

장기성능 평가를 위한 토목섬유 화학저항성 시험 고찰

Consideration of Geosynthetics Chemical Resistance Test for Long-Term Performance Evaluation

전한용¹⁾, Han-Yong Jeon, 장연수²⁾, Yeon-Soo Jang, 공학봉³⁾, Hak-Bong Gong

¹⁾ 인하대학교 나노시스템공학부 교수, Professor, Div. of Nano-Systems Eng., Inha University

²⁾ 동국대학교 사회환경시스템공학부 교수, Professor, Dept. of Civil and Env. Eng., Dongguk Univ.

³⁾ (주)메카모아 대표이사, President, MEKAMORE Co., Ltd.

SYNOPSIS : In this study, the real site test conditions were considered and applied to suggest the improved test method for geosynthetics chemical resistance. For this, index and performance tests were done to specify and regulate the more approached test method. Accelerated model by Arrhenius equation was applied to interpretate the experimental data. Through analysis and comparison the overall experimental results, we could suggest the possibility and setup the advanced chemical resistance test method for geosynthetics.

Keywords : real site test conditions, geosynthetics chemical resistance, index and performance tests, Accelerated model by Arrhenius equation, the advanced chemical resistance test method

1. 서론

토목섬유 제품 중 대부분은 기능별로 용도가 정해지며, 그 중에서도 분리/차수/여과/보호/배수기능을 갖는 제품들은 여러 종류의 액상물질과 접촉하거나 침지된 상태에서도 일정 성능을 유지해야만 한다. 현재 사용되고 있는 토목섬유 원료는 주로 폴리에스터, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, PVC 등으로 액상물질에 노출되었을 경우 성능변화를 유발시키는 화학저항성은 이들 제품을 구성하는 고분자 원료특성에 좌우된다. 특히, 화학저항성은 액상물질의 화학조성에 큰 영향을 받게 되며, 극한 산성이나 알칼리 또는 용제에 노출될 경우 토목섬유 자체의 성능이 전혀 발휘되지 못하는 원인이 되기도 한다. 이와 같은 사실은 토목섬유의 장기성능 유지를 필요로 하는 구조물의 경우 안정성은 물론 정량적인 기준설정에도 중요한 영향을 미치게 된다. 한편, 이러한 토목섬유의 화학저항성을 시험하는 표준화된 시험법은 특정제품을 기준으로 ISO나 ASTM International 등의 국제시험규격에 일부 소개되어 있기는 하지만 노출조건에 대한 명확한 시험조건이 서술되지 않은 상태로 적용되고 있다. 이러한 점을 감안하여 본 논문에서는 토목섬유의 장기성능 및 감소계수를 정량적으로 해석하기 위하여 기 사용되고 있는 시험법을 분석하고 문제점을 도출하였다. 그리고 적용 가능한 극한조건을 고려하여 화학저항성 시험조건을 설정한 다음, 각각의 조건에서 장기성능 변화를 예측할 수 있는 시험방법을 제안하고자 한다.

2. 실험

2.1 시료의 준비

화학저항성 평가대상이 되는 지오텍스타일 제품 중에서 국내에서 폐기물 매립지 및 해안지역 연약지

반 보강 등에 대표적으로 사용되는 부직포 및 직포 지오텍스타일 제품을 시료로 채택하였다. 중량 1,200g/m²의 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에스테르(PES) 단섬유 부직포 지오텍스타일과 설계강도 4 ton/m의 폴리프로필렌(PP) 및 폴리에스테르(PES) 직포 지오텍스타일을 각각 시료로 사용하였다. 지오그리드는 폐기물 매립지 등의 보강사면용에 사용되며, 활용도가 가장 큰 PVC 코팅된 warp knitted type 텍스타일 지오그리드 제품을 채택하였으며, 설계강도는 6 ton/m이다. 지오킴포지트는 [PET 스펀본드 부직포/지오네트(HDPE)/PET 스펀본드 부직포] 형태의 지오킴포지트 제품을 사용하였다.

2.2 화학저항성 시험용액

폐기물 매립지 환경을 고려하여 pH 4, 6, 7, 8, 10의 표준용액을 제조하였으며, 해안지역 연약지반에 적용되는 토목섬유제품을 고려하여 2.5% NaCl 용액을 표준용액으로 사용하였다. 현장 채취용액으로는 폐기물 매립지의 침출수의 경우 대표적인 가정폐기물 매립지인 광주 운정동 쓰레기 매립지의 침출수를 채취하였으며, 해안지역 연약지반에 적용되는 토목섬유제품을 고려하여 남해안 광양만의 해수를 각각 현장채취용액으로 각각 사용하였다.

2.3 시험조건

표준용액 및 침출수에서의 토목섬유제품의 화학저항성을 평가하기 위하여 온도조절장치가 부착된 항온수조를 사용하였다. 그리고 2.5% NaCl 표준용액에서의 토목섬유제품의 화학저항성을 평가하기 위하여 온도조절장치가 부착된 염수분무장치를 사용하였다. 부직포 지오텍스타일 및 지오킴포지트의 투수성을 평가하기 위하여 radial type 투수시험장치를 사용하였으며, 토목섬유제품의 현장시공조건을 모사한 실험을 진행하기 위하여 모형토조를 사용하였다. 실내시험조건으로는 지반구조물(흙 구조물)과 폐기물 매립지 적용 조건을 각각 고려한 경우 pH : 4, 6, 7, 8, 10, 온도 : 20, 30℃, 시험기간 : 240일을 적용하였으며, 해안지역 연약지반 적용 조건을 고려한 경우 pH : 8, 10, 온도 : 20, 30℃, 시험기간 : 240일을 적용하였다. 한편, 현장시험은 준비된 토목섬유제품을 현장에 240일 동안 시험 시공한 다음 30일 간격으로 시료를 채취하여 강도보유율을 측정하였다. 측정된 값들은 실내시험을 통하여 표준용액에서 측정된 값들과 비교하여 화학저항성을 분석하였다.

