

띠형 섬유보강재의 장기성능 평가를 위한 실험적 연구

Experimental Study on Long-Term Performance Evaluation of Geosynthetic Strip Reinforcement

이 광 우 ¹	Lee, Kwang-Wu	김 주 형 ²	Kim, Ju-Hyeung
조 삼 덕 ³	Cho, Sam-Deok	한 중 근 ⁴	Han, Jung-Geun
윤 원 일 ⁵	Yoon, Won-il	홍 기 권 ^{6*}	Hong, Ki-Kwon

ABSTRACT

In this study, the long-term performance tests, which have extensibility, creep deformation, installation resistance and durability characteristic, is conducted to apply geosynthetic strip in field. The strength reduction factors using the test results are evaluated in order to calculate long-term design tensile strength. First, the creep deformation was evaluated by both the stepped isothermal method(SIM) and the time-temperature superposition(TTS) method. The creep reduction factor is reasonable to apply 1.6. Second, the result of installation damage test had little damage of yarn, which affected strength of reinforcement. Therefore, it can be analyzed that the installation damage of geosynthetic strip has little effect of long-term design tensile strength. Finally, the durability reduction factor considering chemical, biological and outdoor exposure resistance is reasonable to apply 1.1, which is considered the stability and economic efficiency of reinforced earth wall using geosynthetic strip.

요 지

본 연구에서는 띠형 섬유보강재의 인장특성, 크리프 변형, 내시공성 및 내구성 평가를 위한 일련의 장기성능 평가시험을 수행하였다. 또한 시험결과를 바탕으로 장기설계인장강도 산정을 위한 강도감소계수를 평가하였다. 먼저, 크리프 변형 특성을 평가하기 위해 단계 등온법과 시간-온도 중첩법을 이용하였으며, 크리프 감소계수는 1.6을 적용하는 것이 바람직한 것으로 평가되었다. 다음으로 입도 조정된 화강풍화토를 성토재로 사용하여 수행한 내시공성 시험 결과, 보강재의 강도특성에 영향을 미치는 원사의 손상이 거의 없는 것으로 확인되어, 장기설계인장강도에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 분석되었다. 마지막으로 내구성 평가 결과, 내화학성, 내미생물 및 내후성을 고려한 강도감소계수는 1.1을 적용하는 것이 합리적인 것으로 평가되었다.

Keywords : Geosynthetic strip, Long-term design tensile strength, Creep, Installation damage, Durability

1. 서 론

1980년대 초반 국내에 보강토옹벽이 도입된 이래로 금

속 및 토목섬유로 제작된 다양한 종류의 보강재가 활용되고 있다. 특히, 최근에는 블록식보강토옹벽에 지오그리드로 대표되는 토목섬유보강재의 적용이 지속적으로 증가하

1 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구실 전임연구원 (Member, Researcher, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology)
2 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구실 연구위원 (Member, Research Fellow, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology)
3 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구위원 (Member, Senior Research Fellow, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, Korea Institute of Construction Technology)
4 정회원, 중앙대학교 건설환경공학과 부교수 (Member, Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Chung-Ang Univ.)
5 학생회원, 중앙대학교 일반대학원 토목공학과 석사과정 (Student Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang Univ.)
6* 정회원, 중앙대학교 일반대학원 토목공학과 박사수료 (Member, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang Univ.,
E-Mail: kkhong@wm.cau.ac.kr)

고 있으며, 2005년에는 연간 650만 m² 정도의 지오그리드가 보강토옹벽에 사용되었다(한국토목섬유학회, 2006). 이와 관련하여 국내에서는 다양한 토목섬유 보강재의 개발이 이루어지고 있을 뿐만 아니라, 현장적용에 관한 지속적인 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 토목구조물의 경우에는 그 수명이 최소 몇 십년부터 길게는 반영구적인 경우가 대부분이기 때문에, 시공 후 시간경과에 따른 구조물의 안정성이 매우 중요하게 고려되어야 한다. 이에 보강토구조물의 안정성에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 구성요소 중 하나인 보강재는 앞서 언급한 시간경과에 따른 안정성을 확보하기 위하여 장기성능 평가가 반드시 수행되어야 한다(전한용 등, 2004). 즉, 토목섬유 보강재의 장기성능은 시간경과에 따른 공학적 특성에 의해 평가가 이루어지며, 신장성 재료인 토목섬유 보강재는 인장강도의 특성과 직접적인 연관이 있다. 토목섬유 보강재의 장기 인장강도에 큰 영향을 미치는 영향 요소들은 시공 시 손상, 크리프 변형, 온도, 화학적 반응, 미생물 등이 있다. 따라서 보강토구조물의 안정을 위해서는 앞서 언급한 요소들을 반영할 수 있는 장기성능 평가가 선행된 보강재의 적용이 필수적이며, 이와 관련된 연구가 활발히 수행되고 있다(조삼덕 등, 2004; 조삼덕 등, 2005; Austin, 1997; Cazzuffi et al., 2001; Jeon et al., 2002; Kaliakin and Dechasakulsom, 2002; Sawicki and Kazimierowicz, 1998; Watn and Chew, 2002).

한편, 국내에서는 띠형 섬유보강재 혹은 금속보강재를 사용한 패널식보강토옹벽에 비하여 경제성이 우수하고 보다 수려한 외관을 창출할 수 있는 블록식보강토옹벽이 주로 시공되고 있다. 이에 최근에는 블록식보강토옹벽에 적용이 가능한 띠형 섬유보강재가 개발된 바 있다. 개발된 보강재는 띠형 토목섬유 중간에 접합홈이 형성되어 있어 반쪽으로 접어 전면블록의 체결이 가능한 형태를 가진다. 또한 후단부에는 지지저항영역을 형성할 수 있도록 함으로서, 인발저항 특성을 개선한 구조적 특징을 가진다(홍기권 등, 2009). 본 연구에서는 최근에 현장에 적용되고 있는 접합홈이 형성된 띠형 섬유보강재가 현장에 합리적으로 적용될 수 있도록 하기 위하여, 크리프 시험, 내시공성 시험 및 내구성 시험 등의 장기성능 평가 시험을 수행하였다. 또한 시험결과를 바탕으로 장기설계인장강도 산정을 위한 강도감소계수를 산정하였으며, 이를 통하여 현장적용성을 고찰하고자 하였다.

