

SC(강판-콘크리트)구조 브라켓 접합부 거동에 관한 연구

A Study on the Behavior of Wall-Support Joint of Steel Plate-Concrete Structure

김 우 범¹⁾ · 김 강 식²⁾

Kim, Woo Bum Kim, Kang Sik

요 약 : 본 논문에서는 강판-콘크리트 벽체구조에 부착되는 기기를 지지하기 위하여 설치되는 지지대와 벽체와의 접합 성능을 파악하기 위하여 구조실험 및 유한요소해석을 수행하였다. 구조실험은 9개의 시험체를 제작하여 파괴모드 및 최대내력을 파악하였으며 유한요소해석모형을 작성하여 이를 실험결과와 비교 검증한 후 강판두께, 스티드 볼트 간격, 지지대의 위치 및 크기 등의 영향인자가 벽체 접합부의 거동 및 내력에 미치는 변화를 살펴보았다. 해석 시험체의 하중-변형의 관계로부터 시험체의 항복내력 및 최대내력을 정의 하였으며 향후 항복선 해석을 위한 토대를 마련하였다.

ABSTRACT : An experimental and analytical study on the behavior of the wall-support joint in SC(steel plate-concrete) structure was performed. Nine full-scale specimens were tested with a horizontal monotonic load, all acting in the same plane, causing a uni-axial moment on the SC structure's wall-support beam joint. The main focus is to examine thenonlinear behavior and ultimate strength of the SC wall-support joint. The effects of parameters, such as location of support, thickness of the steel plate, and size of support, were studied. The yield strength and ultimate strength of the plate-concrete wall was defined by examining the load-deflection relationship, showing the tension membrane action.

핵심용어 : 강판-콘크리트 구조, 벽체-지지대 접합부

KEYWORDS : SC(steel plate - concrete) structure, wall-support joint

1. 서론

SC구조는 원자력발전소의 건설 공기를 획기적으로 단축하기 위하여 채택하고 있는 모듈화공법에 필수적인 기본 구조체로 선진 외국에서 활발히 연구개발 추진 중인 신 개념의 합성구조이다. 국내에서는 표준형 원전의 경우 일부 분야에 모듈화공법을 적용하여 건설공기를 54개월대로 수행하고 있으나 해외에서는 이미 모듈화공법의 전면적인 적용을 통하여 42개월대로 공기를 획기적으로 단축하고 있다. 현재 국내원전의 모듈화 수준은 구조물을 제외한 가설, 설비 및 운반 등에 제한적으로 적용됨으로써 건설 공기단축에는 한계성을 가지고 있다. 원전 모듈화공법의 기본구조인 SC구조는 샌드위치식 합성구조형식의 일종으로 일반적인 SRC구조와는 다르게 강판이 콘크리트 외부에 설치됨으로써 구조적으로 인장 및 휨재로서의 기능뿐만 아니라 거푸집으로도 사용이 가능하므로, 기

존의 철근 콘크리트구조에서 주공정인 철근 가공조립 및 거푸집설치, 해체공정이 삭제됨으로써 획기적인 공기단축이 가능한 공법이다. 그러나 SC구조는 강판, 스티드 및 콘크리트로 조합된 구조로 종래의 합성구조와는 역학적 거동이 상이하며 이에 대한 국내의 연구는 초기단계에 있다. SC구조는 크게 벽체구조와 바닥구조로 대별되며 벽체구조에는 기둥이, 바닥구조에는 보가 포함된다. 본 구조체의 성능을 평가하기 위해서는 복원력, 압축내력, 평판 전단내력 및 접합부 특성 등의 기초 구조성능의 파악을 필요로 한다. 특히 벽체에 설치되는 기기 지지물과의 접합부는 현재 원전구조물 전단벽체에 적용 가능한 구조요소로 스티드로 보강된 SC벽체와 지지대로 구성된다. 이에 본 연구에서는 스티드 보강 평판 벽체 구조의 중요성능인 기기지지 구조성능을 파악하기 위하여 벽체 구조 내력 실험을 수행하고 유한요소해석과의 비교 검증을 통하여 SC 구조벽체의 구조적 거동 및 내력을 파악하고자한다.

1) 정희원, 공주대학교 건축공학부 부교수
(Tel. 041-650-8655, Fax. 041-654-8659, E-mail : wbk@kongju.ac.kr)
2) 정희원, 전력연구원 선임연구원(kimks@kepri.re.kr)

본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

2. SC구조 벽체-지지대 개요

2.1 SC구조 부착물의 특징 및 기능

SC구조는 기존 철근콘크리트구조기 지지물의 경우 노출 콘크리트와 내부에 지지대 설치용 매립철판으로 구성된 것과는 달리, 강판이 콘크리트 외부에 설치되어 구조재와 거푸집으로서 사용이 가능한 공법으로 벽체 및 천장에 설치되는 Pipe, Cable Tray 지지대등 부착물의 고정을 위해서 강판에 스테드 볼트로 보강된다. 지지대에 적용되는 하중은 인발, 전단, 모멘트가 복합적으로 작용하며 이에 대한 내력 확보는 강판의 두께, 스테드 볼트의 크기, 간격 등에 의하여 결정된다.

2.2 부착물 형태 및 거동

원전에 적용할 SC구조는 다양한 형태로 구성되어 있으나 SC구조의 기본은 그림 1과 같이 강판과 스테드 볼트를 용접으로 연결하고 콘크리트를 채워 강판과 콘크리트가 합성작용을 할 수 있도록 하여 외력에 저항하도록 하는 합성구조이다. SC구조에서 지지대 설치를 위해서는 그림 1과 같이 노출된 강판에 별도의 Embed Plate들을 설치하여야 한다. 그러나 일정규모 이하의 경량물용 지지대의 경우는 SC벽체의 외부 강판에 직접설치가 가능하다. SC구조체 강판에는 계획된 부착물외에도 발전소 운영기간동안 수도배관 증설, 전선관 증설 등 추가적인 부착물이 설치되며 이들 부착물은 강판의 어느 위치에라도 설치될 가능성이 있으므로 부착물의 설치위치와 부착물의 규모를 상호 고려하여 내력의 영향을 평가하여야 한다.

