

대나무 망의 역학적 특성분석

The Analysis of the Mechanical Characteristic of Bamboo Net

양 기 석¹ Yang, Kee-Sok

이 송² Lee, Song

Abstract

Examining the mechanical characteristic of the bamboo net structure is necessary in order to evaluate the influence of bending rigidity of bamboo on bearing capacity, however, there is no equipment to examine such mechanical behavior of the bamboo net structure in the world. In this study, a specific equipment to examine stress-strain behavior characteristics of the structure of bamboo net is developed. In comparison with Bamboo's stress-strain behavior characteristic and vertical stress caused by various dozer equipments, the case of estimating minimum embedded depth considering ground settlement is analyzed.

요 지

대나무의 휨 강성이 지지력 증대에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 대나무 망 구조체의 역학적 특성에 대한 시험이 필요하나, 현재까지 이러한 시험을 실시할 수 있는 장치는 개발되어 있지 않은 상태이다. 이에 본 연구를 통하여 대나무 망 구조체의 응력-변위 거동특성을 시험할 수 있는 장치를 개발하였으며, 대나무 망 구조체의 역학적 특성시험과 장비별 접지압과의 비교를 통해 대나무 망으로 보강한 지반에서 시공중 변위가 고려된 최소 복토두께 산정에 대하여 분석하였다.

Keywords : Bamboo, Bearing capacity, Bending rigidity, Fastening material, Surface improvement, Tensile strength, Ultra soft ground

1. 서 론

준설매립지반의 지반개량을 위한 표층처리공법 적용 시 발생 가능한 문제점들을 최소화하여 지반개량 품질 확보와 경제성이라는 두 가지 목적을 달성할 수 있는 보다 개량되고 실용적인 표층처리 공법 개발이 요구되고 있다. 이를 위해 건설재료로서 재료적 특성이 우수하고 국내·외적으로 활용된 실적이 있으며 국내에서 자생 또는 재배되고 있는 대나무를 보강재로 활용하는 표층처리 공법이 개발·적용되고 있다(양기석, 강명찬, 2004).

외국의 경우 해성점토, 이탄, 광산 슬라임 등의 매립에 의해 형성된 초연약 매립지반의 복토시공시 장비주행성 확보를 위한 대나무망의 보강 시공사례를 통해 그 효용성이 보고되었다(Toh 등 1994). 또한 실내시험을 통해 대나무망 보강시의 지지력효과 확인 및 강성보강제에 의한 파괴 메커니즘의 변화로 인해 기존이론식의 적용성 한계 및 새로운 해석모델의 필요성이 제기되었다(Yusuf 등 1989).

이와 같이 대나무를 보강재로 활용시의 지지력 증대에 따른 효용성은 보고되고 있으나, 재료특성이 반영된

1 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 박사수료 (Member, Completion Ph.D Course of Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)

2 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof. of Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

보강 메커니즘에 근거한 지지력 평가이론 및 설계기법이 미흡하고, 실제현장에서의 정량적인 측정값이 보고되어 있지 않아 많은 연구보완이 요구되는 실정이다.

본 연구는 대나무망의 강성이 초연약지반의 지지력 증대에 미치는 영향을 파악하기 위한 기초적 연구로, 대나무 망의 구조적 특성을 확인할 수 있는 시험장치를 개발하고 지반위에 지지되지 않은 순수한 구조체만의 변위에 따른 응력을 측정하여 대나무 망의 역학적 거동 특성을 평가함으로써 대나무를 이용한 표층처리 공법 설계시 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 보강재에 의한 지지력 증대효과

초연약 점성토 지반에서 토목섬유나 대나무망과 같은 보강재 설치의 목적은 복토재와 점토의 혼입에 따른 복토재의 연약화를 방지하고, 보강재의 인장 및 휨강성 발현을 통한 표층부의 지지력 증대를 통해 안정적인 주행성을 확보하는데 있다.

이 중 보강재를 통한 지지력 증대에 대한 기본 원리는 재료의 강성 특성 평가방법에 따라 차이가 있다. 예를 들어 보강재로 보강된 연약지반 위에 하중을 재하할 경우 기초판의 휨강성이 매우 큰 경우에는 국부적인 재하하중이 균등하게 분포되므로 지반에서의 반력도 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 등분포 반력이 나타난다.

반대로 sheet와 같이 기초판의 휨강성이 전혀 없는 경우 하중은 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 재하부에 집중되며 침하와 지반반력 또한 재하부에 집중된다.

기초판이 인장과 휨강성을 함께 보유하고 있는 경우, 그림 1(c)와 같이 그림 1(a)와 그림 1(b)의 중간정도로

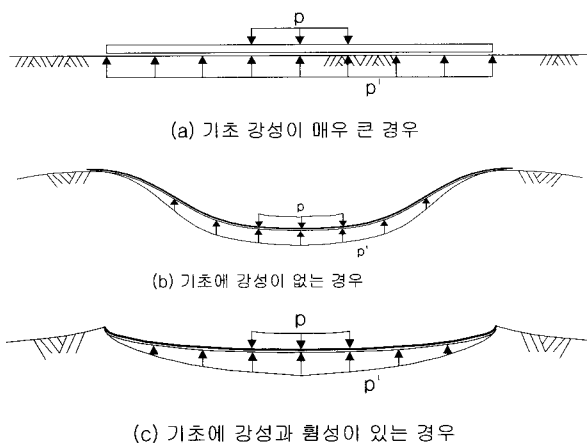


그림 1. 기초의 특성에 따른 처짐형상

하중이 분산된다. 따라서, 지반반력은 하중부에서 크고 양단으로 갈수록 감소하며, 휨강성의 영향으로 인해 국부적인 침하는 크게 일어나지 않으나 강성이 매우 큰 경우에 비해서는 중앙부의 침하가 양단에 비해 조금은 크게 나타날 것이다.