2. 보강재의 장기성능 평가

일반적으로 토목섬유 보강재의 인장특성은 시공 시 손상, 크리프, 온도, 화학적 반응 및 미생물 등과 같은 환경적인 요인에 의해 큰 영향을 받는다. 따라서 보강재의 장기설계인장강도 산정은 보강재의 허용인장변형, 시공 시 손상 및 크리프 특성 등과 같은 강도감소 원인이 고려되어야 한다(조삼덕 등, 2005).

토목섬유 보강재의 장기설계인장강도 산정방법은 장기간 현장에 적용된 보강재의 안정에 영향을 미치는 여러 인자들에 대한 인장강도 감소계수를 적용하는 방법이 주로 이용되고 있다. 즉, 토목섬유 보강재의 장기설계인장강도(T_d)는 식 (1)에 나타난 바와 같이 보강재의 최대인장강도 및 장기성능 평가시험에 의한 감소계수의 비로 산정할 수 있다(GRI, 2005).

$$T_d = \frac{T_{ult}}{RF \cdot FS_{uc}} \quad (1)$$

- 여기서, T_{ult} : 보강재의 최대(극한)인장강도(kN)
- RF : 보강재의 장기간 강도손실을 고려한 총 감소계수($RF = RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_D$)
- RF_{CR} : 크리프 감소계수 (실내 크리프시험에 의해 도출된 토목섬유 보강재의 크리프 한계인장강도에 대한 최대인장강도의 비)
- RF_{ID} : 시공성 감소계수(시공 중 토목섬유보강재의 손상에 따른 인장강도 손실정도)
- RF_D : 내구성 감소계수(화학약품, 미생물 및 온도 등에 의한 토목섬유보강재의 인장강도 손실정도)
- FS_{uc} : 구조물의 형상과 뒤채움재의 특성, 외부 작용하중 등의 불확실성 및 구조물의 중요도 등을 고려한 안전율

설계강도 및 안전율 등의 산출을 위한 크리프 감소계수(RF_{CR})는 GRI-GG4(GRI, 2005), GRI-GT7(GRI, 1992) 및 ISO TR 20432(2007)에서 규정하고 있으며, 산정식은 식 (2)와 같다.

$$RF_{CR} = 1 / (\% \text{ of } T_{ult}) \quad (2)$$

- 여기서, T_{ult} : 보강재의 최대(극한)인장강도(kN)

그리고 보강재의 내시공성 시험을 통한 시공시 감소계수(RF_{ID})는 식 (3)과 같이 산정할 수 있다.

$$RF_{ID} = T_{ult} / T_{exh} \quad (3)$$

여기서, T_{ult} : 보강재의 최대(극한)인장강도(kN)
 T_{exh} : 다짐시공 등에 의해 손상된 보강재의 인장강도(kN)

한편, 내구성 감소계수는 보강재의 화학적 반응, 미생물 및 온도 등에 의한 인장강도 손실정도를 모두 고려하여 산정하여야 한다. 따라서 보강재의 내구성 감소계수(RF_D)는 식 (4)~식 (6)과 같이 산정할 수 있다.

$$RF_D = RF_{CD} \times RF_{BD} \quad (4)$$

$$RF_{CD} = T_{ult} / T_{CD} \quad (5)$$

$$RF_{BD} = T_{ult} / T_{BD} \quad (6)$$

여기서, T_{ult} : 보강재의 최대(극한)인장강도(kN)
 T_{CD} : 화학적 반응에 의해 손상된 보강재의 인장강도(kN)
 T_{BD} : 미생물에 의해 손상된 보강재의 인장강도(kN)

3. 띠형 섬유보강재의 장기성능 평가시험

3.1 보강재

본 연구에서 적용된 보강재는 그림 1에서 보는 바와 같이 고강도 폴리에스테르(PET) 원사 및 폴리에틸렌(PE) 수지로 구성되어 있다. 또한 띠형 토목섬유의 중간에 길이방향으로 접합홈이 형성되어 있으며, 생산자 제시 인장강도는 25kN이다.

3.2 인장강도시험

띠형 섬유보강재의 장기성능 평가 시 적용되는 감소계수의 산정을 위하여, 그림 2에서 보는 바와 같이 ISO 10319(2008) 규정을 참고하여 인장강도시험을 수행하였다. 시험 시 보강재는 롤 타입의 클램프를 사용하여 파지



그림 1. 띠형 섬유보강재

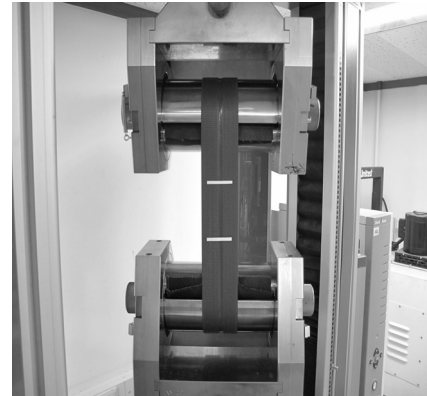


그림 2. 인장강도시험 전경

하였으며, 시료가 클램프 내에서 손상되는 것을 방지하고자 고강도 섬유충전재를 삽입하였다. 클램프 사이의 시료 파지길이는 약 30cm로 하였으며, 시료 중심부 약 10cm를 대상으로 Video Extensometer를 이용하여 인장변형을 측정하였다.

3.3 크리프 특성 평가시험

토목섬유 보강재의 크리프변형 특성을 평가하기 위한 시험방법으로는 장기크리프 시험, 시간-온도 중첩법, 단계 등온법 및 등시하중 고려법 등이 있다. 본 연구에서는 단계 등온법 및 시간-온도 중첩법을 이용한 크리프 특성 평가시험이 수행되었다.