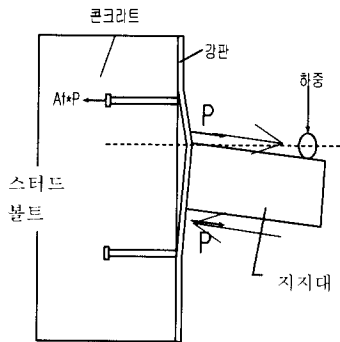


그림 1. 벽체-지지대 접합부 형상 및 거동

3. SC구조 벽체-지지대 거동 평가

3.1 실험에 의한 접합부 내력평가

3.1.1 실험체 계획

실험모델은 벽체-지지대 접합부 구현을 위하여 원전의 사례를 조사하여 미국 AP-600원전의 SC구조 상세를 적용하였다. AP-600원전에서 적용하고 있는 SC구조벽체는 강판두께 12mm, 스테드 볼트의 양방향배치간격 230mm을 기본으로 하여 300mm두께의 콘크리트가 채워진 SC구조체로하며, H-100×100×6×8 지지대를 상하 스테드 볼트의 중앙에 설치한 것을 기준모델로 하였다. 또한 기준모델을 포함하여 지지대의 부착 위치를 조정한 5개 모델, 강판의 두께에 의한 영향평가를 위하여 기준모델에서 강판의 두께를 9mm, 19mm로 변경한 2개 모델, 그리고 지지대의 춤을 조절한 2개 모델을 계획하였다. 그림 2-(a)는 실험체 형상 및 치수를 나타내며, 그림 2-(b)는 단조가력실험을 위한 실험체 장치와 실험체 변형 형상을 나타내었다. 각 실험체의 상세일람은 아래의 표 1과 같다.

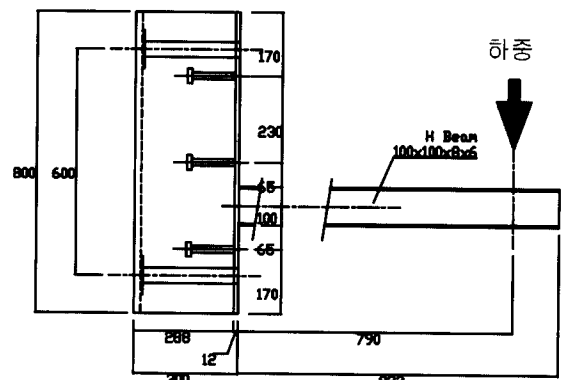
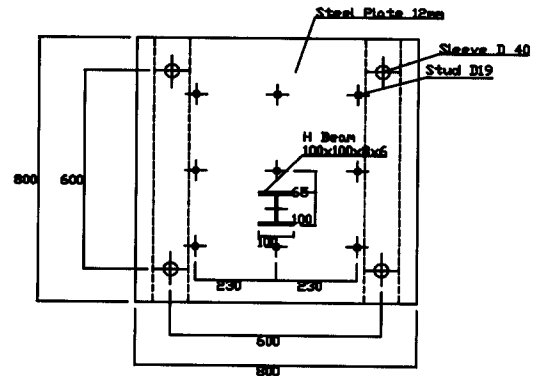


그림 2-(a). 실험체 치수 및 형상

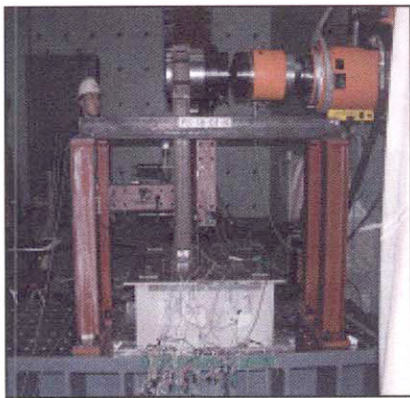
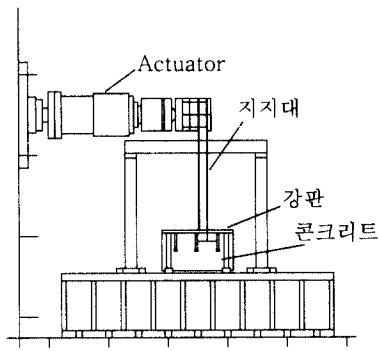


그림 2-(b). 실험체 설치상황 및 실험전경

표 1. 실험체일람

실험체명	폭두께비 (B/t)	지지대 춤	지지대 위치				
			A	B	C	D	E
			○	○	○	○	○
			○	○	⊥	⊥	⊥
			⊥	⊥	○	○	○
			○	○	○	○	○
PS36-D1-B	36 (230/6.5)	100mm		○			
PS18-D1 -A,B,C,D,E	18 (230/13)	100mm	○	○	○	○	○
PS12-D1-B	12 (230/19)	100mm		○			
PS18-D2-B	18 (230/13)	125mm		○			
PS18-D3-B	18 (230/13)	150mm		○			

3.1.2 실험 사용재료 및 재료의 기계적 성질

실험에 사용한 지지대(H형강)와 강판의 재질은 SS400, 스테드 볼트는 ASTM A108 Gr. 1010-1020이다. 강재의 기계적 성질을 평가하기 위해 시험편은 KS B 0801에 따라 제작하여 인장실험을 수행하였다. 소재의 인장강도 실험으로

부터 평가된 각 시험편의 항복강도는 강판의 경우 두께에 따라 3130~3440kgf/cm² 정도로 평가되었다. 또한 본 실험에서 사용한 콘크리트는 콘크리트에 매입되는 스테드 볼트의 축방향 강도를 구조성능 평가시 영향인자로 고려하고 있어 콘크리트는 파괴가 유발되지 않도록 콘크리트 28일 압축강도를 5500 PSI(385kgf/cm²)로 하여 사용하였다.

