

# SC구조 평판의 면내전단내력 평가

## Evaluation of Steel Plate Reinforced Concrete Panels under In-plane Shear

이 명 재<sup>1)</sup> · 이 현 옥<sup>2)</sup> · 진 성 찬<sup>3)</sup>

Lee, Myung Jae · Lee, Hyun Wook · Jin, Seong Chan

요 약 : 최근 공기단축, 인건비절감 및 시공성 향상을 위한 간편한 시공법으로 그 구조적 성능이 우수한 SC구조시스템이 제안되었다. 이 연구에서는 SC구조 기술의 전반적인 연구의 일환으로 기본적인 SC구조 면내 전단력에 대한 거동특성을 파악함과 동시에 평판에 순수면내전단력을 가력하는 방법에 대해 타당성 검토를 병행한다. 특히 SC구조의 거동특성 중 순전단응력상태 및 축력과 전단응력이 동시에 작용하는 상황에서 면내전단에 대한 내력과 변형 등 기본적 역학특성 및 구조적 성능을 파악하고 평판 면내전단가력 방법을 제안하는 것이다. SC구조 평판전단내력 실험을 통해 강재와 콘크리트의 일체 거동을 통한 평판의 내력 상승 및 축력의 유무에 따른 내력 상승을 확인하였으며, 전단력에 의한 평판의 파괴 양상을 파악하였다. 또한 평판에 순수 전단력만을 가력하기 위한 4힌지 프레임에 의한 평판전단내력 실험방법의 가능성 또한 확인하였다.

ABSTRACT : The steel plate reinforced concrete structure(SC structure) is suggested for the reasons of the saving of construction period, the saving of manpower and the advantage of quality control. The objective of this study is to evaluate basic structural behavior of SC structure under pure shear load, and shear with axial load condition and to suggest the method of in-plane pure shear loading. From the test results, structural behaviors of SC structure under pure shear load and shear with axial load were investigated the combination of validity of pure shear loading method by using 4 hinge frames was verified.

핵심 용어 : SC구조, 평판전단내력, 순수전단력, 4힌지 프레임

KEYWORDS : SC structure, Panels under in-plane shear, Pure shear loading, Four-hinge frame

### 1. 서론

최근 건축물의 고층화 및 대형화에 따라 보다 높은 강성재료의 경량화, 시공의 용이성, 공기단축 등이 주요 과제로 떠오르고 있다. 강판콘크리트(SC)구조는 두개의 강판 내측에 콘크리트를 충전하고 콘크리트와 강재의 일체거동을 위해 스티드, 타이바(Tie Bar), 전단보강재 등을 적용하여 강재와 콘크리트의 합성효과를 발휘하는 구조이다. 이러한 구조형태는 내력·인성면에서 뛰어난 성능을 발휘하며 시공시 외측의 강판이 거푸집역할을 대신하므로 공기단축에 특히 유리하다. 또한 원자력발전소 등의 대규모구조물에 있어서는 모듈화를 통한 건설공사의 공기단축을 더욱 효과적으로 실현할 수 있다.

이와 같은 장점을 지닌 SC구조에 대해 SC구조와 개발방법이 유사한 국내의 CFT 기술기준 연구가 완료되었으며 선진국의 실험적 연구자료와 기술기준(안) 일부를 확보한 상태이

다. 그러나 SC구조 기술기준 연구는 물론 기술기준 제정을 위한 다양한 실험적 연구 또한 현재까지 미비한 실정이다. 그 결과 국내에서는 아직 SC구조의 적용사례를 찾을 수 없으며 데이터베이스 구축을 위한 기초 자료가 부족한 현실이다. 본 연구는 SC구조 기술개발의 일환으로 기본적인 SC구조의 면내 전단력에 대한 거동특성을 파악하고 동시에 평판에 순수 면내전단 가력방법 대해 타당성 검토를 병행한다.

따라서 SC구조의 거동특성 중 순수전단응력상태 및 축력과 전단응력이 동시에 작용하는 상황에서 면내전단에 대한 내력과 변형 등 기본적 역학특성 및 구조적 성능 파악하고 평판 면내 전단가력 방법을 제안하는 것이다.