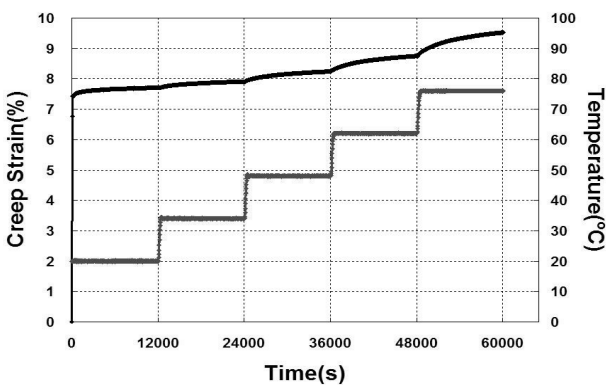
먼저, 단계 등온법은 하나의 시료에 일정하중을 부여한 후, 온도를 단계적으로 상승시키면서 크리프 변형률을 측정하는 시험방법으로서, 평가과정의 예를 그림 3에 나타내었다(구현진 등, 2008). 먼저, 단계적으로 온도를 증가시켜 일정시간동안의 크리프 변형을 측정하고, 측정된 결과로부터 나타난 각 온도별 크리프 탄성률 곡선을 이동인자를 이용하여 크리프 탄성률 마스터 곡선을 구한다. 그리고 크리프 탄성률 마스터 곡선을 로그시간-크리프 변형률 곡

선으로 전환하여 크리프 변형률 마스터 곡선을 산출하여 평가하게 된다. 단계 등온법의 장점은 하나의 시료를 사용하므로 시료 간 편차를 최소화할 수 있고, 경험적인 이동인자를 적용하므로 이동인자에 대한 불확실성을 최소화할 수 있다. 또한 100년 이상의 수명예측이 가능한 크리프 변형률 마스터 곡선을 산출하는데 걸리는 시간이 16~32 시간으로 시험시간을 단축할 수 있다.

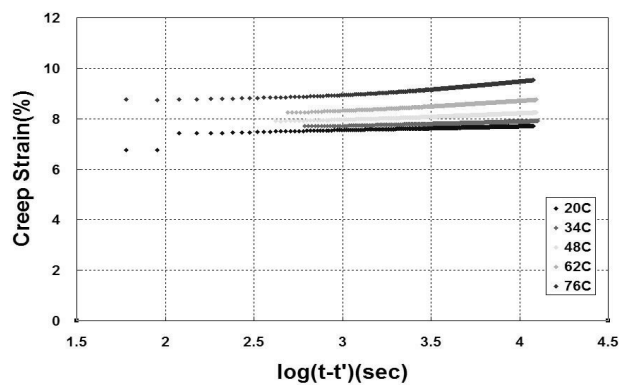
한편, 시간-온도 중첩법은 보강재의 크리프 변형에 대하여 보다 장기간 예측을 위해 시간-온도 중첩원리를 이용하여 시간과 온도의 함수로 나타나는 변형률을 통해 평가하는 방법이다(Vinogradov and Malkin, 1980; 조삼덕 등, 2005).

3.4 내시공성 평가시험

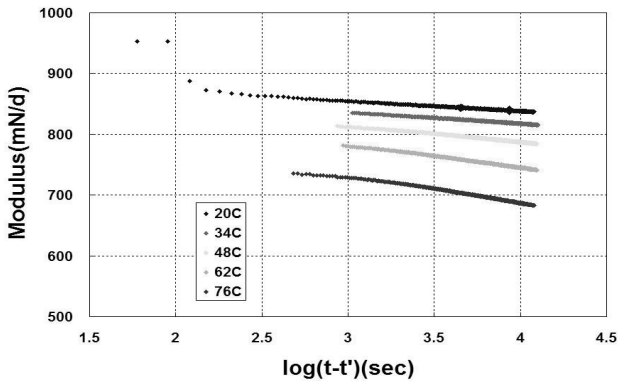
내시공성시험은 현장에 포설된 보강재 상부에 성토재료가 포설된 후 다짐이 수행될 경우에 있어서, 보강재가 손상되는 정도를 평가하기 위하여 수행된다. 이와 관련하여 Cazzuffi et al.(2001)은 보강재 및 뒤채움흙 등과 같은 사용재료의 종류와 시공방법이 내시공성 큰 영향을 미치는 요인으로 분석한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 ASTM D 5818-06(ASTM, 2006), GSI-GG4(GRI, 2005) 및 ISO TR 20432(2007)에 기술된 시험방법을 참조하여 내시공성 시험을 수행하였다. 시험방법은 기초노상을 실제 구조물



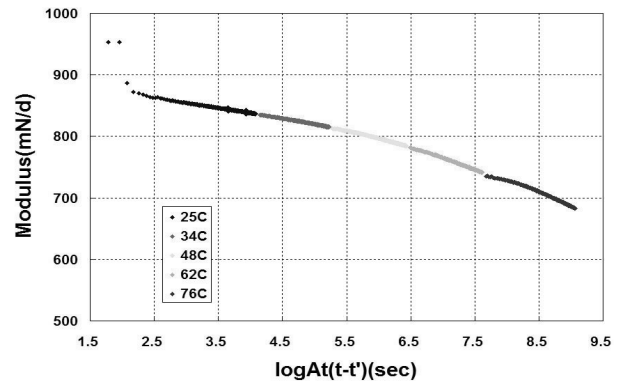
(a) 온도와 크리프 변형률/시간



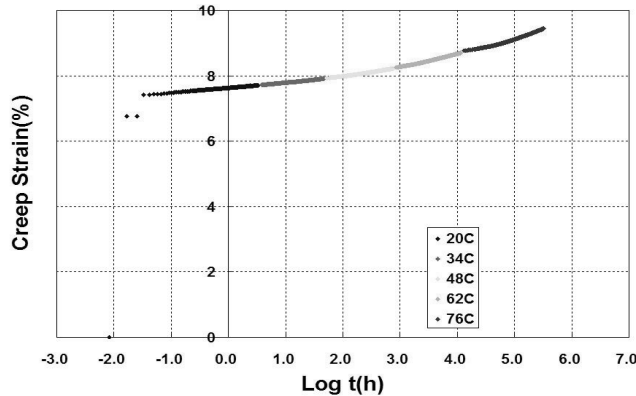
(b) 온도 보정 후 크리프 변형률 곡선



(c) 온도 보정 후 크리프 탄성률 곡선



(d) 이동 후 크리프 탄성률 마스터 커브

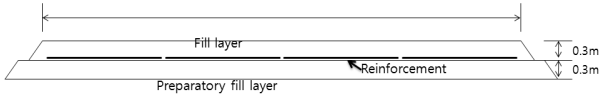


(e) 크리프 변형률 마스터 곡선

그림 3. 단계 등온법을 이용한 크리프 특성 평가 방법 예(구현진 등, 2008)

