

실내 표준시험에 의한 토목섬유제품의 시공 시 손상 평가

Evaluation of Installation Damage of Geosynthetics by Index Standard Tests

전한용¹⁾, Han-Yong Jeon, 유중조²⁾, Jung-Jo Yuu

1) 인하대학교 섬유공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Textile Engineering, Inha University

2) 주식회사 골든포우 연구소 연구실장, General Manager, GoldenPow Co. Ltd., R&D Center

1. 서 언

○ 토목섬유 관련 국제표준화 기구인 ISO TC221과 ASTM D35는 토목섬유(geosynthetics)에 대하여 보호/보강, 여과, 배수, 차수, 충격흡수, 액체저장 등의 기능을 가진 지반구조물에 적용되는 고분자 재료라고 설명하고 있다. 실제로 토목섬유제품은 1970년대부터 본격적으로 적용되기 시작하여 지금은 그 사용량이 급속 적으로 증가하여 제품의 적용용도에 따라 토목건설, 환경, 도로, 수송, 터널, 댐, 철도, 연약지반 등 각종 지상, 지중, 지하 구조물에 이르기까지 매우 광범위하게 적용되고 있다.

○ 토목섬유가 사용되는 구조물은 일반적으로 100년이 넘는 반영구적인 시스템이다. 따라서 토목구조물의 장기 성능예측이 매우 중요하며, 이러한 연유로 토목섬유를 사용하는 구조물의 경우 토목섬유의 고유 최대 물성 치에서 시공 후 일정기간경과후의 물성 감소정도를 감안하여 시스템을 설계하게 된다. 이때 사용되는 인자가 바로 토목섬유의 감소계수(reduction factors)이다.

○ 이러한 구조물의 설계에 주로 이용되는 감소계수는 크게 네 가지로 분류되고 있는데, 화학적 손상(chemical degradation)에 의한 감소계수, 생물학적 손상(biological degradation)에 의한 감소계수, 크리프(creep)에 의한 감소계수 그리고 시공 시 손상(installation damage)에 의한 감소계수 등이다. 이러한 감소계수를 사용함으로써 설계 시 이용되는 토목섬유의 물성 치는 본래의 물성 치 보다 더 적은 값이 적용된다.

○ 감소계수를 토목구조물의 설계 시 이용하는 방법은 미국 Drexel 대학에 소재한 GRI(geosynthetics research institute)에서 처음으로 제안되었으며 GRI에서 자체적으로 제안한 토목섬유 관련 시험법 GRI TEST METHOD중 GG-4에서 상세하게 기술하고 있다. 이 시험법은 토목섬유의 강도감소를 유발할 수 있는 모든 인자의 영향을 고려하여 설계 허용강도를 산출하는 방법이다. 이때 이용되는 보정계수를 감소계수라 하며, 고려되는 감소계수의 종류는 적용분야에 의해 좌우되나 일반적으로 위에서 언급한 네 가지 항목이 그 축을 이루고 있다.

○ 고려되어지는 감소계수의 종류는 적용분야에 의해 좌우되나 감소계수의 적용에 의한 장기 설계 강도의 산출 식은 일반적으로 다음과 같은 형태를 지니고 있다.

$$T_{allow} = T_{ult} \left[\frac{1}{(IRRF)} \right] \quad (1)$$
$$= T_{ult} \left[\frac{1}{(RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD} \cdot \cdot \cdot)} \right]$$

여기서, T_{ult} = 광폭 인장시험 결과치인 최대인장강도,
 T_{allow} = 설계 시 허용인장강도,
 RF_{ID} = 시공 시 손상에 의한 감소계수,
 RF_{CR} = 크리프 변형에 의한 감소계수,
 RF_{CD} = 화학적 분해에 의한 감소계수,
 RF_{BD} = 생물학적 분해에 의한 감소계수

○ 지오텍스타일과 지오그리드에 대한 각각의 현장조건에 따른 감소 계수치를 표 1과 2에 나타내고 있다. 표 1과 2에서는 시공 시 손상 값이 크리프에 의한 감소계수 값 보다 현저하게 작은 값을 나타내고 있으나 본 연구에서는 시공 시 손상에 그 비중을 더 크게 두고 있다.

○ 왜냐하면, 표 1과 2는 현재 시공에 대한 관리가 엄중하고 공사전반에 대한 CQC(construction quality control)와 CQA(construction quality assurance)가 철저히 이루어지는 미국의 경우를 나타내고 있으며, 따라서 국내의 건설시공의 실정을 고려해볼 때 작업자의 명확한 이해부족, 작업자의 부주의, 건설장비의 남용 등의 이유로 다소의 수정이 요구되어지기 때문이다. 뿐만 아니라, 시공 시 손상을 제외한 나머지의 감소인자들은 시공이 완벽하게 이루어 졌다는 가정 하에 산정 된 수치이므로, 만약 시공 중에 재료에 어떤 형태의 파괴가 발생한다면, 이러한 감소계수의 수치는 무의미해지게 된다.