3. 가속모델에 의한 화학저항성 평가

실내시험을 통하여 토목섬유제품의 화학저항성에 의한 성능저하를 예측하기 위하여 온도에 따른 가속 실험을 실시한 후, 다음의 가속모델을 적용하여 해석한다.

여기서 가속모델은 수명을 예측하는 Arrhenius식으로부터 제품의 강도보유율을 예측하는 식으로 변환시켜 온도와 pH 인자를 고려하여 제품의 수명을 예측하는데 적용하였다.

$$\ln(S) = \ln(P) + (W) \times (t) \text{ ----- (1)}$$

여기서, S : 강도보유율

W : 기울기 (강도보유율의 감소를 나타내는 값을 의미함.)

t : 실험시간

P : 상수 (강도보유율의 초기값을 의미함.)

위의 식으로 부터 토목섬유제품의 시간과 온도에 의한 강도보유율을 예측할 수 있으며, 온도가 변수일 경우 W는 다음과 나타낼 수 있다.

$$W = A \exp(-E/RT) \text{ ----- (2)}$$

$$\ln(S) = \ln(A) + (-E/R)(1/T) \text{ ----- (3)}$$

여기서, E : 활성화 에너지 (KJ/mol)

R : 기체상수 (8.31 J/mol°K)

A : 상수

따라서, (-E/R)에 의하여 pH에 의한 영향을, (1/T)에 의하여 온도에 의한 영향을 각각 고려할 수 있으며, 이로부터 토목섬유제품의 화학저항성을 강도보유율 저하를 예측할 수 있게 된다.

본 연구개발에서는 가속모델의 구성방정식 (3)을 적용하여 표준용액에서의 화학저항성에 의한 강도보유율을 해석하고, 장기간 강도보유율 저하를 예측하는데 적용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 표준용액에서의 화학저항성

그림 1에 PP 부직포 지오텍스타일의 온도 및 pH에 따른 표준용액에서의 화학저항성을 강도보유율 변화로 나타내었다. 여기서 실험기간 240일까지의 강도보유율 저하는 pH값이 커질수록 증가하는 경향을 나타내고는 있지만 그 값이 70% 이하가 되지 않음을 알 수 있다. 그리고 가속모델의 구성방정식을 적용한 직선으로 표시된 예측결과를 살펴보면, pH 10, 온도 50°C에서 50% 미만의 강도보유율을 나타내는 시점이 500일 정도임을 알 수 있다. 이 값은 가혹한 조건에서의 실내시험에 의한 값이므로 실제 현장에 시공한 경우와는 차이가 있으며, 상온부근의 실제 지반구조물의 온도를 고려하면 약 80% 정도의 강도보유율을 유지할 수 있을 것으로 생각할 수 있다. 그림 2에 PET 부직포 지오텍스타일의 온도 및 pH에 따른 표준용액에서의 화학저항성을 강도보유율 변화로 나타내었다. 이 경우 실험기간 240일까지의 강도보유율 저하는 pH값이 커질수록 증가하는 경향을 나타내고는 있으며 특히, 고온 강알칼리상태에서의 감소율이 크게 증가함을 확인할 수 있다. 또한 가속모델의 구성방정식을 적용한 직선으로 표시된 예측결과를 살펴보면, pH 10, 온도 50°C에서 50% 미만의 강도보유율을 나타내는 시점이 400일 부근으로 나타났으며, 이로부터 고온 알칼리 상태의 환경에 적용할 경우 문제가 발생할 수 있을 것으로 생각된다. 그림 3과 4의 직포 지오텍스타일의 경우도 부직포 지오텍스타일과 비슷한 경향을 나타내지만, 특히 PET 직포 지오텍스타일의 경우 강도보유율 저하가 심하게 발생함을 예측할 수 있다. 그림 5에 PVC 코팅된 warp-knitted type 텍스타일 지오그리드의 온도 및 pH에 따른 표준용액에서의 화학저항성을 강도보유율 변화로 나타내었다. 여기서 지오그리드 자체는 고강력 폴리에스터 원사를 사용하였지만 PVC 수지로 코팅되어 있기 때문에 코팅된 부분이 드러나지 않는 한 화학용액에 대한 안정성은 우수하다고 봐야 할 것이며, 실험결과들도 이를 잘 입증하고 있다. 실제로 지오그리드 제품은 국내에서 폐기물 매립지에 자주 시공되는 재료는 아니며, 따라서 화학용액에의 극렬한 노출은 발생하지 않는다. 앞의 지오텍스타일 제품과는 달리 매우 우수한 화학저항성을 나타내고 있으며, 장기간 예측값도 매우 큼을 알 수 있다. 일반적으로 지오그리드 제품이 국내에서는 주로 보강토 옹벽구조물에 사용되기 때문에 강알칼리성의 시멘트 응용 콘크리트 구조물에 PVC 피복이 벗겨진 상태로 노출될 경우를 제외하고는 강도저하는 크게 발생하지 않을 것으로 생각할 수 있다. 지오펜본드의 경우 온도 및 pH에 의한 화학저항성 평가는 완제품이 아닌 부직포 필터의 강도보유율 저하를 평가하였다. [PET 스펜본드 부직포/지오네트(HDPE)/PET 스펜본드 부직포] 형태로 되어 있으며, 성능 평가대상은 수평투수계수이기 때문이다. 하지만 core 부분의 지오네트(HDPE)는 화학용액에 의한 성능저하가 거의 발생하지 않으며, 부직포 필터가 실제로 화학용액에 의해 강도저하가 발생하기 때문에 여기서는 부직포 필터의 강도보유율을 측정, 평가하였다. 그림 6에 온도 및 pH에 따른 표준용액에서의 화학저항성을 강도보유율 변화로 나타내었으며, 실험기간 240일까지의 강도보유율 저하는 pH값이 커질수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 고온

