

Geosynthetic Clay Liner(GCL)의 제조 및 물성 평가

전한용, 최윤희, 김홍관*

전남대학교 섬유공학과, *한국원사직물시험연구원 토목재료분석센터

1. 서론

토목섬유제품중에서 차수재로 널리 사용되는 지오멤브레인은 1×10^{-12} 의 낮은 투수계수를 갖고 있지만 시공전후 찢어지거나 구멍이 뚫리게 되면 침출수의 유출이 발생하여 환경오염을 일으키게 된다. 이를 보완하기 위해 친수성과 팽윤성이 큰 벤토나이트 물질을 이용한 Geosynthetic Clay Liner(GCL) 복합재료가 개발되었다. GCL은 지오텍스타일이나 지오멤브레인 사이에 벤토나이트를 충전시키고, 접착제 또는 니들펀칭(needle-punching)이나 스티칭(stitching)과 같은 기계적인 방법으로 결합한 복합재료이다. 본 연구에서는 폐기물 매립지, 터널공사 등에 차수용으로 사용되는 GCL의 주요 구성성분인 벤토나이트의 특성을 측정하고, 니들펀칭에 의해 복합화한 GCL의 수리학적 특성을 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 벤토나이트의 팽윤 메카니즘

벤토나이트 내부층의 이온교환 될 수 있는 양이온이 극성인 물에 접촉되면 규산염층 사이에 물분자층이 형성됨으로 팽윤된다. 이런 메카니즘은 Figure 1의 (a)에 나타난 바와 같이 Ca-벤토나이트에서 뚜렷이 나타난다(inner-crystalline swelling). 한편, 정전기적 인력이 더 낮은 Na-벤토나이트에 특히 나타나는 메카니즘으로 inner-crystalline swelling을 거친 고농도 내부층내의 Na^+ 이온 용액과 저농도 외부용액의 농도차로 삼투현상이 발생하여 내부층으로 물분자가 끌려 들어가게 된다. 이로 인해 Figure 1의 (b)에서 처럼 층간거리가 증가하며, 정전기적 인력의 저하로 규산염층의 분리현상이 발생하게 되고 동일전하에 의한 반발력에 의해 전기적 이중층을 형성하게 되므로 더 높은 팽윤력이 발생한다(osmotic swelling).

2.2. GCL의 투수이론

GCL이 차수용으로 landfill에 적용될 경우 hydraulic conductivity는 다음과 같다.

$$Q = k \frac{h+H}{H} \text{-----} (1)$$

(where, Q = Leakage rate, k = Hydraulic conductivity,
 H = Head of liquid, h = Thickness of GCL)

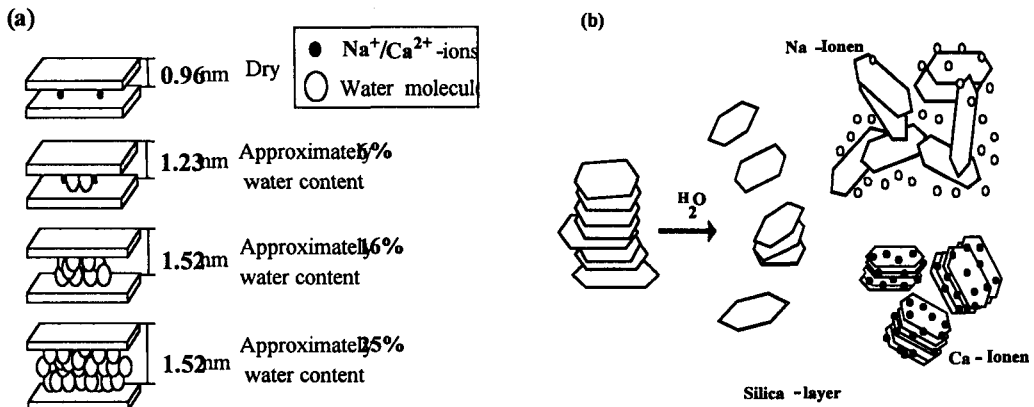


Figure 1. Swelling mechanism of Ca- and Na-bentonite

(a) Inner-crystalline swelling

(b) Osmotic swelling

3. 실험

3.1. 벤토나이트의 free swell

원통형의 실린더에 2g의 벤토나이트를 넣고 100ml의 증류수를 부은후 팽윤되는 부피(cc)를 측정하는 ASTM D 5890에 의거하여 벤토나이트의 free swell 특성을 측정하였다.

3.2. GCL의 제조

상부에 250g/m²의 폴리프로필렌 니들펀칭 부직포를, 하부에 123g/m²의 폴리프로필렌 직포를 사용하였으며 이들 사이에 5,627g/m²의 Na-bentonite를 충전시킨 후 니들펀칭법으로 중량 6,000g/m²의 GCL을 제조하였다.

3.3. GCL의 물성

ASTM D 4643에 의거하여 수분율을, ASTM D 1777에 의거하여 두께를, ASTM D 4632에 의거하여 인장강신도를, ASTM D 4833에 의거하여 파열강도를, ASTM E 946에 의거하여 흡수성을, ASTM D 5084에 의거하여 hydraulic conductivity를 측정하였다. 그리고 GCL의 수리학적 특성을 평가하기 위하여 Table 1에 제시한 성분을 함유한 염수를 이용하였으며 hydraulic conductivity는 Figure 3의 측정장치를 이용하여 평가하였다. 한편, hydraulic conductivity 건조상태의 GCL을 지름 100mm로 절단하여 두 filter plate 사이에 설치한 다음 일정한 수두압을 유지시킨 염수를 투수시킨후 GCL을 통과하여 흘러나온 물의 양을 측정하여 투수성을 평가한다.