3.1.3 실험결과 분석

(1) 지지대 설치위치에 따른 접합부 내력

지지대의 설치위치를 변수로 하는 경우에는 실험계획에서도 알 수 있듯이 지지대가 스테드 볼트의 사이에 설치된 것과 지지대의 웹 내에 스테드 볼트가 설치된 것으로 구분하여 볼 수 있다. 우선 지지대가 스테드 볼트 사이에 있으면서 위치변경을 변수로 한 PS18D1-A,B,C 실험체의 강판 항복시 하중을 보면 PS18D1-C의 경우가 내력이 가장 큰 것으로 나타났으며 기준 실험체인 PS18D1-B 보다 약 18%정도 내력이 큰 것으로 나타났다. 이는 지지대의 접합부의 인장 플랜지에 스테드 볼트가 설치된 실험체로 인장력이 스테드 볼트에 직접 작용하면서 강판의 면의 휨변형에 앞서 스테드 볼트에 인장력이 크게 작용하기 때문이다. 다음으로 지지대의 웹 내에 스테드 볼트가 설치되어 위치 변경을 변수로 한 PS18D1-C,D,E의 경우에서도 PS18D1-C 실험체의 접합부의 내력이 가장 큰 것으로 나타났다. 이 또한 PS18D1-C의 경우가 스테드 볼트의 인장축 강판 구속효과가 가장 크기 때문으로 파악된다.

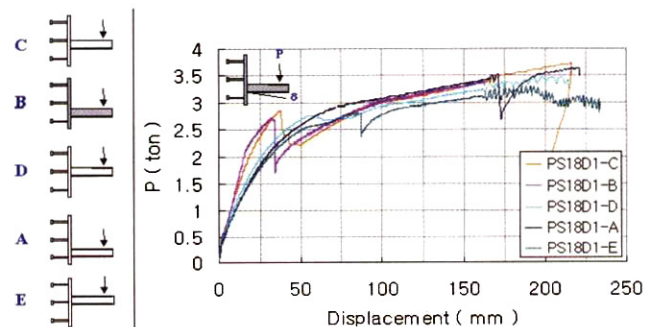


그림 3. 지지대의 설치위치에 따른 하중-변위 관계곡선

(2) 강판의 두께변화에 따른 접합부 내력

강판의 두께변화에 따른 실험 결과를 그림 6에 나타내었다. 두께변화에 의한 접합부 내력은 예상했던 바와 같이 강판의 두께가 가장 두꺼운 PS12D1-B가 가장 크게 나타났고 PS18D1-B, PS36D1-B 순으로 나타났다. 여기서 강판의 두께가 상대적으로 적은 PS18D1-B, PS36D1-B 시험체의 경우 강판의 항복이 상대적으로 빨리 진전되고 스테드 볼트

의 파단으로 이어져 강판의 내력이 급감하게 되나 강판의 추가내력으로 내력곡선은 다시 상승함을 나타내었다. 강판의 두께가 가장 두꺼운 PS12D1-B시험체는 강판의 항복변형 이전에 지지대가 항복하고 강판이 항복하기 시작하였으나 지지대의 항복으로 인하여 강판의 최대내력은 측정치 못하였다.

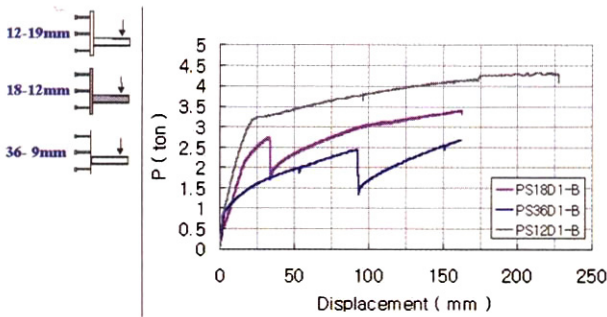


그림 4. 두께변화에 따른 하중-변위 관계곡선

(3) 지지대의 춤 변화에 따른 접합부 내력평가

지지대의 춤의 변화에 따른 접합부내력은 춤이 가장 큰 PS18D3-B가 가장 큰 것으로 나타났다. 기준실험체인 PS18D1-B와 PS18D2-B와 비교하였을 때 춤이 1.25배 증가하는 경우 약 210%정도 내력이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 접합부에 동일한 모멘트가 작용할 경우, 지지대의 단면높이가 증가할수록 지지대 인장플랜지와 스티드 볼트 반력점과의 거리가 가까워지므로 강판의 휨강성이 증가하며 항복강도도 증가하기 때문이다. 본 시험체들은 강판의 두께가 상대적으로 얇은 13mm로 강판의 최대내력 도달이전에 스티드 파단이 발생하였으며 스티드 파단이후에는 추가적인 강판의 내력 상승을 나타내었다.

