

# 광폭인장시험을 통한 지오그리드의 시간의존적 변형 거동 고찰

## Time-dependent Deformation Characteristics of Geogrid Using Wide Width Tensile Test

유 충 식<sup>1</sup> Yoo, Chung-Sik  
김 선 빈<sup>2</sup> Kim, Sun-Bin  
전 한 용<sup>3</sup> Jeon, Han-Yong

### Abstract

This paper presents the results of wide width tensile tests under sustained and cyclic loads with various loading rate on geogrids. A series of modified wide width tensile tests were conducted to investigate the effect of tensile strain rate on the deformation behavior of the geogrids. In addition, residual deformation characteristics of a geogrid under sustained or cyclic tests were also investigated. The results indicated that the residual deformation of a geogrid is strongly related to the viscous behavior of the geogrid, and the residual deformation can be well described by a hyperbolic curve. Also revealed was that residual deformation of a geogrid when subject to sustained or cyclic load should be described with the framework of viscous behavior.

### 요 지

본 논문에서는 보강토 구조물에 보강재로 적용되는 지오그리드의 시간 의존적 변형거동 특성에 대한 광폭 인장시험 결과를 제시하였다. 먼저, 다양한 보강재의 종류에 대해 인장속도에 따른 파단강도 및 강성의 변화에 대해 알아보았다. 또한 보강토 구조물이 사용연한 동안 받게될 다양한 하중 조건, 즉 지속하중 및 반복하중을 작용시킬 수 있는 장비를 특수 제작하여 지오그리드의 시간의존적 변형거동을 분석하였다. 그 결과 지속하중 및 반복하중 작용시 잔류변형은 보강재의 점성(viscous) 특성의 형태로서 쌍곡선 특성 곡선으로 잘 묘사되는 것으로 분석되었으며 이러한 잔류변형은 시간의존적 점성거동의 측면에서 다루어야 하는 것으로 나타났다.

**Keywords :** Cyclic loading, Geosynthetics, Geosynthetic-reinforced retaining wall, Sustained loading, Viscous deformation, Wide width tensile test

### 1. 서 론

토목섬유를 이용한 보강토 공법은 기존의 콘크리트 구조물에 비해 경제성, 안정성, 수려한 미관 등의 이유로 기존 공법의 대체공법으로서 자리 매김을 하고 있다. 특히 아파트 단지나 택지개발 등의 공사에 있어 성토 후

옹벽을 시공할 필요성이 있는 부지에 적극적으로 적용되고 있는데 보강토 공법은 현재 적용되고 있는 설계법이 보수적임에도 불구하고 시공중 및 시공후 각종 사고사례가 보고되고 있어 이론과 실무사이에 존재하는 틈새를 좁히기 위해서는 많은 연구가 필요하다고 할 수 있다. 보강토 공법은 앞서 언급한 장점 이외에도 지진시 안정

1 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수 (Member, Prof. Dept. of Civil & Environ. Engrg., Sungkyunkwan Univ.)

2 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정 (Member, Graduate Student. Dept. of Civil & Environ. Engrg., Sungkyunkwan Univ., ksb9677@hanmail.net, 교신저자)

3 정회원, 인하대학교 나노시스템공학과 교수 (Member, Prof. Dept. of Nano-Systems Engrg., Inha Univ.)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 7월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

성이 탁월한 것으로 보고되고 있어 그림 1과 같이 도로 혹은 철도분야의 성토부 혹은 교대 부분에서의 적용이 매우 긍정적으로 평가되고 있다(Mannsbart와 Kropik 1996; Won 등 1996; Wu 등 2001; Abu-Hejleh 등 2000). 최근에 이러한 분야에의 영구 구조물로서 보강토 공법이 적용되기 시작하고 있으나 이러한 도로시설의 옹벽 및 교대 등에 적용하는데 있어 기존의 콘크리트 구조물보다는 지속하중 혹은 반복하중 작용시 잔류변위가 발생할 수 있을 수 있다는 우려가 있어 보다 적극적인 적용에 장애가 되고 있다.

현재 적용되고 있는 일반적으로 통용되고 있는 FHWA 설계기준(Elias와 Christopher 1997)과 NCMA 설계기준(Collins 1997) 등에서는 지속하중이나 반복하중 작용에 따른 장기적인 안정성을 토목섬유의 크리프 특성을 감안하여 인장강도를 감소시키는 간접적인 방법으로 고려하고 있다. 즉, 현 설계법에서는 토목합성보강재를 보강토 구조물에 적용할 경우 장기적인 성능확보 차원에서 장기인장강도( $T_{design}$ )를 결정하여야 한다. 장기인장강도는 보강재의 공칭인장강도를 시공중 손상(installation damage, ID), 크리프 변형(creep strain, CR), 화학적 분해(chemical degrading, CD), 생물학적 분해(biological degrading, BD) 등을 감안하여 각각에 대한 감소계수(reduction factor, RF)를 적용하여 식 (1)과 같이 평가한

다. 그림 2는 이러한 장기인장강도 설정과정을 도식적으로 표현하고 있다.

$$T_{design} = T_{ultimate} \left[ \frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD}} \right] \quad (1)$$

여기서의 감소계수  $RF_{CR}$ 는 장기크리프 시험이나 SIM법을 토대로 구축된 크리프 파단곡선(creep rupture curve)으로부터 설정된다(Elias와 Chrispher 1997). 이러한 접근방법은 보강재에 크리프 변형으로 인해 시간이 경과함에 따라 보강재의 파단강도가 감소한다는 개념에 입각한 것으로서 Tatsuoka 등(2004)은 이러한 접근방법의 문제점을 언급한 바 있다. 즉, Tatusoka 등(2004)은 보강재에 매우 큰 유발인장력이 발생하여 지속하중의 형태로 장기간 작용할 경우에는 보강재 파단의 위험은 있으나 이러한 상황은 현장 구조물에서는 거의 발생하지 않기 때문에 위 접근방법은 매우 보수적인 결과를 초래한다고 주장한 바 있다. 이러한 개념은 “보강재의 파단강도는 하중경과시간과는 관계없이 파단시 변형율속도에 직접적인 영향을 받는다”라는데 그 기반을 둔 것으로서 이에 대한 지속적인 연구의 필요성을 제기한 바 있다.

