

FEM에 의한 지오그리드의 변형거동 해석 및 예측

Analysis and Prediction of Deformation Behaviors of Geogrids by FEM

전한용²⁾, Han-Yong Jeon, 장연수²⁾, Yeon-Soo Jang, 안병욱³⁾, Byoung-Wook An

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

²⁾ 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil and Environmental Eng., Dongguk Univ.

³⁾ 인하대학교대학원 섬유공학과 석사과정, Master Course, Dept. of Textile Engineering, Inha University Graduate School

SYNOPSIS : 지오그리드란 토목합성보강재의 한 종류이며, 지반의 보강 처리를 위해 주로 사용된다. 본 연구에서는 유한 요소해석프로그램에 의한 지오그리드의 접점강도, 응력분산효과해석과 광폭인장강도 평가 개선을 위한 방법에 관한 연구를 주목적으로 하였다. 이 때 범용 유한요소 해석 프로그램인 VisualFEA/Edu를 사용하였으며, 실제 실험값과 프로그램의 결과 값의 비교를 통하여 해석모델의 타당성을 검증하였다.

Key words : Geogrids, Finite Element Analysis, Junction Strength, Stress Distribution, Wide-Width Tensile Strength

1. 서 론

지오그리드란 토목합성보강재의 한 종류이며, 흙, 자갈 또는 다른 지반 공학적 재료가 통과할 만한 충분한 크기의 공극(aperture)을 가지는 규칙적인 격자구조로 형성되어 있다. 형태학적 특징인 공극의 존재로 인한 토립자와의 상호작용이 우수하여 지반보강기능이 요구되는 곳에 사용되고 있다. 토양 내에 지오그리드를 일정간격으로 포설, 삽입해 흙과의 마찰력, 인발저항력, 전단응력을 향상시켜 옹벽구조물이나 성토사면의 시공성, 경제성 및 안전성을 동시에 확보하는데 사용된다. 뿐만 아니라 연약지반에 제방, 도로, 활주로, 건물 등 구조물 축조 시, 지반의 보강 처리를 위해 보강재로 널리 사용된다. 지오그리드의 격자구조는 다른 보강재에 비하여 인접한 흙과 강한 상호작용을 가진다. 흙과 지오그리드간의 상호작용요소로는 3가지가 있다. 첫 번째는 지오그리드와 인접한 흙의 마찰, 두 번째는 지오그리드의 공극 사이에 접촉한 흙과 흙의 마찰, 세 번째는 지오그리드에 교차하는 리브의 소극적 저항이다. 보강효과를 자세히 알기 위해서는 지오그리드의 응력분산 효과가 어떻게 이루어지는지 알아볼 필요가 있으며, 이 실험에서는 상호작용 3번째에 해당하는 접점강도를 분석해보았다. 각종 토목구조물에 보강재로 사용되는 지오그리드의 현장 적용성을 평가하는 방법은 인장강도 특성, 크리프(Creep) 특성, 내시공성, 내구성, 흙/지오그리드 마찰 특성이 있다. 광폭인장강도시험은 성토 및 지반 보강공법의 설계 시에 필요한 지오그리드의 보강재의 설계인장강도를 산정하는데 기초가 되는 최대인장강도와 인장변형 등의 인장특성을 평가하기 위해 광폭시료를 사용하여 수행하는 인장시험이다. 이 시험은 ASTM 4595에 규격화되어 있다.

본 연구에서는 범용 유한요소 해석 프로그램인 VisualFEA/Edu를 이용하여 지오그리드의 응력분산효과, 접점강도를 해석하고 광폭인장강도 평가 개선을 위한 제안 방법을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시료의 준비

지오그리드의 시료는 Woven type (6T, 8T, 10T), Warp knitted type(6T, 8T, 10T)으로 2가지 종류를 사용하였다. 프로그램에 입력할 지오그리드의 타입과 모양을 위해 실제 지오그리드를 측정하였다. 지오그리드의 모양은 그림 1로, 크기는 그림 1과 관련하여 표 1로 각각 나타내었다.