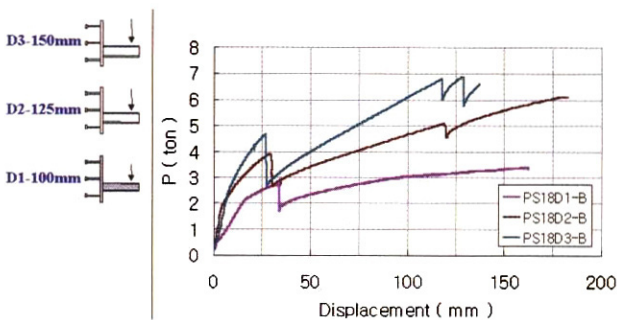


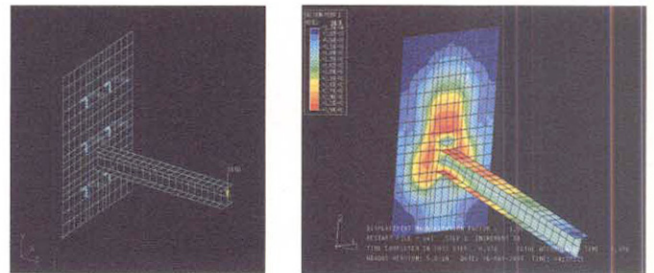
그림 5. 지지대 춤의 변화에 따른 하중-변위 관계곡선

3.2 유한요소 해석에 의한 접합부 내력평가

3.2.1 해석 시험체의 모델링

해석에 사용된 접합부 시험체는그림 6과 같이 범용구조해

석용 비선형 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 5.8을 이용하였다. 강판의 경우 S4R5요소를 사용하였으며, 강판과 콘크리트의 두 요소 사이는 Gap element를 사용하여 강판과 콘크리트의 contact문제를 해결하였다. 유한요소 해석에 사용된 시험체의 항복응력은 강판의 경우 3.3tf/cm²이며 탄성계수는 2100tf/cm², 프와송비는 0.3으로 모든 유한요소 시험체에 동일하게 적용하였다. 그리고 볼트가 충분한 강성 및 강도를 가진다는 전제 하에 스티드 볼트의 모델링은 지지조건을 고정으로 하여 모델링하였다. 스티드 볼트의 부착파괴 및 콘크리트의 콘파괴가 발생 할 수 있으나 실제 설계에서는 강판의 휨파괴를 유도하는 것이 일반적이므로 이에 대해서 본 연구에서는 고려치 않았다.



(a) 해석모델 (b) 응력분포 해석결과
그림 6. 유한요소 해석모델

3.2.2 접합부 내력평가 기준

해석결과 모든 시험체는 그림 7과 같이 초기 선형탄성 거동을 보인 후 강판의 항복에 의한 비선형 거동을 보이는 것으로 나타났다. 강판의 초기 휨에 의한 항복 이후에는 기울기가 차츰 감소되다가 다시 증가되는데 이는 강판의 막작용에 의한 면내응력으로 추가적인 저항력이 발생되기 때문이다. 결과적으로 강판의 내력은 강판이 인장파괴에 도달할 때까지 지속적으로 증가하게 된다. 그러나 강판의 최대내력을 산정함에 있어서는 휨 파괴내력을 기준으로 함이 적절하므로 최대내력은 휨 강성의 기울기가 감소에서 증가로 전환되는 점을 택함이 합리적인 것으로 판단된다. 또한 강판의 항복내력은 초기강성의 연장선과 최대내력점에서의 접선과의 교점을 택함이 바람직하며 그림 7에서 보는바와 같이 초기강성과 E_p 에서의 접선과의 교점을 E_y 로 예측할 수 있다. 이렇게 하였을 때 각 시험체의 항복강도는 일정한 경향(붉은직선)을 나타내었다.

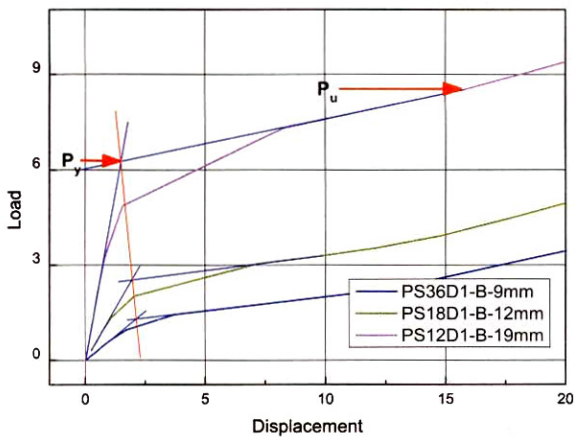


그림 7. P_y 와 P_u 의 추정

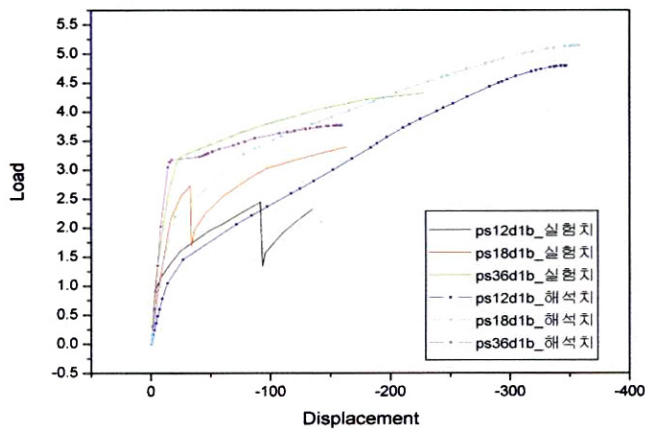


그림 8. 선정 시험체의 실험치와 해석치의 비교

3.2.3 실험치와 해석치의 결과 비교 분석

그림 8은 3개의 시험체에 대하여 실험치와 해석치의 비교를 나타낸 것으로 초기 선형 탄성 구간 및 항복후 일부 구간에서는 잘 일치하는 것으로 나타났다. PS12D1B 및 PS18D1B 실험체의 경우 항복 후 일부 구간에서는 해석치와 일치하지 않음을 나타내고 있는데 이는 실험체의 경우 스테드 앵커의 파단으로 강도가 일시적으로 급격히 떨어졌기 때문이다. 그러나 본 연구에서는 스테드 볼트 파괴보다는 강판의 휨파괴 내력의 예측을 목적으로 하였으며 스테드 볼트 파괴에 따른 강판의 내력 변화는 향후 추가적인 연구를 수행할 예정이다. 그림에서 나타나는 바와 같이 실험적으로는 해석적방법에서와 같은 P_u 및 P_y 의 예측이 매우 어려웠는데 이는 강판의 막작용이 발생되기 전에 스테드 볼트의 파단과 지지대의 항복이 발생하였기 때문이다. 따라서 향후 실험적으로 강판의 P_u 및 P_y 를 예측하기 위해서는 충분한 강도 및 강성을 갖는 스테드 볼트와 지지대의 선택이 필요할 것으로 파악되었다. 본 유한요소모델은 항복후 일정구간까지 실험치와

비교적 잘 일치하고 있으므로 벽체-지지대 접합부의 거동을 파악하기위한 모델로 적합한 것으로 판단되었다.