앞에서 살펴본 바와 같이 보강재 강성, 지반과의 마찰, 원지반 전단강도, 재하부 근입에 따른 압성토 효과, 근입효과 등의 지지요소 중 보강재의 휨강성이 침하 및 지지력 메커니즘에 가장 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

따라서, 보강재로 표층을 보강하고 복토를 실시한 지반의 지지력특성을 분석하기 위해서는 보강재의 휨강성에 따른 지지력 증대효과에 대한 연구가 반드시 필요하다 하고 할 수 있다.

휨강성이 지지력에 미치는 영향을 평가하기 위한 국내외 연구에 대한 검토결과, Matsunaga, S 등(1988)의 대나무 시편에 대한 인장시험, 대나무 결속부 인장시험, 시험시공을 통해 침하저감 및 지지력 증대효과에 대한 연구, Toh, C. T 등(1994)의 말레이시아 연약지반 위에서 시험시공결과 분석, Yusuf, M. Z 등(1989)의 직경이 매우 작은 대나무를 이용한 실내모형실험 및 대나무 길이에 따른 휨강성 시험을 이용한 지지력 증대효과 연구 등이 있으나, 대나무로 표층을 보강할 경우 휨강성의 영향으로 인해 하중분산효과 및 침하저감, 지지력 증대효과가 발휘된다고 강조하고 있으나, 정량적인 효과는 제시되지 않았다.

C. C. Huang과 F. Y. Menq(1997)는 지오그리드를 이용한 축소된 모형실험 및 원심모형실험결과에 대한 분석을 통해 하중분산으로 인한 지지력 증대효과에 대한 경험식을 제안하였으나, 보강재가 강성이 대나무에 비해 매우 작은 지오그리드에 한정되어 있고, 시험조건에 따른 한계로 인해 제한적 조건에서의 경험식이라는 문제점을 가지고 있다.

3. 대나무 망의 구조적 특성시험

3.1 시험개요

현행 표층처리공법에 활용되고 있는 보강재의 종류에는 토목섬유, 지오그리드, 대나무 망 등이 있다. 이러한 표층보강재 중 토목섬유나 지오그리드는 인공적인 재료를 이용한 공장제품으로 재료적 특성이 명확하고

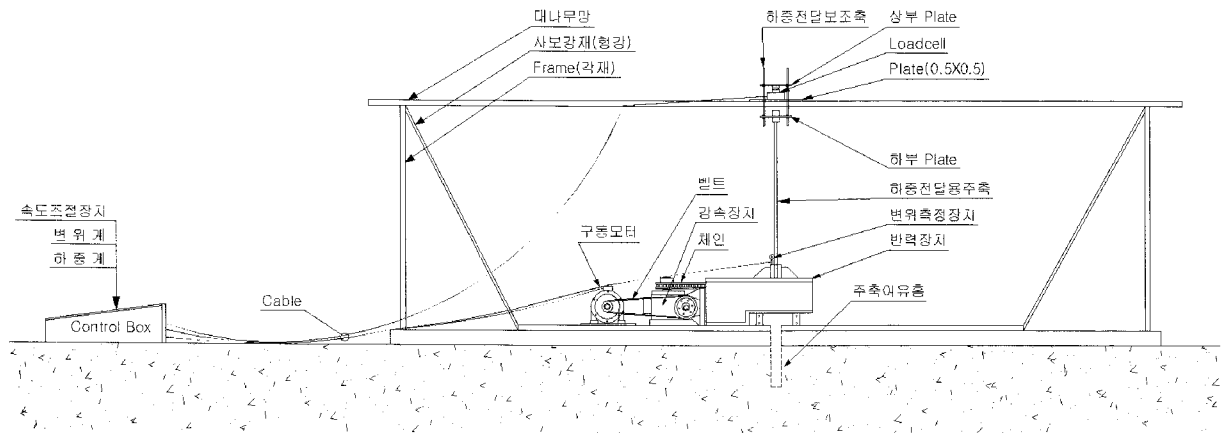


그림 2. 재하시험장치 개념도

휨강성보다는 인장강도에 의해 보강효과가 발휘되는 특성을 가지고 있다. 하지만, 대나무 망을 이용하는 경우에는 현장에서 치수 및 시편인장강도 시험을 통해 품질관리가 이루어지고 있으나, 공장제품에 비해 재료적 특성이 일정하지 않고 결속방법에 따른 거동특성에 관한 연구사례가 많지는 않지만, 다른 재료에 비해 휨강성이 매우 큰 것으로 알려져 있다.

특히, 대나무 망을 이용하여 보강된 지반에 하중이 작용할 경우 대나무 개체가 개별적으로 하중에 저항하지 않고, 일정 범위내의 개체들의 연속적인 거동을 통해 하중을 지지하게 된다. 따라서, 대나무 재료의 거동특성뿐만 아니라 대나무 망의 거동특성에 대한 연구가 반드시 필요하다고 할 수 있다.

