KGS Spring '96 National Conference/ 23, March, 1996/ Seoul/ Korea

폐기물 매립장에서의 GCL 차수재 적용

Geosynthetic Clay Liners in Waste Landfills

정 하 익, HA-IK JEONG*1, 이 용 수, YONG-SOO LEE*2

*1, 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Reserecher, Geotechnical Engineering Division, KICT, Seoul
*2, 한국건설기술연구원 지반연구실 연 구 원, Reserecher, Geotechnical Engineering Division, KICT, Seoul

개요(SYNOPSIS) : A relatively new type of manufactured clay liner is receiving wide spread attention as a potential hydraulic in liner and cover systems at waste disposal facilities. The geosynthetic clay liner consists of a thin layer of clay sandwitched between two geotextiles or glueedes to a geomembrane. A series of tests were performed on two types of geosynthetic clay liner to examine their seaming, repairing, permeability, characteristics of geotextile and bentonite. The laboratory experiments and field investigations indicate that the geosynthetic clay liners have many properties that are attractives in waste landfills.

1. 서 론

고분자합성 재료와 벤토나이트의 결합재인 GCL(Geosynthetic Clay Liner)은 벤토나이트와 지오텍스타일 또는 지오멤브레인의 결합체로서 벤토나이트의 저투수성과 인공 고분자합성섬유의 보강성을 최대로 활용한 최신 산업기술의 산물이다. GCL 차수재는 폐기물매립장의 차수재로 주로 적용되고 있는 지오멤브레인과 점토의 장점을 고루 갖춘 제품이라고 할 수 있다. GCL 차수재는 지오멤브레인과 같이 두루마리식으로 제품화되어 있어 취급이 용이하며 점토차수재보다 상대적으로 두께가 얇아 매립장의 용량을 증가시킬 수 있는 특성을 가지고 있다. 또한 목적하는 장소에 GCL 차수재를 시공할 때는 기존의 지오멤브레인 차수막과는 달리 접합작업이 별도로 필요하지 않으며 단지 GCL 차수재를 일정한 폭으로 겹쳐놓기만 하면 된다. 시공후에 GCL 차수재내의 벤토나이트에 물이 접하게 되면 벤토나이트가 수화하고 팽창하게 되어 자동적으로 매트가 서로 부착하게 된다. 이와같이 시공시 매트사이의 연결부분을 기계적으로 접합할 필요가 없기때문에 시공속도가 상대적으로 빠를 수가 있다. 지오멤브레인은 천공이 되면 자체복원능력이 없으나 GCL 차수재는 벤토나이트의 팽창 및 점성에 의하여 자체복원능력이 있기 때문에 천공에 의한 누수저감효과가 크다.

GCL은 폐기물매립지, 인공연못, 탱크, 건물외벽 등의 차수 및 방수 자재로 사용될 수 있다. 국내에서도 여러 현장에서 사용되고 있으며 이의 사용량 및 적용성이 계속 증가되고 있는 추세에 있다. 그러나 선진외국의 경우, 본 제품의 재질특성에 대한 연구가 많이 이루어져 객관적으로 차수성 등의 재질특성이 입증되어 신뢰성있게 사용되고 있으나 국내의 경우, 이에 대한 연구가 부족하여 본 제품의 재질특성에 대한 인식이 미흡한 상태에 있다.

따라서, 본 연구에서는 GCL 재료중에서 클레이맥스(Claymax)와 벤토픽스(Bentofix)를 선정하여 이의 물리·역학실험 및 화학 반응성 실험을 실시하여 국내에서 유통되고 있는 GCL 차수재의 특성을 분석 검토하고자 한다.

2. GCL 차수재의 종류

GCL 차수재에는 벤토매트(Bentomat), 벤토픽스, 클레이맥스, 그리고 건드씰(Gundseal)등이 있다. 이들 재료에 대한 특성을 간략하게 살펴보고자 한다.