강알칼리일수록 강도저하가 커지는데, 이는 PET 섬유에 의한 가수분해에 의한 강도저하가 커짐에 기인한 결과로 생각된다. 그리고 가속모델의 구성방정식을 적용한 직선으로 표시된 예측결과를 살펴보면, 30°C 이상에서 모두 50% 미만의 강도보유율을 나타냄을 알 수 있다. 하지만 이 값은 가혹한 조건에서의 실험에 의한 값이므로 실제 현장에 시공한 경우와 차이를 나타낼 수 있다.

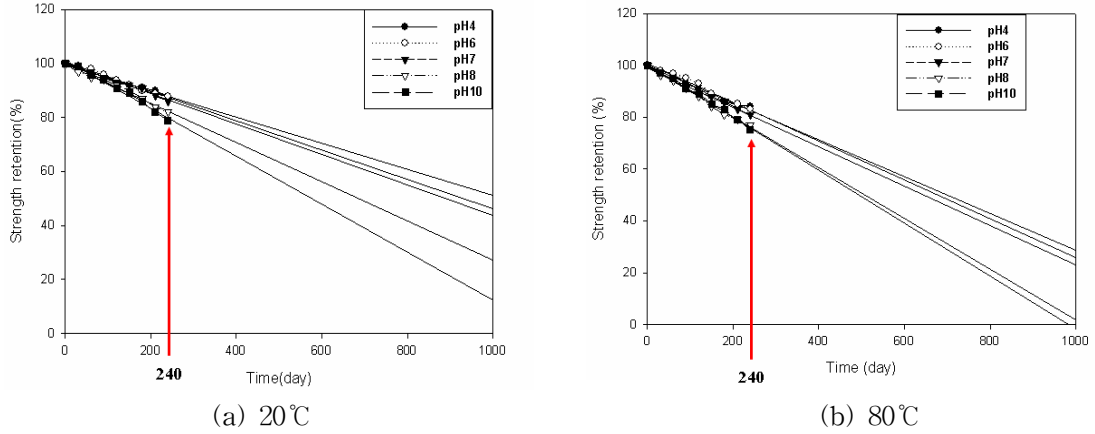


그림 1. PP 부직포 지오텍스타일의 pH에 따른 강도보유율

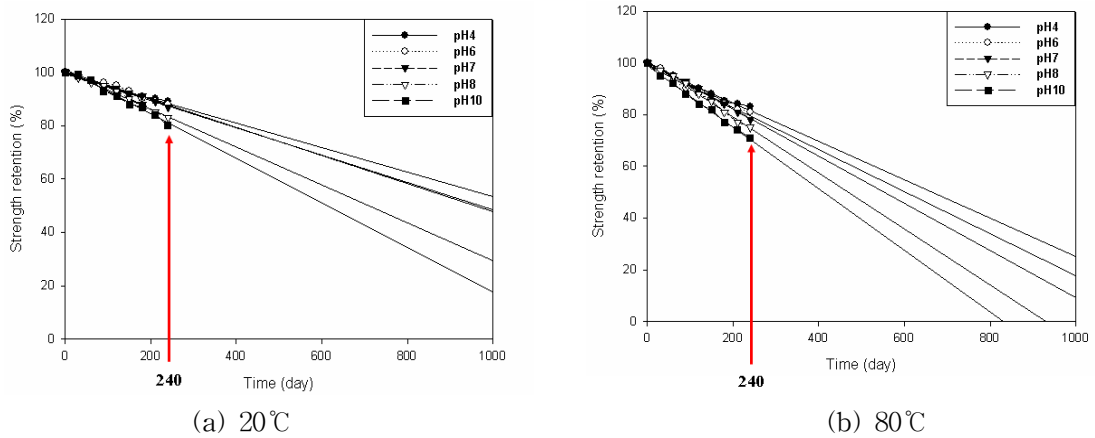


그림 2. PET 부직포 지오텍스타일의 pH에 따른 강도보유율

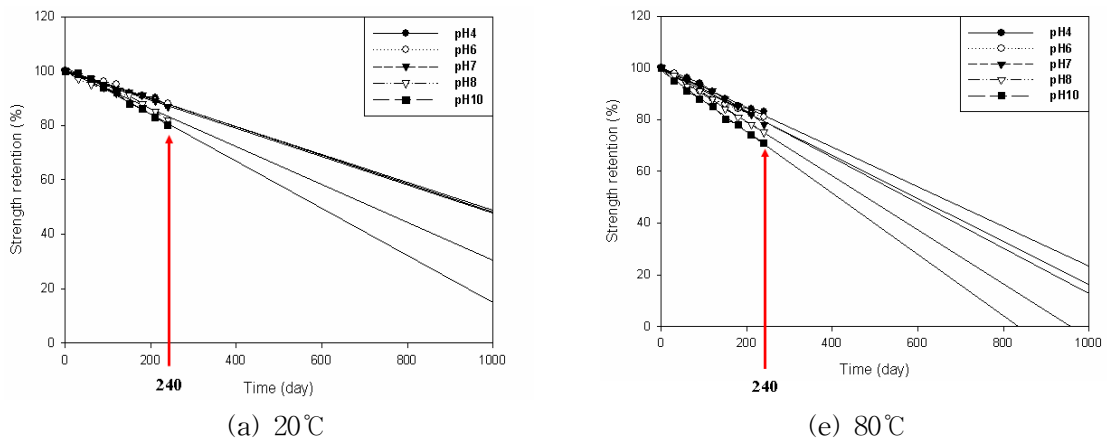
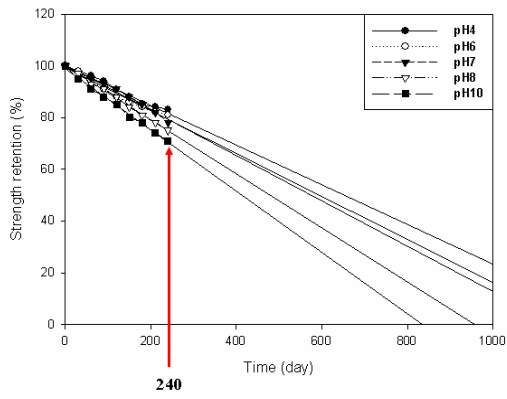
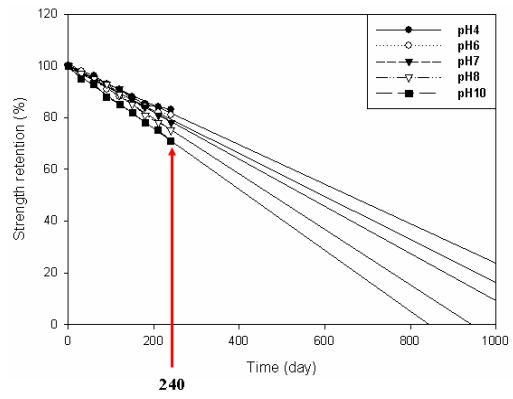