따라서, 이를 위하여 현장에서 결속재료 및 대나무 망의 간격을 달리한 현장 부재력 시험을 통해 조건별 응력-변형 거동에 대한 측정 및 평가를 통해 대나무 망의 역학적 특성에 대한 규명 및 설계기법 개발의 기초자료로 활용하고자 한다.

3.2 시험장치

가. 시험장치 개발

대나무 망 구조체가 표층보강시 지지력 증가에 미치는 영향 분석을 목적으로 순수한 구조체만의 응력-변위 거동을 측정할 수 있는 별도의 시험장치를 개발하였다.

대나무 구조체의 시험은 대나무 망의 특성상 실내보다는 실외에서 실시하여야 하므로 시험결과가 실내와 같은 정도의 신뢰성을 확보하여야 하는 것을 개발의 기본 방향으로 결정하였다. 개발장치는 시험중 하중재하

속도를 일정하게 제어할 수 있는 기계적 장치를 도입하여 재하속도를 1cm/min~4cm/min 범위 내에서 요구하는 저속상태를 유지하도록 하고, 시험장치의 구조체는 시험기 하중과 대나무의 하중을 충분히 지지할 수 있도록 강재를 이용하여 가로 7m, 세로 7m의 크기로 제작하였다. 하중 재하는 최대 20ton의 연직하중을 재하할 수 있는 로드셀을 도입하였다.

하중재하시 로드셀과 하중전달 주축이 일직선을 유지하도록 하중전달 보조축을 채택하고, 주축의 하부공간을 충분히 확보하여 대변형 조건에서도 시험이 가능하도록 하였다. 개발된 장치의 개념도는 그림 2와 같다.

국내의 문헌자료에 대한 검토결과, 대나무 망 거동특성의 분석을 위한 유일한 장치인 것으로 나타났으며, 대형 구조체에 대한 실험을 위한 장치로 본 시험장치가 적절하였음을 알 수 있었다. 금회 시험시 나타난 문제점으로는 끝단부의 구속조건을 시험필요에 따라 고정조건과 자유조건으로 선택할 수 있도록 하는 장치와 거치대 폭의 크기 조정이 용이하도록 하여 구조체의 크기에 따른 영향의 검토가 가능하도록 하기 위한 일부 장치의 보완이 필요할 것으로 분석 되었으며, 현재는 보완검토가 완료되어 향후 동 시험시에는 보완된 사항을 적용할 것이다.

나. 시험시료의 제작

대나무 망의 역학적 특성을 파악하기 위한 시험시료의 규모는 시험장치의 대나무 망 거치부의 크기를 고려하여 가로 9m, 세로 9m의 규모로 제작하였다.

대나무와 대나무의 결속은 효과적인 결속방법을 확인하기 위하여 철선, PP밴드, Cable tie 등 3가지의 결속

재료로 제작하였으며, 결속부의 위치는 현장에서의 복토 시공시 장비의 주행방향이 불규칙함을 고려하여 하중이 겹이음부에 직접 작용하는 경우와 순수부재에 작용하는 경우를 상정하여 겹이음부를 중앙부와 외곽부로 구분하였다.

표 1은 시험시료의 제작 수량 및 시험횟수를 보여주고 있다.

3.3 시험방법

가. 시험 준비

시험시료의 준비는 표 1을 기준으로 중앙부 겹이음 7조, 외곽부 겹이음 4조로 하여 총 11조를 준비하였다. 효과적인 결속재료를 확인하기 위하여 먼저 중앙부 겹이음에 대한 시험을 실시하였고, 하중분산 효과와 재하

표 1. 시험시료의 제작

구 분	결속재료	시료수량	간 격(m)
중앙부 겹이음	철 선	4조	0.4×0.4, 0.5×0.5, 0.7×0.7, 1.0×1.0
	Cable tie	2조	0.5×0.5, 1.0×1.0
	PP밴드	1조	1.0×1.0
외곽부 겹이음	철선	4조	0.4×0.4, 0.5×0.5, 0.7×0.7, 1.0×1.0

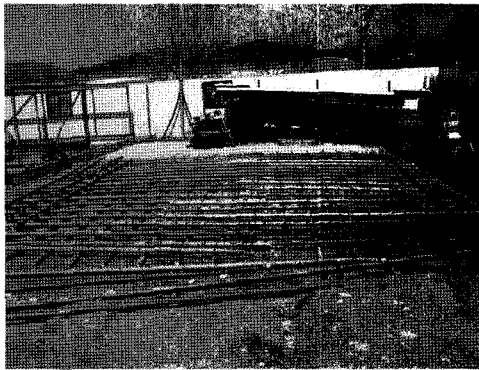


사진 1. 대나무망 제작전경

시 안전성이 확인된 철선만을 이용하여 외곽부 겹이음에 대한 시험시료를 제작하였다. 사진 1은 제작 완료된 대나무 망을 보여준다.

나. 대나무망 거치

대나무 망의 시험대 거치는 대나무의 특성상 중량보다는 차지하는 면적이 넓기 때문에 거치시 안전성에 문제가 예상되어 지게차를 개조하여 사진 2와 같이 시험장치 위에 안전하게 거치시켰다.