표 1. 장기 설계허용인장강도 산출에 요구되는 지오텍스타일의 각각의 구조물에서의 감소계수

적 용 분 야	RF_{ID}	RF_{CR}	RF_{CD}	RF_{BD}
비포장 도로	1.1 ~ 2.0	1.5 ~ 2.5	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.2
옹벽	1.1 ~ 2.0	2.0 ~ 4.0	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.3
성토제방	1.1 ~ 2.0	2.0 ~ 3.5	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.3
지지력	1.1 ~ 2.0	2.0 ~ 4.0	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.3
사면안정	1.1 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.3
포장층	1.1 ~ 1.5	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.1

표 2. 장기 설계허용인장강도 산출에 요구되는 지오그리드의 각각의 구조물에서의 감소계수

적 용 분 야	RF_{ID}	RF_{CR}	RF_{CD}	RF_{BD}
비포장 도로	1.1 ~ 1.5	1.5 ~ 2.5	1.1 ~ 1.6	1.0 ~ 1.2
옹벽	1.1 ~ 1.6	1.5 ~ 2.5	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.2
성토제방	1.1 ~ 1.4	2.0 ~ 3.0	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.3
지지력	1.1 ~ 1.4	2.0 ~ 3.0	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.3
사면안정	1.1 ~ 1.4	2.0 ~ 3.0	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.3
포장층	1.2 ~ 1.5	2.0 ~ 3.0	1.0 ~ 1.6	1.0 ~ 1.3

○ 토목섬유의 사용량이 증가함에 따라 토목섬유의 성질에 대한 보다 명확한 이해와 단기 및 장기 적용 시 토목섬유의 특성변화에 대한 이해가 요구되고 있다. 특히 다짐작업이 요구되는 토류 구조물에 적용되는 경우 다짐에 의한 재료의 손상이 유발되며, 이러한 시공 시 다짐에 의한 손상은 토류 구조물의

단기 및 장기 거동에서 예측되지 못한 성질 변화를 초래하게 된다. 따라서 적절한 시공 시 손상 평가방법을 토대로 변화된 단기 및 장기 거동의 예측이 가장 중요하며 이에 따른 설계 시 적절한 반영이 필요하다. 그림 1은 이러한 토목섬유의 시공 시 발생하는 손상의 주요 원인을 나타내고 있다.

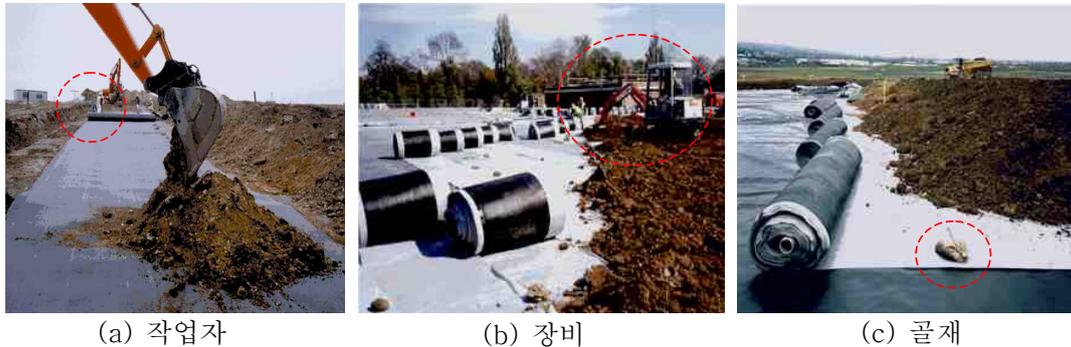


그림 1. 토목섬유의 시공 시 손상의 주요 원인

○ 이러한 시공 시 손상에 관한 시험법은 현재 표준화되어 제시된 시험법이 없는 상황이며, 심사 중인 시험법의 경우에도 시공 현장, 사용되어지는 골재의 종류, 시공 조건 등의 여러 가지 현장상황들을 고려하지 않은 단순한 시험방법이기 때문에 토목섬유의 시공 시 손상에 대한 명확한 이해와 해석이 매우 힘들 것으로 판단되어진다. 또한 실내시험의 결과 치를 현장에 직접적용하기에는 매우 큰 무리가 따르리라 판단된다. 또한 현장에서 직접 실시하는 현장시험시공의 경우 해당 현장에서의 토목섬유의 시공 시 손상에 관한 정확한 결과를 얻을 수 있으며 이를 토대로 거동 예측이 확실하다는 장점이 있으나 경제성과 다른 현장에서의 재현성이 매우 낮아 일반화되기에는 매우 힘든 단점을 지니고 있다. 그러므로 각각의 현장마다 별도의 시공 시 손상에 관한 현장시험시공을 실시해야하는 실정이다. 표 3에 이러한 실제 현장 시험 시공과 실내 시험에 의한 시공 시 손상의 장·단점을 비교 설명하였다.