그림 3. PP 직포 지오텍스타일의 pH에 따른 강도보유율

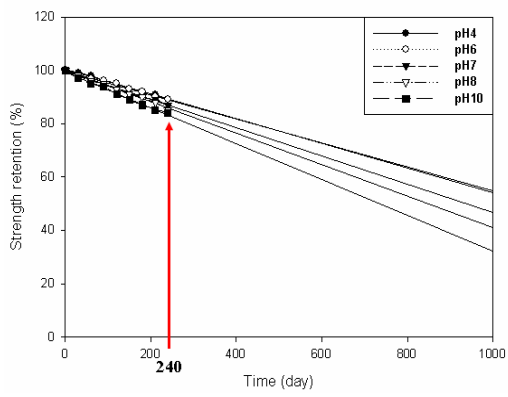


(a) 20°C

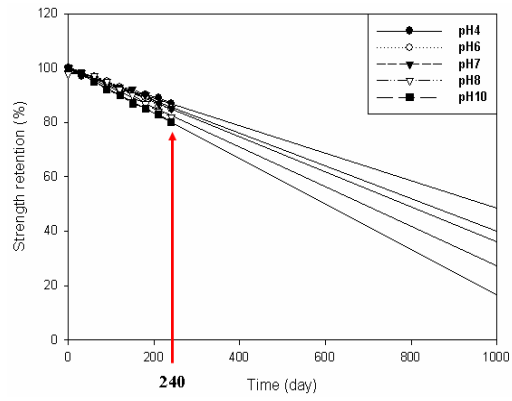


(b) 80°C

그림 4. PET 직포 지오텍스타일의 pH에 따른 강도보유율

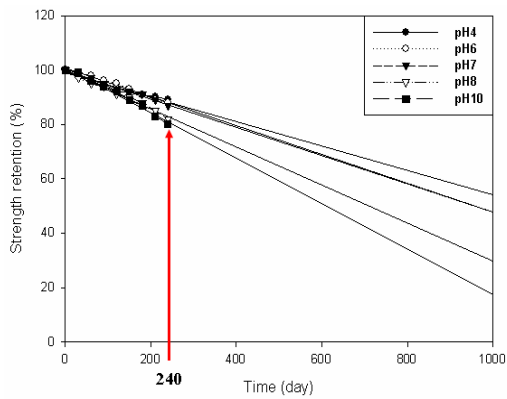


(a) 20°C

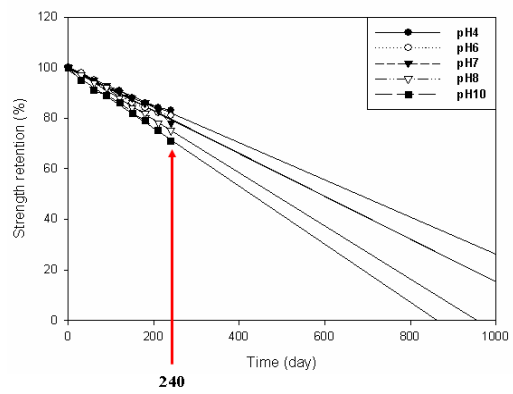


(e) 80°C

그림 5. 지오그리드의 pH에 따른 강도보유율



(a) 20°C



(e) 80°C

그림 6. 지오컴포지트 부직포 필터의 pH에 따른 강도보유율

4.2 2.5% NaCl 표준용액에서의 화학저항성

그림 7에 해안지역 연약지반 적용성을 고려하여 2.5% NaCl 용액을 표준용액으로 사용한 토목섬유제품의 화학저항성을 강도보유율 변화로 나타내었다. 이 경우 일반적으로 1년 동안의 연약지반 온도범위