표 1. 화강풍화토의 입도 분포 및 분류

최대 입경	입도분포(%)			U.S.C.S
	자갈	모래	실트·점토	
19mm	0	98	2	SW
40mm	13.2	85.2	1.6	
60mm	17.8	80.4	1.8	
80mm	21.4	77.2	1.4	



(a) 종단면도



(b) 현장 배치도

그림 4. 내시공성시험 단면도

시공 시와 동일하게 처리한 후 규정 면적의 보강재 시료를 포설하고, 그 상부에 성토재료를 포설하여 실제 구조물 시공 시와 동일하게 다짐하였다. 이 때 성토재료의 최대입경에 따른 손상정도를 평가하기 위하여 화강풍화토를 대상으로 대형채가름장치(1.4m×2m)를 이용하여 최대입경을 4종류(19mm, 40mm, 60mm, 80mm)로 분류하였다. 시험에 적용된 화강풍화토의 최대입경에 따른 입도분포 및 분류는 표 1에서 보는 바와 같다. 또한 그림 4에서 보는 바와 같이 최대입경에 따른 성토구간을 구분하여 보강재를 포설하였으며, 성토재료의 다짐 시에는 100kN 용량의 다짐장비를 이용하여 다짐도가 90% 이상이 되도록 하였다. 다짐 완료 후에는 보강재에 손상이 가지 않도록 성토재료를 제거하여 시료를 추출하였으며, 추출된 시료에 대한 인장강도시험을 수행하여 원시료의 인장강도와 비교하였다. 이 때 인장강도 시험을 위하여 추출된 시료는 손상을 입어 강도손실이 있을 것으로 판단되는 부분을 절취하여 사용하였다.

3.5 내구성 평가시험

띠형 섬유보강재의 내구성 평가는 세 가지 항목에 대하여 수행되었으며, 평가항목은 현장에 포설된 보강재 시료



그림 5. 내화학성 시험 전경



그림 6. 내미생물성 시험 전경

가 주위의 화학적 환경과 접촉될 때의 특성을 평가하는 내화학성, 미생물과의 접촉 특성을 평가하는 내미생물성 및 대기 중에 노출되었을 때의 특성을 평가하는 내후성 평가로 이루어졌다. 띠형 섬유보강재는 지오그리드나 지오텍스타일과 같은 토목섬유 보강재와 유사한 고분자 재료를 원료로 제작되었다. 따라서 본 연구에서는 고분자 재료를 원료로 제작된 토목섬유 보강재의 시험규격을 참고하여 시험을 실시하였다.

내화학성 시험은 현장에 포설된 보강재가 주위의 화학적 환경과 접촉되었을 경우에 손상되는 정도 및 인장특성의 변화정도를 평가하기 위하여 수행되며, ASTM D 5322-98(ASTM, 1998), GRI-GG4(GRI, 2005)에 의해 규격화되어 있다. 시험방법은 보강재 시료를 화학용액 속에 각각 1, 2, 3 및 4개월 동안 침지시킨 후 각 시료를 채취하여 인장강도시험을 수행하고, 원시료의 인장강도와 비교한다. 본 연구에서 적용된 화학용액은 ASTM D 543-6(ASTM, 2001)을 참조하여 강산성(염산, pH=2), 약산성(염산, pH=5), 강알칼리성 용액(수산화나트륨, pH=13) 및 약알칼리성(수산화나트륨, pH=9) 용액을 제조·사용하였다(그림 5 참조).

내미생물성 시험은 흙 속에 존재하는 미생물들이 보강재 시료의 인장특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행한다. 본 연구에서는 GRI-GG4(GRI, 2005) 및 ISO TR

20432(2007)에서 제안된 시험방법을 참조하였으며, 보강재를 지반 내에 포설한 후 성토재료로 많이 사용되는 화강 풍화토 및 유기질이 풍부한 하수슬러지의 영역을 구분하여 채운 후, 시간경과에 따라 시료를 채취하여 인장강도시험을 수행하였다.

내후성 시험은 보강재가 대기 중에 노출되어 있는 경우에 대한 인장특성 변화정도를 평가하기 위한 시험으로서, 태양광, 바람 및 강우 등의 대기 중 노출영향에 대한 내구성을 의미하며, ISO TR 20432(2007)를 참조하여 수행하였다. 즉, 락형 섬유보강재가 현장에 반입되어 흙 속에 묻혀 질 때까지의 기간(보통 1개월 이내)을 고려하여 옥외에 보강재 시료를 방치한 후, 기간경과(1, 2, 3, 4개월)에 따라 시료를 채취하여 인장강도시험을 수행하여 원시료의 인장강도와 비교하였다.

4. 시험 결과 및 고찰

4.1 원시료의 인장강도 시험 결과

락형 섬유보강재의 장기성능 평가를 위하여 선행된 원시료의 인장강도 시험결과를 그림 7에 나타내었다. 시험결과를 통하여 시험에 적용된 락형 섬유보강재는 생산자 제시강도보다 실제 인장강도가 크게 설계·제조되어 있어, 그 차이에 대한 추가 안전율이 내포되어 있음을 알 수 있으며, 최대인장강도에서의 인장변형률은 10.37%의 변형특성을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 보강재의 장기성능 평가 시 감소계수 산정을 위한 최대(극한)인장강도를 28kN으로 적용하였다.