표 3. 현장 시험 시공과 실내 시공 시 손상 시험의 장·단점 비교

시험조건	장 점	단 점
실내 시험	<ul style="list-style-type: none"> · 시험장치의 제작 후 반영구적인 시험 가능 · 현장시험과 비교하였을 경우 시간과 비용의 절감 	<ul style="list-style-type: none"> · 표준화된 시험법이 전무(全無) · 다양한 현장 토(土)에 대한 고려가 힘들 · 구조물에 대한 고려가 없음 · 현장조건에서 발생하는 토목섬유의 파괴 메커니즘을 완벽하게 설명하지 못함
현장 시험	<ul style="list-style-type: none"> · 실제 현장에 대한 정확한 데이터 획득가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 시간과 비용이 많이 소비됨 · 현장 의존성이 강함

○ 따라서 현재 유일하게 제시되고 있는 토목섬유의 시공 시 손상에 관한 시험법(ENV ISO 10722-1 : 1997)의 검토를 토대로 적용분야가 더욱 광범위하며, 현장 조건이 더욱 세분화 된 시험방법의 표준화가 진행되어야만 한다. 표준화된 시험법에서는 시공 시 손상의 가능성(possibility for damage)과 시공 시 손상의 정도(consequence of damage)를 각각의 단계로 구분하여 시험의 레벨(level) 수준을 결정하여 제시된 표준의 시험방법에 따라 시험을 행하게 된다. 이러한 표준화 작업을 통하여 토목섬유의 시공 시 손상 관련 설계/관리 항의 표준화 결여에 따른 제품 관리 및 평가 시 어려움과 객관성, 신뢰성의 확보가 상당히 어려웠던 문제점이 해결됨과 동시에 생산, 시공/관리, 평가 업체 공통으로 요구되었던 표준

화 문제가 해결될 것으로 판단되어진다.

2. 관련기술 현황 및 개선 요구사항

2.1 국내외 기술현황 및 전망

2.1.1 국외 기술현황 및 전망

○ 토목섬유를 이용한 토목구조물의 시공 시 유발되는 시공 시 손상에 대한 학문적인 연구는 G. R. A. Watts(1994)를 선두로 하여 현재까지 매우 활발하게 진행되고 있으며, 특히 A. Watn(2002)은 현장에서 발생하는 시공 시 손상의 개념을 실험실에서 평가할 수 있는 개념으로 발전시켰다.

○ 토목섬유의 시공 시 손상에 대한 연구는 크게 현장 시험시공에 의한 손상정도 파악과 인덱스 테스트를 기반으로 한 실내시험에 의한 손상에 의한 감소계수의 평가로 구분할 수 있는데 현재까지는 현장에서의 시험시공에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 최근 몇 년 동안 실내시험에 관한 연구들이 활발하게 진행되고 있다.

○ 토목섬유의 시공 시 손상에 대한 실내시험에 관한 연구에 관심이 쏠리게 되었으며 이러한 결과로 시공 시 손상에 대한 표준 실내시험법이 제정되었다. 그러나 이렇게 결정된 실내시험법은 모든 상황에서 동일한 시험 조건만을 제시하고 있어서 다양한 현장조건에 대한 시공 시 손상을 시뮬레이션하기에는 많은 어려움이 있다. 또한 실내시험이 정식 시험법으로 채택되고 실제로 이용된 기간이 매우 짧아 이 시험법에 대한 검증에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있지 않은 실정이며 이러한 결과로 많은 오류가 지적되고 있다.

○ 현재 국외에서는 이러한 현장시험시공의 실내시험화를 위하여 부단히 노력하고 있으며 모든 현장 조건을 시뮬레이션 할 수 있는 시험조건을 결정하기 위해 수많은 시행착오를 거치고 있으며 어느 정도 단계에 도달한 실정이다. 이에 따라 국내에서도 외국과의 경쟁력을 확보하기 위해서는 이에 상응한 연구와 개발이 시급한 현실이다.

2.1.2 국내 기술현황 및 전망

○ 국내 상황도 외국의 상황과 별반 다른 것은 없으며 오히려 시공 시 손상에 관한 각종 시방을 외국 시방의 단순 해석을 통하여 적용하고 있는 실정이며 최근 몇 년간 현장 시험시공을 통한 지오신세틱스 보강재 특히 지오그리드에 대한 시공 시 손상에 관한 연구를 시작하였다.

○ 국내에서의 토목섬유의 시공 시 손상에 관한 평가는 주로 현장에서 이루어지고 있으며, 시공 전·후의 물성변화정도만 실내시험을 통해서 평가하고 있다. 현장에서 이루어지는 시험시공 역시 그 현장에 국한되며 또한 이용된 토목섬유에 한정되기 때문에 여러 현장에서의 적용 가능성 평가할 경우 그만큼 경비와 시간이 많이 소비된다고 볼 수 있다. 국내에서 시공 시 손상에 관한 실내시험을 실행할 수 있는 시험기관은 총 1곳이며 그나마 시험기와 시험방법상의 오류가 많이 발견되어 실제로 시험에 의한 제품 평가는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

○ 차후 실내시험에 대한 연구와 평가가 계속적으로 진행될 것으로 판단되며 이에 따라서 토목섬유를 이용한 시공 시의 품질관리와 인증에 대한 보다 정확한 지식을 습득할 수 있으며 결과적으로 장기안전성이 더욱 증가된 설계 및 시공이 이루어질 것으로 예상된다.

2.2 기존 기술의 문제점

2.2.1 시공 시 손상의 개념

○ 토목섬유는 적용조건에 따라 다양한 시공법에 의하여 포설되며 시공 과정 동안 토목섬유에 부가되는 하중 이력 또한 각각 다르다. 대부분 시공 중 발생하는 토목섬유의 손상은 설계 시 고려한 하중조건보다 실제 응력이 큰 경우에 발생한다.

○ 시공 시 손상의 발생에 영향을 미치는 인자들은 크게 흙의 모난정도, 최대 입경, 다짐장비의 무게와 형태 그리고 다짐뚜게 등으로 분류될 수 있다. 이러한 인자들에 대한 표준값은 제시되어있지 않으며 다만 제조업체나 연구기관에서 시험을 통해 제시되는 강도의 손실은 0~30% 범위를 보이고 있다.