한편, 보강토 옹벽은 그림 3에서 보이는 바와 같이 시공중 블록축조, 뒤채움, 보강재 포설이라는 일련의 과정을 통해 하중이 일정하게 증가하는 단순재하하중(mono-

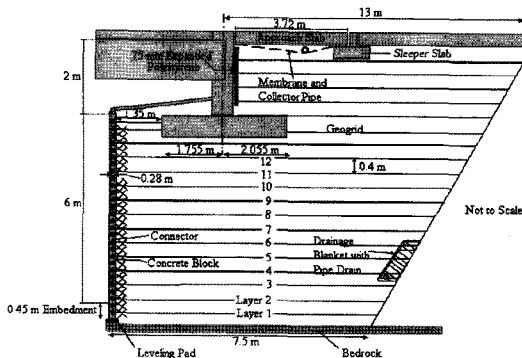


그림 1. 교대에 적용되는 보강토 구조물 예시

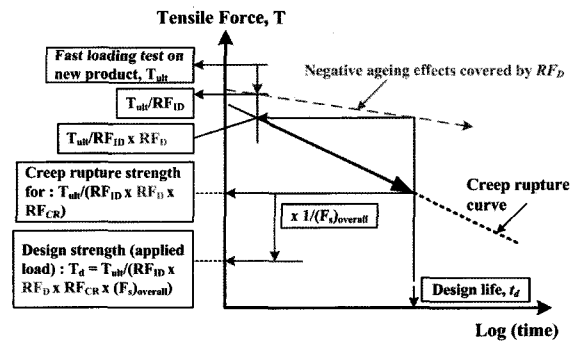


그림 2. 감소계수를 이용한 장기인장강도 설정 (After Tatsuoka 등 2004)

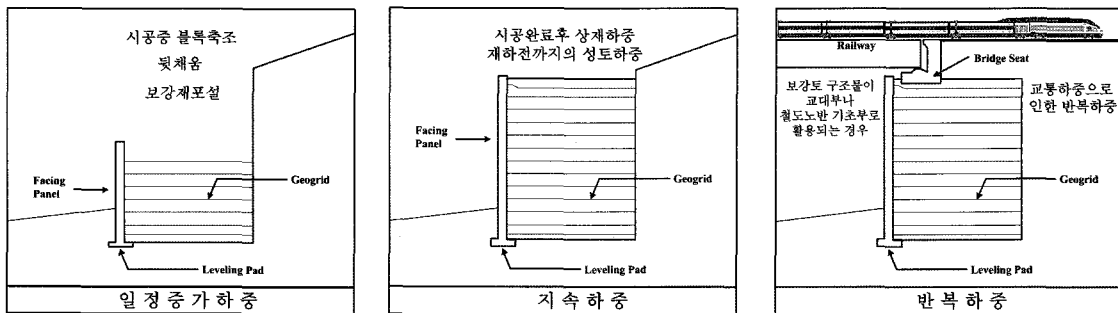
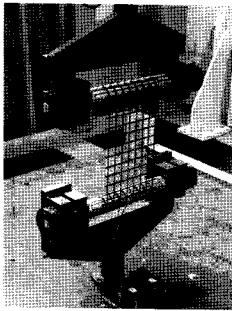


그림 3. 보강토 구조물 시공시 시간이력에 따른 보강재에 재하되는 다양한 하중

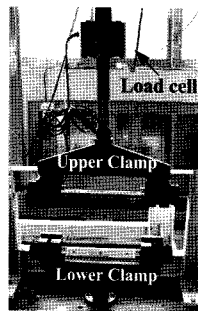
tonic loading, ML)을 접하게 되며 시공완료후에는 일정한 하중이 지속적으로 작용하는 지속하중(sustain loading, SL) 혹은 교대부나 철도노반 기초부로 활용되는 경우에는 교통하중으로 인한 반복하중(cyclic loading, CL)이 작용하는 등 구조물의 설계년한 동안 다양한 하중에 노출된다. 따라서 보강토 구조물의 장기 거동을 이해하기 위해서는 지오그리드를 포함한 토목섬유보강재의 다양한 하중 조건에서의 인장변형 특성에 대한 연구가 필요하다. 이와 관련된 연구로는 Bathurst와 Cai(1994), Tatsuoka 교수와 그의 그룹에서 수행한 연구(Tatsuoka 등 2004, Kongkitkul 등 2002, Kongkitkul 2004)가 있는데 대부분의 연구가 일본에서 제작되는 토목섬유보강재를 중심으로 수행되었으며 국내에서는 이에 관한 연구가 전무한 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 국내에서 생산되는 지오그리드를 중심으로 다양한 하중 조건에서의 지오그리드의 시간 의존적 변형 특성을 고찰하였다.

## 2. 광폭인장시험

### 2.1 시험기 구성 및 제원



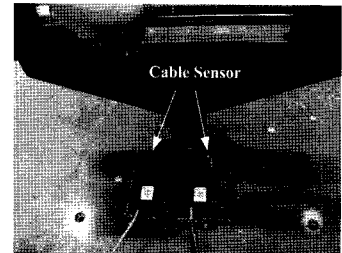
(a) 광폭인장시험기



(b) 각부 명칭



(c) 데이터 수집시스템



(d) 줄변위계

그림 4. 시험장치 개요

인장시험장치는 폭 20cm, 길이 35cm 크기의 시편에 대해 시험이 가능하도록 되어 있으며 ML, SL, 그리고 CL의 하중재하 조건 구현이 가능하도록 하였다. 그림 4에서와 같이 시험기의 구성은 상·하단 연결장치, 로드셀, 변위측정장치, 데이터 수집장치로 구성되어 있고 각 장치별 주요특징은 표 1에 정리하였다. 표 1과 같이 인장력을 작용하는 유압장치는 지속 및 반복하중을 작용할 수 있는 정적·동적 재하가 가능하고 최대용량이 200kN이상, 최대 스트로크(stroke)가 200mm이상의 용량을 가지는 장비이며, 실험 중 지오그리드의 변형을 계측은 1000mm 용량의 줄변위계(cable sensor)로, 인장력은 200kN 용량의 로드셀로 측정하였다.

### 2.2 시험 조건 및 시편

#### 2.2.1 인장변형을 속도 변화 조건

본 시험의 목적은 인장시 인장변형을 속도에 따른 지오그리드 종류별 인장변형 특성을 고찰하기 위함이며 이때 사용된 지오그리드와 변형률 속도는 표 2와 같다.

표 1. 시험기 사양

구성장치		사양 및 특징
유압 재하장치		<ul style="list-style-type: none"> <li>정적 및 동적재하</li> <li>최대재하능력 : 200kN 이상</li> <li>스트로크(stroke) : 200mm</li> </ul>
계측센서부	인장하중 로드셀	<ul style="list-style-type: none"> <li>용량 : 200kN</li> </ul>
	변형을 측정장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>용량 : 1000mm</li> </ul>
데이터수집 시스템	디지털 인디케이터 및 데이터 전송장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>데이터의 디스플레이 및 컴퓨터로 데이터의 전송</li> </ul>

표 2. 인장변형을 속도 변화와 시편 및 시험조건

시편번호	재질	파단강도(kN/m)	변형률속도 (%/min)
GPP-4T	Polypropylene	40	0.2, 0.5, 1, 5, 10, 20
GPET-4T	Polypropylene	40	
GHDPE-4T	Polyester	40	
GPET-4T-1	Polyester	40	

### 2.2.2 지속/반복하중 조건

본 시험의 목적은 지속하중 혹은 반복하중 작용상태 하에서의 지오그리드의 인장변형 특성을 고찰하기 위함이며 이때 사용된 지오그리드는 표 3과 같다.