2.1 벤토픽스

벤토픽스는 독일 및 캐나다의 Naue-Fasertechnik사에서 생산되는 것으로 그림 1과 같이 상하의 부직포지오텍스타일사이에 인공으로 활성한 나트륨벤토나이트를 삽입시킨 다음 상하를 재봉질한 것으로 공장에서 생산되는 롤 형식의 기성제품으로 되어 있다. 상부와 하부 지오텍스타일의 무게는 각각 800g/m^{2}와 400g/m^{2}이며 상하부의 지오텍스타일을 재봉질한 것은 상하 지오텍스타일내에 내재한 벤토나이트를 결속시키고 현장포설후 현장토와의 전단강도를 증가시키기 위해서이다. 투수성은 불투수성에 가까우며 강도는 벤토나이트-지오텍스타일 혼합체로 되어 있어 매우 높다. 이들 차수재는 약 90cm 두께의 다짐된 점토 차수재와 같은 성능을 갖는다. 벤토매트 이음부의 접합부는 그림 2와 같이 15~22.5cm 정도만 겹치면 차후 수화작용에 의하여 자체적으로 서로 결합된다.

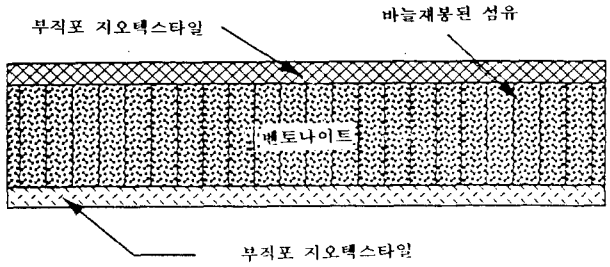

그림 1. 벤토픽스 및 벤토매트의 형상

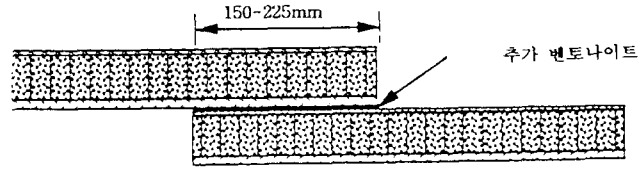

그림 2. 벤토픽스 및 벤토매트의 접합

2.2 벤토매트

벤토매트는 미국의 죠지아에 소재하고 있는 American Colloid Company사에서 생산되는 것으로 형상 및 접합방법은 그림 1 및 그림 2의 벤토픽스와 동일하다. 다만, 벤토픽스와 상이한 점은 지오텍스타일의 무게가 170g/m^{2}으로 경량하다는 것과 천연의 나트륨벤토나이트를 사용한다는 것이다. 벤토매트의 접합시에는 이음부에 대략 0.4kg/m의 비율로 벤토나이트를 추가로 뿌려 자체의 접합기능을 증진시키도록 한다.

2.3 클레이맥스

클레이맥스는 미국의 죠지아에 소재하고 있는 James Clem Corporation사에서 생산되는 것으로 그림 3에 도시된 바와같이 상하의 직포지오텍스타일사이에 수용성 접합제를 첨가한 벤토나이트를 삽입시킨 매트이다. 상부 지오테스타일은 무게 136g/m^{2}인 부직포로 되어 있고 하부지오텍스타일은 무게 25g/m^{2}인 폴리에스터로 되어 있다. 이의 규격은 보통 폭 4.11m, 길이 25m, 두께 6mm이다. 클레이맥스의 접합은 그림 4와 같이 이음부를 약 15cm 정도 겹쳐 놓으면 자동으로 이루어진다.

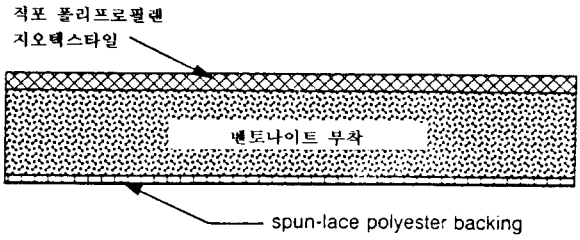

그림 3. 클레이맥스의 형상

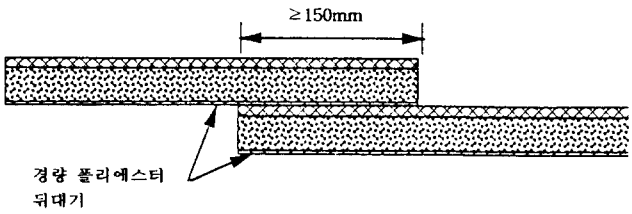

그림 4. 클레이맥스의 접합

2.4 건드씰

건드씰은 미국의 South Dakoda에 소재하고 있는 Gundle Lining System사에 의하여 생산되며, 그림 5에 도시된 바와 같이 고밀도폴리에틸렌의 지오멤브레인에 벤토나이트를 부착시킨것으로 지오멤브레인의 저투수성과 벤토나이트의 점성을 결합시킨 제품이다. 여기에 사용된 지오멤브레인의 두께는 0.5mm이다. 건드씰의 접합은 기계적인 접합이 필요없으며, 그림 6과 같이 이음부를 약 7.5cm정도 겹쳐 놓으면 자동으로 이루어 진다.