다. 계측준비

사진 3과 4에서 보는바와 같이 규격이 0.5m×0.5m인

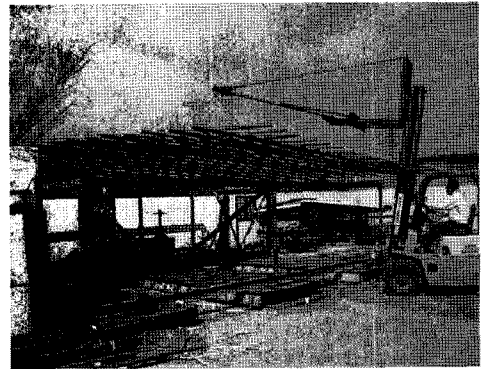


사진 2. 대나무망 거치전경

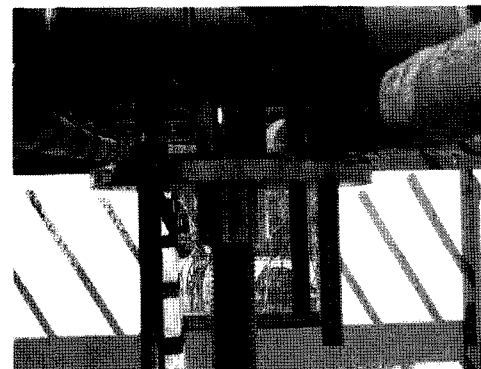
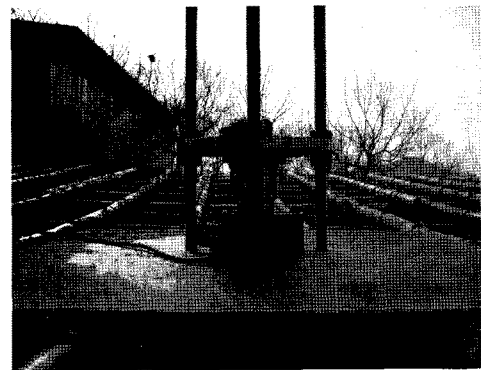


사진 3. 재하판, 로드셀, 하부Plate 설치전경

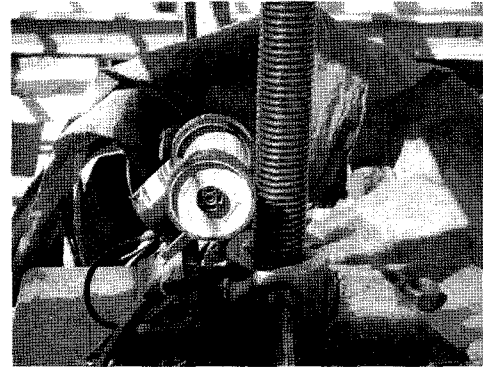
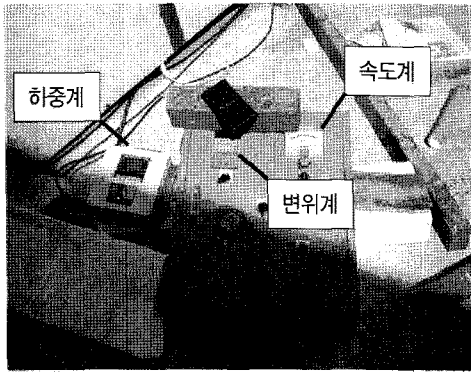


사진 4. Control Box, 변위측정Gauge

재하판, 연직하중 20ton까지 측정 가능한 로드셀, 하중 재하시 실시간으로 변위를 측정할 수 있는 변위 측정장치, 재하속도의 제어조절 장치와 변위계와 하중계가 포함된 Control Box를 안전한 위치에 설치하였다.

계측을 위한 영점조정은 시험의 목적이 현장포설 상태에서의 역학적 특성 확인이므로 시험시료의 거치후 자중만에 의한 변위가 종료된 후에 계측장비를 조정하였다.

라. 시험실시

구동모터, 감속장치 등 속도제어 장치를 이용하여 하중전달 주축의 하향속도를 항상 2cm/min로 작동시켜 상부의 로드 셀에 하중이 작용하도록 하고, 하중이 가해짐과 동시에 1분 간격으로 변위, 작용하중을 측정하였다. 하중 작용에 의해 대나무 망이 파괴될 때까지 재하를 실시하고, 현장에서 발생할 수 있는 대나무 망의 파괴 영향을 분석하기 위하여 하중을 완전히 제거한 후 동일한 과정으로 재압축 시험을 실시하였다. 대나무 간격 0.7m이상 간격의 경우에는 1차 압축후 하중제거시 자중에 의한 변위량 과다와 거치부와 대나무의 마찰력으로 추정되는 저항 때문에 원상회복이 되지 않아 재압축 시험은 실시하지 못하였다.