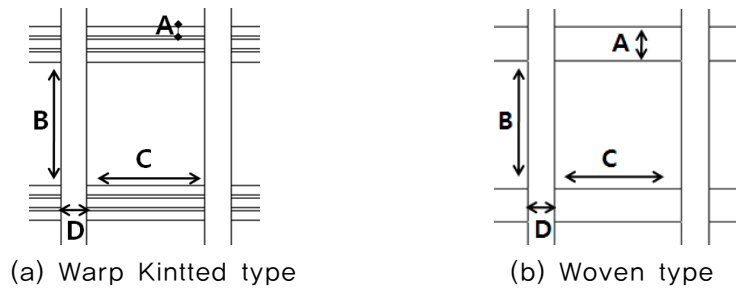


그림 1. 지오그리드의 모양

표 1. 지오그리드의 공극 크기(단위: mm)

Geogrid	Warp Knitted Type				Woven Type			
	A	B	C	D	A	B	C	D
6T	1.5	19	18	4	5	19	19	4
8T	1.5	19	19	4.5	5	20	19	7.5
10T	1.5	19	20	6	5	20	18	8

2.2 실험

2.2.1 응력분산

지오그리드의 응력분산 효과 해석을 2가지 종류로 실행하였다. 첫 번째는 인장강도, 두 번째는 접점강도 방법으로 실행하였으며, 응력 값은 동일한 값을 주었다. 지오그리드의 모형은 리브수를 4개로 하였으며, 크기를 정사각형 모양으로 도면을 그렸다. 지오그리드(6T)의 접점강도 유한요소망을 그림 2, 인장강도 유한요소망은 그림 3에 각각 나타내었다.

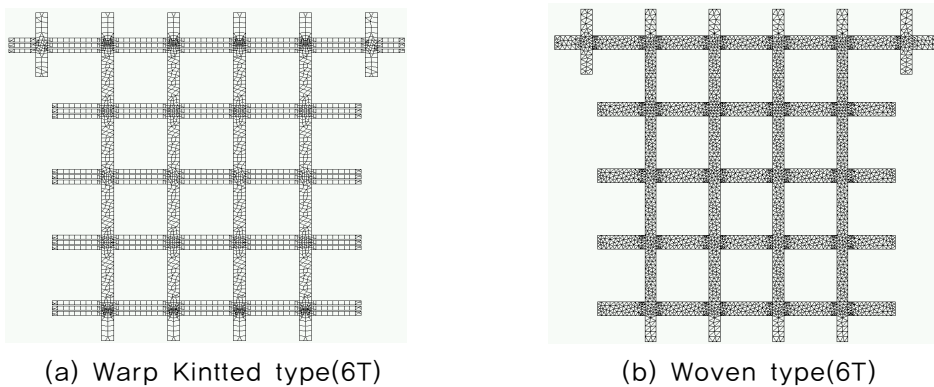
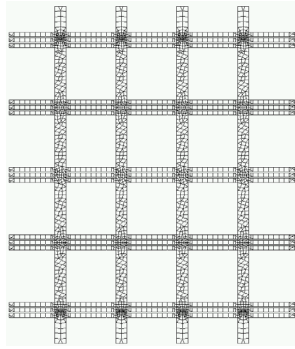
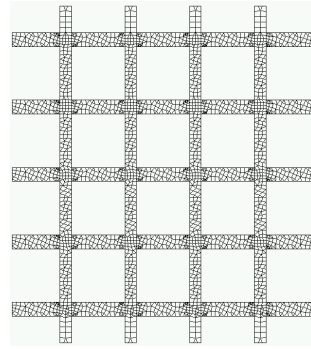


그림 2. 지오그리드의 접점강도 유한요소망



(a) Warp Knitted type(6T)