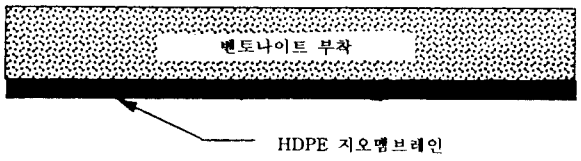

그림 5. 건드씰의 형상

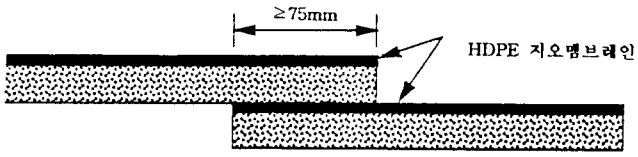

그림 6. 건드씰의 접합

3. 실험 및 결과 분석

본 연구에서는 GCL 중에 벤토픽스와 클레이맥스를 선정하여 이의 물리, 역학 및 화학반응성 실험을 실시하여 재질특성을 살펴보았다. 또한 접합 및 천공실험을 실시하여 GCL의 접합특성 및 천공부의 자체 복원능력을 살펴보았다.

3.1 실험재료 및 방법

본 실험에 사용된 벤토픽스 및 클라이맥스는 그림 7과 같이 롤형식으로 되어있는 제품으로 실험종류에 따라 그림 8과 같이 원형 및 사각형으로 절단하여 사용하였다. 사용된 원시료는 폭이 4m이고 길이는 25m이며 두께는 6mm이다. 본 연구에서는 접합실험, 천공실험, 투수실험, 화학반응실험, 지오텍스타일의 재질실험 및 벤토나이트의 성분분석 실험 등을 실시하였다. 접합실험 및 천공실험은 자체 고안한 모형수조를 사용하였으며 모형수조내에 벤토픽스가 접합된 상태와 천공된 상태를 모사하고 정수위를 유지하여 누수상태를 점검하였다. 투수실험은 직경 30cm의 대형투수실험장비를 사

용하였으며 사용재료의 투수성이 매우 낮기 때문에 가압투수시험방법으로 하였다. 가압시에 적용된 수두는 10m와 40m로 하였다. 본 재료가 매립장의 차수재 및 복토재로 사용될 경우에는 물이외에 매립장에서 발생하는 침출수와도 접촉하기 때문에 이에대한 영향을 살펴보기 위하여 침출수와의 화학반응실험을 실시하였다. 화학반응실험은 대형투수실험기를 사용하여 수행하였으며 침투수로서 증류수대신에 침출수를 사용하였다. 지오텍스타일의 재질실험 및 벤토나이트의 성분분석 실험은 한국화학시험연구소에 의뢰하여 수행하였다.

그림 7. 실험에 사용된 GCL의 제품 형상

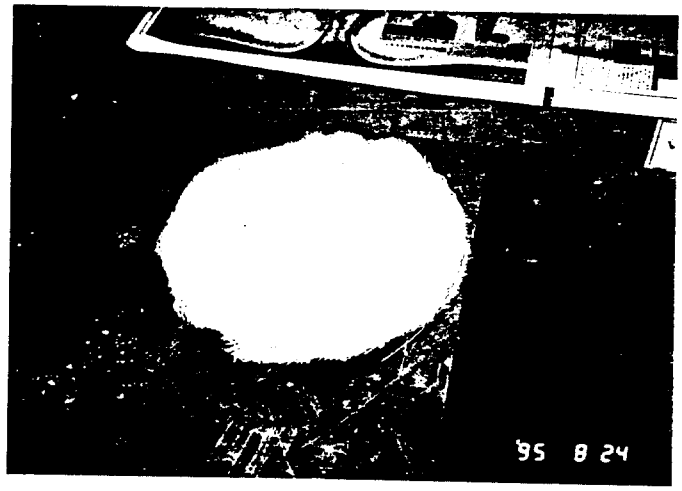

그림 8. 실험용 GCL재료

3.2 접합특성

GCL제품을 현장에 포설할때, 기존의 지오멤브레인시이트와는 달리 접합작업이 별도로 필요하지 않으며 단지 일정한 폭만을 겹쳐놓기만 하면 된다. 포설후에 물이 GCL내의 벤토나이트에 침입하게되면 벤토나이트가 수화하고 팽창하