4. 대나무 망의 부재력 특성평가

4.1 하중-변위 특성

대나무 망의 간격과 결속재료를 달리하여 실시한 총 11case에 대한 하중-변위 특성 결과는 표 2와 같으며, 대나무 망에 작용하는 최대 연직하중은 대나무 망의 간격에 따라 0.21ton~1.1ton의 범위로 나타났다. 시험결

표 2. 시험 조건별 최대하중-변위

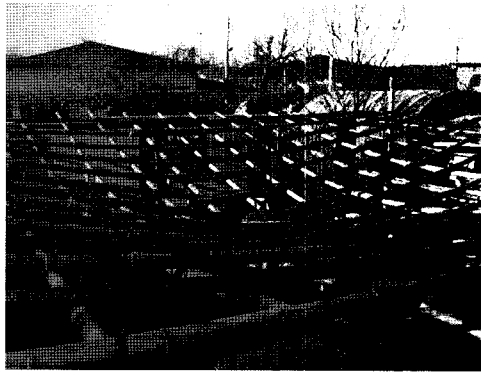
구분	결속재	최대하중(ton)		변위(mm)		비고	
		압축	재 압축	압축	재 압축		
0.4×0.4	철선	1.10	1.05	599	595	중앙결속	
0.4×0.4		0.59	0.51	500	358	외곽결속	
0.5×0.5		0.75	0.68	604	424	중앙결속	
0.5×0.5		0.57	0.42	430	464	외곽결속	
0.7×0.7		0.45	0.46	453	409	중앙결속	
0.7×0.7		0.33		342		외곽결속	
1.0×1.0		0.37		498		중앙결속	
1.0×1.0		0.33		477		외곽결속	
0.5×0.5		Cable tie	0.42		346		중앙결속
1.0×1.0			0.27		481		중앙결속
1.0×1.0	PP밴드	0.21		181		중앙결속	

과 대나무 간격의 크기와 작용 연직하중의 크기는 반비례하는 경향을 나타냈으며, 최대 연직하중 작용시의 변위는 181mm~604mm의 범위로 나타났다.

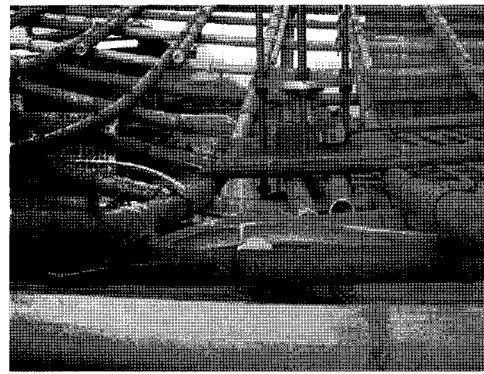
최대연직하중 측정이후 하중을 완전히 제거한 후 재압축을 실시한 결과 간격별로 최대 연직하중은 0.46ton~1.05ton의 범위로 나타났다. 이는 초기 최대 연직하중의 73%~95%까지 재하가 가능함을 의미하는 것으로 설계 적용 허용 지지력과 장비 접지압의 상호관계를 결정하는데 매우 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.

초기 압축시와 재 압축시 최대 연직하중의 차이가 근소한 사유는 대나무 망에 작용하는 최대 연직하중 도달시 대나무의 파괴는 일반 구조용 재료에서 나타나는 절단이나 인장파괴가 아닌 재료 특성에 의한 줄파괴가 사진 5의 (b)와 같이 발생함으로 인해 파괴 이후에도 중앙부 부재의 휨저항 및 파괴되지 않은 인접부재의 저항에 의한 것으로 판단된다.

따라서, 대나무 망 포설 후 시공장비의 직접접촉 및



(a) 변형



(b) 줄파괴

사진 5. 시험후 대나무 망 변형과 파괴전경

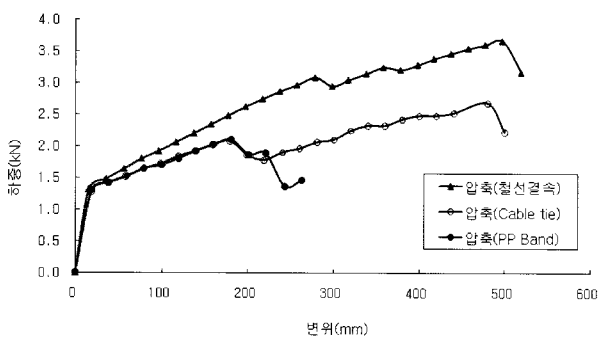


그림 3. 결속재별 대나무 망(간격 1.0m×1.0m)의 하중-변위곡선

집중하중 등의 영향으로 인해 일부부재의 파손이 발생 하더라도 지지력에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되며, 부재력 저감계수 산정시 기초자료로 활용이 가능할 것으로 고려된다.

대나무 망의 간격을 동일하게 하고, 연결부에 사용되는 결속재료를 달리한 실험결과 강성효과가 제일 적을 것으로 예상되는 1.0×1.0m 간격의 경우 철선 결속시는 0.37ton, Cable tie는 0.27ton, PP밴드는 0.21ton으로 철선의 경우가 가장 크게 측정되었다.

철선 결속의 경우 하중 증가에 따른 철선의 탈락이 없는 상태에서 철선에 작은 변형이 발생하였고, 결속력은 3종류의 재료 중 가장 뛰어났다. Cable tie는 하중 증가에 따라 대나무의 자체의 파괴보다 tie의 고정부가 먼저 파괴되었으며, PP밴드의 경우는 고정부가 느슨해지고 밴드가 신장되는 등의 문제가 발생하였다. 따라서, 대나무의 결속재료는 철선이 가장 우수하다는 것을 알 수 있었다.

이로부터 철선 이외의 재료는 하중 재하시 전체 대나무 망 시스템으로의 하중분산 기능과 망 구속력이 미흡할 것으로 평가된다.

그림 3은 각 결속재의 특성이 반영된 대표적인 시험

결과를 나타내고 있다.