(5~20℃)를 감안하여 시험온도는 가속시험 최고온도인 20℃를 채택하였다. 여기서 부직포 지오텍스타일의 경우 직포 지오텍스타일에 비해 강도보유율 감소가 작았으며, 지오그리드와 지오컴포지트의 경우는 매우 우수한 강도보유율을 나타내었다. 그러나 직포 지오텍스타일 중 PET 직포 지오텍스타일의 경우 심한 강도저하 현상을 나타내고 있으며, 이러한 현상은 재생 PET chip을 이용하여 제조된 제품이기 때문에 나타나는 결과라고 추측된다.

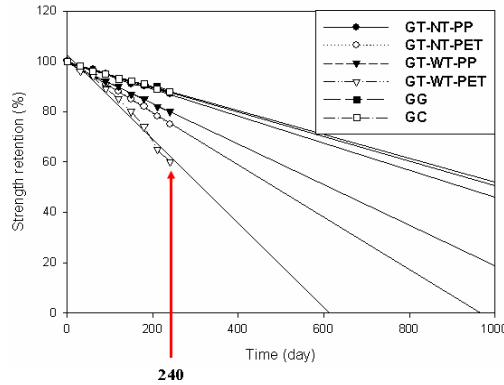
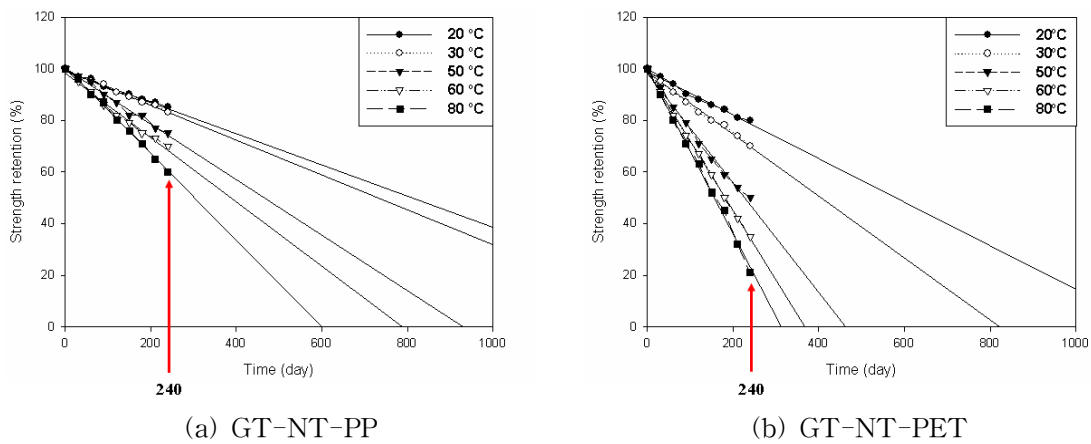


그림 7. 2.5% NaCl 용액에서의 토목섬유제품의 강도보유율

4.3 현장채취용액에서의 화학저항성

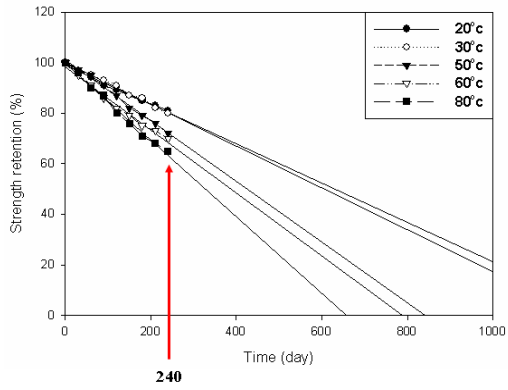
가) 지오텍스타일

부직포 지오텍스타일의 경우 그림 8에서 알 수 있듯이 PET 부직포 지오텍스타일의 강도보유율 저하가 PP 부직포 지오텍스타일에 비해 크게 나타났으며, pH 8의 표준용액에서의 화학저항성과 비교해보면, 훨씬 더 크게 감소함을 확인 할 수 있다. 또한 그림 10의 직포 지오텍스타일의 경우도 경향은 부직포 지오텍스타일과 큰 차이는 없지만, 역시 PET 직포 지오텍스타일의 강도보유율 저하가 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 가속모델로부터 예측된 값을 살펴보면, PET 직포 지오텍스타일의 경우 PP 직포 지오텍스타일보다 pH 10, 온도 80℃에서 약 2배로 강도보유율 저하가 빨라짐을 예측할 수 있다. 따라서 표준용액에 의한 화학저항성 평가 결과로부터 감소인자를 산출할 경우 과대설계의 부담이 있지만, 실험 기간 240일 경우 큰 차이는 나타내지 않으므로, 그리고 240일이란 시험기간은 온도에 따른 가속시험기간이기 때문에 이 기간 동안에서의 화학저항성 평가치는 거의 현장조건에 근접한 값으로 간주해도 무방할 것으로 생각된다.