게 되어 자동적으로 매트가 서로 부착하게 된다. 이와같은 접합작업을 그림 9에 도시된 바와 같이 실험실에서 모사하였다. 장기간에 걸쳐 모형수조에서 이음부의 누수상태를 점검한 결과 누수현상은 발생하지 않았다. 이로부터 GCL은 일정 폭만을 겹쳐놓으면 벤토나이트의 점성력에 의하여 자체적으로 접합이 이루어짐을 알 수 있다. 또한 그림에서 볼 수 있는 바와같이 제품의 두께는 초기에 수화되지 않았을 경우 6mm이나 물을 접하게되면 수화하여 두께가 15mm 정도로 팽창되어 벤토나이트 차수층의 두께가 증가하게 됨을 알 수 있다.

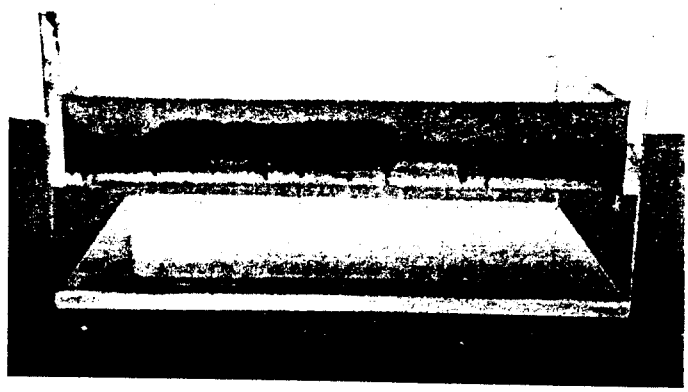

그림 9. 벤토픽스의 자체접합 능력

3.3 천공부 자체복원 특성

지오멤브레인은 천공이 되면 자체복원능력이 없으나 GCL은 천공이 되면 천공부 주변 벤토나이트의 팽창 및 점성에 의하여 자체복원능력이 있기 때문에 천공에 의한 누수저감효과가 크게 된다. 따라서, 그림 10에 제시된 바와 같이 GCL이 돌출부 또는 이물질에 의하여 천공이 되어도 자체복원능력에 의하여 누수되지 않음을 알 수 있다.