4.2 휨강성과 접지응력

4.2.1 휨강성에 따른 지지력

K. H. Khing 등(1994)은 지오그리드로 보강된 지반에 대한 실내시험결과로부터 보강재로 보강된 지반에 대한 지지력(q_u)은 원지반 점토에 의한 지지력($q_{u(c)}$), 복토층의 전단저항에 의한 지지력(Δq_s), 보강재에 의한 지지력(Δq_g)의 합으로 표현될 수 있다고 주장하였다. 대나무 망으로 보강된 지반에서의 지지력 또한 동일한 방법으로 표현할 수 있으며, 보강재에 의한 지지력은 인장강도에 따른 지지력과 휨강성에 따른 지지력으로 구분할 수 있을 것이다.

따라서, 원지반 점토 및 복토층의 영향이 제외된 대나무 망 자체의 휨강성으로 인한 저항력을 검토하기 위해 금회 실시된 시험시 대나무 망에 작용하는 하중과 사용된 재하판 면적으로부터 시험 조건별 응력-변위특성을 평가하였으며, 압축시 변위과다와 거치부와 대나무의 마찰에 따른 저항으로 인해 재압축 시험이 이루어지지 못한 1.0m×1.0m 간격과 압축 및 재압축 시험시 최대하중이 유사하게 평가된 0.7m×0.7m 간격의 대나무 망에 대해서는 실제 현장에서 적용사례가 적은 점을 고려하여 평가시 제외하였다. 평가결과, 간격이 좁을수록 응력-변위관계 그래프의 기울기가 커지고, 최대응력 또한 커지는 것으로 나타났다. 또한, 표 2의 하중-변위 관계에 따르면 동일한 간격에서 중앙부결속 조건의 최대응력이 외곽부결속 조건에 비해 크게 나타나고, 간격이 넓어질수록 그 영향은 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 하중을 재하판 크기로 나눈 응력-변위 관계에서도 동일

표 3. 시험조건별 최대응력-변위

구분	결속재	최대응력 (tf/m ²)		변위 (mm)		비고
		압축	재압축	압축	재압축	
0.4×0.4	철선	4.41	4.18	599	595	중앙부결속
0.4×0.4		2.37	2.02	500	358	외곽부결속
0.5×0.5		2.99	2.72	604	424	중앙부결속
0.5×0.5		2.27	1.66	430	464	외곽부결속

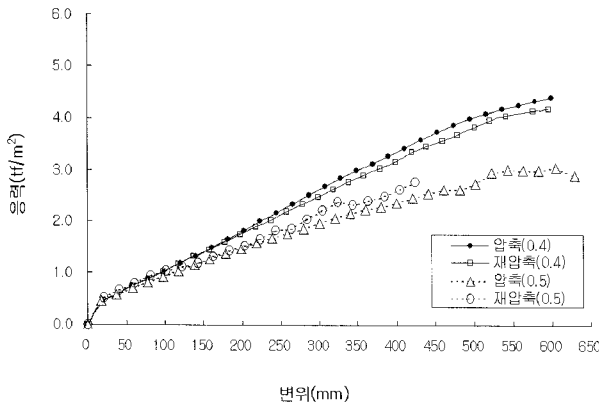


그림 4. 대나무 망의 응력-변위곡선

한 경향이 나타났다. 이러한 경향은 대나무망과 재하판의 강성차와 시험 중 30cm 이상의 대변위에 따른 재하판 모서리에서의 전단응력, 간격이 좁을수록 대나무망 강성에 따른 저항력 증대 등의 영향으로 인해 재하판에 인접한 부분의 국부적인 지지력 증대효과가 시험에 영향을 미친 것으로 판단된다. 하지만, 실제 현장의 경우 상부 복토층과 대나무 망의 강성차이와 응력분산효과 등의 영향으로 인해 재하위치에 따른 영향이 크지 않을 것으로 판단된다. 국내에서 일반적으로 이용되고 있는 간격조건에서의 압축 및 재압축시 휨강성에 따른 응력-변위에 대한 평가결과는 표 3 및 그림 4와 같다.

급히 개발된 장치를 이용하여 다양한 조건에 대한 연구를 통해 대나무의 휨강성이 지지력에 미치는 영향에 대한 분석이 가능할 것으로 판단된다.

4.2.2 접지응력

원지반이 양호한 경우 장비의 주행성 판단을 위한 표층처리지반에서 장비진입에 따른 접지응력은 토압계 등의 계측기를 이용하여 측정할 수 있으나, 준설패입점토와 같은 초연약지반인 경우 낮은 전단강도와 소성유동 등의 영향으로 인해 접지응력 측정이 곤란하여 일반적으로 식 (1)을 이용하여 산정한다.

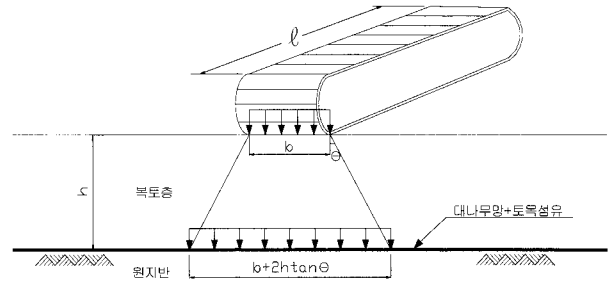


그림 5. 시공장비에 의한 접지응력 모식도

표 4. 복토 두께별 장비의 충격계수

복토두께 (cm)	충격계수 (α)
30 이하	0.3
30 ~ 60	0.2
60 ~ 90	0.1
90 이상	0.0

표 5. 복토 장비별 접지응력

구분	복토두께 (m)			
	0.0m	0.5m	0.9m	1.5m
4톤급 습지 불도저	1.95	1.88	2.05	2.93
7톤급 습지 불도저	2.62	1.96	2.24	3.04
9톤급 습지 불도저	3.59	2.38	2.48	3.16
19톤급 습지 불도저	5.80	3.42	3.13	3.54

$$\sigma = \frac{W(1+\alpha)}{2(b+2h \cdot \tan\theta)(l+2h \cdot \tan\theta)} + \gamma_t \cdot h \quad (1)$$