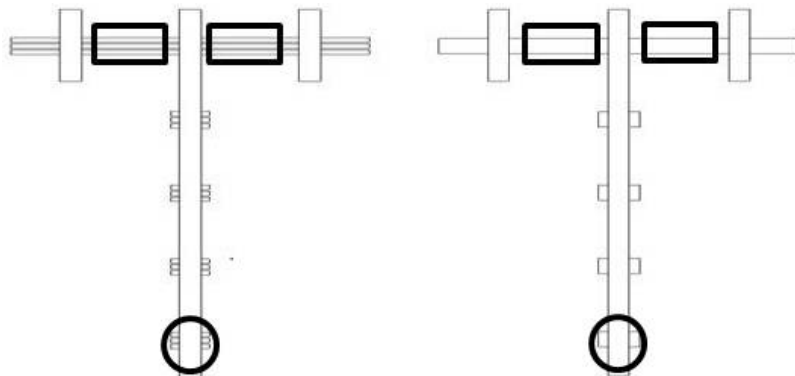


(b) Woven type(6T)

그림 3. 지오그리드의 인장강도 유한요소망

2.2.2 접점강도

지오그리드 Warp knitted type과 Woven type 을 각각 접점강도 테스트법인 GRI GG-2에 의거하여 모형을 만들었으며, 그림 4와 같다. 유한요소 프로그램에 입력할 응력 값은 GRI GG-2에 의거한 접점강도 시험에 의한 강도를 각각 10%, 20%, 40%를 입력해 주었다. 프로그램에서 응력을 주는 부분은 실제 시험 시 클램프에 고정되는 곳으로 그림4에서 사각형으로 표시해 주었고, 고정부분은 원형으로 표시하였다. 기존의 실험했던 지오그리드의 단일 리브 접점 강도 값을 아래 표 2에 나타내었다.



(a) Warp Knitted type

(b) Woven type

그림 4. 접점강도의 유한요소해석 시 응력을 받는 곳, 고정시키는 부분, 시료의 모형

표 2. 지오그리드의 단일 리브 접점강도(단위: kgf)

Geogrid	6T	8T	10T
Warp Knitted Type	169	252	337
Woven Type	180	284	342

2.2.3 광폭인장강도

지오그리드의 크기는 실제 시험 시 사용되는 폭 200mm, 길이 100mm로 도면을 그렸다. 그림 5는 Warp knitted type과 Woven type의 형태를 보여준다. 기존의 실험했던 두 타입 지오그리드의 광폭인장강도는 표 3에 나타내었다. 유한요소 프로그램에서 응력 값은 기존에 실험했던 인장강도 데이터에 각각 40%, 50%, 60%를 넣어 해석하였으며, 그림 6은 지오그리드 모형의 유한요소망을 나타낸다.

표 3. 지오그리드의 광폭인장강도(단위: kgf)

Geogrid	6T	8T	10T
Warp Knitted Type	1656.8	2259.2	2765.5
Woven Type	1655.5	2123.4	2658.5

