

그라운드 앵커공법용 아치형 앵커브라켓의 구조해석

Structural Analysis of Arch Anchor Brackets in Ground Anchor Construction

김재열* 김영호**
Kim, Jae-Yeol Kim, Young-Ho

Abstract

When we excavate an underground to build basement, the ground anchors are needed to prevent collapse of neighboring ground, subsidence and movement. Ground anchor construction required shore sheet piles, wales and struts as to maintain secure excavation. Existing box-type bracket using head part of ground anchor can not be possibly adjustable to the boring angle because the brackets are manufactured with unified angle in a factory. Also, box-type brackets have imperfection and instability caused by inequable force. In this study, a new bracket system is proposed. The bracket's side plate is reinforced and the angle of boring can be controlled. To investigate the structural performance of presented brackets, FEM analysis has been performed by using ANSYS commercial program. As a result, this bracket shows sufficient stability for all angle case and the strength is increased about 24% than existing bracket.

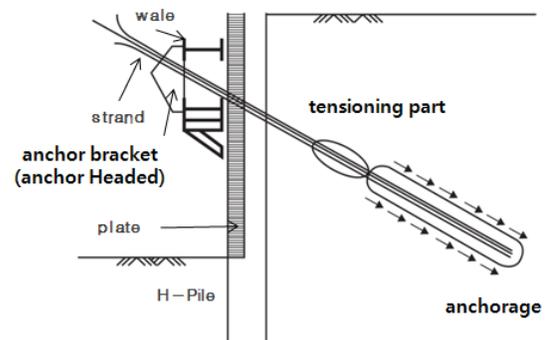
Keywords : Anchor Bracket, Earth-Anchor Method, FEM Analysis, Ground Anchor Construction

1. 서론

토목이나 건축공사에서 시설물의 기초나 지하 구조물의 시공을 위해 지반 굴착 작업이 필수적으로 발생하는데, 이때 공사관계자는 굴착대상의 주변 지반에 대해 붕괴, 침하 및 이동과 같은 지반 안정성을 확보하여 굴착 가설공사를 실시하여야만 한다. 굴착공사를 위한 흠막이 벽체공법으로는 토류판-H말뚝, CIP 또는 SCW공법, 지하 연속벽, 강널말뚝(sheet pile) 등이 있는데 이들의 지보방식은 버팀대(strut, raker), 그라운드앵커, 네일링 등으로 인접 지반의 안정성을 확보한다.¹⁾²⁾

본 연구에 대상인 그라운드앵커공법은 <Fig. 1>과 같이 가장 보편적인 벽체 지지방식으로 H말뚝과 토류판을 띠장을 사용하여 지탱하되 띠장

에는 앵커브라켓을 설치하여 이를 어스앵커체에 긴장력을 도입하여 흠막이 벽체를 지지하게 된다.³⁾⁴⁾



<Fig. 1> Ground anchor construction

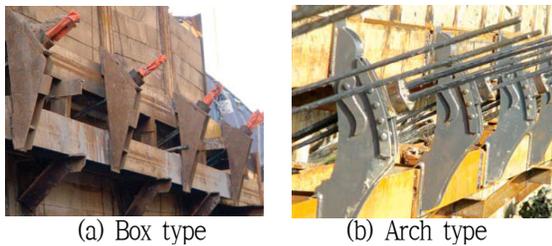
그라운드앵커공법에서는 <Fig. 2(a)>와 같은 박스형 브라켓을 사용하고 있으며, 설계 각도에 따라 강연선의 주입구인 재하판의 위치를 용접하여 주문 제작한다. 이 브라켓은 지반에 강연선을 투입하기 위한 천공 작업 시 설계 각도와 상하 좌우 오차로 편심이 발생하여 브라켓의 파괴가 일어날 수 있다. 또한 박스형 브라켓은 각도가

* 주저자, 협성대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Hyupsung Univ., Dept of Architectural Engineering