여기서, σ 는 접지응력, W 는 장비의 중량, B 는 궤도의 접지폭, l 는 궤도의 접지길이, h 는 복토두께, γ_t 는 복토재의 단위중량, θ 는 응력분산각, α 는 복토두께별 충격계수를 말하며, 충격계수는 표 4와 같다.

식 (1)과 표 4를 이용하여 장비별 복토두께에 따른 장비의 접지응력에 대한 산정결과는 표 5와 같다.

국내 대표적인 복토장비인 습지 불도저 종류별 복토두께에 따른 접지응력과 대나무 망의 최대응력에 대한 검토결과, 1단계 복토시 주로 사용되는 4톤급 불도저의 접지압(1.95tf/m²)보다 0.5m×0.5m이하 간격의 최대응력(2.27tf/m²~4.41tf/m²)이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서, 무한궤도에 의한 대나무의 파괴와 대나무 망의 진동에 의한 주행성 불량 등의 문제가 없을 경우 이론상 복토 없이 탑재가 가능할 것으로 평가되었다.

4.2.3 최소 복토두께

준설패입을 통해 형성된 초연약 점토지반에서 대나무 망으로 표층을 보강하고 복토를 실시한 경우 장비의

표 6. 장비별 최소 복토두께 산정결과

대나무망 간격(m)	허용변위 (cm)	최소복토 두께(cm)			
		4t급 불도저	7t급 불도저	9t급 불도저	19t급 불도저
0.4 × 0.4	10.0	35.0	50.0	70.0	130.0
	15.0	23.0	38.0	53.0	98.0
	20.0	8.0	27.0	43.0	75.0
0.5 × 0.5	10.0	42.0	57.0	80.0	140.0
	15.0	28.0	43.0	60.0	112.0
	20.0	18.0	34.0	49.0	90.0

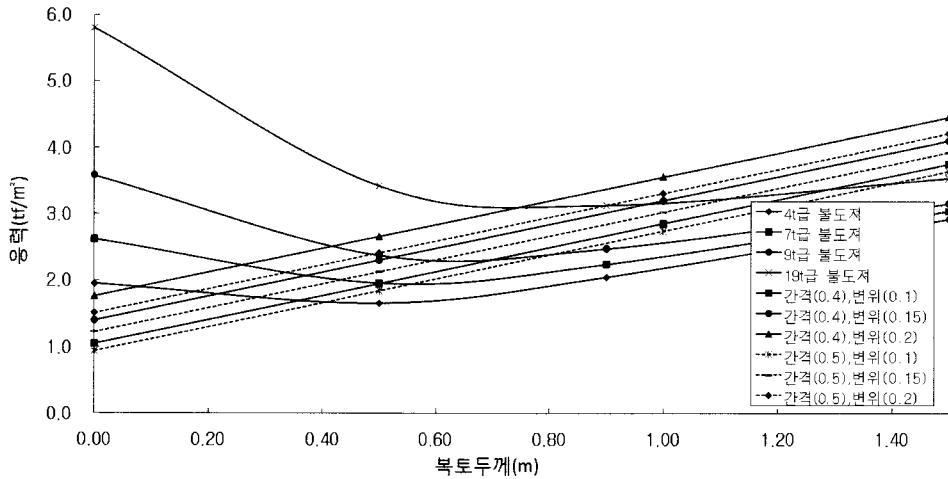


그림 6. 장비별 최소 복토두께 추정

주행성을 확인하기 위해서는 사용장비에 따른 접지압과 장비하중으로 인한 침하량에 대한 고려가 반드시 필요하다. 이러한 침하는 복토층의 탄성침하(S_1), 보강재의 변형으로 인한 침하(S_2), 하부 점토지반의 탄성침하(S_3)와 소성유동에 따른 침하(S_4)로 구분될 수 있으며, 복토층의 침하는 지하수위 상승에 따른 연화현상이 발생하지 않는 한 시공장비에 의한 다짐효과 등으로 인해 상대적으로 그 크기가 크지 않다. 또한, 보강재의 강성이 충분한 경우 소성유동 억제효과로 인해 하부 점토지반의 탄성침하 및 소성유동으로 인한 침하 또한 크지 않을 것으로 판단된다. 따라서, 휨강성이 큰 대나무 망으로 보강한 지반의 경우 보강재의 변형으로 인한 침하의 영향이 가장 중요하다고 할 수 있다. 일반적인 구조물의 경우 부등침하에 따른 구조적 안정성 및 사용성 등을 고려한 허용 침하량이 제시되어 있으나, 표층처리 및 복토 시공 중 변위는 장비 성능 및 운전자의 시각적 불안, 시공 효율 등의 여러 가지 변수로 인해 명확한 허용변위량 제시가 곤란한 것이 사실이다. 하지만, 표층처리 지반에서 지지력에 대한 안정성이 확보되었다 하여도 변위량이 클 경우 운전자의 심적 불안과 국부적인

집중하중 발생에 따른 보강재의 파손 및 점토 유출 등의 사고가 발생할 수 있으므로 이에 대한 연구를 통해 허용변위에 대한 기준마련이 필요할 것으로 판단된다.