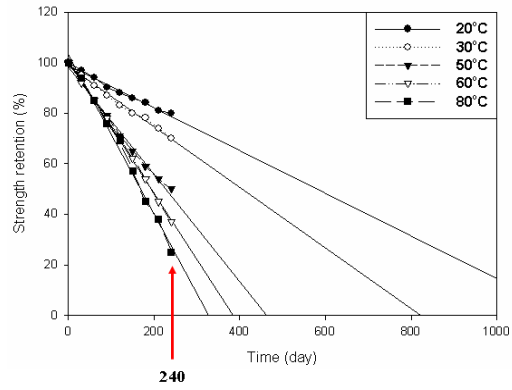


(a) GT-NT-PP (b) GT-NT-PET

그림 8. 부직포 지오텍스타일의 침출수에서의 강도보유율



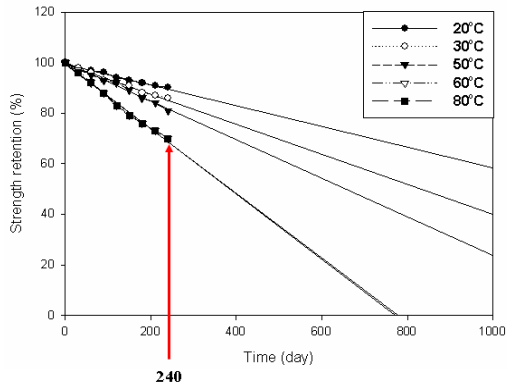
(a) GT-WT-PP



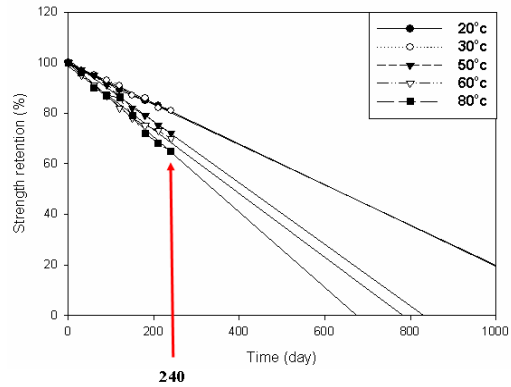
(b) GT-WT-PET

그림 10. 직포 지오텍스타일의 침출수에서의 강도보유율

그림 11에 폐기물 매립지에서 채취한 침출수에서의 지오그리드 및 지오폴리머의 화학저항성을 강도 보유율 변화로 나타내었으며, 지오그리드의 경우 표준용액과 비교해보면 큰 차이가 없지만 지오폴리머의 경우 표준용액에서의 실험결과보다 약간 더 감소한 것으로 나타났다.



(a) 지오그리드



(b) 지오폴리머

그림 11. 침출수에서의 강도보유율

그림 12에 20°C 해수에서의 토목섬유제품의 화학저항성을 나타내었다. PET 직포 지오텍스타일의 강도보유율 저하가 제일 크게 나타났지만 240일이란 시험기간이 가속시험기간임을 고려하면 이 기간 동안에서의 화학저항성 평가치는 거의 현장조건에 근접한 값으로 간주해도 무방할 것으로 생각된다.

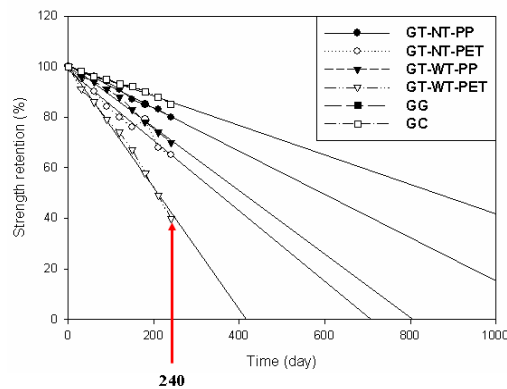


그림 12. 해수에서의 토목섬유제품의 강도보유율

4.4 실내시험(Index Test)에 의한 투수계수

4.4.1 표준용액에서의 투수계수

표 1과 2에 240일 후의 PP 및 PET 부직포 지오텍스타일의 온도 및 pH에 따른 표준용액에서의 투수계수 보유율을 각각 나타내었다. 표 1에서 PP 부직포 지오텍스타일의 경우 pH 및 온도조건에 관계없이 투수계수 변화의 일관성이나 저하현상은 나타나지 않았으며, 이로부터 화학저항성과 투수성과의 관계를 규정지을 수는 없었다. 그리고 2.5% NaCl 표준용액의 경우에도 특별한 투수계수 보유율 저하현상은 나타나지 않았다. 하지만 표 2의 PET 부직포 지오텍스타일의 경우는 PP 부직포 지오텍스타일과는 달리 온도가 높을수록 특히, pH 10, 온도 80℃에서 투수계수 보유율이 증가함을 나타내는데 이는 고온 강알칼리 상태에서 나타나는 PET의 가수분해에 의해 발생한 결과라 생각된다.