한편, 지속/반복하중 인장시험에 대한 시험조건이 표 4인데 표 4에서 정리한 바와 같이 지속/반복하중 수준( $q_{SL}$ ,  $q_{CL}$ )과 반복하중 진폭(double amplitude,  $\Delta q$ ) 및 반복하중 횟수( $N_{CY}$ ) 등을 변화시키며 다양한 하중 이력에

대한 시험을 수행하였다(그림 5 참조). 먼저 지속하중(SL) 조건에서는 극한인장하중의 25, 50, 75%의 하중에서 1시간 동안 지속하여 지속하중 수준에 따른 잔류변형 특성을 분석하였다. 반복하중(CL) 시험조건에서는 하중작용수준과 주파수를 변화시켜 시험을 수행하였다. 주파수 설정에 있어서는 1회 열차 운행시 하중을 주기로 열차 운행횟수를 고려하여 0.01Hz와 0.1Hz의 주파수를 적용하였다. 반복하중의 세부조건은 하중제어속도가

표 3. 지속/반복하중 시험 조건 시편

시편	재질	파단강도(kN/m)	파단시 변형률(%)	strand 수 /100cm	격자크기 (mm)
GPET-4T	Polyester	40	<12	36	25×25

표 4. 인장시험에 사용한 하중작용 조건

시험조건	변형률 속도	지속시간	진폭 및 주파수	비고
ML(변위조절)	0.2, 1, 10, 20%/min	-	-	그림 5(a)
ML(하중조절)	60kN/m/min	-	-	
SL	1%/min	$q_{max}$ 의 25,50,75% 1hour	-	그림 5(b)
CL	60kN/m/min	30min	$q=10, 30kN/m$ Double Amplitude = 10kN/m $f=0.01Hz, f=0.1Hz$	그림 5(c)
SL-1	60kN/m/min	$q=10, 30kN/m, 30min$	-	그림 5(d)
SL-2	60kN/m/min	$q=20, 40kN/m, 30min$	-	

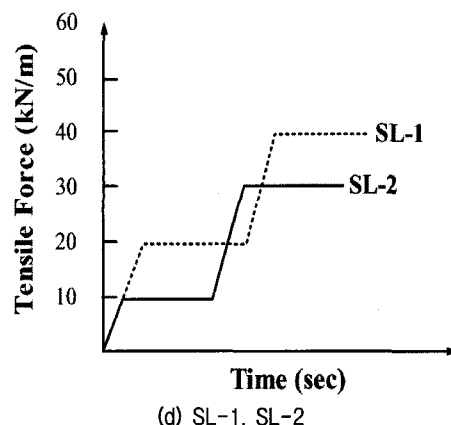
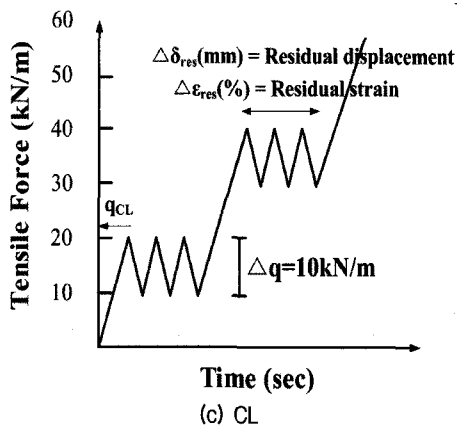
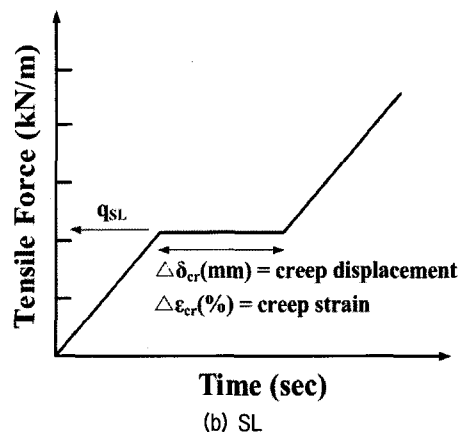
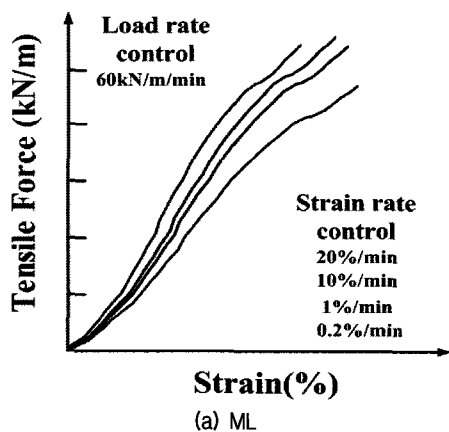


그림 5. 각 조건별 하중이력곡선

60kN/m/min로 단순 재하후 10, 30kN/m에서 진폭을 10kN/m, 주파수는  $f=0.01\text{Hz}$ 과  $0.1\text{Hz}$ 로 30분간 반복하중을 재하 하였다. 각각의 시험은 3회 이상 반복하여 반복성을 확인하였다.

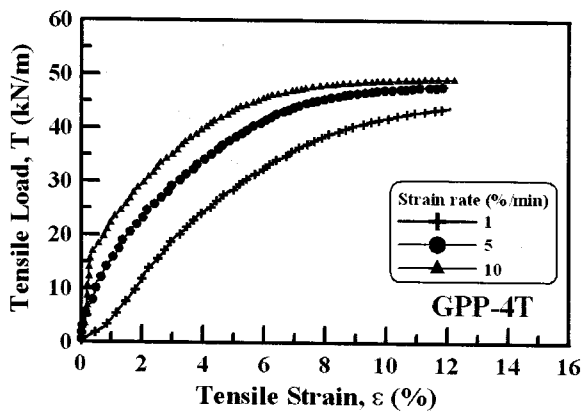
### 3. 결과 분석 및 고찰

#### 3.1 인장변형을 속도에 따른 인장특성

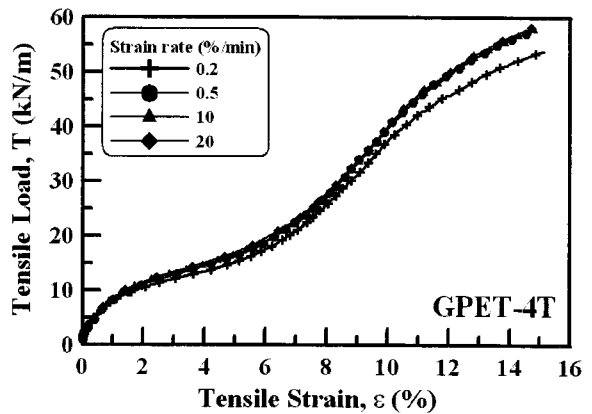
그림 6은 각 시편별 인장변형 속도에 따른 광폭인장시험 결과를 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 전반적으로 지오그리드 종류별로 정도의 차이는 있으나 변형 속도가 증가할수록 임의의 하중에서의 변형율이 감소하여 전반적으로 하중 변형률 응답특성이 강화되는 경향을 잘 관찰할 수 있다. 한편, 파단강도(rupture strength) 역시 변형 속도가 증가할수록 증가하는 경향을 보이거나 파단시 변형율은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 폴리머 재료의 전형적인 점성특성에 기인하는 것으로서 변형률속도( $\dot{\epsilon}$ )가 지오그리드의 하중