3.2.4. 유한요소해석에 의한 강판-지지대의 거동

SC구조 벽체-지지대의 거동을 보면 지지대의 하중이 재하되면서 초기에는 벽체의 강판이 지지대의 압축 플랜지를 중심으로 회전, 인장하면서 면내에 휨모멘트와 스테드 볼트의 반력으로 평형을 이루게 된다. 하중이 증가함에 따라 지지대의 압축플랜지를 중심으로 강판의 회전이 발생하며 인장 플랜지를 중심으로 항복변형이 시작된다.

그림 9는 실험체의 각 단계(Increment)별 응력분포 (Contour)의 일반적 경향을 나타내고 있다. 그림 9의 (a)는 초기 하중 재하시의 모습으로 인장축 플랜지 주변을 중심으로 휨응력이 발생하기 시작하며 (b)는 하중이 점차 재하되면서 인장축 플랜지 윗부분에 항복이 나타나기 시작함을 보인다. 휨변형은 지지대를 중심으로 강판 전체로 옮겨가며 (b), (c)를 지나 (e)에 이르러 $P_y(0.78P_u)$ 에 도달하며 (f)는 항복영역이 확장되어 지지대 상하단 플랜지 주변이 모두 항복하여 P_u 에 이른 상황이다. 강판 플레이트는 초기에 prying action을 나타내나 그 영향은 미미한 것으로 나타났다.

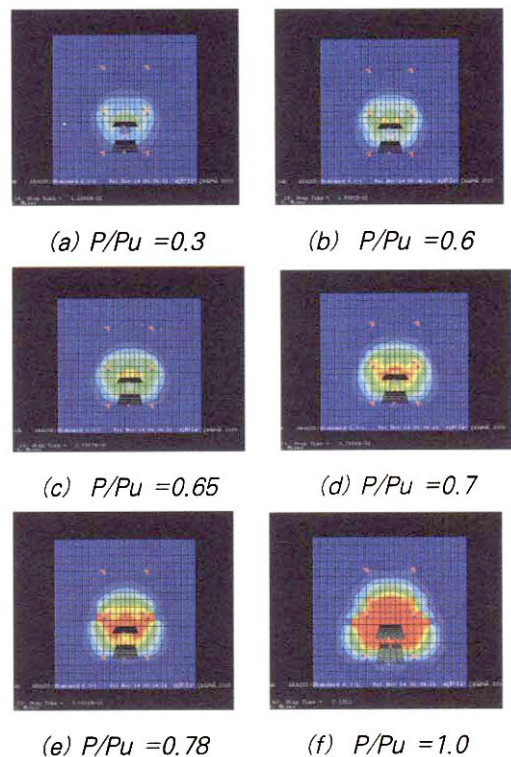


그림 9. 하중 재하별 응력 분포

3.2.5 영향인자별 유한요소 해석

강판의 내력에 미치는 영향인자로는 강판의 두께, 지지대의 위치, 지지대의 춤, 스테드 볼트의 간격 등이 있다. 스테드의 크기도 시험체의 내력에 영향을 미치는 주요인자가 될 수 있으나 본 연구에서는 강판 자체의 내력에 영향을 미치는 인자로 제한하여 분석하였다. 표 2 및 표 3은 각 시험체의 제원과 각 영향인자에 대한 유한요소해석 결과 나타난 시험체의 항복내력 P_y 및 극한내력 P_u 이다.

표 2. 유한요소해석 시험체 일람

영향인자		강판두께 (mm)	지지대 위치(mm)	지지대 춤(mm)	스테드양 방향간격 (mm)
강판의 두께별	PT06	6	65	100	230
	PT12	12			
	PT15	15			
	PT19	19			
지지대 위치별 (인장플랜지와 중앙앵커 사이의 거리)	SP01	12	150	100	230
	SP02		105		
	SP03		65		
	SP04		25		
지지대 춤	SP075	12	65	75	230
	SP100			100	
	SP125			125	
	SP150			150	
앵커 양방향 간격	AD07	12	65	100	100
	AD10				230
	AD12				276
	AD15				345
	AD18				414

표 3. 시험체 해석결과

영향인자	모델명	극한내력 P_u (tonf)	항복내력 P_y (tonf)
강판두께별	PT06	0.81	0.63
	PT09	1.93	1.47
	PT12	3.15	2.07
	PT15	4.99	4.29
지지대 위치별	SP01	2.93	2.17
	SP02	2.99	2.07
	SP03	3.15	1.87
	SP04	3.72	1.56
지지대 춤별	SD075	2.58	2.06
	SD100	3.15	2.07
	SD125	4.01	2.22
	SD150	4.84	2.42
	SD175	6.47	2.91
앵커 양방향 간격별	AD07	4.20	3.39
	AD10	3.15	2.22
	AD12	3.05	2.17
	AD15	2.90	1.95
	AD18	2.80	1.63

각 영향인자 별 시험체의 거동 특성은 다음과 같다.

(1) 강판의 두께에 따른 영향

강판의 휨강성은 강판의 두께에 의해 결정된다. 따라서 강판의 두께에 따른 영향을 파악하기 위하여 앵커 상하좌우의 중앙에 지지대가 위치한 기준모델에 대하여 강판두께 3mm, 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 19mm로 변경한 6개 시험체에 대하여 유한요소해석을 수행하였다.