### 2. 전단내력실험 가력방법

본 연구는 면내전단력을 받는 SC구조 평판의 거동특성을

1) 교신저자, 정회원, 중앙대학교 건축학부 교수, 공학박사  
(Tel. 031-670-4671, Fax. 031-675-1776, E-mail : mjlee@cau.ac.kr)  
2) 정회원, 중앙대학교 건축공학과 공학석사(do-you-know-me@hanmail.net)  
3) 정회원, 중앙대학교 건축공학과 공학석사(scjin1020@gmail.com)

본 논문에 대한 토의를 2009년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

과약함을 그 목적으로 하고 있으므로 평판실험체에 모멘트 저항이나 기타 보조기구의 변형 없이 순수면내전단력이 가력되어야 한다.

### 2.1 일본의 면내전단 가력기구

국내보다 앞서 SC구조의 연구가 수행된 일본에서는 다음과 같은 면내전단가력방법을 사용하였다.

그림 1과 같은 대규모 콘크리트 반력프레임 내부의 중앙에 평판실험체를 위치시키고 유압잭을 이용하여 가력을 실시하면 각 방향 PC강봉의 인장력과 반력으로 인해 중앙부 실험체에는 순수면내전단력이 가력된다. 가력장치를 사용한 결과로 그림 2의 SC구조 내부 콘크리트 균열성상을 나타내었으며 면내전단력으로 인한 대각선 방향의 균열을 확인할 수 있다.

### 2.1 국내 면내전단 가력기구

본 연구에서는 순수면내전단력을 가력하기 위해 일본의 가력방법과 달리 기둥-보 접합부에서 패널존의 현상을 이용하였다.(그림3) 기둥-보 접합부인 강접합에서는 기둥과 보로 둘러싸인 부분인 패널존은 그림 4와 같이 휨모멘트와 전단력을 주로 받게 된다. 이들의 응력에 의한 패널존의 응력상태는 대단히 복잡하여 근이적으로 그림 5와 같이 응력전달을 하면 패널존 주변의 전단력 구할 수 있다.

이 전단력은 그림 5와 같이 작용하므로 패널존은 큰 전단 변형이 예상된다. 그림 4에서 나타난 패널존 주변에 작용하는 전단력  $V_{cu}$ ,  $V_{cl}$ ,  $V_{lr}$  및  $V_{rr}$  은 그림 5를 참고로 이들의 응력을 대칭과 역대칭의 응력상태로 구분하여 다음 식으로 구할 수 있다.

$$Q = \frac{M_{cu} + M_{cl}}{h_c} - 0.5(V_{lr} + V_{ll}) \quad (1)$$

이와 같은 방식으로  $h_c$ 와  $h_l$ 이 동일하며 ( $M_{cu} + M_{cl}$ ) 과 ( $M_{lr} + M_{ll}$ ) 이 동일하다면 다음 식 또한 성립한다.

$$Q = \frac{M_{lr} + M_{ll}}{h_c} - 0.5(V_{lr} + V_{ll}) \quad (2)$$

이러한 전단력이 가로×세로×두께  $h_c \times h_l \times t$ 인 패널존 주변에 균일하게 작용하는 것으로 가정하여 전단응력도를 구하면 다음과 같다.

$$\tau = \frac{Q}{t \cdot h_c} = \frac{Q}{t \cdot h_l} \quad (3)$$

여기서,  $M_{cu}, M_{cl}$  : 패널존의 상·하 기둥 단부의 휨모멘트  
 $M_{lr}, M_{rr}$  : 패널존의 좌·우 보 단부의 휨모멘트  
 $V_{cu}, V_{cl}$  : 패널존의 상·하 기둥 단부의 전단력  
 $V_{lr}, V_{rr}$  : 패널존의 좌·우 기둥 단부의 전단력  
 $Q$  : 패널존에 작용하는 전단력  
 $h_l, h_c$  : 보 및 기둥의 플랜지 중심간거리  
 $t$  : 패널존의 판두께