응답특성을 결정하는 매우 중요한 영향인자임을 알 수 있다. 한편, 동일한 파단강도를 갖더라도 PP 지오그리드(GPP-4T)와 HDPE 지오그리드(GHDPE-4T)가 PET 재질의 지오그리드(GPET-4T)에 비해 변형률 속도에 따른 하중-변형률 응답특성에서 큰 차이를 보여 점성특성이 매우 큰 것으로 나타났다.

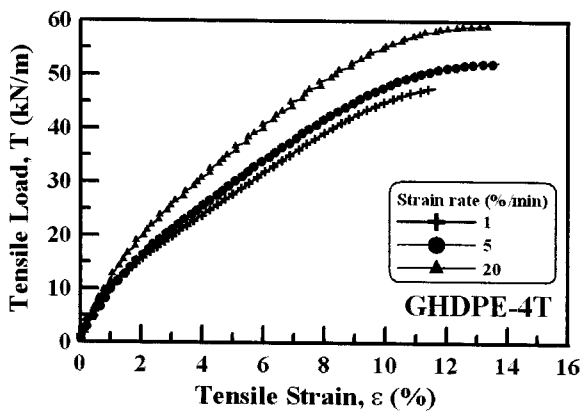
그림 7에서는 그림 6으로부터 얻어진 파단강도( $T_{ult}$ )와 파단시 변형률속도( $\dot{\epsilon}_{ult}$ )의 관계를 보여주고 있는데 다소 분산의 경향은 있으나 보이는 바와 같이 임의의 보강재에 있어  $T_{ult}$ 와  $\dot{\epsilon}_{ult}$ 의 대수로 표현할 때 거의 선형적인 관계를 나타냄을 알 수 있으며, 이는 Tatusoka 등 (2004)의 연구결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 광폭인장시험을 실시하여 인장강도 평가시 적용대상 구조물의 시공속도 등을 고려하여 시험시 적용할 변형률속도를 결정하여야 할 필요성을 나타낸다고 할 수 있으며, 현재 일괄적으로 10%/min의 비교적 빠른 변형률속도를 적용하는 현 접근방법은 보강재의 파단강도를 과대평가할 수 있으므로 경우에 따라서는 부적절한 결과를 도출할 수 있다.



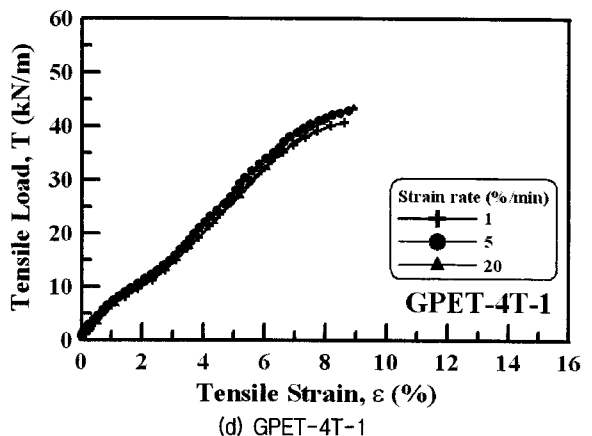
(a) GPP-4T



(b) GPET-4T



(c) GHDPE-4T



(d) GPET-4T-1

그림 6. 광폭인장시험 결과

그림 6에서 관찰할 수 있는 바와 같이 변형을 속도를 변화시킬 경우 임의 변형율에서 인장하중의 변화( $\Delta T$ )가 발생한다. Tatsuoka 등(2004)은 변형을 속도 변화로 인한 인장하중 증분  $\Delta T$ 를 변형을 속도 변화 이전의 인장하중  $T$ 의 비( $\Delta T/T$ )로 표현하고 변형을 속도 비( $\dot{\epsilon}_{after}/\dot{\epsilon}_{before}$ )와의 상관성을 검토한 결과(그림 8)  $\Delta T/T$ 는  $\dot{\epsilon}_{after}/\dot{\epsilon}_{before}$ 의 대수와 거의 선형적인 관계를 보이며 관계곡선의 기울기는 보강재 점성특성을 나타내는 지수로 활용할 수 있는 것으로 보고한 바 있다. 본 연구에서도 광폭인장시험 결과를 토대로 대상 지오그리드의  $\Delta T/T$ 와  $\log(\dot{\epsilon}_{after}/\dot{\epsilon}_{before})$ 의 관계를 검토하였으며 그 결과가 그림 8에 제시되어 있다. 보이는 바와 같이  $\Delta T/T - \log(\dot{\epsilon}_{after}/\dot{\epsilon}_{before})$  곡선은 PET 지오그리드를 제외하곤 거의 선형적인 관계를 보여주고 있어 변형을 속도의 변화에 따른 하중증가량  $\Delta T$ 는 변형을 속도가 달라지는 시점의 인장하중  $T$ 에 항상 비례함을 알 수 있다. 한편,  $\Delta T/T - \log(\dot{\epsilon}_{after}/\dot{\epsilon}_{before})$  곡선의 기울기는 지오그리드의 점성 특성을 나타내는 지수로서 기울기가 클수록 변형을 속도  $\dot{\epsilon}$  변화에 따른 인장하중의 변화폭이 크며 점성특성이 크다고 할 수 있는데 본 연구에서 실시한 광폭인장시험 결과  $\Delta T/T - \log(\dot{\epsilon}_{after}/\dot{\epsilon}_{before})$  곡선의 기울기는 PP, HDPE 및 PET 순으로 나타나 기존의 연구결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

이 그림들에 제시된 결과는 1) 보강재의 인장하중-변형을 관계, 그리고 파단강도는 변형을 속도에 지대한 영향을 미치며 2) 파단강도는 파단시 변형을 속도와 밀접한 관계가 있으나 하중시점에서 파단시까지의 경과시간과는 무관한 것으로 나타났다. 앞서의 2)의 관점은 보강토 구조물의 장기거동의 관점에서 매우 중요한 사항으로서 보강재의 크리프 성능 평가시 적용되는 Isochronous 이론이 다소 부적절 할 수 있음을 나타낸다고 하겠다 (Kongkitkul, 2004).