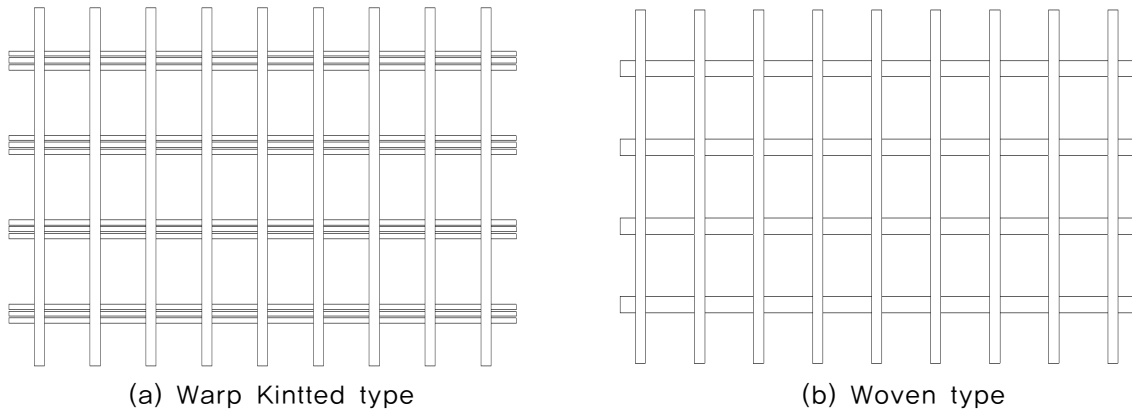


그림 5. 지오그리드의 광폭인장강도 시험 시 모양

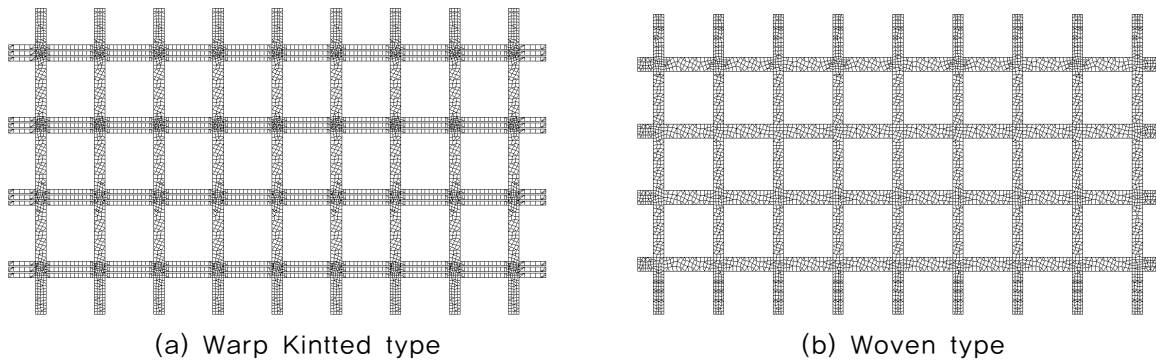


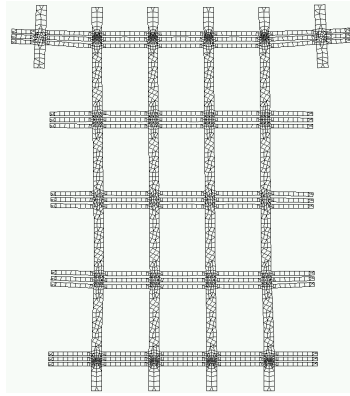
그림 6. 지오그리드의 광폭인장강도 유한요소망

3. 결과 및 고찰

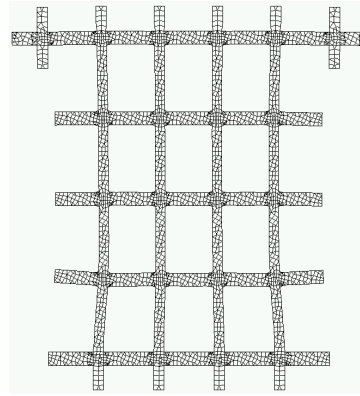
3.1 응력분산

유한요소 프로그램인 VisualFEA/Edu를 이용하여 시료의 모형으로 유한요소망을 형성하여 해석해보았다. 지오그리드(6T)의 Warp knitted type과 Woven type에 응력의 20%인 각각 34kgf, 36kgf를 주어 변형된 모습을 각각 그림 7, 그림 8에 각각 나타내었다. 응력 값을 이렇게 준 이유는 실제실험 시 강도 값과 유한요소해석 시 최대인장강도 값이 비슷하기 때문이다.

지오그리드의 응력분산 효과 해석을 위하여 프로그램 실행 후 X축과 Y축의 응력변화를 그림 9, 그림 10, 그림 11, 그림 12에 contour image로 각각 나타내었다.

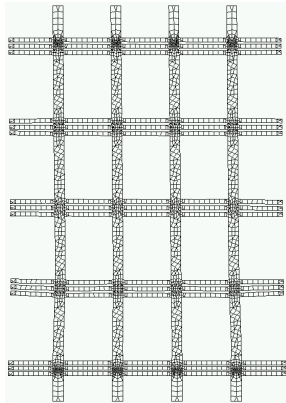


(a) Warp Knitted type(6T)

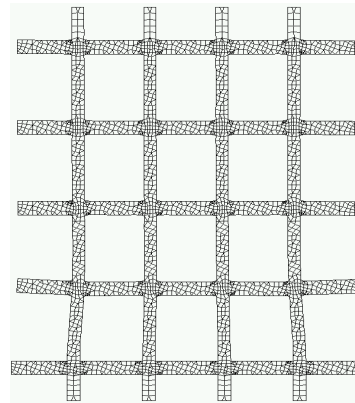


(b) Woven type(6T)