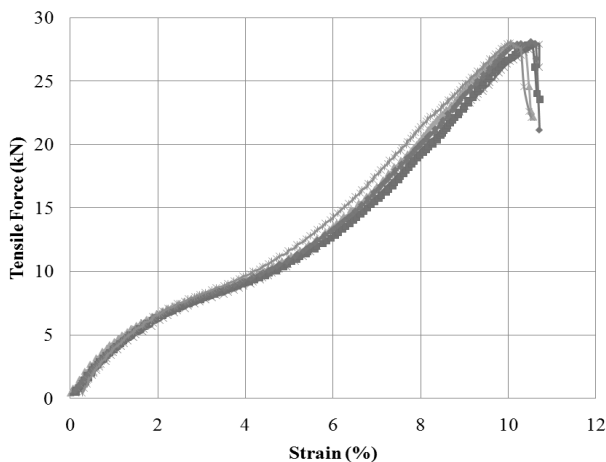


그림 7. 락형 섬유보강재의 인장강도-인장변형률 곡선

4.2 크리프 특성 평가

전술한 바와 같이 본 연구에서는 단계 등온법 및 시간-온도 중첩법을 이용하여 크리프 변형 특성을 평가하였다. 먼저, 원시료 인장강도의 60%~80%의 크리프 하중이 적용된 단계 등온법을 수행하였으며, 시험결과를 이용하여 도출된 크리프 변형률 마스터 곡선을 그림 8에 나타내었다. 크리프 마스터 곡선을 이용하여 사용수명 50년, 100년 및 114년에 대한 크리프 감소계수 산출결과는 표 2에서 보는 바와 같다. 그리고 시간-온도 중첩법을 이용한 크리프 시험은 ASTM D 5262-02(ASTM, 2007)에 규정되어 있는 시험법을 기준으로 20°C, 35°C 및 50°C 온도에서 최대 1,000시간 동안의 속성크리프 시험으로 수행하였다. 이

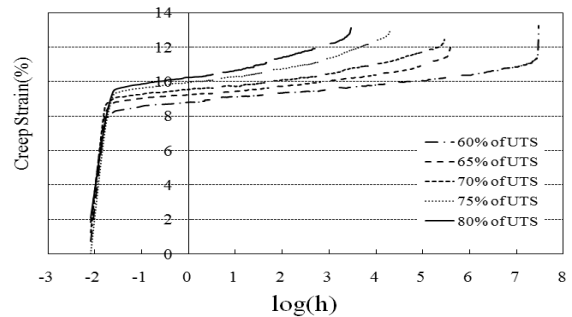
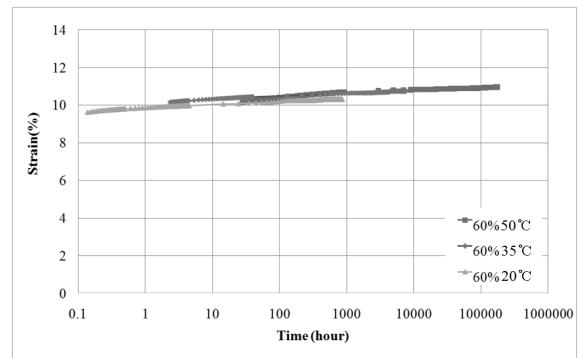
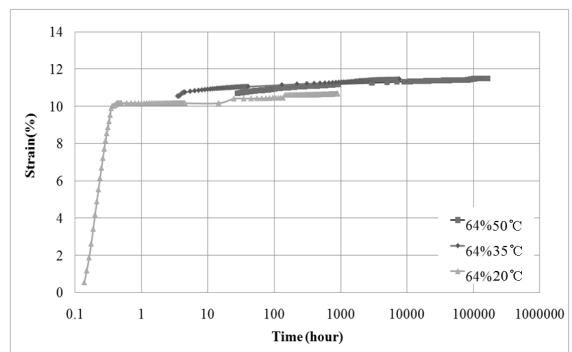


그림 8. 크리프 변형률 마스터 곡선



(a) 인장강도의 60% 하중 재하



(b) 인장강도의 64% 하중 재하

그림 9. 시간-온도 중첩원리를 이용한 크리프 변형률 곡선

표 2. 사용수명에 따른 크리프 감소계수

평가 방법	사용 수명 (년)	크리프하중 (% of UTS)	크리프 감소계수
단계등온법	50	67.96	1.47
	100	66.34	1.51
	114	66.03	1.51
시간-온도 중첩법	114	64	1.56

때, 크리프 하중은 기존연구(김정호, 2000)를 참조하여 최대인장강도의 60% 및 64%로 적용하였다. 그림 9에서 보는 바와 같이 시험결과를 바탕으로 크리프 특성을 분석한 결과, 최대인장강도의 60%, 64%의 크리프 하중을 1,000 시간 정도 재하한 경우에 보강재의 파단은 발생하지 않았으며, 1,000,000 시간(약 114년) 후의 장기 크리프 변형은 각각 10.91%, 11.47%로 예측되었다. 따라서 사용수명이 114년일 때, 실험대상 락형 섬유보강재의 크리프 감소계수는 단계등온법 및 시간-온도중첩법 적용시 각각 1.51 및 1.56으로 평가할 수 있다.

ISO TR 20432(2007)에 따르면, 토목섬유의 크리프 파단 거동은 최소 12회 측정해야 하고, 최소 1회는 10,000시간 동안의 크리프 변형을 측정해야 한다. 그러나 본 연구에서 사용한 평가방법은 단기간의 시험으로부터 장기간의 수명을 예측하는 방법이어서, 10,000시간 이상의 장기시험이 추가로 필요하다.