### 3.2 지속하중 작용시 인장변형 특성

그림 10과 그림 11은 앞서 설명한 지속하중을 작용한 두 가지 시험조건에 대한 시험결과를 보여주고 있다. 극한인장강도의 25, 50, 75%에 해당하는 인장하중 수준에서 1시간 동안 지속하중을 작용한 조건(SL)을 제시하고 있는 그림 10에서는 변형을 속도 1%/min로 지속하중 작용시 지속하중 수준에 따른 잔류변형 특성을 보여주고 있다. 이 그림에서는 임의의 지속하중 작용시 인장변형

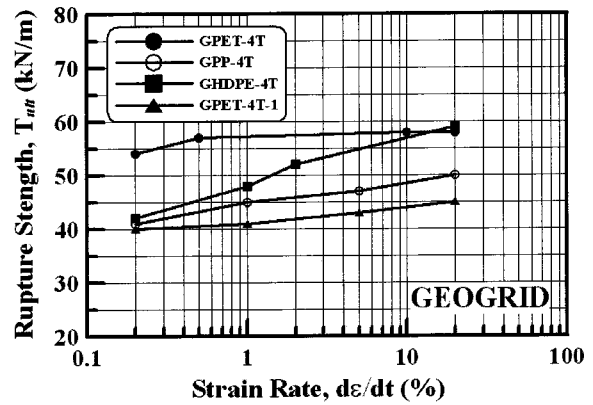


그림 7.  $T_{ult} - \dot{\epsilon}_{ult}$  관계

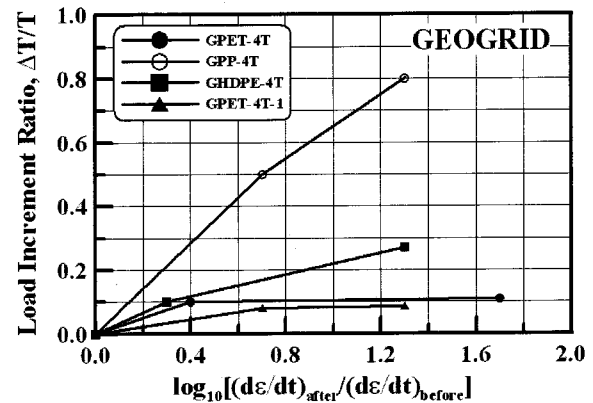


그림 8.  $\Delta T/T - \log(\dot{\epsilon}_{after}/\dot{\epsilon}_{before})$  관계

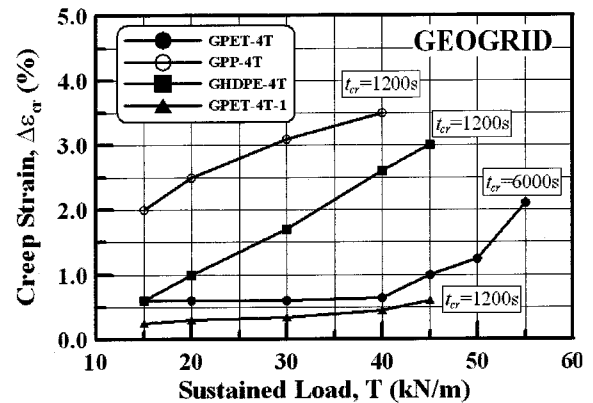
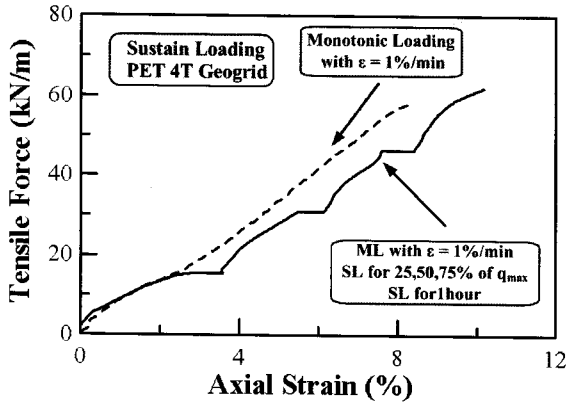
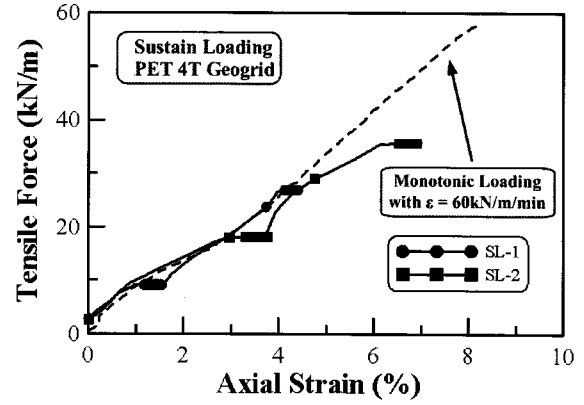


그림 9.  $T_{SL} - \Delta\epsilon_{cr}$  관계

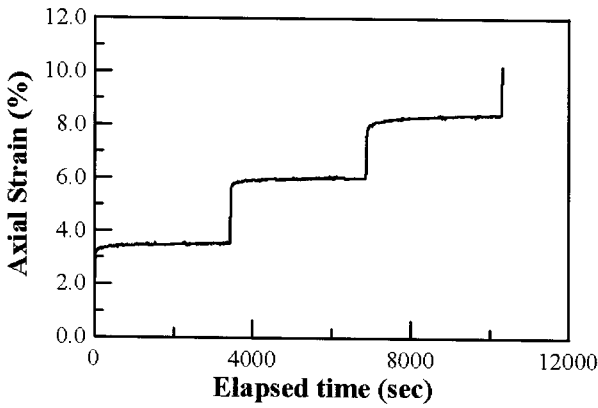
율 증가 경향은 초기에 급격히 증가하다 수렴하는 쌍곡선 형태를 따르는 것으로 나타났으며 다소의 차이는 있으나 같은 지속시간 동안 정량적인 측면에서는  $q_{SL} = 15kPa$ 에서는 0.75%,  $q_{SL} = 30kPa$ 에서는 0.7%,  $q_{SL} = 45kPa$ 에서는 0.8%로 분석되고 있어 지속하중 수준( $q_{SL}$ )에 따라 크리프 혹은 잔류변형이 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 한편, 지속하중 작용 후 다시 ML 하중 조건에서는 하중 변형을 곡선의 기울기 즉, 강성이 다소 증가하는 경향을 보이고 있다.