그림 11은 강판두께에 따른 하중-변위 곡선이며 그림 12에는 하중에 따른 각 스테드 볼트의 반력(인발력)을 나타내었다. 강판 두께에 따른 영향은 예상했던 바와 같이 강판이 두꺼울수록 강판의 초기 강성과 내력이 더 커지는 것으로 나타났다. 앞에서 기술한 바와 같이 강판의 막작용이 발생하였으며 이로부터 항복내력과 최대내력을 추정하였다. 그림 11에서 보는 바와 같이 강판두께 15mm, 19mm인 시험체 PT015, PT019는 강판의 최대내력 P_u 는 단면춤(Depth) 100mm인 지지대가 전소성모멘트에 도달할 때의 하중 보다 큰 것으로 나타났는데 이는 강판이 최대내력에 도달하기 전에 지지대가 먼저 항복하는 경우에 속한다. 나머지 4개 시험체는 지지대 항복 이전에 강판이 최대내력에 도달하였다.

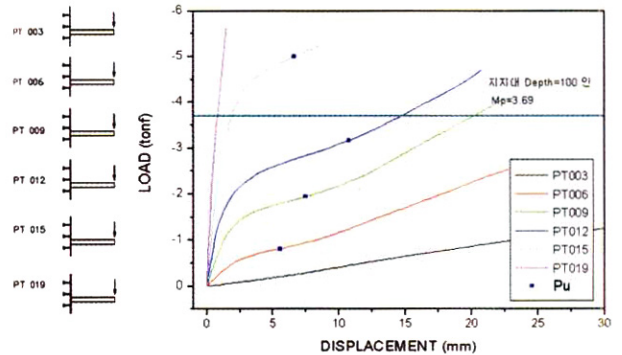


그림 11. 강판 두께에 따른 하중-변위 관계곡선

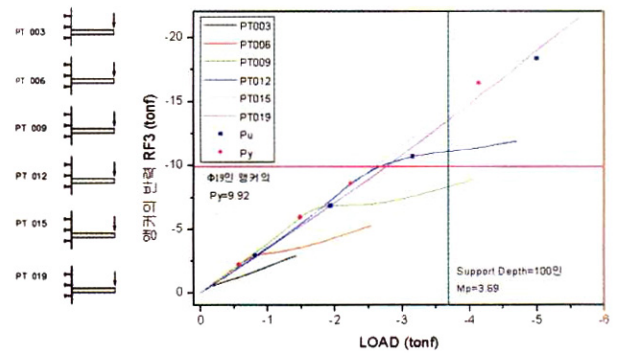


그림 12. 강판 두께에 따른 하중-스테드 반력 관계곡선

그림 12에서는 강판두께 9mm이하인 시험체 PT009, PT006, PT003은 강판이 최대내력에 도달할 때 스테드 볼트 지점의 반력은 스테드 볼트의 항복내력에 미치지 못하는 것으로 나타났으며 이는 스테드의 파단보다 강판의 항복이 선행됨을 의미하므로 시험체의 내력은 강판의 두께에 의하여 결정됨을 알 수 있다. 그러나 강판두께 12mm인 PT012의 경우 스테드 파단이 먼저 발생되고 강판이 최대내력에 도달한 후 지지대가 항복됨을 알 수 있다. 또한 강판두께 15mm 이상인 PT015, PT019 시험체는 스테드 파단, 지지대항복이 선행됨을 알 수 있다.

(2) 지지대 설치 위치 변화에 따른 영향

시험체 SP01, SP02, SP03, SP04, SP05는 지지대의 압축플랜지(하부플랜지) 위치를 하단 스테드 볼트에서 상단 스테드 볼트까지 변경시킨 것으로 특히 SP05는 상단 스테드 볼트가 지지대의 상하단 플랜지 사이에 위치한 경우이다. 지지대의 설치위치에 따른 강판의 내력을 비교하여 보면 그림 13에서 보는 바와 같이 지지대의 압축플랜지와 하단 스테드 볼트와의 거리가 먼 시험체일수록 또는 인장플랜지와 상단 스테드 볼트와의 거리가 가까울수록 그 내력이 커지는 것으로 나타났다