그림 7. 지오그리드 접점강도 유한요소망의 유한요소해석 시 변형된 모습

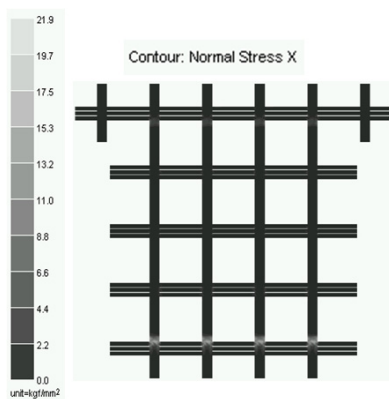


(a) Warp Knitted type(6T)

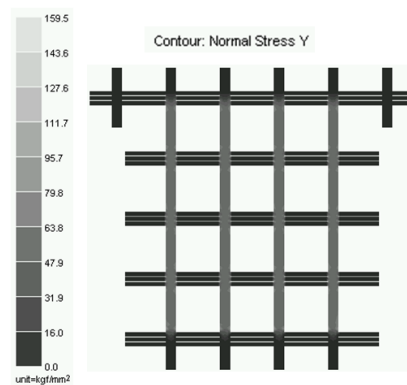


(b) Woven type(6T)

그림 8. 지오그리드 인장강도 유한요소망의 유한요소해석 시 변형된 모습

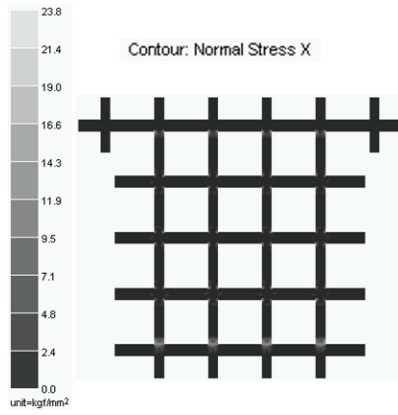


(a) X축의 응력분산

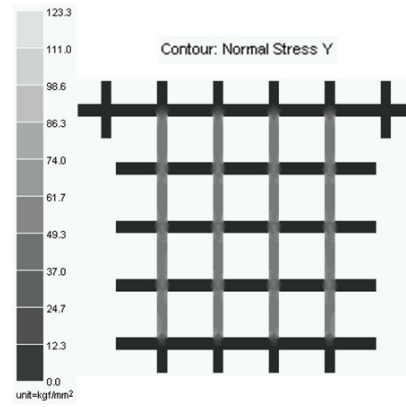


(b) Y축의 응력분산

그림 9. 지오그리드 Warp Knitted type의 접점강도 응력분산

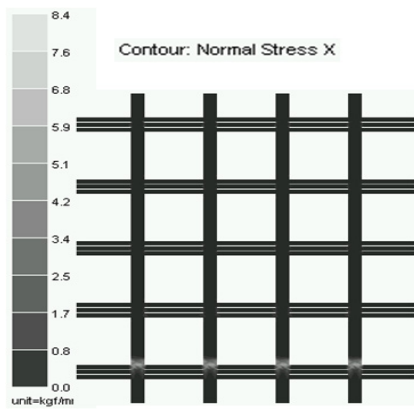


(a) X축의 응력분산

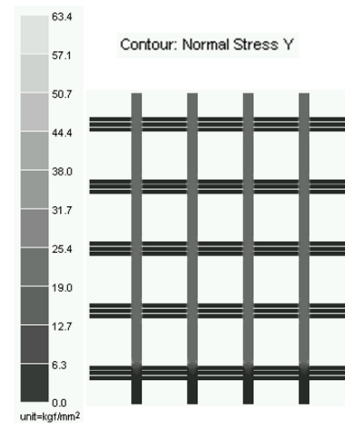


(b) Y축의 응력분산

그림 10. 지오그리드 Woven type의 접점강도 응력분산

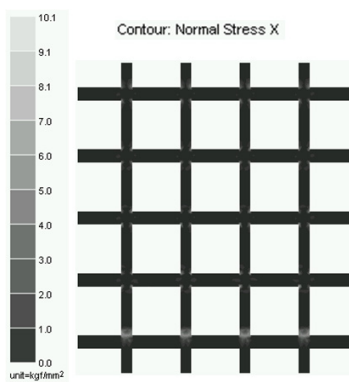


(a) X축의 응력분산

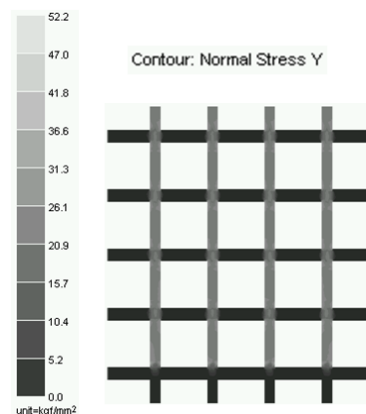


(b) Y축의 응력분산

그림 11. 지오그리드 Warp Knitted type의 인장강도 응력분산



(a) X축의 응력분산



(b) Y축의 응력분산

그림 12. 지오그리드 Woven type의 인장강도 응력분산

3.2 접점강도