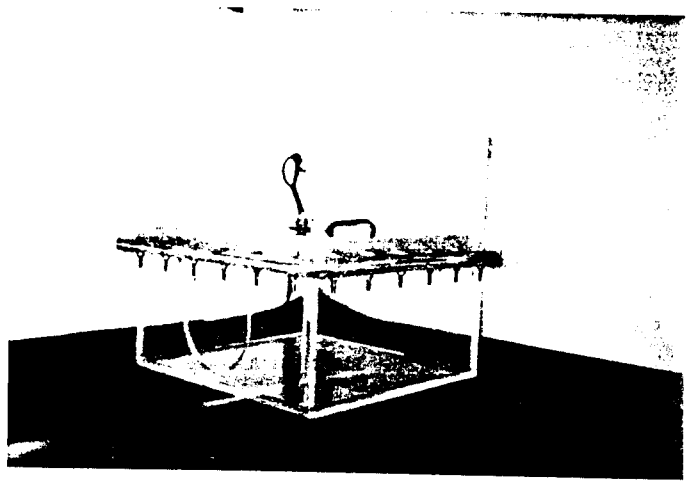

그림 10. 벤토픽스 천공부분의 자체복원능력

3.4 투수특성

직경 30 cm의 대형투수실험기를 사용하여 투수실험을 실시한 결과 표 1에 제시된 바와 같이 클레이맥스의 투수계수는 수두 10m 조건에서 투수계수가 7.11×10^{-10}cm/sec로 나타났으며, 수두 40m조건에서는 투수계수가 8.42×10^{-10} cm/sec로 나타났다. 클레이맥스의 투수계수는 작용수두가 큰 경우에 약간 감소하는 것으로 나타났으나 그 감소량은 매우 미소함을 알 수 있다. 이상에서와 같이 클레이맥스의 투수계수는 10^{-10}cm/sec범위대에 분포하여 투수계수가 매우 작고 지수성이 매우 양호 함을 알 수 있다. 따라서, 클레이맥스의 두께는 수 cm밖에 되지 않으나 투수계수가 매우 낮기 때문에 두꺼운 점토차수재와 동일한 차수성을 기대할 수 있을 것이다.

표 1. 클레이맥스의 투수실험 결과

압 력 수 두	투 수 계 수	비 고
10 m	9.11 x 10^{-10} cm/sec	침투수로 증류수 사용
40 m	8.24 x 10^{-10} cm/sec	

3.5 화학반응특성

클레이맥스와 침출수의 반응특성을 살펴보기 위하여 일반폐기물 매립장에서 채취한 침출수에 대한 투수실험을 실시 하였는데, 본 실험에서 사용된 침출수의 화학특성은 표 2와 같다. 클레이맥스와 침출수와의 화학반응실험결과는 표 1에 제시된 바와 같이 수두 10m조건에서 투수계수가 8.25×10^{-10}cm/sec로 나타났으며, 수두 40m조건에서는 투수계수가 7.54×10^{-10}cm/sec로 나타났다. 따라서, 클레이맥스의 투수계수는 증류수보다 침출수의 경우에 약간 증가하는 것으로 나타났으나 그 증가량은 매우 미소한 것으로 나타났다. 이상에서와 같이 클레이맥스의 투수계수는 물과 침출수에 대하여 대체적으로 9.11×10^{-10}~7.54×10^{-10} cm/sec의 범위에 속하는 것으로 나타났다.

투수실험 및 화학반응실험에 의한 클레이맥스의 투수특성을 도식적으로 살펴보면 그림 11과 같다. 이 그림은 기존의 외국자료에 본 실험결과를 도시한 것으로 그림에서 보는바와같이 외국의 기존 실험결과에 비하여 본 연구에서 얻어진 투수계수가 약간 크게 나타났는데 이는 실험장비 및 방법 등이 상이하기 때문인 것으로 판단된다.

표 2. 침출수 특성

항 목	수 치 (ppm)
SS	243
TS	11,530
CODm	627
BOD	2,700

표 3. 클레이맥스의 화학반응 실험 결과

압 력 수 두	투 수 계 수	비 고
10 m	8.25 × 10^{-10} cm/sec	침투수로 침출수 사용
40 m	7.54 × 10^{-10} cm/sec	

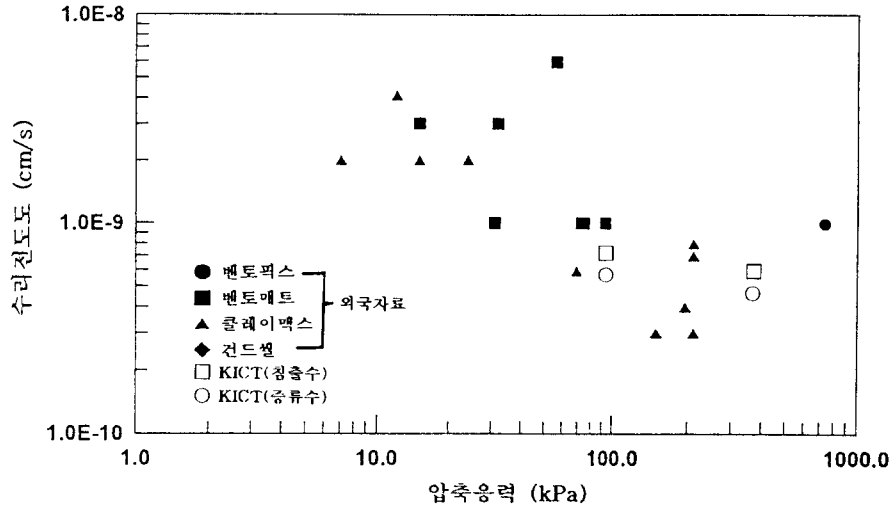

그림 11. 클레이맥스의 투수특성

3.6 지오텍스타일의 재질특성

클레이맥스 차수재의 구성재료로서 벤토나이트를 보호하여 유출을 방지하고 있는 지오텍스타일에 대한 물리·역학 특성을 살펴보면 표 4와 같다. 표에서 보는 바와 같이 클레이맥스에 사용된 지오텍스타일의 조성섬유는 100% 폴리프로필렌이고 융점은 온수상태에서 161℃이다. 그리고 인장강도는 74~107 파운드이고 인장신도는 19~34%이며 파열강도는 평방인치당 209~230 파운드로 나타났다.