표 1. PP 부직포 지오텍스타일의 투수계수 보유율

온도 (°C)		20	40	50	60	80	
투수계수 보유율 (%)	pH	4	83.2	82.6	83.2	82.8	82.8
		6	83.3	81.6	81.4	81.9	82.3
		7	82.8	82.3	81.7	81.8	82.2
		8	81.6	82.2	82.6	82.5	82.4
		10	82.5	81.8	82.2	82.5	82.3
	2.5% NaCl	87.5	86.8	87.2	86.9	87.3	

표 2. PET 부직포 지오텍스타일의 투수계수 보유율

온도 (°C)		20	40	50	60	80	
투수계수 보유율 (%)	pH	4	82.7	83.6	85.2	85.8	86.8
		6	82.3	83.3	83.2	86.2	83.4
		7	84.6	82.3	81.7	81.8	82.6
		8	86.2	87.5	87.2	88.2	87.8
		10	85.5	87.3	90.6	92.8	94.7
	2.5% NaCl	84.6	84.9	85.1	84.7	86.7	

표 3에 240일 후의 지오펜포지트의 온도 및 pH에 따른 표준용액에서의 투수계수 보유율을 나타내었다. PET 부직포 필터는 실제로 화학용액에 의해 강도저하가 발생하며, 이로 인한 부직포 필터 섬유 간 공극이 커지게 되어 투수계수 보유율이 증가함을 확인할 수 있으며, 고온 강알칼리일수록 투수계수 보유율은 커지게 된다. 그러나 지오펜포지트를 현장에 시공할 경우 토체의 구속압력에 의해 실내시험에서 나타난 것처럼 커져버린 섬유 간 공극을 흡이 채우게 되어 실제로 투수계수 보유율은 감소하게 된다. 이러한 현상은 현장시험시공한 후 채취한 지오펜포지트 시료에서 확인할 수 있으며, 2.5% NaCl 표준용액의 경우 특별한 투수계수 보유율 저하현상은 나타나지 않았다.

표 3. 지오펜포지트의 투수계수 보유율

온도 (°C)		20	40	50	60	80	
투수계수 보유율 (%)	pH	4	86.2	86.8	86.1	85.9	86.3
		6	86.8	85.2	86.1	86.2	85.8
		7	86.6	86.6	85.5	86.7	86.9
		8	88.4	89.2	90.2	91.7	91.8
		10	90.6	91.5	92.5	93.3	94.3
	2.5% NaCl	83.8	83.7	85.7	84.3	85.1	

4.4.2 현장용액에서의 투수계수

부직포 지오텍스타일의 경우 표 5에서 알 수 있듯이 침출수에서의 투수계수 보유율은 PET 부직포 지오텍스타일의 투수계수 보유율 저하가 PP 부직포 지오텍스타일에 비해 작게 나타났으며, pH 8의 표준용액에서의 화학저항성과 비교해보면, 훨씬 더 작지만 실제로 재생 PET chip 사용량이 많을수록 거의 분해가 되어 투수계수 측정이 어렵게 된다. 그러나 실제 시공할 경우 토체의 구속압력에 의해 실내시험에서 나타난 것처럼 커져버린 섬유 간 공극을 흙이 채우게 되어 실제로 투수계수 보유율은 감소하게 된다. 한편, 지오폴리머의 투수계수 보유율 변화로 나타내었으며, 표준용액에서의 실험결과보다 약간 더 감소한 것으로 나타났다.

표 5. 침출수에서 토목섬유제품의 투수계수 보유율

온도 (°C)			20	40	50	60	80
투수계수 보유율 (%)	부직포	PP	83.5	84.2	84.8	84.7	85.3
		PET	88.2	88.5	90.3	-	-
	지오폴리머	84.5	85.4	85.5	85.7	85.6	

(- : 측정불가)

표 6에 나타난 바와 같이 부직포 지오텍스타일 및 지오폴리머의 경우 해수에서의 투수계수 보유율은 2.5% NaCl 표준용액의 경우와 비교해 볼 때 특별한 투수계수 보유율 저하현상은 나타나지 않았다.

표 6. 해수에서 토목섬유제품의 투수계수 보유율

온도 (°C)			20	40	50	60	80
투수계수 보유율 (%)	부직포	PP	86.8	87.1	86.6	87.3	87.3
		PET	84.9	84.1	84.2	83.9	84.2
	지오폴리머	82.8	83.4	82.7	82.7	83.1	

4.5 현장시험시공(Field Test)에 의한 화학저항성

4.5.1 현장시험시공에 의한 화학저항성

현장에서 시험시공된 토목섬유제품의 경우 실내시험조건과 달리 토체속에서 구속압력을 받기 때문에 토체 내의 화학성분에 의한 영향으로 강도저하가 발생하는 경우는 흔하지 않다. 실제로 지오텍스타일의 경우 시험시공 후 시료 채취과정에서 시료에 무리한 하중을 가하거나 손상을 입히지 않는다면 강도저하는 대부분 발생하지 않는다. 표 7과 8에서 각각 에 시험시공 후 30일 간격으로 채취한 지오텍스타일과 지오그리드의 토체 내의 화학성분에 의한 강도보유율 변화를 나타내었으며, 토체 내의 화학성분에 의한 강도저하는 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 표 9에 시험시공 후 30일 간격으로 채취한 지오폴리머 부직포 필터의 토체 내의 화학성분에 의한 강도보유율 변화를 나타내었다. 지오텍스타일 및 지오그리드의 경우와 마찬가지로 토체 내의 화학성분에 의한 강도저하는 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

표 7. 토체 내의 화학성분에 의한 지오텍스타일 강도보유율

시험시공기간 (일)			30	60	90	120	150	180	210	240
강도보유율 (%)	부직포	PP	98.3	98.2	97.8	98.2	98.3	98.1	97.8	97.8
		PET	99.4	99.2	99.2	98.7	98.5	98.3	98.5	98.3
	직포	PP	98.2	98.3	98.3	98.5	98.2	98.2	98.2	98.1
		PET	98.5	98.4	98.7	98.2	98.5	98.3	98.2	98.3