그림 13은 시료의 유한요소망을 나타내고, 표 2의 강도 값을 각각 10%, 20%, 40%를 입력한 후 프로

그림 실행하였으며, 시료의 변형된 모습 중 강도값의 20%를 주었을 때 변형된 모습을 그림 13에 나타내었다. 그림 14를 보면 실제 지오그리드의 점점강도 테스트와는 전혀 다른 모형으로 변형되었음을 알 수 있다. 이것은 실제 점점강도 테스트와는 다르다는 것을 보여준다. 점점강도 실험 시 그림 4에 사각형으로 표시된 곳을 고정해주어 응력을 주면 고정해주는 부분을 수평으로 있는 곳은 전체적으로 고정이 되어 일정하게 응력이 주어지는 방향으로 이동하지만, 프로그램 실행 시에는 그림 4에 사각형으로 표시된 곳에 위쪽으로 응력을 주면 그 부분만 힘을 받게 되어 그림 14처럼 변형된 모습을 보여준다.

하지만, 그림 14의 결과는 지오그리드의 점점강도 해석에 도움을 주지 못하기 때문에, 그림 4와는 다르게 응력을 주는 부분을 점점부분으로 위치를 바꾸어 주었다. 위치를 이동한 곳은 실제로 지오그리드의 점점강도를 해석하는 것이기 때문에 실제 시험에도 점점은 응력이 전달되는 곳이므로 프로그램에서도 점점부분에 응력을 주기로 하였다. 그림 15에서 화살표로 표시된 곳이 응력을 받는 곳의 위치를 나타내며, 그림 16은 프로그램실행 시 변형된 모습을 보여준다.

유한요소프로그램에서 contour image로 지오그리드의 점점에서 받는 응력 값을 알 수 있다. 그림 17은 유한요소해석에서 나타나는 Y축 응력 값의 contour image이다.