** 교신저자, (주)지승컨선티트 전무이사, 공학박사
JISEUNG CONSULTANT Co., Ltd.
Tel: 02-792-9087
E-mail: steelkyh@hanmail.net

고정되게 제작함으로 천공 각도나 설계각도가 변화할 경우 브라켓과 강연선 간의 꺾임 현상이 발생과 띠장 H형강에 앵커브라켓의 지압판이 완전히 밀착되지 않아 불안정한 그라운드앵커 시공이 된다. 이러한 문제점으로 인해 띠장 H형강과 브라켓의 지압판 간의 현장용접 작업, 해체 시 작업성의 곤란 등으로 박스형 브라켓의 최초 제작 단가 이외 추가 비용 발생으로 경제성이 떨어지게 된다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 천공 각도의 오차를 수용할 수 있는 앵커 브라켓의 제품에 대한 검증 연구가 진행되고 있다.⁵⁾

본 연구에서는 브라켓을 띠장 H형강에 손쉽게 탈부착이 가능하여 설치·해체가 용이하면서, 현장 조건이나 설계에 따른 앵커체의 설치 각도가 변화에 대응성이 높도록 설치각도 조절기능을 부여하였다. 또한 드릴 천공 시 발생하는 시공 상의 각도 오차를 극복하여 빈번하게 발생하는 강연선의 꺾임 현상을 보완할 수 있는 <Fig. 2(b)>와 같은 그라운드앵커용 앵커두부공법으로 아치형 브라켓을 고안하였고, 이에 대한 앵커체에 도입되는 긴장력에 구조적 안전성을 확인하고 검증하고자 한다.



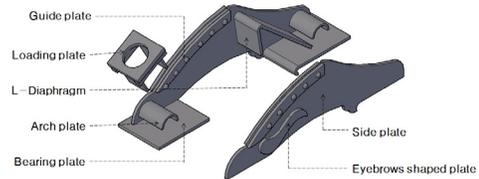
<Fig. 2> Anchor bracket

2. 제품의 형상과 해석 계획

2.1 제품의 형상

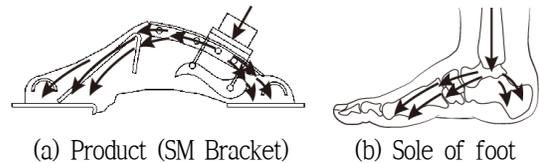
본 아치형 브라켓 제품은 <Fig. 3>과 같으며, 브라켓은 그라운드 앵커체인 강연선의 도입은 인장력을 재하판을 통해 작용되는 압축하중을 브라켓의 보강 판 요소인 아치형 측판을 통해 상하부의 지압판으로 전달시켜 H-형강 띠장에 전달하는 구조이다. 재하판과 측판과 접하는 면

은 아치형 곡면판으로 보강하였으며, 각도를 조절할 수 있도록 걸림턱을 사용하여 결착시키고 각도를 25° ~ 40° 사이를 5° 마다 이동시킬 수 있으며 하부 지압판은 결쇠 모양으로 띠장에 손쉽게 탈부착 기능을 갖도록 구현하였다.



<Fig 3> Arch anchor bracket

브라켓의 측판은 <Fig. 4(a)>와 같은 아치 형태이며, <Fig. 4(b)>와 같이 인체의 발 구조로 몸을 지탱하는 발 뼈 구조와 같이 아칭작용을 통해 힘의 흐름이 원활하게 분산되도록 아치형 측판 구조를 갖는다. 개발 브라켓(SM Bracket)은 재하판에 작용되는 앵커체의 압축력을 효율적으로 상부와 하부의 H형강 띠장으로 분산시켜 흠막이 벽체를 안정되게 지탱한다.