보강재만으로 충분한 지지력이 확보된 경우에도 보강재 보호 및 장비 주행성 확보를 위해 소정의 복토를 반드시 필요로 한다.

이에, 금회 실시된 대나무 망 구조체의 역학적 특성시험 결과와 충격계수를 고려한 장비접지응력 산정식을 이용하여 표 6과 그림 6과 같은 대나무 망 간격별 허용변위와 불도저 종류에 따른 접지응력과의 관계를 도출하고 장비별 보강조건별 최소 복토두께를 추정한 결과, 허용변위가 커지거나 대나무 망 간격이 좁아지고, 또한 장비의 접지압이 작을수록 최소 복토 두께는 작아지는 것으로 나타났다.

본 분석결과는 보강재 하부에 지지층이 없는 조건으로 검토 되었지만, 그림 6의 장비 중량별 접지응력과 대나무 간격별 변위로부터 투입장비별 개략적인 최소복토두께를 현장에서 간략하게 산정하여 안전시공의 기준을 설정할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 6의 분석결과에 의하면 장비에 따라 약 35cm의 최소 복토고가 요

구되는 것으로 나타났으며, 다양한 조건에 대한 연구가 수행된다면 하중조건에 따른 합리적인 복토고 산정시 본 분석방법을 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 대나무 망의 구조적 특성을 규명하기 위해 개발된 장치를 이용하여 대나무 망의 부재력 특성을 평가하고, 장비별 접지압과의 비교를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 대나무 망 간격에 따른 최대하중은 0.21ton~1.1ton으로 나타났으며, 그 때의 변위는 181mm~604mm의 범위로 나타났다.
- (2) 최대하중 작용 후 재압축 시험결과, 대나무 망의 파괴는 줄파괴가 발생함으로 인해 초기값의 0.46ton~1.05ton(73~95%)까지의 강도를 발휘하는 것으로 나타났다.
- (3) 응력-변위특성에 대한 평가결과, 최대 압축응력은 $1.46\text{tf/m}^2 \sim 4.41\text{tf/m}^2$ 으로 대나무 간격 0.5m×0.5m 이하에서는 장비의 주행에 따른 동하중과 진동의 영향을 배제할 경우 초습지 불도저의 단순 탑재가 가능한 것으로 평가되었다.
- (4) 대나무 망 구조체의 역학적 특성시험 결과와 충격계수를 고려한 장비접지응력 산정식을 이용하여 대나무 망 간격별 허용변위와 불도저 종류에 따른 접지응력과의 관계를 이용하여 장비별 보강조건별 최소 복토두께를 추정한 결과, 허용변위가 커질수록 대나무 망 간격이 좁을수록 장비의 접지압이 작을수록 최소 복토 두께는 작아지는 것으로 나타났다.
- (5) 향후 지속적인 연구를 통해 대나무 간격별 휨강성

에 대한 특성을 규명한다면 경제적이고 합리적인 표층처리 설계가 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 건설기술혁신사업의 일환으로 실시된 “초연약지반 표층처리를 위한 최적설계기법 연구”(’06~’09) 결과의 일부입니다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부, 한국건설교통기술평가원 (2008), “초연약지반 표층처리를 위한 최적설계기법연구(II)”, pp.96-107.
2. 전남대학교 공업기술연구소 (2000), “연약지반상 구조물 축조를 위한 청죽매트공법 연구보고서”, pp.15-22, 128-130.
3. 양기석, 강명찬 (2004), “대나무 망을 이용한 표층처리공법 적용시 지지력특성에 관한 연구”, ISSMGE ATC-7 Symposium, September Busan, Korea. pp.107-120.
4. C. C. Huang, and F. Y. Menq (1997), “Deep-Footing and Wide-slab effects in Reinforced Sandy Ground”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, pp.30-36.
5. K. H. Khing, B. M. Das, V. K. Puri, S. C. Ten & E. E. (1994) “Foundation on Strong Sand Underlain by Weak Clay with geogrid at the Interface”, Geotextile and Geomembranes 13(1994), pp. 199-206.
6. Matsunaga, S., Watari, Isayama, S. (1988) : “Reinforcement of very soft ground using bamboo cross beam with polymer”, Proc. Intn'l Symp. on Theory and Practice of Earth Reinforcement (IS Kyushu '88), pp.425-430.
7. Toh, C. T., Chee, S. K., Lee, C. H., and Wee, S. H. (1994), “Geotextile-Bamboo Fascine Mattress for Filling over Very Soft Soils in Malaysia”, Geotextiles and Geomembranes 13, Elsevier science Limited, pp.357-369.
8. Yusuf, M. Z., Werner, G. and McGrown, A.C. (1989), “The bearing capacity of bamboo and geotextile reinforced sand on soft clay”, Symp. on the Application of Geosynthetic and Geofibre in SE Asia, Petaling Jeva, Malaysia, pp.3-14~3-21.

(접수일자 2009. 1. 7, 심사완료일 2009. 5. 26)