○ 이러한 토목섬유의 시공 시 손상에 대한 평가는 적용되는 분야가 다르고 시공과정에서 토목섬유에 부가되는 하중의 과정이 다르기 때문에 아직 표준화된 실내시험을 통해 그 특성을 평가하는 방법이 제시되고 있지 않다. 다만 해당 토목섬유의 상호비교를 위해서 선행연구가 진행되었으며 이때 이용된 실내시험법은 ASTM D 5818이다. 한편, 지오텍스타일의 시공 시 손상을 평가하기 위해 100여 군데의 현장에서 지오텍스타일이 포설된 직후 1시간 이내에 약 1.0m²의 샘플을 채취하여 손상정도를 평가한 연구가 Koerner 등에 의해 이루어 졌다. 샘플 채취과정은 ISO/DIS 13437에 의거하였다.

○ 대부분 지오텍스타일은 고속도로 기층 분리재로 사용된 상태였으며, 몇몇은 성토제방, 옹벽, 배수재, 침식방지 등에 사용된 상태의 지오텍스타일을 채취하였다. 이렇게 얻은 샘플과 사용하지 않은 지오텍스타일 샘플을 함께 시험하여 시공 시 손상 정도를 평가하였다. 다음 기계적 성질들을 평가 대상으로 시험하였다.

- 그랩 인장강도(3~6개/현장)
- 웨스팅강도
- 인열강도
- 파열강도
- 광폭인장강도

○ 위에서 기술한 바와 같이 각각의 현장에서 토목섬유의 파괴형태는 매우 다양하게 나타날 수 있으며, 실제로 토목섬유의 시공 시 손상 감소계수를 산출하기 위한 시험에서는 사용되는 토목섬유의 주 기능에 따른 시험법의 적용이 타당하다. 다시 말해, 토목섬유의 주 기능이 보강기능일 경우에는 시공 시 손상 시험전후의 인장강도를 측정하여 감소계수를 산출하여야 하며, 주 기능이 필터기능일 경우에는 시험 전후의 AOS나 투수특성을 평가하여 감소계수를 산출하여야 한다.

2.2.2 토목섬유의 파괴형태

토목섬유가 각종 토목구조물에서 이용될 때 주위의 여타의 환경에 의해서 재료의 파괴가 일어날 수 있으며, 그 파괴의 형태는 크게 ① 마모(abrasion), ② 쪼개짐(splitting), ③ 꿰뚫림(puncturing), ④ 응력에 의한 파단(stress rupture), ⑤ 섬유의 절단(fiber cutting), ⑥ 인열(tearing) 등의 여섯 가지로 분류할 수 있으며 다음 그림 2에서는 파괴의 형태를 나타내고 있다.

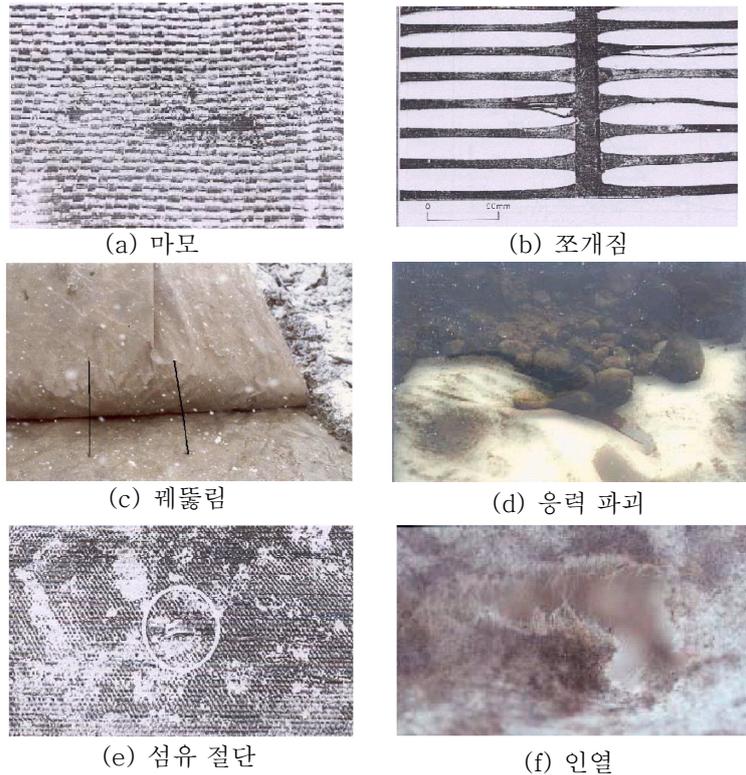


그림 2. 토목섬유에서 나타나는 파괴의 형태

2.2.3 토목섬유 시공 시 손상에 관한 평가방법의 고찰

가. 실내시험(Index Test)

▷ ASTM D 5818(;standard practice for obtaining samples of geosynthetics from a test section for assessment of installation damage)은

- 실제현장에 포설 된 시료의 회수방법에 대해 기술하고 있는 시험법.
- 단순히 시료의 채취방법만을 기술하고 있기 때문에 엄밀히 따지자면 시공 시 손상 전반에 관한 시험방법을 제시하는 시험법은 아님.
- 뿐만 아니라, 채취장소의 제한으로 인하여 현장전역에 걸친 전반적인 해석이 힘든 시험법.