<Fig. 4> Principle of transfer force

2.2 해석 계획

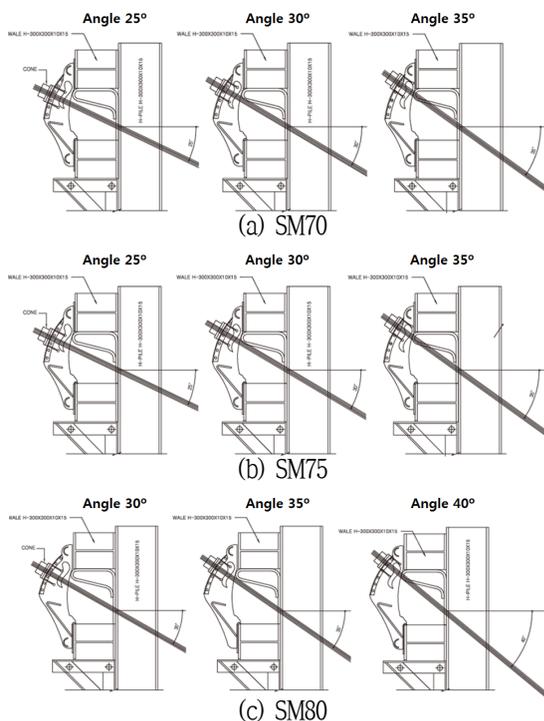
그라운드 앵커공법에서 앵커두부 정착용 브라켓은 띠장 간격을 고려하여 길이가 결정되므로 본 연구에서 브라켓의 길이는 띠장 순간격 300mm인 경우 700mm (SM70), 순간격 350mm인 경우 750mm (SM75), 순간격 400mm인 경우 800mm (SM80)에 대해 모델 설계를 계획하였다. 또한, 앵커브라켓의 강연선이 수평면과 이루는 각도는 최소 25도에서 최대 40도 까지 변화시키면서 모델 해석을 실시한다. 특히 SM80A의 경우 흠막이 벽에 설치 시 토압을 가장 많이 받는 토류판 최하부에 장착함으로써 인장부와 앵커체를

깊게 삽입하는 목적을 갖고 있음으로 브라켓 각도를 30도, 35도, 40도에 대한 평가를 실시한다.

앵커브라켓의 주요 강재 재료는 SS400 이며, 강판의 두께는 SM70, SM75 일 때 9mm, SM80 일 때 12mm를 적용한다. 또한, 재하판은 강종이 SS400 이며, 강판 두께는 14mm를 적용한다.

<Fig. 5>는 앵커브라켓의 해석을 위한 각 치수별, 각도별 모습을 보여 준다. <Table 1>은 해석 모델명을 보여 주며, 예를 들어 SM75-M-30 의미는 브라켓의 전체 길이가 750mm이며, 강연선과의 각도가 30도를 의미한다. 표준모델은 SM75-M-30이며, 이를 기준으로 측판에 부착되는 보강재 효과를 확인하고자 곁판 또는 눈썹판의 유무에 따라 해석을 실시한다. 마지막으로 표준 모델을 기준으로 시공 중 발생하는 재하판의 강연선의 편심을 고려하기 위하여 재하판의 중심으로부터 5%, 10%, 15%, 20%의 편심을 적용한 평가를 실시한다.

<Table 1>에서 기존 앵커두부 정착용 박스형 브라켓(B-M-30), 아치형 브라켓(SM75시리즈)은 실물을 제작하여 <Fig. 6>과 같은 실험⁶⁷⁾을 통해 개발 브라켓의 구조적 성능을 비교 평가할 목적이다.



<Fig. 5> Model dimension

<Table 1> Specification of models

Model's name		Installed angle(°)
compressive testing	B-M-30	30
	SM75 series	25, 30, 35
SM70A series	SM70A-M-25	25
	SM70A-M-30	30
	SM70A-M-35	35
SM75A series	SM75A-M-25	25
	SM75A-M-30	30
	SM75A-M-35	35
	SM75A-M-30-SP	30
	SM75A-M-30-UO	30
	SM75A-M-30-UX	30
	SM75A-M-30-5%	30
	SM75A-M-30-10%	30
	SM75A-M-30-15%	30
SM75A-M-30-20%	30	
SM80A series	SM80A-M-30	30
	SM80A-M-35	35
	SM80A-M-40	40

note) symbol ①②③-④-⑤-⑥

- ① B : box-type bracket (tested result)
SM : arch-type bracket
- ② length(cm)
- ③ A : abbreviation of analysis model
- ④ M : monolithic analysis
- ⑤ installed angle
- ⑥ SP : w/o a arch bearing plate and a eye-plate
UO : w/o a eye-plate
UX : w/o a arch bearing plate,
5%,10%,15%,20% : each percent of eccentric distance