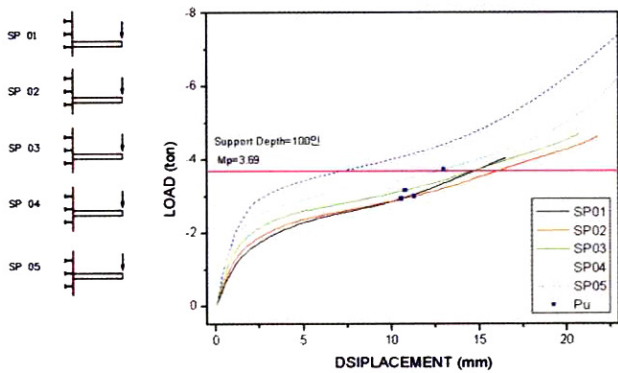


그림 13. 지지대 위치에 따른 하중-변위 관계곡선

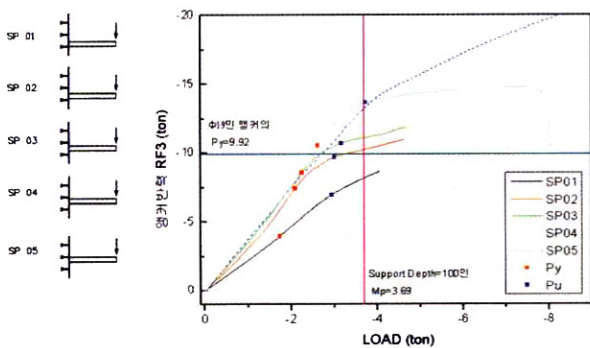


그림 14. 지지대 위치에 따른 하중-스테드볼트 반력 관계곡선

시험체 SP01, SP02, SP03, SP04,는 강판이 최대 내력에 도달하기전에 지지대가 항복하는 것으로 나타났으며 SP04는 강판의 항복과 지지대의 항복시점이 거의 비슷함을 보였다. 그러나 지지대 웹 사이에 스테드 볼트가 위치한 시험체 SP05는 지지대의 항복이 먼저 발생하였다. 그림14에서 보는 바와 같이 SP01,SP02 시험체는 강판이 최대내력에 도달할 때까지 앵커가 항복하지 않는 것으로 나타났으나 SP03,SP04,SP05시험체는 스테드 볼트의 항복이 먼저 일어나는 것으로 나타났다. 이는 지지대 웹 사이에 스테드 볼트가 위치한 경우 강판의 내력은 증가하나 스테드 볼트와 압축플랜지의 거리가 근접함에 따라 모멘트에 의한 인장력이 스테드 볼트에 크게 작용하기 때문이다. 따라서 압축플랜지와 앵커간의 거리, 앵커가 받는 반력 및 강판의 최대내력 사이에 상관관계가 있음을 알 수 있다.

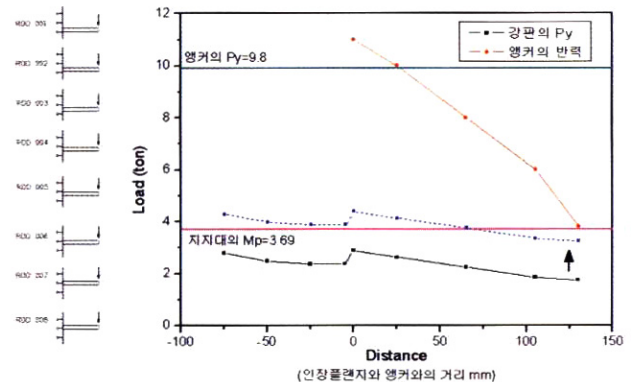


그림 15. 지지대 위치에 따른 강판내력 및 스테드볼트 반력 과의 상관관계

그림 15는 지지대의 위치에 따른 강판의 최대내력 P_u 와 그때의 앵커의 반력을 나타낸 그래프이다. 지지대의 축이 같을 경우, 지지대의 인장플랜지와 스테드 볼트 사이의 거리가 가까울수록 강판의 내력이 증가하는 것을 확인할 수 있다 (단 지지대의 인장플랜지 위치가 스테드 볼트를 넘어서게 되면 최대내력은 감소했다가 다시 증가한다). 하지만 지지대의 인장플랜지와 앵커 사이의 거리가 가까울수록 스테드 볼트의 반력 또한 커지므로 강판의 최대내력 도달 이전에 앵커의 항복이 먼저 일어날 수 있음을 나타내고 있다. 만일 강판의 두께가 더 커질 경우에는 강판의 내력이 증가되므로(그림 16에서 화살표 방향으로 이동한 곡선) 강판의 최대내력 도달 이전에 지지대 항복과 앵커의 항복이 먼저 일어날 가능성이 크게 되므로 설계시에는 이들 변수간의 상호관계에 대한 충분한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 지지대 층(Depth)의 변화에 따른 영향

지지대 층의 변화에 따른 내력을 비교하여보면 그림 16에서 보는 바와 같이 지지대의 층(Depth)이 커질수록 강판의 강성과 내력이 커지는 것으로 나타났다.

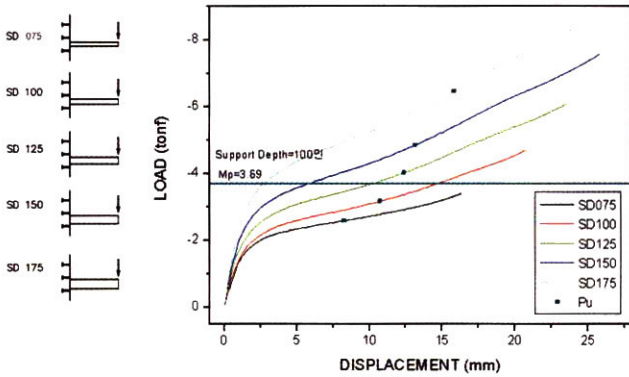


그림 16. 지지대 단면높이에 따른 하중-변위 관계곡선

이는 지지대 단면높이가 커지면서 지지대와 부착된 강판의 강체변형 작용으로 강성이 증가하며 항복선의 길이가 적어짐에 따라 항복내력이 증가되었기 때문인 것으로 판단된다. 스테드 볼트의 반력은 그림 17에서 보는 바와 같이 지지대의 단면높이가 커질수록 작아지는 것으로 나타났는데 이는 지지대의 단면높이가 증가할수록 자재 압축플랜지와 상단 스테드 볼트와의 거리가 증가하므로 스테드 볼트의 반력은 감소하게 된다.

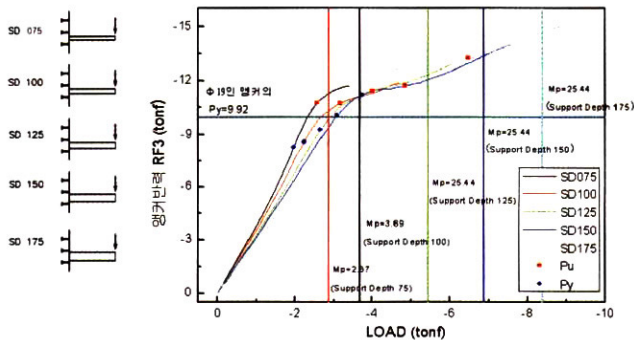


그림 17. 지지대 단면높이에 따른 하중-스테드볼트반력 관계곡선

SD075 시험체의 경우 강판의 항복이 발생하는 시점인 하중 2.05t에서 스테드 및 지지대의 파괴는 발생치 않으나 최대내력점인 하중 2.4t에서는 스테드 볼트는 항복점에 도달하여 파괴된다. 특히 지지대의 층이 가장 큰 SD175시험편의 경우 강판이 항복하기전에 스테드 볼트가 항복내력에 도달되어 파괴되는데, 이와 같이 시험체의 내력은 영향인자에 따라서 파괴모드가 달라짐을 예측할 수 있다.