Table 1. Composition of sea salt water

pH	Conductivity [mS/cm]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	Mn [mg/l]	Fe [mg/l]	Pb [mg/l]	Cl ⁻ [g/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]
7.76	33.7	304.2	846.0	5767	n.m	0.178	n.m	264	2460

(n.m = not measurable)

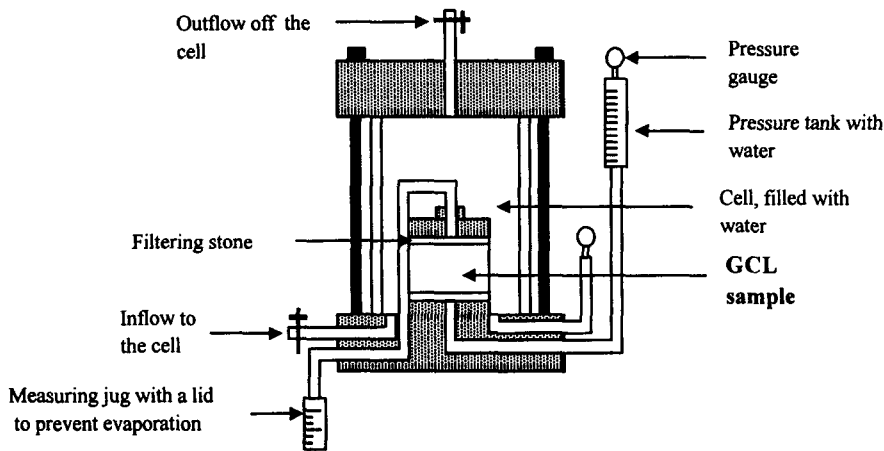


Figure 2. Apparatus for hydraulic conductivity of GCL

4. 결과 및 고찰

4.1 벤토나이트의 free swell

GCL제조에 사용된 벤토나이트의 free swell값은 18cc/2g이었으며 일반적으로 GCL제조에 사용되는 Na-벤토나이트의 경우 free swell값이 ~24cc/2g임을 감안한다면 GCL제조에는 타당할 것으로 사료된다.

4.2 GCL의 역학적 및 수리학적 특성

제조된 GCL의 두께는 6.4mm, 인장강도는 MD(machine direction)방향의 경우 107.9kgf, CD(cross direction)의 경우 82.2kgf, 인장변형율은 MD(machine direction)방향의 경우 81%, CD(cross direction)의 경우 107%, 파열강도는 49.7kgf, 흡수성은 700%, hydraulic conductivity는 9.0×10^{-10} 이었다.

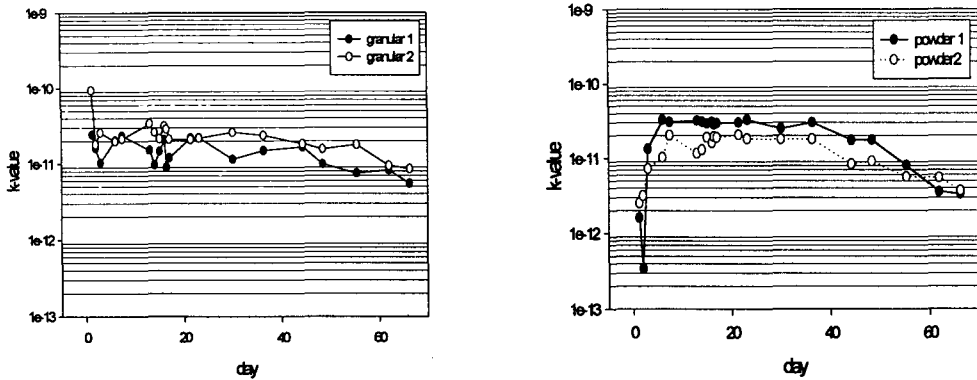


Figure 3. Hydraulic conductivity of GCL with a constant head of 15kPa

Figure 3에 벤토나이트의 형태에 따른 hydraulic conductivity를 나타내었으며 분말상 벤토나이트의 경우에는 부가하중에 따라 투수성이 감소하였으며 시간경과에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 한편, 과립상 벤토나이트의 경우에는 초기에는 증가하는 경향을 보이다가 일정시간이 지나면 감소하는 경향을 나타내었다.

5. 결론

GCL 제품은 사용되는 벤토나이트의 free swell값에 따라 차수성능이 결정되며 본 연구에서는 18cc/2g이었다. 벤토나이트 형태에 따른 hydraulic conductivity는 분말상과 과립상 모두 비슷한 값을 보이지만 GCL의 사용기간을 고려한다면 분말상 벤토나이트가 GCL제조에 타당할 것으로 생각된다. 그러나 GCL 복합화 형태 및 재료에 따라 차수성능이 좌우됨을 고려한다면 향후 다양한 형태의 GCL 제품에 대한 특성평가가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. T. Egloffstein, "Geosynthetic Clay Liner, part six ; ion exchange", *Geotechnical Fabrics Report, June/July*, pp.38-43(1997).
2. D. E. Daniel, "Geosynthetic Clay Liner, part two ; hydraulic properties", *Geotechnical Fabrics Report, May*, pp.22-25(1996).
3. R. J. Tranger, "The Structure, Properties and Analysis of Bentonite in Geosynthetic Clay Liners", *Proceedings of 8th GRI conference*, GRI, pp.57-65(1994).
4. R.M. Koerner, "Designing with Geosynthetics", 4th Ed., Prentice Hall Co., New York, pp.54-57(1998).