<Fig. 6> Compressive testing

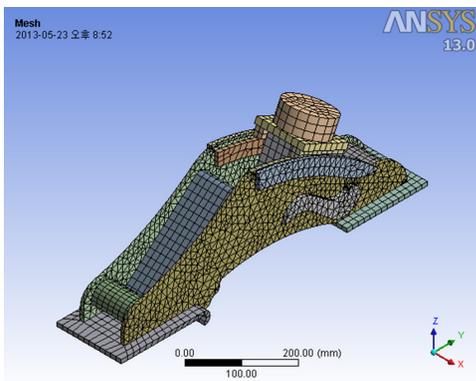
2.3 해석과 재료 물성

대상 모델 제품에 대해 CAD로 2D, 3D로 모델링 후 ANSYS 13의 해석 프로그램인 워크벤치

(Workbench)를 이용하여 해석하였다.⁸⁾

구조해석 요소는 <Fig. 7>과 같이 사면체 메쉬(Tetrahedrons)를 적용하였으며, 노드는 23,601개, 요소는 8,873개 모델링되었다. 대상 모델의 상부 띠장 지압판 A는 Y, Z방향으로 구속하고, 하부 띠장판 B는 Z방향에 대해 구속 하는 조건을 적용하였다. 또한, C와 같이 재하판과 측판, 겹판의 접하는 부분에는 강재 간의 마찰계수 0.45 를 적용하여 해석을 진행하였다.

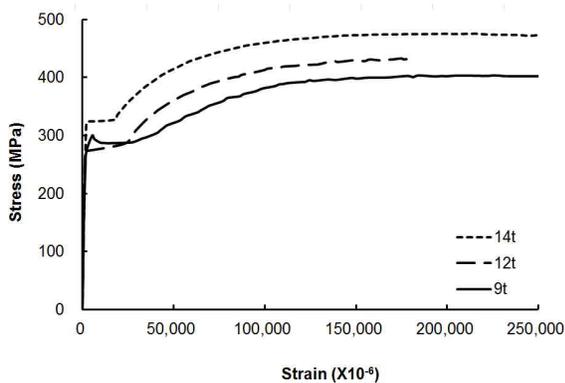
아치형 브라켓에 사용하는 강종은 SS400으로 명확하게 재료 물성치를 반영하고자 <Fig. 8>과 같이 인장시험 결과를 반영하여 재료비선형 해석에 <Table 2>와 같이 적용하였다.



<Fig. 7> ANSYS analysis model

<Table 2> Material properties (unit, Mpa)

THK.	Yielding strength	Tension strength	Elastic modulus
9mm	287.1	368.3	203,667
12mm	256.6	431.3	205,000
14mm	323.4	473.5	190,000



<Fig. 8> Stress-strain curve of steel plates

3. 해석 결과

3.1 최대 내력 평가

개발 브라켓에서 각도별로 최대 내력을 <Table 3>, <Fig. 9>와 같이 정리하였다. 해석 평가내력은 기존 박스형 브라켓의 실험 결과 값 보다 모두 높게 나타났으며, 아치형 브라켓 SM70A와 SM75A (측판 9mm) 보다 SM80A(두께 12mm)가 최대 내력이 각도의 변화와 상관없이 최소 1,031kN 이상, 평균 약 13% 높은 결과를 얻었다.

또한 아치형 브라켓 SM70, SM75, SM80 제품의 최대 평가내력은 길이별, 각도별로 큰 차이가 나지 않는다. 이는 SM70A와 SM75A 간의 측판의 길이 차이가 50mm 이며 특히 해석 단계별 거동에서 측판의 하부점에서 인장응력 증가와 함께 재하판에 작용하는 압축력과 가까운 상부 띠장판의 측면부에 변형과 함께 측판판의 전체좌굴로 종국에 도달하는 거동을 나타냈다.

아치형 브라켓(SM75시리즈) 25도, 30도, 35도 실험체의 최대내력은 각각 1,35kN, 1,107kN, 1,101kN 으로 SM75A시리즈의 해석값과 비교하면 각각 90.8%, 102.1%, 100.1% 수준으로 거의 유사한 결과를 나타냈으며 해석모델링의 정확성을 확인할 수 있다.