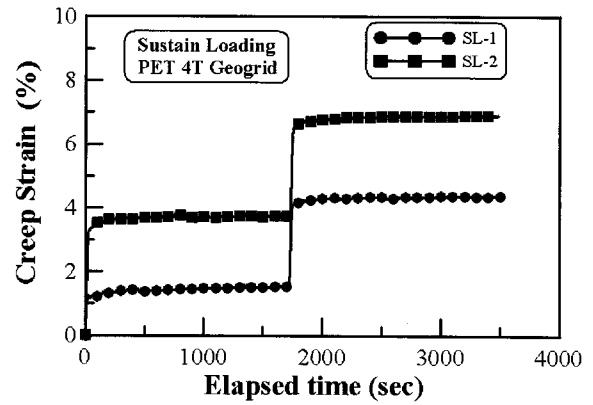
(a)  $q_{SL} - \Delta\epsilon_v$



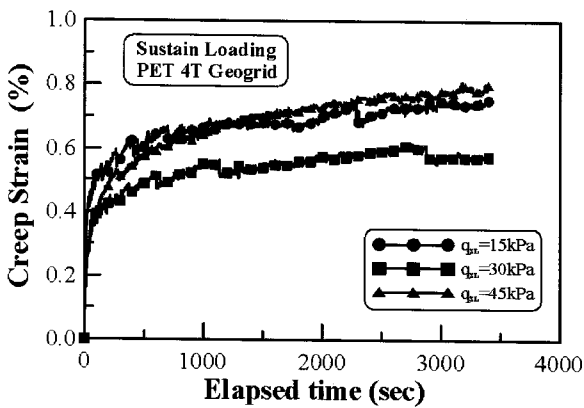
(a)  $q_{SL} - \Delta\epsilon_v$



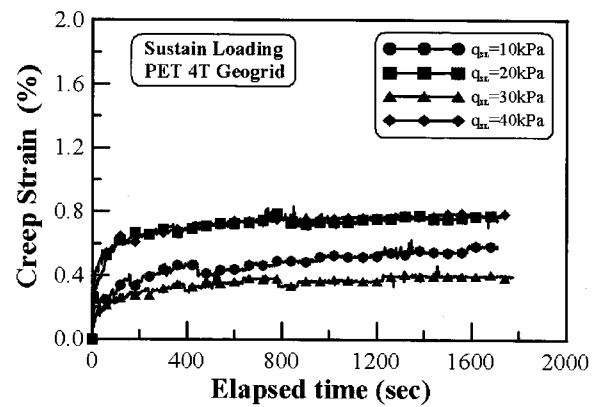
(b)  $q_{SL} - t$



(b)  $q_{SL} - t$



(c)  $\Delta\epsilon_{cr} - t$ (지속하중 구간별)



(c)  $\Delta\epsilon_{cr} - t$

그림 10. 지속하중 시험결과(SL)

그림 11. 지속하중 시험결과(SL-1, SL-2)

그림 11은 60kN/min의 하중속도로 ML 시험조건에서 각기 다른 지속하중 수준에서 두 단계로 재하하는 시험 조건(SL-1, SL-2)에 대한 결과를 제시하고 있다. 두 시험조건에 대한 결과를 살펴보면 전반적으로 지속하중 수준에 관계없이 첫 번째 지속하중 단계에서의 크리프 변형이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 즉, SL-1 조건의 경우  $q_{SL} = 10kPa$ 에서는 0.6%,  $q_{SL} = 20kPa$ 에서는 0.8%, 그리고 SL-2의 조건에서는  $q_{SL} = 30kPa$ 에서는 0.4%,  $q_{SL} = 40kPa$ 에서는 0.8%의 크리프 변형이 발생하는 것으로 나타났다. 보다 많은 실험을 수행하여 결론을 도출

하여야 하나 하중속도조절 시험조건에 있어서도 지속하중 수준과 크리프 변형율의 크기와 상관계성이 다소 결여되는 것으로 나타났으며 따라서 현재까지의 실험 결과에 근거해서는 지오그리드 보강재의 경우 크리프 잔류변형율은 지속하중의 수준과는 큰 연관이 없는 것으로 파악되었다.

이러한 지속하중 시험 결과는 Kongkitkul 등(2004)의 연구결과와 유사하게 나타났으며, 평면하중변형시험을 통해 보강토의 시간의존적 변형특성을 연구한 유충식 등(2005), Hirakawa 등 (2004)의 보강토에 대한 연구경

향과도 유사한 것으로 나타났다.

### 3.3 반복하중 작용시 인장변형 특성

그림 12 및 13은 앞서 언급한 반복하중 시험조건에 대한 실험 결과를 정리하고 있다. 먼저 그림 12(a), 12(b)는 인장하중-변형을 곡선, 그리고 그림 12(c), 12(d)는 반복하중 단계에서의 잔류변형을 보여주고 있다. 그리

고 그림 13(a), 13(b)에는 각 반복하중 구간별 잔류변형을 확대하여 보여주고 있다.

보이는 바와 같이 임의 주파수에서 반복하중이 작용함에 따라 잔류변형이 누적되어 전체적으로 인장변형율이 증가하는 경향을 보여주고 있으며 정량적으로는 같은 반복하중 수준 및 진폭에서 주파수가 증가할수록 잔류변형이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 보강토 구조물에서 반복하중의 주파수 역시 잔류변형