3.6 벤토나이트의 성분특성

클레이맥스 차수재에 사용된 벤토나이트의 화학성분은 표 5에 제시된 바와 같다. 표에서 보는 바와 같이 벤토나이트의 구성성분은 SiO_2는 61.7%, Al_2O_3는 20.1%, CaO는 1.07%정도 되는 것으로 나타났다. 따라서 벤토나이트에는 일반적으로 알려진 사실이지만 SiO_2의 함량이 가장 많음을 알 수 있다.

표 4. 클레이맥스에 사용된 지오텍스타일의 물리·역학 특성

시험항목	시험항목		시험방법
수축율, %	(온수상태)	(건조상태)	KS K 0601
경사방향	*Neg.	Neg.	(상온침지법)
위사방향	Neg.	Neg.	(270° F/20분)
	(표면)	(이면)	
조성섬유	100% 폴리프로필렌	-	KS K 0210
융점, ℃	161	-	KS K 0328
중량, oz/yd^2	6.9	5.6	ASTM D 3776
밀도, 올/inch			ASTM D 3775
경사	22.0	22.2	
위사	12.0	11.8	
인장강도, lbs			ASTM D 5034
경사방향	107.6	104.9	(Grab 법)
위사방향	76.7	74.5	(정속인장식)
인장신도, %			ASTM D 5034
경사방향	19.6	19.6	(Grab 법)
위사방향	30.1	34.7	(정속인장식)
파열강도, lbs/inch^2	230.4	209.1	ASTM D 3786 (Diaphragm법)

비고 : Neg. = Negligible

표 5. 클레이맥스에 사용된 벤토나이트의 화학성분특성

시 험 항 목	결 과 치	시 험 방 법
SiO_2	61.7 %	KSF 3806-91
Al_2O_3	20.1 %	KSF 3806-91
Fe_2O_3	4.30 %	KSF 3806-91
CaO	1.07 %	KSF 3806-91
MgO	2.63 %	KSF 3806-91
K_2O	0.29 %	KSF 3806-91
Na_2O	2.46 %	KSF 3806-91

4. 현장적용사례

GCL은 지오멤브레인시이트에 비하여 고가이기 때문에 국내에서는 그동안 일반폐기물 매립장보다는 유해한 폐기물을 저장하는 특정폐기물 매립장에 주로 적용되었다. 그러나 이의 적용성이 널리 알려지면서 최근에는 일반폐기물 매립장에도 적용되는 사례가 발생하고 있다. 그러나 GCL이 국내에 소개된 역사가 몇년밖에 되지않기때문에 아직까지도 GCL의 적용은 몇개소 밖에 되지 않는다.

국내에서의 GCL적용 매립장으로는 특정폐기물 매립장으로 대전 제3공단 폐기물매립장, 경산 특정폐기물 매립장, 온산 특정폐기물 매립장 등이 있으며 일반폐기물 매립장으로 철원 매립장 등이 있다. GCL차수재의 설치사례를 살펴보면 그림 12와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 매립장 바닥에 일정한 폭의 GCL를 서로 겹치게 포설하여 차수층을 형성시킨다. 그리고 GCL차수층의 보호를 위하여 모래를 30cm정도 포설하여 마무리한다.