▷ ENV ISO 10722-1(geotextile and geotextile-related products -- procedure for simulating damage during installation -- part 1)은

- 두개의 다짐상자 사이에 대상 토목섬유를 포설 한 다음 채움재를 넣고 다짐장비에 의한 다짐 후 물성 시험을 거쳐 시공 시 손상계수를 평가(그림 3).
- 사용되는 상자는 350×350×135 (mm)의 크기를 가지며 이용되는 채움재는 천연골재를 사용하지 않고 표면이 거친 합성재료(sintered aluminum oxide)를 사용함으로써 내구성능을 증가시켰을 뿐만 아니라 자연조건과 유사한 상황을 표출할 수 있게 하였음.
- 또한, 채움재의 입도분포는 10mm 체에서는 100%가 통과하고 5mm 체에서는 0% 통과.
- 다짐기는 진동다짐기를 사용하며, 시료는 다짐기에 의해서 진동수 1 Hz로 압력 5±5kPa ~ 900±10kpa의 크기로 다져지게 됨.
- 본 ENV ISO 10722 시험법은 현재 ISO TC 38 위원회의 검토과정에 있으며 차후 정식 ISO

시험법으로 승인될 예정이다.

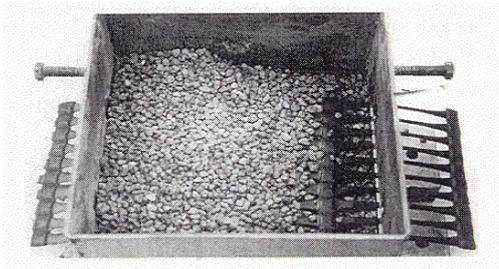
- 본 시험을 통해 평가되는 평가항목은 ΔR 이며 식(2)에서 나타내고 있음.

$$\Delta R = \frac{R_d}{R_o} \times 100 \quad (2)$$

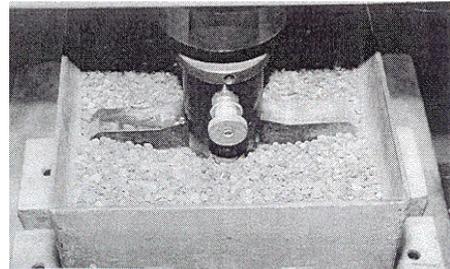
여기서, R_d = 손상된 시료의 물성 측정값,

R_o = 손상되지 않은 시료의 물성 측정값,

ΔR = 재료의 손상된 정도 값(퍼센트)



(a) 다짐상자



(b) 다짐장비

그림 3. ENV ISO 10722 -1 시공 시 손상 시험장비

▷ TRI 시공 시 손상 시험법

- TRI(texas research institute, U.S.A)는 미국의 텍사스 오스틴(Texas Austin)에 위치한 섬유와 화학분야의 시험기관으로 특히 토목섬유에 관한 시험분야에서는 세계최고의 수준을 자랑하는 기관임.
- TRI에서 시행한 시공 시 손상 시험은 기존의 시공 시 손상에 관한 연구자인 Watts와 Brady(1994)의 현장 시험방법과 결과에 그 기초를 두고 있으며 이를 응용하여 ASTM D5818 조건을 만족하도록 자체적으로 개발한 시험방법임.
- 규모가 1.07m × 1.32m × 12.5mm(t) 정도이며, 사용되어지는 골재는 현장조건을 고려해서 천연재료를 사용한다. 또한, 골재의 입도분포는 현장조건을 고려하여 그때의 상황에 따라 달라짐 (그림 4).



(a) 시료의 포설



(b) 다짐

그림 4. TRI 시공 시 손상 실외시험 모습

나. 현장시험(Field Test)

▷ TRL(transport research laboratory, U.K)의 Watts와 Brady(1994)는 시공 시 손상에 관한 논문 (geosynthetics: Installation damage and the measurement of tensile strength)을 발표하였다. 현재까지 현장에서 직접 시공 시 손상을 평가할 경우에는 이 방법에 크게 의존한다.

- TRL에서는 토목섬유의 단기강도에 미치는 시공 시 손상의 영향을 평가하는 연구를 실시하였음.
- 이 연구는 거친 조립의 자갈과 3종류의 직포, 보강띠 그리고 3종류의 지오그리드에 대해 실시되었으며, 200mm와 1000mm의 시료에 대한 인장강도를 실시하여 그 강도변화를 평가하였음.
- 이때 다짐의 영향을 다르게 하기 위하여 다짐의 영향을 아래와 같이 2단계로 나누어 다짐을 실시한 후 평가하였음.

㉠ 고속도로 시방을 만족하는 뒷채움 다짐

㉡ 다짐이 불량한 상태를 가정한 다짐

- 그림 5에서는 TRL의 연구에 이용되었던 시험장치의 모식도를 나타내고 있음.