구현진 등(2008) 등은 PET(Polyester)원사에 PP (Polypropylene)를 코팅한 지오그리드에 대한 크리프 시험결과, 단계등온법, 시간-온도 중첩법 및 장기크리프시험 결과 산출된 크리프 변형률이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것을 확인하였다. 실험 대상 보강재는 구현진 등(2008)이 실험에 사용한 지오그리드와 마찬가지로 PET 원사로 제조되었기 때문에, 표 2에 나타난 바와 같이 단계등온법 및 시간-온도 중첩법을 이용해 산정한 크리프 감소계수는 설계시 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 3. 내시공성 시험 결과

결과 항목	최대입경 19mm		최대입경 40mm		최대입경 60mm		최대입경 80mm	
	인장강도 (kN)	인장변형률 (%)	인장강도 (kN)	인장변형률 (%)	인장강도 (kN)	인장변형률 (%)	인장강도 (kN)	인장변형률 (%)
평균	28.00	10.26	27.53	10.06	27.33	10.18	27.69	9.95
강도 감소율	0.00%		1.68%		2.39%		1.11%	
감소계수	1.00		1.02		1.02		1.01	

다만, 장기 크리프시험 결과가 산출될 때 까지는 안전측 설계를 우선 고려하여 크리프 감소계수로 1.6을 적용하는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

4.3 내시공성 평가

내시공성 시험 후 추출된 시료에 대하여 각각 5회 이상의 인장강도시험을 수행하였으며, 시험결과가 상이한 경우를 제외하고 유사한 경향을 보이는 3회의 시험결과를 대상으로 표 3에서 보는 바와 같이 내시공성을 평가하였다. 성토재료(화강풍화토)의 최대입경에 따른 인장강도감소율 및 강도감소계수는 각각 최대 2.39% 및 1.02로서 매우 미소한 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

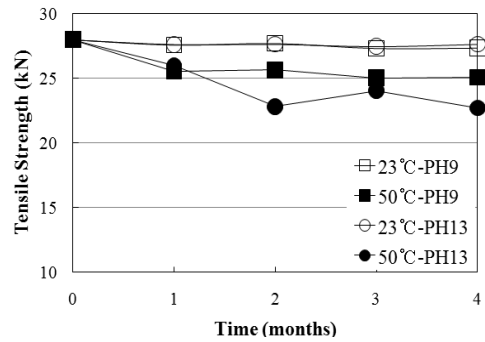
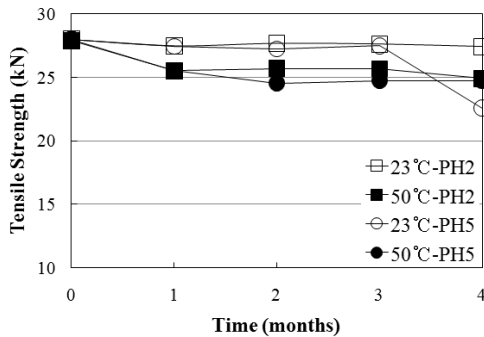
조삼덕 등(2005)은 실험대상 보강재와 유사하게 PET 섬유 원사를 PVC로 코팅한 형태의 결합형 지오그리를 대상으로 성토흙의 최대입경이 40mm, 60mm 및 60mm인 경우에 대해 본 연구에서와 동일한 방법으로 내시공성시험을 수행한 결과를 발표하였다. 이에 따르면, 성토재료의 최대입경이 클수록 인장강도감소율이 더 크고 그 값은 대략 20~40%인 것으로 나타났다. 반면에 본 연구에서 수행한 락형 섬유보강재의 시공중 손상 정도가 조삼덕 등(2005)의 실험결과와 상당한 차이를 보이고 있다. 이와 같이 조삼덕 등(2005)의 실험결과와 본 실험결과가 상당한 차이를 보이는 가장 큰 원인은 사용 보강재의 형상이 상이한 점에 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 지오그리드의 경우 경사방향 리브의 폭 및 두께가 상대적으로 작고 피복두께 또한 얇기 때문에 시공중 원사의 손상 가능성과 원사의 손상이 인장강도 감소에 미치는 영향이 상대적으로 크다. 반면에, 락형 섬유보강재는 피복두께가 두텁기 때문에 시공중 원사 손상을 줄일 수 있으며, 보강재의 폭이 70mm로 지오그리드의 리브 폭 보다 10배 정도 크기 때문에 시공중 손상 정도가 인장강도의 손실에 미치는 영향이 상대적으로 작았던 것으로 판단된다.

4.4 내구성 시험 결과 및 고찰

강산성, 약산성, 약알칼리성 및 강알칼리성의 총 4가지 pH조건으로 제조된 용액에 보강재 시료를 침지시킨 후 각각 23°C와 50°C의 항온항습조에 방치하였으며, 시간경과에 따른 인장강도를 측정하였다. 그림 10에서 보는 바와 같이 실온(23°C) 상태에서의 인장강도는 pH조건에 관계없이 원시료에 비하여 약 1.16%~2.77% 정도의 강도손실이 확인되었다. 또한 침지용액의 온도가 50°C인 경우에 동일한 조건의 시험결과는 원시료 대비 최대 18.9%의 강도 감소가 나타났다.

한편, 약산성 조건에서 4개월 침지 후의 인장강도가 다

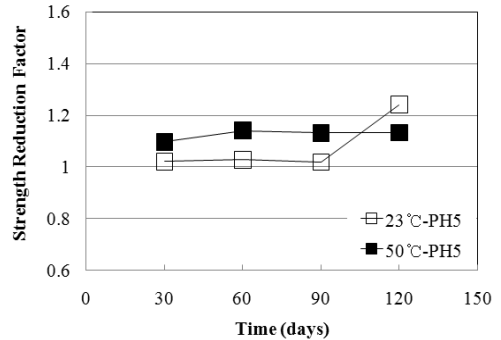
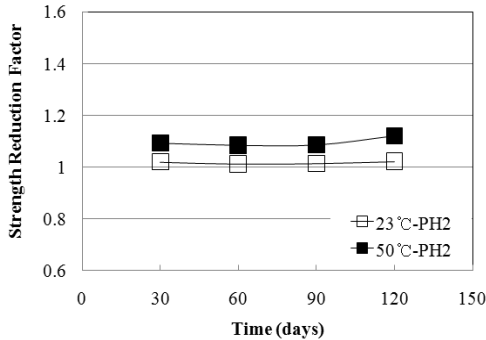
른 조건에 비해 현저하게 작은 강도를 나타내었는데, 전체적인 강도감소율의 경향을 고려하면 시험오차인 것으로 판단된다(그림 11 참조). 즉, 시험오차로 판단된 결과를 제외한 강도감수계수는 실온(23°C)에서 1.01~1.03로 확인되었다. 그러나 50°C 온도 조건의 경우에는 비교적 높은 1.08~1.23의 강도감수계수를 나타내었으며, 특히 알칼리 조건에서의 강도감소가 더욱 크게 나타났다. 따라서 락형 섬유보강재가 특별한 화학적 환경에 노출되지 않은 일반적인 현장 여건에서는 화학적 반응에 의한 보강재의 강도 손상이 거의 발생하지 않을 것으로 판단된다. 그러나 폐기물 매립장과 같은 특별한 현장 적용에 있어서는 앞서 분석된 화학적 반응을 고려하여 적용하는 것이 바람직 할 것으