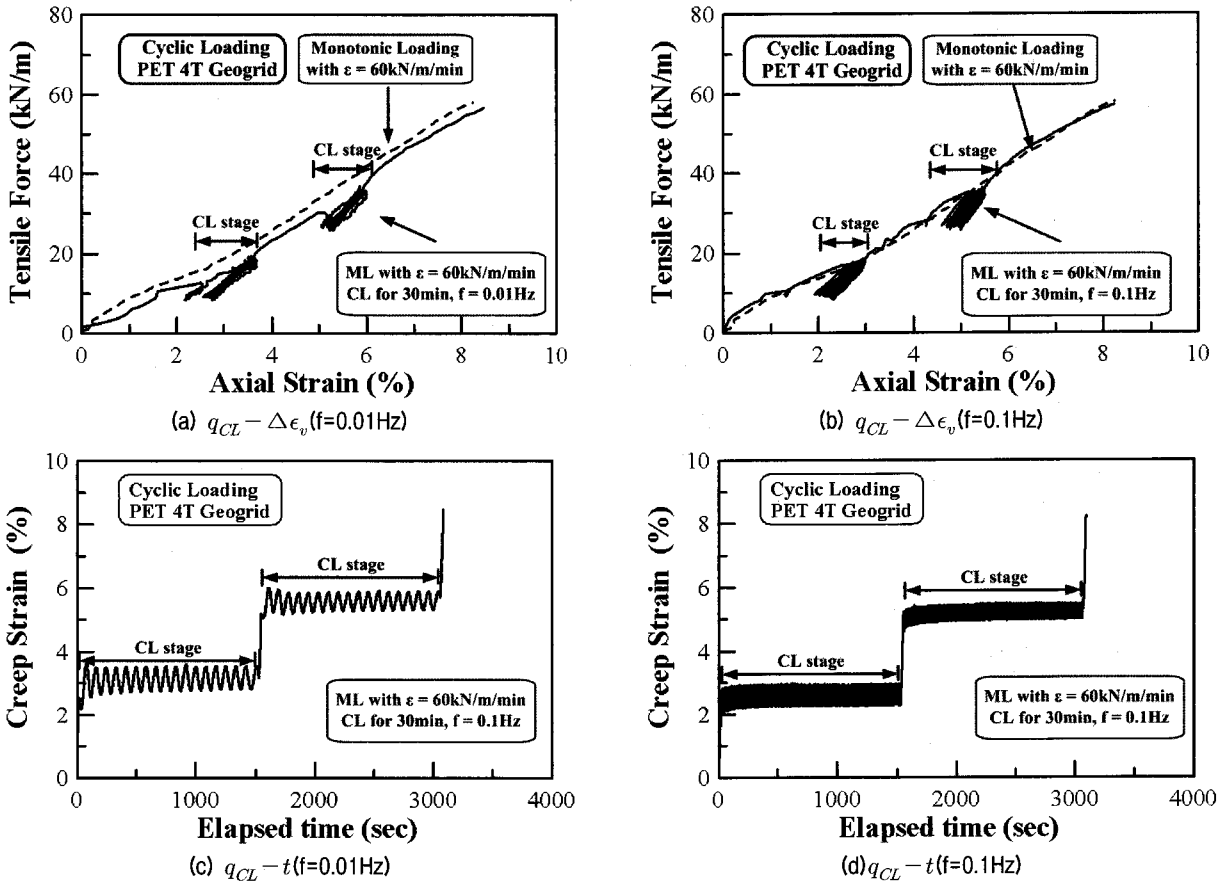


그림 12. 반복하중 시험결과 1 (GPET-4T-CL)

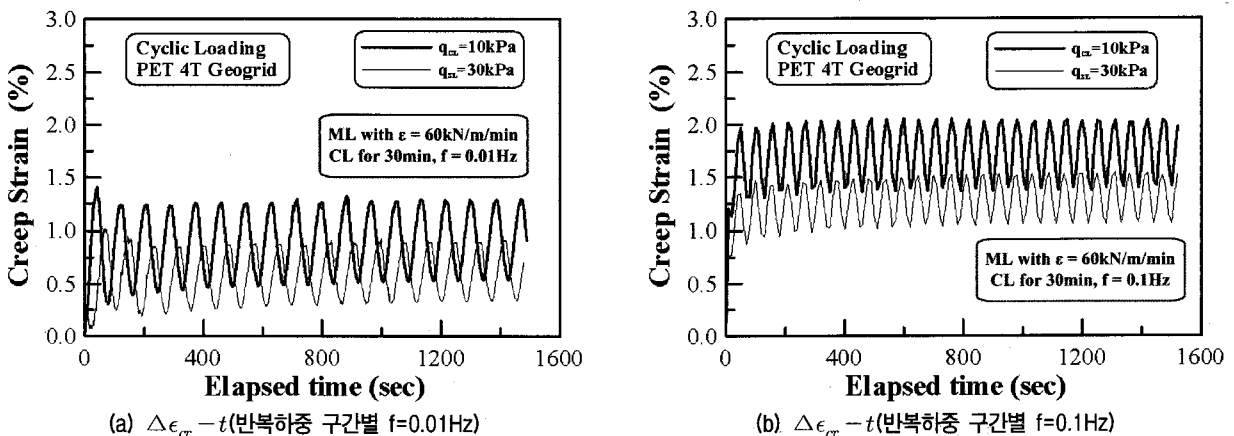
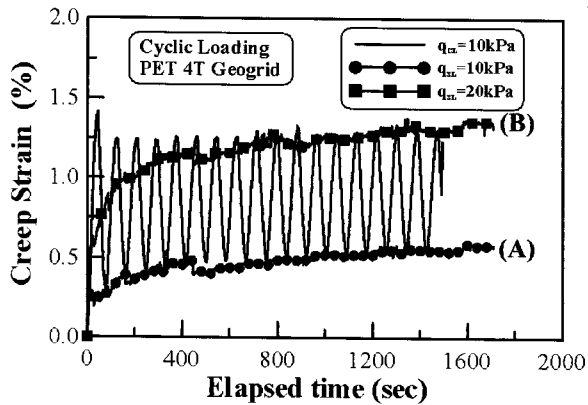
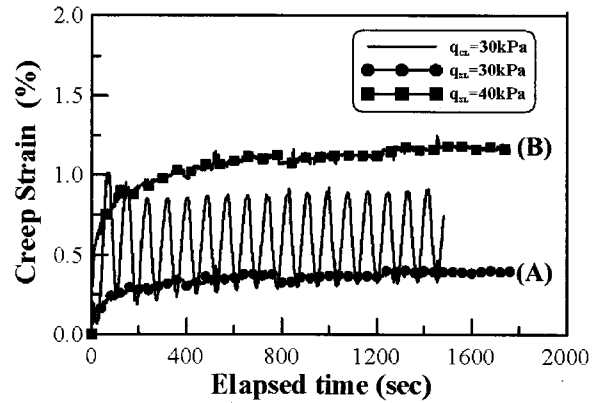


그림 13. 반복하중 시험결과2 (GPET-4T-CL)





(a)  $\Delta \epsilon_{cr} - t$ (SL-1,2 vs. CL f=0.1Hz)



(b)  $\Delta \epsilon_{cr} - t$ (SL-1,2 vs. CL f=0.01Hz)

그림 14. 반복하중 구간별 분석 (GPET-4T-CL)

에 많은 영향을 미치는 매우 중요한 영향인자임을 알 수 있다. 또한 반복하중 작용시 초기 사이클에서의 잔류 변형이 크게 누적되는 경향을 보이고 있어 철도하중이 작용하는 보강토 구조물의 경우 반복하중으로 인해 발생할 수 있는 잔류변형을 제어하기 위해서는 초기 사이클에서의 잔류변형을 저감시키는 방안을 강구하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