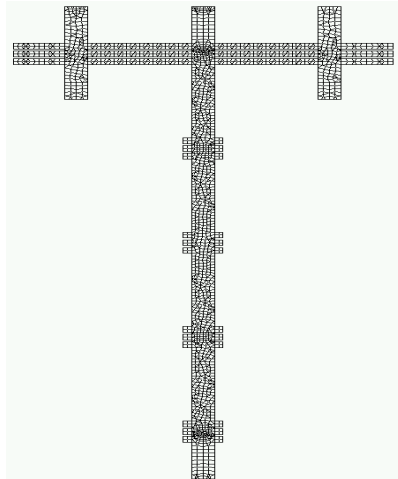


그림 13. Warp knitted type의 유한요소망

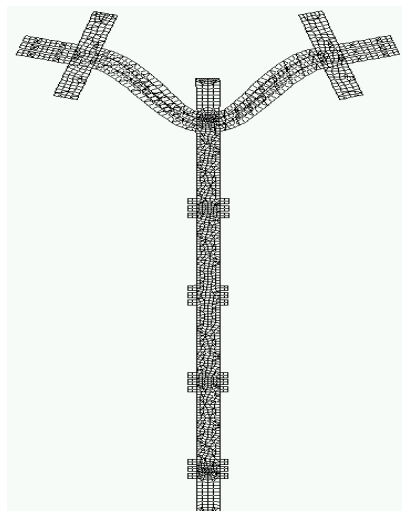


그림 14. Warp knitted type의 유한요소해석 시 변형된 모습

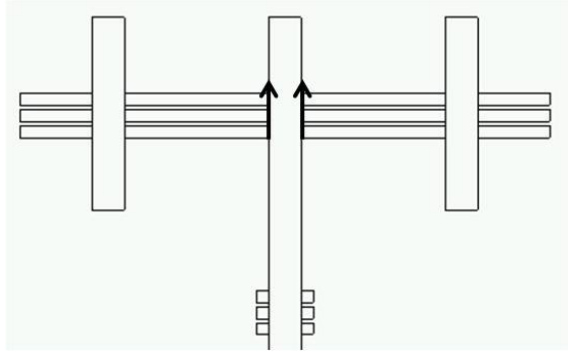


그림 15. 응력을 받는 변경된 위치

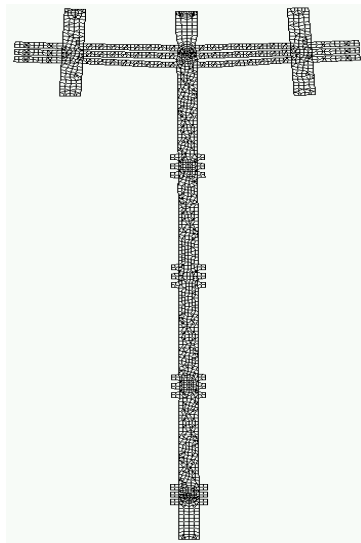


그림 16. 응력을 받는 위치가 변경된 후 유한요소해석 시 변경된 모습

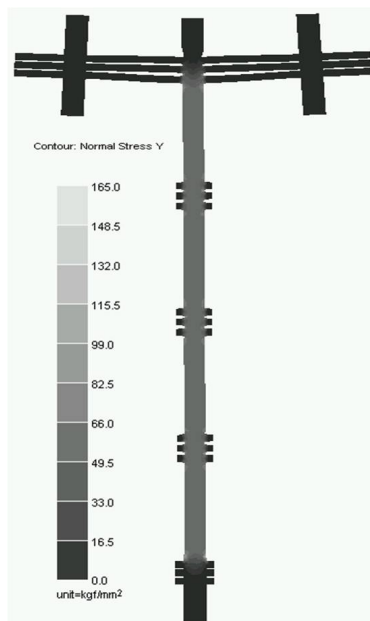


그림 17. Y축의 응력 값을 나타내는 contour image

3.3 광폭인장강도

Warp knitted type의 지오그리드는 기존의 데이터인 광폭인장강도 값의 40%였을 때, Woven type은 60%일 때, 실제와 비슷한 결과 값을 가졌다. 지오그리드의 응력 값을 표시해주는 contour image를 그림 18, 19에 나타내었고, 변형된 모습은 그림 20, 21에 각각 나타내었다. 프로그램 특성상 절단되는 모습은 나오지 않지만, contour image에서 최대값이 발생하는 곳에 절단이 일어날 확률이 높다고 본다.