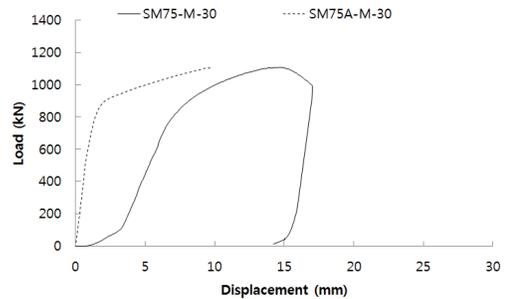
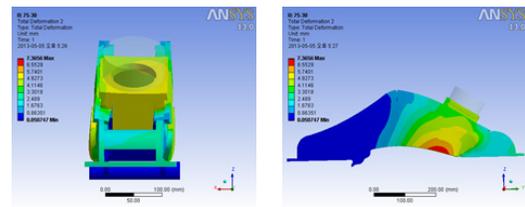
<Table 3> Analysis results by parameter cases

Model's name		Max. strength(kN)	Compared with B-M-30(%)*
testing	B-M-30	863	-
	SM75-M-25	1,135	-
	SM75-M-30	1,107	-
	SM75-M-35	1,101	-
SM70A-M-25		1,083	20.3
SM70A-M-30		1,107	22.0
SM70A-M-35		1,093	21.0
SM75A-M-25		1,031	16.3
SM75A-M-30		1,131	23.7
SM75A-M-35		1,102	21.7
SM80A-M-30		1,235	30.1
SM80A-M-35		1,245	31.0
SM80A-M-40		1,273	32.2

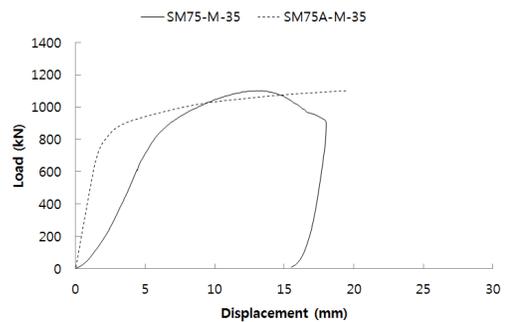
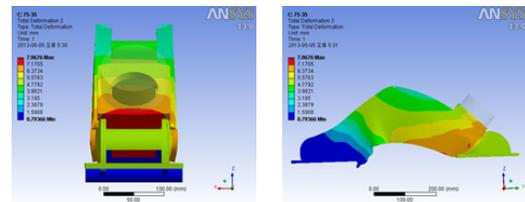
* incremental percent

<Fig. 9>, <Fig. 10>, <Fig. 11>은 띠장 순간적 350mm으로 사용빈도가 높은 SM75A시리즈 제품에 대해 강연선 설치각도별 최대내력 시 해석결과와 응력 분포도를 보여주고 있다. 하중-변위 곡선은 아치형 브라켓(SM75시리즈)의 압축 실험한 결과 그래프를 함께 도시하고 있다. 실험 및 해석모델에 곡선에서 해석모델의 초기 강성기울기가 높게 나타난 이유는 제작 초기 결함의 무시, 용접부의 완전 강접 효과, 그리고 작용 압축력의 균등한 응력 분포에 결과라 판단된다. 특히 앵커 각도별 아치형 브라켓 제품의 응력분포는 설치 각도의 증가에 따라 측면판의 하부에서 높은 인장응력 분포도가 눈썹판 효과와 작용 압축력이 지압판으로 직접 전달되는 양상을 보였다. SM75A-M-30의 경우, 측면판의 휨 변형이 충분히 발생하여 아칭 거동을 잘 보여주고 있으며 브라켓의 해석 내력도 기존 박스형 브라켓의 최대내력에 비해 약 268kN (24%) 증가하였다.

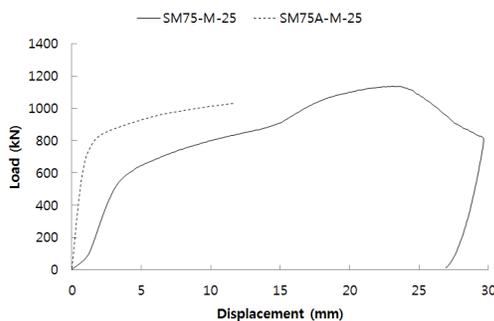
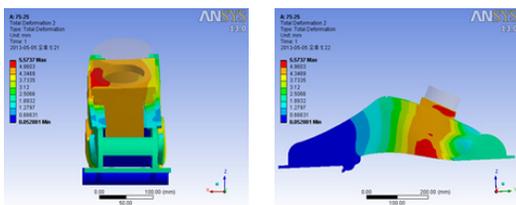
또한 브라켓의 사용 강제량을 중심으로 분석하면, 박스형은 28.4kgf 인데 비해 아치형은 24.1kgf 으로 최적 형상을 갖는 브라켓 구조라 생각된다. 따라서 아치형 브라켓 제품의 측면에는 힘의 분산과 응력 집중을 완화할 수 있도록 측면판의 하부에 보강판인 눈썹판을 배치하여 브라켓의 내력을 확보함을 확인할 수 있었다.