(a) 산성 용액(HCL)

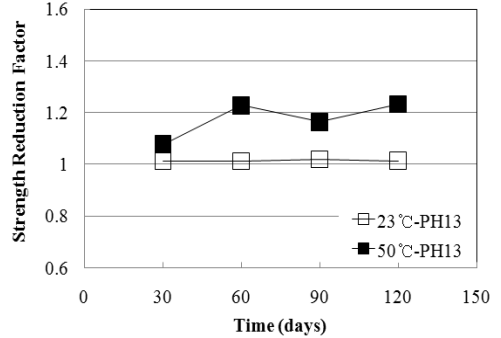
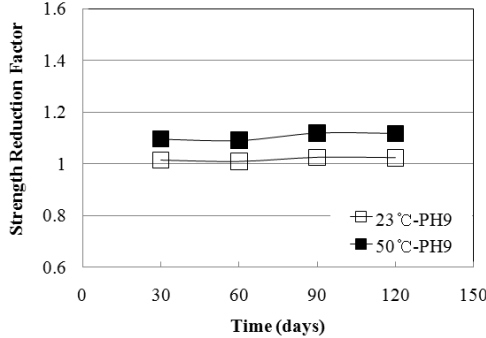
(b) 알칼리성 용액(NaOH)

그림 10. 내화학성에 대한 침지시간에 따른 인장강도의 변화



(a) 강산성 용액

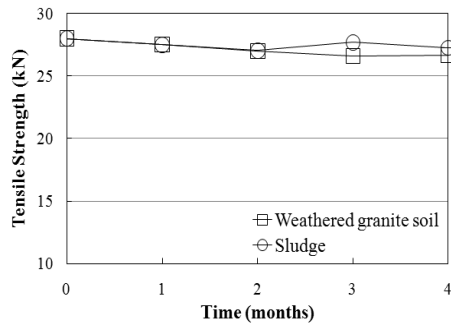
(b) 약산성 용액



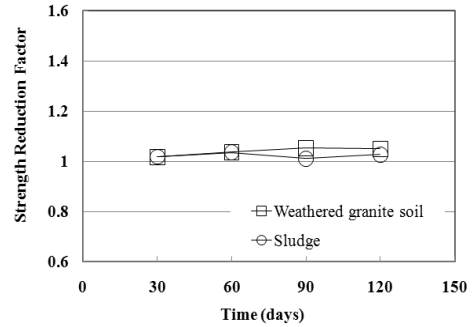
(c) 약알칼리성 용액

(d) 강알칼리성 용액

그림 11. 내화학성에 대한 강도감소계수 산정 결과

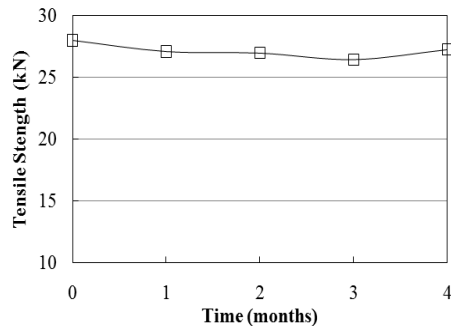


(a) 인장강도의 변화

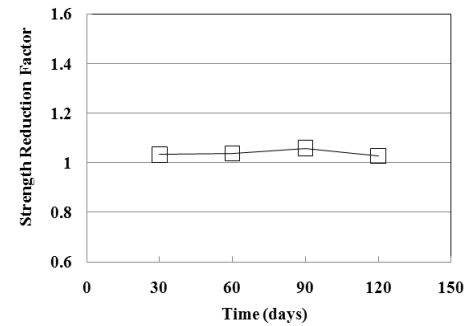


(b) 강도감소계수 변화

그림 12. 내미생물성 시험 결과



(a) 인장강도의 변화



(b) 강도감소계수 변화

그림 13. 내후성 시험 결과

로 판단된다.

전술한 바와 같이 띠형 섬유보강재의 내미생물성 시험은 원지반을 화강풍화토와 하수슬러지 영역으로 각각 굴착매립하여 실시하였으며, 시험결과는 그림 12에서 보는 바와 같다. 각 조건에 따른 보강재의 인장강도는 시간경과에 따라 원시료에 비하여 1.08%~5.01% 정도의 강도감소율을 나타내었으며, 강도감소계수는 최대 1.05인 것으로 평가되었다.

내후성을 평가하기 위하여 옥외에 일정기간 동안 방치한 보강재의 인장강도 시험결과를 그림 13에 나타내었다. 내후성시험 후 보강재의 인장강도는 시간경과에 따라 최대 5.53%의 강도감소율을 나타내었으며, 이 때 강도감소계수는 1.06인 것으로 확인되었다. 실제 대부분의 시방서에서는 토목섬유보강재를 1주일 이상 대기에 노출시키지 않도록 규정하고 있으므로, 내미생물 평가결과와 동일하게 장기설계인장강도에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 개발된 띠형 섬유보강재가 현