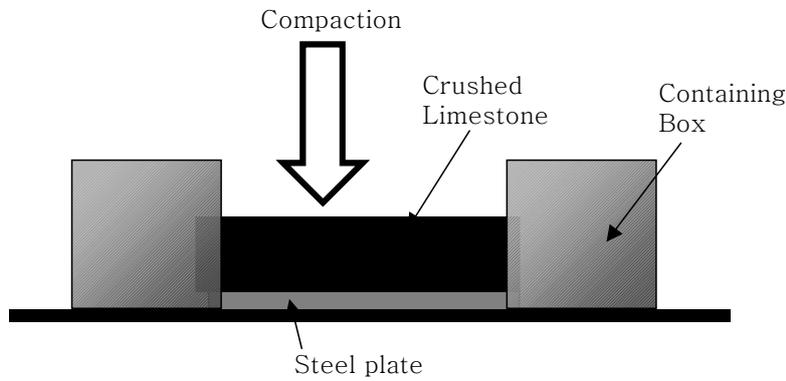


그림 5. TRL 시공 시 손상 실험의 시험장치 모식도

2.2.4 기존 시험법에서 나타나는 문제점

○ 이상에서 서술한 각각의 시험방법(실내 시험 및 현장 시험)은 표 4에 나타낸 바와 같은 문제점들을 지니고 있으며, 따라서 본 기술연구회에서는 이러한 문제점의 해결에 그 초점을 맞추고 있다.

표 4. 기존 시공 시 손상 시험방법의 단점

평가방법	문제점
실내시험 (Index Test)	<ul style="list-style-type: none"> · 한국 토질 조건 및 시공 조건 등을 고려한 실내시험 불가 · 생산, 시공/관리, 평가 업체에 공통으로 적용될 수 없음 · 현장시험과 실험실시험간의 상호 개연성이 없음
현장시험 (Field Test)	<ul style="list-style-type: none"> · 기술적으로 매우 정확한 데이터를 산출하나 경비가 많이 들고, 시간이 많이 소비되며, 다른 현장조건에 대한 충분한 데이터를 제시하지 못함

3. 개선방안

○ 기존의 시공 시 손상에 관한 시험법들의 한계를 파악하고, 다양한 현장조건을 고려하면서 경제적이고 합리적인 표준 시험법의 제정 및 보급하기 위해서는 다양한 현장조건을 고려하기 위해 먼저 시공 시 손상에 영향을 미치는 인자들에 대한 정확한 이해가 필요하게 된다. 표 5는 시공 시 손상에 영향을 미치는 일반적인 요인들에 대해 열거하고 있다.

표 5. 시공 시 손상에 영향을 미치는 일반적인 인자들

인 자	내 용
토양	강성(stiffness), 강력(strength)
건설장비와 시공절차	시공 중 발생하는 응력 시공 장비의 무게 다짐의 정도 채움의 두께
시공 현장의 기후	습도, 온도
채움재	입경(grain size), 각진 정도(angularity)
토목섬유의 물성	고분자 형태, 파이버 형태 제조공정 두께 단위중량

○ 토양과 시공 현장의 기후 그리고, 토목섬유의 물성은 인위적으로 바꿀 수 없는 인자이기 때문에 시공 시 토목섬유의 물성을 저해하는 중요한 요소는 채움재와 건설장비의 시공 절차가 된다. 실제로 현장조건에 따라 채워지는 채움재의 크기와 각진 정도의 종류가 매우 다양하기 때문에 예를 들면, 쓰레기 매립지의 경우 토목섬유를 포설하고 채움재로 양질의 모래를 사용하지만, 주변도로의 경우에는 입경이 더욱 큰 자갈을 포설하게 된다. 또한 토목섬유가 연약지반 필터재의 보호층으로 사용될 경우 토목섬유의 상층부로 바로 입경이 매우 크고 매우 각진 쇄석이 포설되게 된다. 이러한 이유로 다양한 입경과 각진 정도를 고려하는 것이 매우 타당하다.

○ 또한, 시공 시 사용되는 건설장비 또한 매우 다양한데, 예를 들면 보강토 옹벽의 시공의 경우에는 그 시공면적이 비교적 협소하기 때문에 콰이어차량이나 롤러다짐차량은 이용하지 못하고 사람이 직접 운반할 수 있는 소형진동다짐기를 사용하게 된다. 또한, 규모가 매우 방대한 도로나 쓰레기 매립지의 시공의 경우에는 이런 진동 다짐기는 사용하지 않고 크기가 매우 큰 콰이어차량이나 롤러다짐차량이 이용하게 되므로 각각의 시공 조건에 따라 토목섬유에 미치는 하중의 종류도 다양하게 된다. 따라서 채움재와 건설장비의 시공절차를 다양하게 고려하여 실제 인덱스 테스트 시 사용되는 채움재와 다짐조건을 다양하게 함으로써 개선된 시험방법을 제시해야만 한다.

○ 이러한 시공 상의 중요한 변수를 고려하기 위하여 중요한 두 가지 개념을 도입해야 한다. 토목섬유의 시공 시 파괴의 형태는 매우 다양하다. 시공 시 손상을 고려하지 않아도 되는 상황도 있으며, 시공 시 손상을 반드시 고려해야 상황이 있다. 다시 말하면, 시공 시 손상이 일어날 확률이 매우 미소한 경우와 손상이 일어날 확률이 매우 큰 경우가 있게 된다. 뿐만 아니라, 파괴가 일어나더라도 토목섬유의 손상정도가 매우 미흡한 경우가 있으며, 반대로 손상정도가 매우 심각한 경우가 있다. 따라서 이러한 파괴의 정도를 단계별로 나누기 위해 파괴의 수준을 결정해야 하며, 이때 사용된 파괴의 수준 결정하기 손

상의 가능성(possibility for damage)과 손상의 정도(consequence of damage)의 두 가지 개념을 도입해야 한다. 표 6은 이러한 가능성과 손상의 정도를 설명하고 있다. 또한 표 7에서는 각각의 현장조건에서 발생할 수 있는 파괴의 수준을 표 6을 근간으로 분류했으며, 각각의 조건에 따른 CQA/CQA의 방법에 대해 설명하고 있다.