<Fig. 10> SM75-M-30 case



<Fig. 11> SM75-M-35 case



<Fig. 9> SM75-M-25 case

3.2 보강요소(접판, 눈썹판)의 효과 분석

본 절은 아치형 브라켓 SM75A시리즈를 중심으로 강제 사용의 적절성과 보강요소의 효과를 확인하고자 한다. 아치형 브라켓의 보강요소인 접판과 눈썹판의 유무에 따라 해석을 실시하였다.

보강요소의 효과에 대한 최대내력 시 해석 결과는 <Table 4>, <Fig. 12> ~ <Fig. 15>에 나타났다. 최대 내력 시 응력 분포도에서도 아치형 측면에 보강 접판이 없는 XU 제품이나 접판과 눈썹판 모두가 없는 SP 제품의 경우, 작용 압축력의 재하판 부근과 측면의 상부에 높은 압축응력이 발생하는 주응력 분포를 보여주고 있으며, 측

판에 겹판 보강한 UO 제품이나 겹판과 눈썹판을 개발 제품(SM75A-M-30)은 측판의 하부에 높은 응력이 분포하지만 충분한 변형과 함께 휨 거동 양상을 <Fig. 10>과 같이 확인할 수 있다.

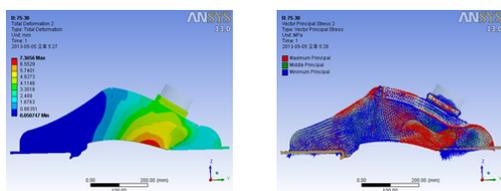
해석결과와 최대 내력을 비교하면, 보강요소를 완전히 제거한 모델인 SM75A-M-30-SP와 보강요소가 모두 부착한 모델인 SM75A-M-30과 비교해 보면 보강요소가 제거된 모델이 151kN (13%)의 낮은 값을 나타냈다. 또한, 겹판 또는 눈썹판이 없는 모델에 대해서도 각각 124kN (10%), 76kN(7%) 낮은 값을 나타냈다. 이는 재하판에 작용하는 압축력으로 측판의 휨 거동에 따른 압축영역 보강재인 겹판과 인장영역 보강재인 눈썹판이 휨 거동을 유지하도록 기여하며, 나아가 아칭 효과가 충분히 발휘됨을 확인할 수 있는 결과이다.

박스형 브라켓보다 개발 브라켓의 해석 최대 내력은 SM75A-M-30-SP 모델의 경우 내력이 87kN(10%) 증가한 결과를 얻었다. 이는 기존 박스형 브라켓의 경우 측판에서 벌어짐과 횡 좌굴 파괴로 급격한 최대내력이 감소됨을 확인하였다.

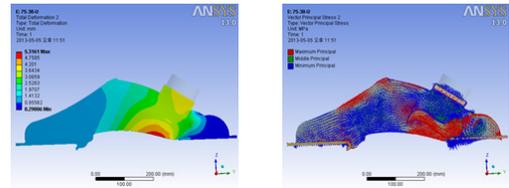
따라서 아치형 브라켓은 측판에 발생하는 인장영역과 압축영역을 고려하여 겹판과 눈썹판을 부착하였으며, 이는 개발 브라켓의 내구성을 높이며 전체 브라켓의 거동에 효과를 기대한다.