한편, 그림 14(a), 14(b)에서는 지속하중 조건(SL, SL-1, SL-2)의 잔류변형곡선과 반복하중 시험에서 얻어진 잔류변형 곡선을 함께 도시하고 있다. 여기서의 결과를 종합하면, 임의의 진폭을 가진 반복하중의 잔류변형은 동일한 반복하중의 상하한에 해당하는 지속하중이 작용할 경우의 잔류변형의 사이를 보이며 지속하중으로 인한 보강재 잔류변형 특성과 반복하중시 잔류변형 특성은 거의 같은 특성을 보이는 것으로 나타났으며, 지속하중으로 인한 보강재 잔류변형 특성과 반복하중시 잔류변형 특성은 거의 같은 특성을 보이는 것으로 나타났다. 이는 Kongkitkul 등(2004)이 보고한 결과와 잘 일치하는 결과로서 지속/반복하중 작용시 잔류 변형은 지오그리드의 시간의존적 변형(Viscous deformation) 특성의 형태이기 때문으로 분석된다. 따라서 지속하중 혹은 반복하중에 노출되는 보강토 구조물의 구조물 수준에서의 잔류변형을 예측할 경우에는 시간의존적 점성변형의 관점에서 접근하여야 할 것으로 판단되며 이러한 결과는 보강토에 대한 평면 변형을 압축시험결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 지속 및 반복하중이 작용하는 보강토

구조물에 있어서 지속/반복하중 작용시 보강재에 발생할 수 있는 잔류변형 특성 고찰에 주안점을 두고 지오그리드에 대한 지속/반복하중 구현이 가능한 변형된 형태의 광폭인장시험을 수행하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 임의의 보강재에 있어 파단강도( $T_{ult}$ )와 파단시 변형률 속도( $\dot{\epsilon}_{ult}$ )의 대수값과는 거의 선형적인 관계를 보이며 이러한 경향은 광폭인장시험을 실시하여 인장강도 평가시 적용대상 구조물의 시공속도 등을 고려하여 시험시 적용할 변형률속도를 결정하여야 할 필요성을 나타낸다고 할 수 있다.
- 2) 지속하중 재하조건의 경우 지속하중의 수준과 크리프 변형률의 크기와의 상관성이 다소 결여되는 것으로 나타났으며 따라서 현재까지의 실험결과에 근거해서는 지오그리드 보강재의 경우 크리프 잔류변형률은 지속하중의 수준과는 큰 연관이 없는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 기존의 보고된 연구결과와 잘 일치한다.
- 3) 반복하중을 작용한 보강재의 잔류변형특성을 비교시 전반적으로 반복하중이 작용함에 따라 잔류변형이 증가하는 경향을 나타냈으며 반복하중의 작용주파수가 큰 경우 잔류변형 역시 증가하는 것으로 나타나 그 영향이 크며, 반복하중 작용시 초기 사이클에서의 잔류변형이 크게 누적되는 경향을 보이고 있어 철도하중이 작용하는 보강토 구조물의 경우 반복하중으로 인해 발생할 수 있는 잔류변형을 제어하기 위해서는 초기 사이클에서의 잔류변형을 저감시키는 방안을 강구하는 것이 바람직하다.
- 4) 임의의 진폭을 가진 반복하중의 잔류변형은 동일한 반

복하중의 상하한에 해당하는 지속하중이 작용할 경우의 잔류변형의 사이클을 보이며 지속하중으로 인한 보강재 잔류변형 특성과 반복하중시 잔류변형 특성은 거의 같은 특성을 보이는 것으로 나타났다. 이는 지속/반복하중 작용시 잔류 변형은 지오텍스의 시간의존적 변형특성의 형태이기 때문으로 분석되었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2004-000-10953-0) 및 2005년 건설교통부가 출현한 고강도 지오텍스 보강 Stone Column 공법의 실용화 연구(과제번호 : C105A1000017-05A0300-01700) 지원으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 김용기, 장세기 (2003), “가선제의 피로수명 예측”, 한국철도학회 2003년 추계학술대회 논문집, pp.558-567.
2. 유충식, 김선빈, 이봉원 (2005), “평면변형압축시험을 이용한 보강토의 시간 의존적 변형 특성 연구”, 한국지반공학학회논문집, 제 21권, 10호, pp.1-13.
3. 이용재, 주영진, 양의규, 김명모 (2003), “열차하중에 대한 보강토 옹벽의 동적거동 분석”, 대한토목학회 2005년도 정기 학술대회 논문집, pp.3433-3436.
4. 황성근, 고태훈, 박성현, 최찬용 (2003), “모사반복 열차하중재하시 토목섬유 콘테이너의 동적성능” 한국철도학회 2003년 추계 학술대회 논문집, pp.92-97.
5. Abu-Hejleh, N., Wang, T., Zornberg, J.G. 2000. Performance of geosynthetics-reinforced walls supporting bridge and approaching roadway structures. ASCE Geotechnical Special Publication No. 103, Advances in Transportation and Geoenvironmental Systems

- using Geosynthetics: 218-243.
6. Bathurst, R. J, Cai, Z. 1994. “In-isolation cyclic load-extension behavior of two geogrids”, Geosynthetics International, Vol.1, No.1, pp.3-17.
7. Collin, J. (1997). Design Manual for Segmental Retaining Walls, 2nd Ed. NCMA, Virginia.
8. Elias, V. and Christopher, B.R. (1997). Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines. FHWA Demonstration Project 82, FHWA, Washington, DC, FHWA-SA-96-071.
9. Kongkitkul, W., Hirakawa, D. and Tatsuoka, F. 2002. “Viscous deformation during cyclic loading of geosynthetics reinforcement”, Proc. the 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, Vol.1, pp.129-13.
10. Kongkitkul, W. 2004. “Effects of material viscous properties on the residual deformation of geosynthetic-reinforced sand”, Ph.D. Thesis, University of Tokyo.
11. Hirakawa, D., Uchimura, T., Shibata, Y. and Tatsuoka, F. 2002. “Time-dependant deformation of geosynthetics and geosynthetic-reinforced soil structures”, Proc. of the 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, Vol.4, pp.1427-1430.
12. Mannsbart, G., Kropik, C. 1996. Nonwoven geotextile used for temporary reinforcement of a retaining structure under a railroad track. In DeGroot, M.B., Hoedt, G., Termaat, R.J.(Eds.), Geosynthetics: Applications, Design and Construction: 121-124. Rotterdam: Balkema.
13. Tatsuoka, F., Hirakawa, D. Shinoda, M., Kongkitkul, W, Uchimura, T. 2004. “An Old but New Issue; Viscous Properties of Polymer Geosynthetics Reinforcement and Geosynthetic- Reinforced Soil Structures”, Keynote Lecture, Proc. of the 3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics, Seoul, 2004, Shim et al. (eds.), Korean Geosynthetic Society, pp.29-77.
14. Won, G.W., Hull, T., De Ambrosis, L. 1996. Performance of a geosynthetics segmental block wall structure to support bridge abutments. In Ochiai, H., Yasufuku, N., Omine, K. (Eds.), Earth Reinforcement: Vol. 1. 543-548. Rotterdam: Balkema.
15. Wu, J.T.H., Ketchart, K., Adams, M. 2001. GRS bridge piers and abutments. Report FHWA-RD-00-038. FHWA, US Department of Transportation, 136pp.

(접수일자 2007. 7. 6, 심사완료일 2008. 1. 24)