표 8. 토체 내의 화학성분에 의한 지오그리드 강도보유율

시험시공기간 (일)	30	60	90	120	150	180	210	240
강도보유율 (%)	99.5	98.8	99.2	99.5	99.6	99.5	99.4	99.3

표 9. 토체 내의 화학성분에 의한 지오컴포지트 부직포 필터 강도보유율

시험시공기간 (일)	30	60	90	120	150	180	210	240
강도보유율 (%)	98.4	98.6	98.4	98.5	98.3	98.5	98.4	98.2

4.5.2 현장시험시공에 의한 투수계수

시험시공한 부직포 지오텍스타일의 경우 침출수에서의 투수계수 보유율을 표 10에, 해수에서의 투수계수 보유율을 표 11에 각각 나타내었으며 모두 시험시공 240일 후의 값을 나타낸다. 여기서 PET 부직포 지오텍스타일은 현장채취 침출수에서 실내시험한 값보다는 투수계수 보유율이 작게 감소하였다. 이는 실제 매립지에서 침출수가 처음부터 많이 발생하는 것이 아니고, 음식물 쓰레기 등의 발효가 진행되면서 서서히 침출수가 발생하고, 채움재 등의 구속압력에 의해 매립지 토체 내에 부직포 지오텍스타일 및 지오컴포지트가 포설되므로 실내시험조건보다 훨씬 약한 조건에서 침출수와 접촉되기 때문이라고 생각된다. 표 11의 해수에 의한 경우도 폐기물 매립지와 유사한 상황으로 부직포 지오텍스타일 및 지오컴포지트의 경우 해수에서의 투수계수 보유율은 2.5% NaCl 표준용액의 경우와 비교해 볼 때 특별한 투수계수 보유율 저하현상은 나타나지 않았다.

표 10. 매립지에 시험시공한 부직포 지오텍스타일의 투수계수 보유율

매립지 내부온도 (°C)			20	40	50	60	80
투수계수 보유율 (%)	부직포 지오텍스타일	PP	84.8	84.2	84.3	83.2	83.6
		PET	84.6	84.3	84.7	85.6	86.4
	지오컴포지트		87.6	88.2	87.9	88.3	88.4

표 11. 연약지반에 시험시공한 부직포 지오텍스타일의 투수계수 보유율

지반 내 평균온도 (°C)			20
투수계수 보유율 (%)	부직포 지오텍스타일	PP	78.5
		PET	74.3
	지오컴포지트		83.7

4.6 토목섬유제품의 감소계수

4.6.1 화학저항성에 의한 감소계수

표 12. 시험방법에 의한 토목섬유제품의 화학저항성 감소계수 범위

시험방법			실내시험		현장시험시공
			표준용액	현장채취용액	
감소 계수	지오텍스타일	부직포	1.3~2.4	1.5~2.3	1.2~1.5
		직포	1.5~2.8	2.3~3.2	1.2~2.0
	지오그리드		1.2~1.5	1.2~1.4	1.1~1.2
	지오컴포지트		1.2~1.8	1.2~2.0	1.1~1.5

4.6.2 투수성에 의한 감소계수

표 13. 시험방법에 의한 토목섬유제품의 투수성 감소계수 범위

시험방법		실내시험		현장시험시공
		표준용액	현장채취용액	
감소 계수	부직포 지오텍스타일	1.2~2.2	1.5~2.8	1.2~1.4
	지오클포지트	1.2~1.6	1.3~2.2	1.1~1.3

5. 결론

실내시험과 현장시험시공을 통하여 토목섬유제품의 화학저항성을 객관적, 정량적으로 평가할 수 있는 시험방법을 개발하기 위하여 (1) 시험용 표준용액 및 현장채취 용액 설정, (2) 토목섬유제품에 영향을 미치는 화학적 요인 평가, (3) 인장강도 및 투수계수 변화 측정, (4) 토목섬유제품의 화학저항성에 영향을 미치는 평가(시험)항목 설정 - 보호용 지오텍스타일 : 인장강신도 보유율, - 보강용 텍스타일 지오텍스타일 : 인장강신도 보유율, - 여과용 및 배수용 지오텍스타일 : 투수계수 보유율 등이 평가되어야만 하고, 현장 사이트의 시험시공에 의한 인장강도 및 투수계수 변화를 측정한 다음 실내 및 현장시험 결과 비교, 분석 및 정량화를 통한 시험방법 및 항목설정이 이루어져야만 한다. 이로부터 지반구조물의 장기 성능평가에 화학저항성을 고려한 실질적인 토목섬유제품의 성능을 반영하여 구조물의 안정성을 향상시켜야만 한다. 그리고 토목섬유제품의 화학저항성에 대한 성능저하를 정확하게 예측하여 불확실한 안전율을 고려하여 경제적으로 경비절감의 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. T. L. Baker, *Proceedings of '97 Geosynthetics Conference*, 3, 829(1997).
2. G. R. Koerner, G. Y. Hsuan and R. M. Koerner, *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124, 1(1998)
3. O. Artières, S. Gaunet, and C. Bloquet, *Geosynthetics International*, 4, 393(1997).
4. A. Salman et al., *Proceedings of '97 Geosynthetics Conference*, 1, 217(1997).
5. R. M. Koerner, *Designing with Geosynthetics*, 5th Ed., Prentice Hall, New Jersey, 2005.
6. ASTM D-35 Committee, *ASTM Standards on Geosynthetics*, 4th Ed., ASTM, West Conshohocken, PA, USA, 2003.
7. GRI, *GRI Standard Test Methods on Geosynthetics*, Drexel University, Philadelphia, PA, 2004.