<Table 4> Strength by reinforced elements

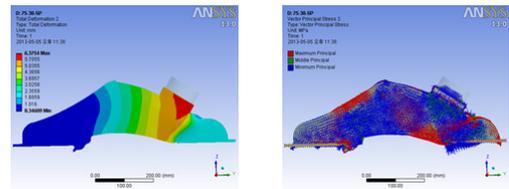
Model's name	Max. Strength(kN)
B-M-30	863
SM75A-M-30-SP	950
SM75A-M-30-UO	1,007
SM75A-M-30-UX	1,055
SM75A-M-30	1,131



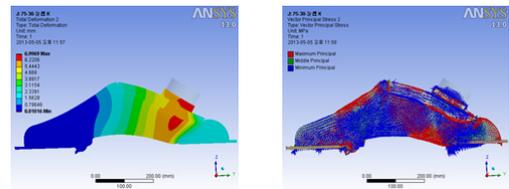
<Fig. 12> SM75A-M-30 case



<Fig. 13> SM75A-M-30-UO case



<Fig. 14> SM75A-M-30-SP case

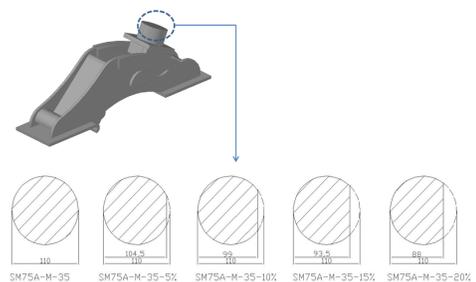


<Fig. 15> SM75A-M-30-UX case

3.3 편심하중의 작용에 대한 비교

흙막이 벽체를 지지하기 위해 그라운드 앵커 공법을 설치 시공하기 위해 흙막이 배면에 설치 각도를 고려하여 천공을 실시한다. 이때 설치 천공 각도나 띠장 설치 위치의 오차는 강연선과 브라켓의 재하판 간의 편심을 발생시켜 압축력이 중심이나 접지면의 불균등 분포 영향을 발생시킬 수 있다.

이와 같은 현상은 박스형 브라켓에서 자주 발생하는 데 강연선이 일직선이 되지 않고 꺾임 현상이나 편심으로 브라켓의 재하판의 작용하중이 집중이 되어 파괴된다. 이에 <Fig. 16>과 같이 브라켓의 재하판 면적에 5%, 10%, 15%, 20%의 편심이 작용하도록 해석을 실시하여 내력을 평가하였다.

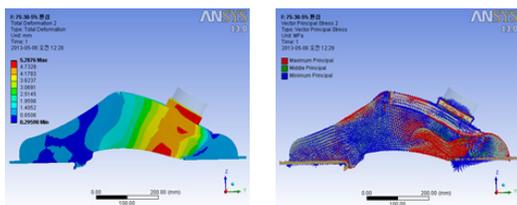


<Fig. 16> Eccentric percent applied to bearing plate

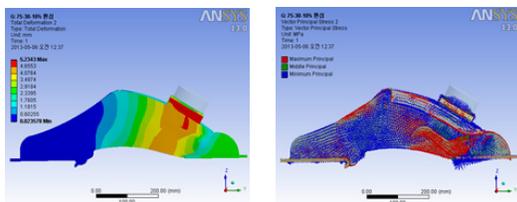
최대내력 시 해석 결과는 <Table 5>, <Fig. 17> ~ <Fig. 20>과 같이 SM75A-M-30 모델을 중심으로 편심량 5%, 10%, 15%, 20% 일 때 각각 55kN (5%), 77kN (7%), 115kN (10%), 145kN (13%) 정도가 저하하였지만 주응력 분포 경향도 비슷한 결과를 나타냈으며, 중심 재하한 박스형 브라켓의 실험 결과 값 보다 높은 내력으로 평가되었다. 따라서 천공 각도나 띠장 시공 오차가 발생하더라도 아치형 브라켓은 재하판에서 발생하는 20% 정도 편심량까지 급격한 파괴 없이 거동하는 것으로 확인되었다.