○ 또한 이러한 두 가지 개념을 근간에 두고 새로운 시험법의 표준을 제시해야 하며, 각각의 현장에 적합한 시험방법을 설정한 후 실내시험을 실시한 후 결과 데이터를 실제 현장에서의 시험 결과 값과 비교 분석한 후 오류를 수정하는 과정을 통하여 표준을 제정함으로써 결과적으로 현장조건을 완벽하게 시뮬레이션 할 수 있는 시험법의 확립이 가능하게 된다.

표 6. 손상가능성과 손상정도의 조합을 통한 파괴의 수준

Possibility for damage	Consequence of damage		
	Low	Medium	High
Low	No special precautions	Specification of characteristics	Specification of characteristics Pre installation trials
Medium	Specification of characteristics	Specification of characteristics Pre installation trials	Specification of characteristics Pre installation trials Control during installation
High	Specification of characteristics	Specification of characteristics Pre installation trails	Specification of characteristics Pre installation trials Control during and after installation and construction

표 7. 각각의 시공조건에 따른 수준의 결정과 CQC/CQA

Function and type of structure	Possibility for damage	Consequence of damage	Level of evaluation
Separation in road, soft subsoil, gravel fill	M	L	Specification of characteristics
Slope surface erosion control	L	L	No special precautions
Reinforcement in concrete block retaining structure, sand backfill	M	M/H	Specification of characteristics Pre installation trails
Separation and filter in waterways	M	M	Specification of characteristics Pre installation trails
Reinforcement in bridge abutment, crushed rock backfill	H	H	Specification of characteristics Pre installation trails Control during and after installation and construction

4. 기대효과

○ 현재 국내의 사정상 시공 시 손상에 대한 감소계수 산출 시 전적으로 현장 시험시공의 결과 값에 의존하는 실정이나 본 기술연구회의 표준화 작업을 통해 시험시공 시 소요되는 시험부지, 시험기간, 시험비용 등의 확실한 절감이 예상된다.

○ 표준화 작업을 통한 실내시험법의 확립이 이루어 질 경우 실험실에서 여러 가지 현장조건을 모식화 할 수 있어 다양한 현장 조건으로의 광범위한 적용이 매우 용이해질 것으로 기대된다.

○ 현재 제시되고 있지 않는 시공 시 손상에 대한 시공 기준을 제시할 수 있어 제품의 품질관리/품질인증 뿐만 아니라 지오신세틱스가 적용되어지는 구조물의 시공관리 및 시공 품질인증 작업을 동시에 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

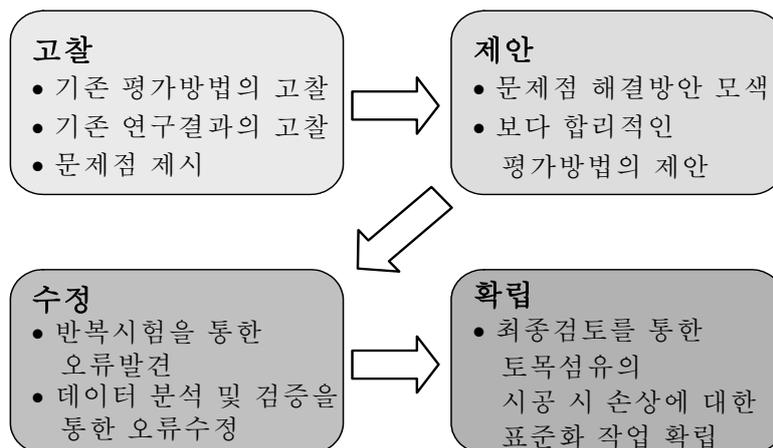
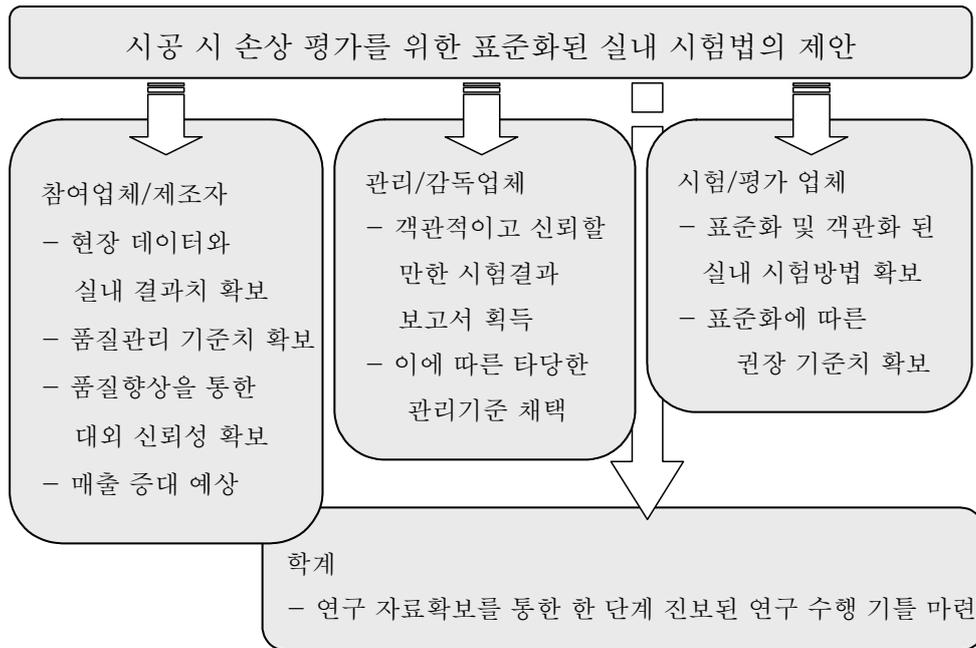
○ 토목섬유의 적용에 있어서 매우 중요한 인자인 시공 시 손상에 대한 평가의 표준이 적립될 경우 제조자의 관점에서 고려할 경우, 제품의 생산과 이를 위한 MQC/MQA사이의 기간과 비용이 매우 많이 드는 것이 현실이 시점에서 표준 실내시험을 통한 MQC/MQA의 비용과 방법이 보다 간소해질 것으로 판단되어진다. 따라서 이의 결과로 제조자는 MQC/MQA에 대한 비용과 시간을 절감함으로써 생산비용의 절감을 꾀할 수 있으며, 이에 따라 제품의 품질향상과 결과적으로 현재 외국의 토목섬유 제품의 수출이 매우 큰 비중을 차지하는 국내 시장에서의 점유율 향상과 가격과 품질 경쟁력 확보를 통한 해외수출이 예상되어진다.

