 또, 에틸벤젠에 24시간 동안 방치한 경우 벤토나이트 혼합물에서 소성지수가 10%이하로 나타났다.
- (2) 다짐시험결과는 최적함수비는 폐석회와 벤토나이트 혼합물 모두 40% 정도이고 최대건조밀도는 폐석회가 가장 커서 1.282g/cm^3 이고 벤토나이트 혼합물은 모두 비슷하고 약 1.233g/cm^3 정도를 나타냈다.
- (3) 변수두시험에 의한 투수계수는 폐석회의 경우 8.02×10^{-6} cm/s 로 USEPA가 제안한 값보다는 크며 벤토나이트의 함량이 증가할수록 투수계수는 줄어들어, 벤토나이트 함량이 20%가 되면 투수계수는 9.48×10^{-8} cm/s가 되어 USEPA의 투수계수에 대한 규정을 만족하는 것으로 나타났다.
- (4) 따라서 벤토나이트를 폐석회의 중량에 20%를 첨가하고 최적함수비보다 습윤측에서 A-1의 다짐에너지로 다질 경우 폐석회와 벤토나이트 혼합물로 매립지의 차수재료의 이용이 가능하다고 판단된다.
- (5) 톨루엔과 에틸벤젠에 대한 흡착평형시험결과 두 물질 모두에 대해 24시간 이내로 모두 흡착평형에 도달하였다.
- (6) 등온흡착시험 결과 톨루엔은 폐석회, 벤토나이트 10, 벤토나이트 20% 혼합물 모두에 대해서 흡착특성에 큰 차이를 보이지 않았다.
- (7) 에틸벤젠은 등온흡착시험 결과 큰 차이는 없지만 벤토나이트의 함량이 커질 수록 흡착이 잘 되는 것으로 나타났으며 그 중에서 벤토나이트가 가장 흡착이 잘 되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 정연규(1993), “매립지의 도시폐기물 조기안정화 방안에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, pp.221-232
2. 정하익, 장연수(1993). “폐기물 매립장의 차폐재와 침출화학적분과의 상호작용분석”, 한국지반공학회지, pp.49-60
3. Bedient, P. B., Rafai, H. S., and Newell, C. J.(1994), *Groundwater contamination*, PTR

Prentice-Hall, pp.165-206.

4. Chamberlain, E. J., Iskander, I., and Hunsiker, S. E.(1990), "Effect of freeze-thaw on the permeability and macrostructure of soils." *Proc., Int. Symp. on Frozen Soil Impacts on Agric., Range and Forest Lands*, Spokane, Wash., pp.145-155.
5. Das, B. M.(1994), *Principles of geotechnical engineering*, PWS publishing company, pp.581-586
6. Hart, M. L., Shakoor, A., and Wilson, T. P.(1993). "Characterization of lime sludge for engineering applications", *Waste management*, Vol 13, pp.55-63
7. Kraus, J.(1994). "The effect of freeze-thaw on the hydraulic conductivity of barrier materials : Laboratory and field evaluation.", *MS Thesis*, Univ. of Wisconsin-Madison, Madison, Wis.
8. Othman, M. A., and Benson, C. H.(1992). "Effect of freeze-thaw on the hydraulic conductivity of three compacted clays from Wisconsin.", *Transp. Res. Rec.* 1369, Trans. Res. Board, Washington, B. C., pp.118-125.
9. Othman, M. A., and Benson, C. H.(1993). "Effect of freeze-thaw on the hydraulic conductivity and morphology of compacted clay", *Can. Geotech. J.*, 30(2), pp.236-246.
10. Rhew, R. D., and Barlaz, M. A.(1995). "Effect of lime-stabilized sludge as landfill cover on refuse decomposition", *Journal of environmental engineering*, pp.499-506
11. Tchobanoglous, G. and Theisen, H., Vigil, S. A.(1993). *Integrated solid waste management*, McGraw-Hill, pp.381-387
12. Wong, L. C., and Haug, M. D.(1991). "Cyclical closed-system freeze-thaw permeability testing of soil liner and cover materials", *Can. Geotech. J.*, 28(6), pp.784-793.
13. Zimmie, T. F., and La Plante, C.(1990). "The effect of freeze-thaw cycles on the permeability of a fine-grained soil.", *Pro., 22nd Mid-Atlantic Industrial Waste Conference.*, Drexel University, Philadelphia, Pa., pp.580-593.