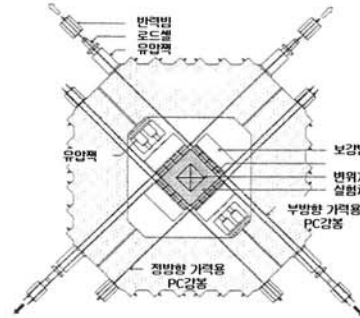
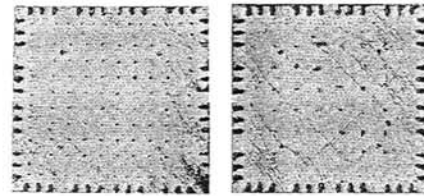


그림 1. 일본의 면내전단력 가력기구



(a) 강간 3.2mm 실험체 (b) 강간 4.5mm 실험체  
 그림 2. 가력 종료시 내부 파괴 성상(일본실험결과)

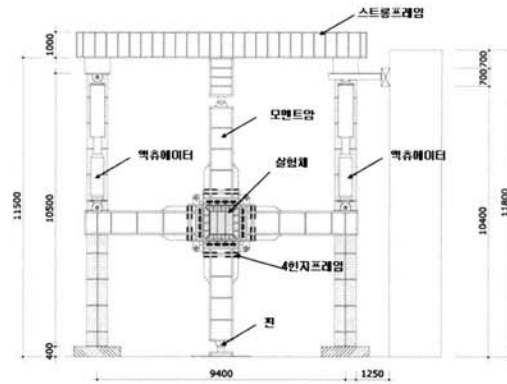


그림 3. 국내 면내전단력 가력기구

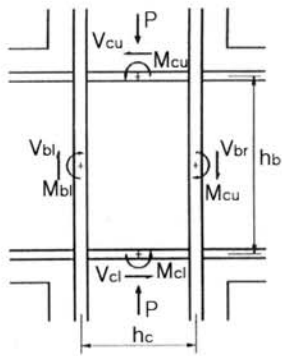


그림 4. 기둥-보 접합부 패널존

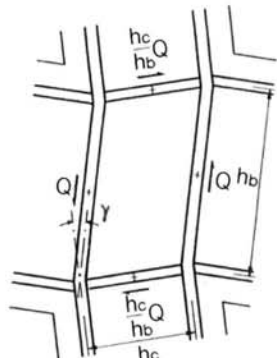


그림 5. 기둥-보 접합부 패널존의 변형

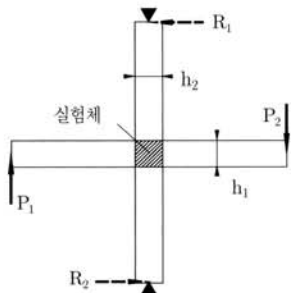


그림 6. 패널존을 이용한 가력방법

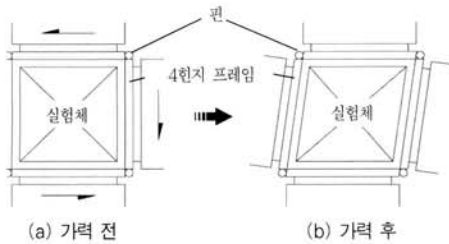


그림 7. 4면지 프레임에 의한 거동

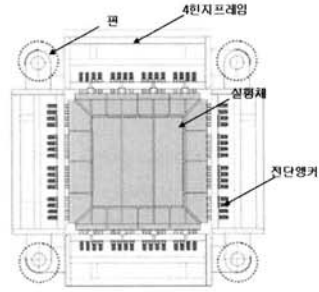


그림 8. 4면지 프레임 및 실험체 형상

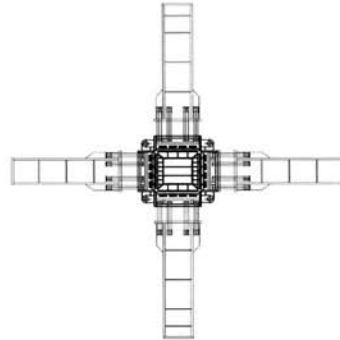


그림 9. 4면지 프레임과 모멘트 암의 접합

위와 같은 이론을 배경으로 SC구조 평판전단내력평가를 위해 그림 6과 같은 방식을 이용한 가력 기구를 설계하였다. 그림 6과 같이 동일한 단면과 길이의 모멘트 암을 기둥-보 접합부와 같이 직교한 형태로 설치하고 직교하는 위치에 실험체를 설치하며, 상·하 모멘트 암의 단부는 핀으로 고정하고 좌·우 모멘트 암의 단부에 크기는 같고 방향은 반대인  $P_1$ ,  $P_2$ 를 가력 한다. 이 때 상·하 모멘트 암의 단부는 핀 지지에 의해  $P_1$ ,  $P_2$ 와 역대칭인 반력  $R_1$ ,  $R_2$ 가 생기며 반력 모멘트는 발생하지 않는다. 이와 같이 발생한 힘은 모멘트 암을 통해 실험체로 전달되고 실험체에 발생하는 힘은 그림 5와 같다. 이 때 모멘트 암과 실험체가 강접이 될 경우 실험체의 자유로운 전단변형을 구속하게 된다. 따라서 실험체의 전단변형 구속을 막기 위해 모멘트 암과 실험체의 연결은 4면지 프레임에 의해 이루어진다. 모멘트 암으로부터 전달된 힘이 4면지 프레임을 전단변형 시키고 이 변형이 실험체의 전단변형을 유도함으로써 실험체에 전단력이 전달된다(그림 7). 이 때 실험체로 전달되는 전단력은 위에서 언급한 기둥-보 접합부 패널존에 발생하는 전단력을 계산한 식과 동일한 방법으로 구해지며 전단응력 산정식 또한 동일하다. 이와 같은 메커니즘을 적용하여 제작된 4면지 프레임과 실험체의 결합한 형태 및 부재의 명칭은 그림 8와 같으며, 그림9와 같이