장에 합리적으로 적용될 수 있도록 하기 위하여 인장특성, 크리프 특성, 내시공성 및 내구성 시험 등의 장기성능 평가시험을 수행하였으며, 시험결과를 바탕으로 장기설계인장강도 산정을 위한 강도감소계수를 평가하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서 적용된 띠형 섬유보강재의 현장 적용에는 큰 문제가 없음을 확인할 수 있었으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 크리프 특성 평가를 위하여 단계 등온법 및 시간-온도 중첩법을 이용한 크리프 시험을 수행하였다. 단계 등온법을 이용하여 약 114년의 장기 크리프 특성을 평가한 결과, 크리프 감소계수는 약 1.51 정도로 확인되었다. 또한 시간-온도 중첩법을 이용한 크리프 변형을 분석한 결과, 60% 및 64%의 크리프 하중이 적용된 1,000,000 시간(약 114년) 후의 장기 크리프 변형은 각각 10.91%, 11.47%로 예측되었다.
- (2) 내시공성 시험은 뒤펀 흙의 종류에 따른 분석을 위하여 성토재료 입경을 총 4종류로 분류하여 수행하였다. 시험결과에 의한 강도감소율은 최대 2.39%로 나타났으며, 이 때 감소계수는 1.02로서 시공 시 손상이 매우 미약한 것으로 확인되었다. 이는 지오

그리드의 시공 시 손상 특성과 다르게 나타난 결과로서, 본 연구에서 적용된 띠형 섬유보강재의 내시공성 감소계수가 성토재료의 입경에 관계없이 매우 미소하게 나타난 원인은 보강재의 폭 및 두께가 크기 때문인 것으로 평가되었다.

- (3) 내구성 시험 결과, 내화학성의 경우에는 특별한 화학적 환경에 노출되지 않은 일반적인 현장 여건에서는 화학적 반응에 의한 보강재의 강도손상이 거의 발생하지 않을 것으로 평가되었다. 그리고 내미생물성 및 내후성의 최대 강도감소계수는 각각 1.05 및 1.06으로서 장기설계인장강도에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 분석되었다. 따라서 내화학성, 내미생물 및 내후성을 고려한 내구성 감소계수는 1.1을 적용하는 것이 합리적인 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 “도시기후 영향 최소화 생태도시·건축기술 개발”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 구현진, 조항원 (2008), “보강용 지오신세틱스의 가속 인장 크리프 시험방법”, 2008 한국지반공학회 가을 학술발표회, pp.196-203.
2. 김정호 (2000), 크리프 시험에 의한 지오그리드의 장기 안정성 평가, 석사학위논문, 전남대학교.
3. 전한용, 허대영 (2004), “감소인자에 의한 지오그리드의 내구성 평가”, 한국토목섬유학회논문집, 제3권, 제2호, pp.31-38.
4. 조삼덕, 이광우, 오세용, 이도희 (2004), “지오그리드의 시공시 손상 및 크리프 변형 특성 평가”, 한국토목섬유학회 논문집, 제3권, 제4호, pp.29-40.
5. 조삼덕, 이광우, 오세용, 이도희 (2005), “지오그리드의 장기설계인장강도에 미치는 시공시 손상 및 크리프 변형 복합효과에 대한 실험적 평가”, 한국토목섬유학회논문집, 제4권, 제4호, pp.23-27.
6. 한국토목섬유학회 (2006), 토목섬유 단기강좌 시리즈 - 토목섬유의 특성 평가기법 및 활용, 한국토목섬유학회, 구미서관.
7. 홍기권, 윤원일, 한중근, 이광우, 조삼덕 (2009), “띠형 섬유보강재의 인발저항 특성에 관한 실험적 연구”, 2009 한국토목섬유학회 가을 학술발표회, pp.49-56.
8. ASTM (1998), *Standard Practice for Laboratory Immersion Procedures for Evaluating the Chemical Resistance of*

Geosynthetics to Liquids, ASTM D 5322-98, ASTM Book of Standards, Philadelphia, USA.

9. ASTM (2001), *Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents*, ASTM D 543-6, ASTM Book of Standards, Philadelphia, USA.
10. ASTM (2006), *Standard Practice for Exposure and Retrieval of Samples to Evaluate Installation Damage of Geosynthetics*, ASTM D 5818-6, ASTM Book of Standards, Philadelphia, USA.
11. ASTM (2007), *Standard Test Method for Evaluating the Unconfined Tension Creep and Creep Rupture Behavior of Geosynthetics*, ASTM D 5262-07, ASTM Book of Standards, Philadelphia, USA.
12. Austin, R. A. (1997), “The Effect of Installation Activities and Fire Exposure on Geogrid Performance”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.15, pp.367-376.
13. Cazzuffi, D., Mongiovi, L. and Torresendi, M. (2001), “Laboratory and Field tests for the Evaluation of Installation Damage of Geosynthetics in Reinforced Earth Structures”, *15th ICSMGE*, Istanbul, pp.1565-1568.
14. GRI (1992), *GRI Test Method GT7 : Determination of the Long-Term Design Strength of Geotextiles*, Geosynthetic Research Institute Standard Test Method, Drexel University, Philadelphia, PA.
15. GRI (2005), *GRI Test Method GG4(b) : Determination of the Long-Term Design Strength of Flexible Geogrids*, Geosynthetic Research Institute Standard Test Method, Drexel University, Philadelphia, PA.
16. ISO 10319 (2008), *Geotextiles : Wide-width tensile test*, International Organization for Standardization, Switzerland.
17. ISO TR 20432 (2007), *Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement*, Switzerland.
18. Jeon, H. Y., Kim, S. H. and Yoo, H. K. (2002), “Assessment of long-term performances of polyester geogrids by accelerated creep test”, *Polymer Testing*, Vol.21, No.5, pp.489-495.
19. Kaliakin, V. N. and Dechasakulsom, M. (2002), “Development of General Time-Dependent Model for Geogrids”, *Geosynthetics International*, Vol.9, No.4, pp.319-344.
20. Sawicki, A. and Kazimierowicz-Frankowska, K. (1998), “Creep Behaviour of Geosynthetics”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.16, No.6, pp.365-382.
21. Vinogradov, G.V. and Malkin, A.Ya. (1980), *Rheology of Polymers ; Viscoelasticity and Flow of Polymers*, Mir Publishers, Moscow : Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-NewYork, pp. 74-82.
22. Watn, A. and Chew, S. H. (2002), “Geosynthetic Damage from Laboratory to Field”, *Proc. of 7th International Conference on Geosynthetics*, pp.1203-122.

(논문접수일 2010. 11. 8, 심사완료일 2010. 12. 24)