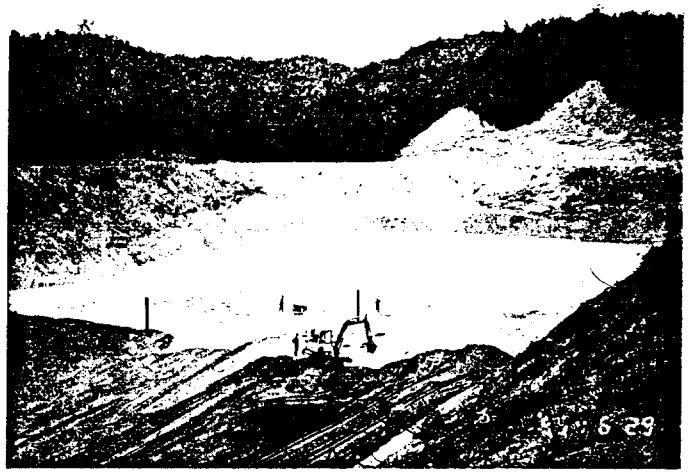

그림 12. GCL 차수재 적용사례

5. 결론

GCL 차수재중 벤토픽스와 클레이맥스에 대하여 접합실험, 천공실험, 투수실험, 화학반응실험, 지오텍스타일의 재질실험 및 벤토나이트의 성분분석실험 등을 실시하였고, 실험결과를 분석 고찰하여 폐기물 매립지의 차수재 및 복토재로서의 적용성을 살펴보았다. 실험결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 접합실험결과, GCL은 이음부를 일정 폭만 겹쳐놓으면 벤토나이트의 점성력에 의하여 자체적으로 접합이 이루어지며 GCL은 수화되면 두께가 크게 증가하게 됨을 알 수 있다.

(2) 천공실험결과, GCL은 천공이 되면 천공부 주변 벤토나이트의 팽창 및 점성에 의하여 자체복원됨므로, 따라서 천공에 대한 누수저감 효과가 큰 것으로 나타났다.

(3) 투수 및 화학반응실험결과, 클레이맥스의 투수계수는 물과 침출수에 대하여 대체적으로 9.11×10^{-10}~7.54×10^{-10} cm/sec범위에 속하는 것으로 나타났다. 따라서 클레이맥스의 두께는 수 cm밖에 되지 않으나 투수계수가 매우 낮기 때문에 두꺼운 점토차수재와 동일한 차수성을 기대할 수 있을 것으로 본다.

(4) 클레이맥스의 구성재료로서 벤토나이트를 보호하여 유출을 방지하고 있는 지오텍스타일의 인장강도는 74~107 파운드이고 인장신도는 19~34%이며 파열강도는 평방인치당 209~230 파운드로 나타났다.

(5) 클레이맥스에 사용된 벤토나이트의 광물구성성분은 SiO_2는 61.7%, Al_2O_3는 20.1%, CaO는 1.07% 등으로 나타나 SiO_2의 함량이 가장 많았다.

참 고 문 헌

1. 정하익, 이용수, 심한인, 우제윤(1995), "불량매립지 차폐방안 및 차폐재와 침출수의 반응성에 관한 연구," 한국지반공학회 '95 봄학술발표회 논문집, pp.191~198.
2. 정하익, 홍성완, 장연수, 김수삼(1994), "국내폐기물 매립장 차수재 현황조사 연구," '94년도 봄 학술발표회 논문집, 지반구조물 변위에 관한 사례분석과 환경매립기술, 한국지반공학회, pp.65~73.
3. 건설교통부(1995), 폐기물매립지 차수재 개발, 연구보고서, KICT/95-GE-1201, 한국건설기술연구원.
4. Brown, K. W. and D. Anderson(1980), "Effect of Organic Chemicals on Clay Liner Permeability, A Review of the Literature ; Disposal of Hazardous Wastes," In Proceedings of the Sixth Annual Research Symposium at Chicago, Illinois, pp.123~134.
5. David E. Daniel and Howard M. Liljestrand(1984), Effects of landfill leachates on natural liner systems, 86p.
6. David E. Daniel(1992), Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapman & Hall, pp.137~163.
7. GeoServices Inc. Consulting Engineers(1989), Claymax/fuel compatibility tests, Final Report, 6p.
8. GeoServices Inc. Consulting Engineers(1989), Hydraulic conductivity of claymax CR in a marine environment, 7p.
9. Geswein, A. J.(1975), Liners for Land Disposal Sites, An Assessment, US EPA, Washington, DC., 66pp.
10. James Clem Corporation(1989), CLAYMAX tank farm liner installation manual, 20p.
11. James K. Mitchell(1993), Fundamentals of soil behavior, Second Edition, John wiley & Sons, Inc., 437p.