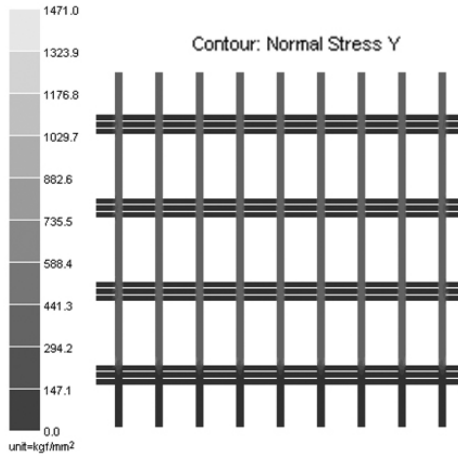


그림 18. Warp knitted type(6T)의 contour image

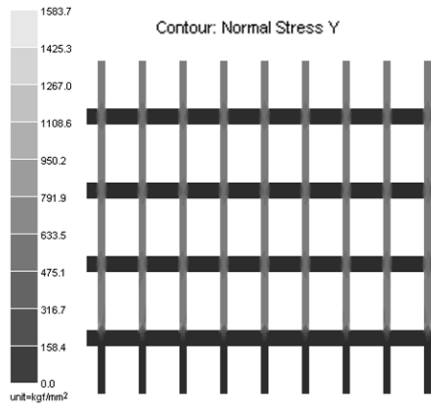


그림 19. Woven type(6T)의 contour image

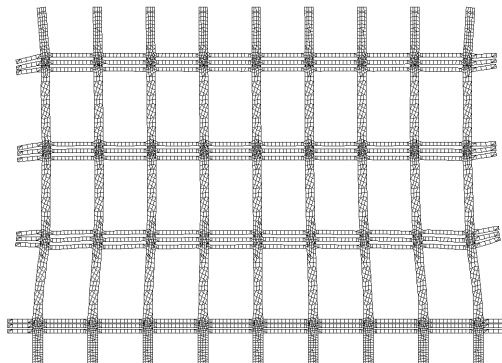


그림 20. Warp knitted type 지오그리드 유한요소망의 유한요소해석시 변형된 모습

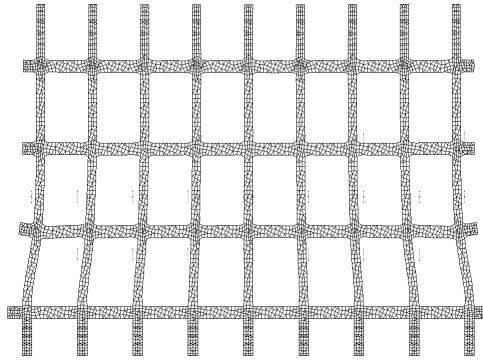


그림 21. Woven type 지오그리드 유한요소망의 유한요소해석시 변형된 모습

4. 결 론

(1) 접점강도는 유한요소 프로그램을 이용할 경우 실제 실험에서 얻을 수 있는 결과와 유사한 결과 값을 예상할 수 있다. 유한요소 프로그램 해석 시 시료의 유한요소망에 응력 값을 실제 실험했던 강도의 20%를 주었을 때에 응력의 분포도가 실제 실험결과 값과 가장 유사하게 나타났다. 유한요소 프로그램에 있는 contour image를 활용하면 접점에서의 응력의 변화를 알 수 있고, 시뮬레이션으로 변형된 모습을 예측할 수 있다.

(2) 응력분산 효과 해석시 종류를 인장강도와 접점강도로 구분하여 해석하였다. 그림 10-12에 있는 contour image를 보면 응력의 분산이 X축보다는 Y축이 더 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 실제 인장강도, 접점강도 시험 시 Y축에 응력을 주기 때문이다. 그리고 응력분산 효과는 리브가 교차하는 지점에서 크게 발생하고, Warp knitted type이 Woven type보다 응력분산 효과가 더 좋음을 알 수 있었다.

(3) 실제 광폭인장강도 시험 시 폭은 정해져 있고, 폭을 넓은 경우의 결과는 예측하기가 쉽지는 않다. 하지만 유한요소해석 프로그램을 이용하여, 기존의 실제 데이터 값과 연동하여 폭을 넓은 경우에 강도나, 변형된 모습을 예측 할 수 있음을 확인하였다. 하지만 지오그리드의 모형을 유한요소망으로 만들지 요소를 어떻게 분배하느냐에 따라 결과 값이 달라지므로 기존에 실험했던 데이터를 활용하거나 실제 실험을 하여 나온 결과 값을 사용해 유한요소해석을 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-04) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. GRI Test Method GG-2, *Geogrid Junction Strength*, Geosynthetics Research Institute, Drexel University, PA, pp 2002.
2. Korener, R. M.(2005), *Designing with Geosynthetics*, 5nded, Prentice Hall.