○ 토목섬유의 시공 시 손상에 대한 평가를 실제현장에서 실시하는 현장시험시공의 경우 시험부지, 인력, 다짐장비, 실내시험 그리고 성적서를 통한 단기 인증(6개월~1년) 등을 고려했을 때 최소 500만원/샘플의 비용이 예상된다. 이에 반하여 실내시험의 경우 일단 시험장치만 제작되면 그에 따른 부대유지비용과 시험비용은 매우 간소해질 것으로 판단된다. 이런 관점에서 현장시험의 실내 시험화 함으로써 매우 커다란 경제적 시간적 이득을 얻을 것으로 고려된다. 중소기업이 주를 이루는 국내 토목섬유 제조의 측면에서 고려할 경우 현장시험시공의 비용이 매우 부담스러운 것이 사실이다. 따라서 제조자의 품질관리 및 시공자의 시공관리의 측면에서 비용이 적게 들며 절차도 매우 간소한 실내시험의 표준화작업이 절실하다.

○ 국내에서 토목섬유를 이용한 구조물의 설계에서 설계인자에 대한 고찰, 특히 시공 시 손상에 대한 고찰을 시발로 하여 나머지 항목(; 크립트 인자, 화학적 분해 인자, 생물학적 분해 인자, 기타 등등)에 대한 추가적인 고찰의 병행이 가능할 것으로 기대된다.

○ 현재 선진국(일본, 북아메리카, 유럽 등)에 많이 뒤쳐져 있는 토목섬유분야에서 선진기술과 어깨를 나란히 할 수 있는 발판을 가질 수 있으며 지속적인 공동연구, 학술교류 그리고 협력사업 등의 국제교류를 실시를 통하여 세계적인 수준의 기술도약이 가능해질 것으로 기대된다.

○ 유용한 데이터와 자료들을 제공함으로써 시공 시 손상에 기본 개념 확립을 단시일 내에 이룰 수 있게 해줄 뿐만 아니라 한 단계 발전된 연구를 추진할 수 있는 발판을 마련할 수 있을 것으로 예상되며 특히 실제 시공 현장에서는 토목섬유의 적용 시 기준이 되는 평가항목으로 바로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.



5. 결 언

○ 기존의 현장 및 실내 시험의 결과의 정확한 고찰을 통해서 현장과 실내의 상호 연계성을 파악하고 이를 기반으로 새로운 표준의 시험기준의 확립이 순차적으로 이루어짐으로써 보다 경제적이며 효율적인 표준시험법의 제정이 가능해지리라고 판단된다.

○ 제정된 표준시험법의 검증과정에서 보다 많은 추가시험이 필요하며, 이때 각각의 시험절차와 과정에 대한 확실한 시행착오를 통한 오류 수정/보완이 요구된다. 표준시험법 역시 기존의 현장시험 결과 값과의 비교를 통하여 보다 완벽한 시험법의 확립이 가능해 질것으로 판단된다.

○ 현장시험에서는 토목섬유 재료 자체에 지식이 전무(全無)한 시험시공자들에 의한 토목섬유에 대한 별도의 손상이 예상되어지며 완벽한 시험결과를 위하여 현장시험실무책임자의 각별한 주의가 요구된다. 또한 실내시험기의 제작의 경우 시공 기계의 메커니즘을 완벽하게 이해하고 있는 엔지니어에게 시험기 제작에 관하여 의뢰를 실시하여 시험기제작에 따른 장애요소를 해결함이 바람직하다.