<Table 5> Strength according to eccentric percent

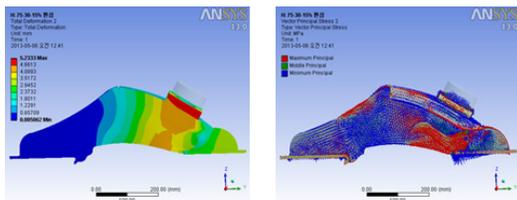
Model's name	Max. strength(kN)
SM75A-M-30	1,131
SM75A-M-30-5%	1,076
SM75A-M-30-10%	1,054
SM75A-M-30-15%	1,016
SM75A-M-30-20%	986



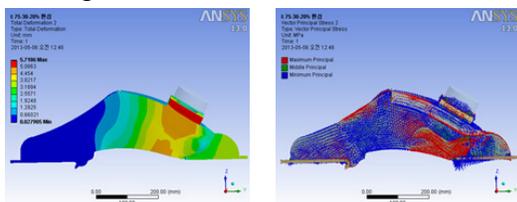
<Fig. 17> SM75A-M-30-5% case



<Fig. 18> SM75A-M-30-10% case



<Fig. 19> SM75A-M-30-15% case



<Fig. 20> SM75A-M-30-20% case

4. 결론

본 연구에서는 삼각형 모양의 측판에 재하판을 용접하여 단일 각도에 시공만이 가능한 박스형 브라켓 대신에 아치형 곡면구조를 갖는 측판 구조에 재하판의 각도를 조절할 수 있도록 고안된 아치형 앵커 브라켓을 중심으로 띠장 간격별, 앵커 설치각도별 다양한 비선형 구조해석을 실시하여 응력의 흐름과 내력을 해석적으로 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 그라운드 앵커에서 사용되는 앵커두부 정착공법으로 브라켓을 기존 삼각형 구조의 측판 대신에 아치형 구조와 인장영역 및 압축영역을 적절하게 보강한 결과 동일각도에서 박스형 브라켓에 비해 내력이 24% 향상되는 결과를 얻었다.
- 2) 아치형 브라켓 제품에서 곁판(압축영역)이나 눈썹판(인장영역)을 보강함으로써 브라켓의 내력이 상승되는 결과를 얻었으며, 이는 브라켓의 아치형 측판에 발생하는 인장응력과 압축응력에 대해 응력집중을 낮춰주는 결과라 판단된다.
- 3) 앵커브라켓의 시공 오차로 인한 재하판의 편심량을 반영한 평가에서 5%, 10%, 15%, 20% 편심하중에 대한 최대 내력은 각각 5%, 7%, 10%, 13% 감소하였으나 중심 재하한 박스형 브라켓의 실험 최대내력 보다는 13% 높은 내력을 얻었다.
- 4) 그라운드앵커 두부 정착부로서 사용하는 박스형 브라켓에 비해 새롭게 개발한 아치형 브라켓은 재하판에 작용하는 압축력에 의해 측판의 휨변형이 충분히 발생할 수 있도록 아칭 거동하는 것을 확인하였다.

이와 같이 본 연구에서 개발 제품의 강재량이 기존 박스형 브라켓이 28.4kgf 인데 비해 아치형 브라켓은 24.1kgf 으로 약15% 절감되었으며, 보다 최적화 설계를 통한 제품의 강재량 절감을 구현할 수 있을 거라 판단한다. 마지막으로 아치형 브라켓의 측판은 하부 인장영역 보강판인 눈썹판과 상부 압축영역 보강판인 곁판을 배치하여 작용 응력의 분산과 힘의 흐름으로 브라켓의 내력을 확보함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 (주)대성스틸랜드, (주)포스코건설, 동부건설(주), (주)삼안 공동연구비에 의하여 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

References

- 1) 흠막이 공학, 구미서관, 2004
- 2) 흠막이 설계와 시공, 도서출판 엔지니어즈, 1999
- 3) 실무자를 위한 토류구조물 설계 실무 편람, 도서출판 과학기술, 1998
- 4) 실무 어스앵커공법, 도서출판 건설정보사, 2003
- 5) 김두수, 'Anchor Bracket의 실용성 연구', 진주산업대학교, 석사학위논문, 2008
- 6) 문희숙, 김재열, 김영호, 천성철, 한범석, '가설공사에서 그라운드앵커용 아치형 브라켓에 관한 구조해석 평가', 대한건축학회추계학술논문집, 2013.10
- 7) 천성철, 김영호, '아칭효과를 갖는 앵커브라켓의 구조성능평가', 대한건축학회논문집 구조계, 2013.08
- 8) 태성에스엔이, ANSYS WORKBENCH, 2010

(접 수 일 자 : 2013년 12월 23일)

(심사완료일자 : 2014년 02월 17일)

(게재확정일자 : 2014년 02월 21일)