(4) 앵커 양방향 간격에 따른 영향

앵커 양방향 간격에 따른 강판의 내력을 비교하여 보면 그림 18에서와 같이 앵커 양방향 간격이 넓어질수록 강판 내력이 감소하는 것으로 나타났다.

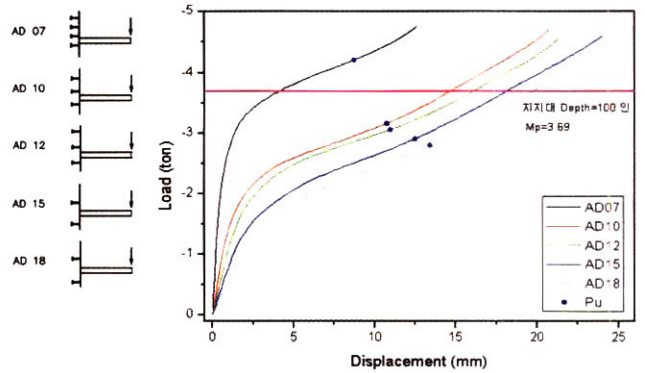


그림 18. 스테드 양방향 간격에 따른 하중-변위 관계곡선

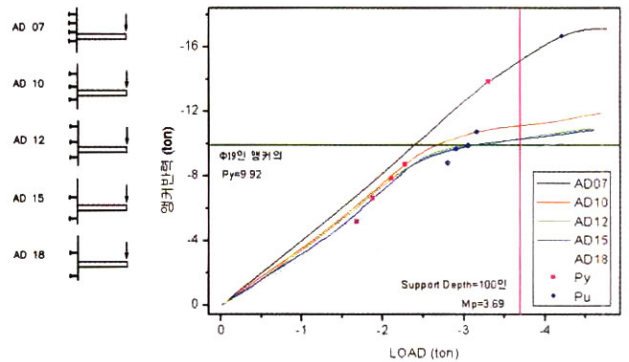


그림 19. 앵커 양방향 간격에 따른 하중-스테드반력 관계곡선

또한 그림 19에서 보는바와 같이 스테드 볼트 양방향간격이 넓어질수록 스테드 볼트의 반력이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 스테드 볼트 양방향 간격이 넓어짐에 따라 모멘트 팔 길이가 증가하기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 원진 SC구조 벽체구조의 기기지지 성능을 파악하기위하여 지지대의 부착위치, 강판두께, 지지대 단면 층의 변화에 대한 구조내력실험 및 유한요소해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) SC구조 실험체의 파괴모드는 접합부에 모멘트가 발생하면서 강판이 면의 방향으로 변형되고 이에 따라 강판, 스테드 볼트, 지지대의 일부가 응력집중에 의

해 항복에 이르는 복잡한 파괴양상을 나타내었다. 실험결과 각 모델은 초기 선형탄성 거동을 거쳐 강판의 면외 휨변형에 의한 비선형 거동을 보이는 것으로 나타났다. 이는 유한요소해석 결과와 근사한 값을 나타내었다. 유한요소해석에 있어서 인장력에 의한 막작용이 확인되었으며 막작용의 시발점을 토대로 강판의 항복내력과 최대내력의 도출이 가능하였다.

- (2) SC구조 벽체-지지대 접합부의 내력은 강판의 두께, 스테드와 지지대 압축플랜지 간의 거리, 스테드 내력, 스테드 간격에 의해 결정된다.
- (3) 강판의 두께에 따른 실험체의 내력은 강판의 두께가 두꺼울수록 크게 나타났는데, 이는 강판 두께의 증가에 따라 강판의 면외방향 강성이 증가하기 때문이다.
- (4) 지지대의 단면높이에 따른 실험체의 강성 및 내력은 단면높이 증가할수록 크게 나타났는데, 이는 접합부에 동일한 모멘트가 작용할 경우, 지지대의 단면높이가 증가할수록 강판의 강체변형 작용이 강화되기 때문이다.
- (5) 지지대의 위치에 따른 실험체의 강성 및 내력은 스테드 볼트와 지지대 압축플랜지 간의 거리가 가까워질수록 크게 나타났으며 이는 가력점과 지지점간의 모멘트 팔 길이가 적어지기 때문이다. 이러한 경우에는 강판의 내력은 증가하는 반면에 스테드 볼트의 반력이 커지게 되므로 스테드 볼트의 내력에 의해 접합부의 내력이 결정될 수 있음을 의미한다.

감 사 의 글

본 논문은 공주대학교 자체연구비 학술지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 김강식, 김우범, 이정민(2003), 강판-콘크리트구조 벽체-지지대 접합부의 거동 특성에 관한 연구, 추계학술발표회논문집, 대한건축학회, 23권 2호, pp.277-280
- 전력연구원(2002), 원전의 SC구조 적합성검토 및 접합부거동 특성 기초실험 연구보고서
- Ramesh, C. Mishra (1998), Experimental investigation of embeded steel plates in reinforced concrete structures, Engineering Structures 20, p.105-112
- NUREG/CR-6486(1997), Assessment of Modular Construction for Safety-related Structures at Advanced Nuclear vol. 34Power Plant, Brookhaven National Laboratory
- 平川啓司(1999), 鋼板コンクリート構造に関する實驗的研究, 日本建築學會學術講演概要集, p.1255-1260
- 秋山他(1986), 鋼板コンクリートサンドッチ 構造部材強度に関する實驗的研究, 鹿島建設技術研究所年報
- (접수일자 : 2003. 11. 27 / 심사일 2004. 5. 24 / 심사완료일 2004. 6. 10)