4힌지프레임과 모멘트암은 볼트접합으로 결합된다.

### 3. SC구조 평판전단특성실험

본 연구에서는 SC구조 벽체의 순전단응력상태 및 축력과 전단응력이 동시에 작용하는 상황에서 면내전단에 대한 내력과 변형 등 기본적 역학특성 및 구조적 성능을 파악한다. 이를 위해 앞서 설명한 모멘트 암과 4힌지 프레임에 이용하여 자체 제작된 평판 면내 전단 가력 시스템을 사용하였으며, 중앙에 축력을 변수로 한 3개의 실험체를 설치하고 반복점중재 하 방식의 가력으로 실험을 수행하였다.

#### 3.1 실험체 계획

본 연구의 전단특성실험체는 SC구조 벽체의 전단내력에 영향을 주는 요소 중 축력비를 변수로 하여 3개를 제작하였다. 모든 실험체의 강재비는 3.2%이며 콘크리트와 표면강판의 일체거동을 위한 강판 내측의 스티드는 강판의 탄성좌굴을 피하기 위해 B/t를 30으로 고정하여 피치(B)를 100mm로 하였다. 실험체의 주 변수인 축력비는 0%, 8% 두 가지 이다. 형상은 1200×1200×200의 평판형이며 SS400 강재의 평판 두께가 양면에 위치하였고 내부에 강도 30MPa 콘크리트가 충전되었다. 면내 순전단응력을 전달하기 위하여 각 측면에 각각 32개의 전단연결스티드인 앵커근을 배치하였다. 또한 강판에 동일한 전단응력을 전달하기 위하여 각 측면 테두리에 전단연결스티드와 연결된 전단력 전달용 보조강판을 적용하였다. 축력이 적용된 실험체의 경우 각 실험체당 8개의 프리텐션선용 와이어를 설치하여 프리텐션에 의한 축력을 도입하였다. 제작된 실험체의 일람 및 실험체 형상은 표 1과 그림 10에 나타낸다.

표 1. 실험체 일람

| 실험체명               | 강판두께 (mm) | 스티드 직경-길이 (φ-mm) | 스티드 간격 (mm) | 축력비 (%) | 축력 (kN) |
|--------------------|-----------|------------------|-------------|---------|---------|
| S30/400 F3.2 N00-1 | 3.2       | 6-57             | 100         | 0       | 0       |
| S30/400 F3.2 N00-2 |           |                  |             | 0       | 0       |
| S30/400 F3.2 N08   |           |                  |             | 8       | 705.6   |

#### 3.2 가력 및 측정방법

SC구조 평판전단내력평가를 위해 3,000kN 성능의 액추에이터(Actuator) 2대가 사용되었다. 실험은 반복 점중가력 하였고, 상·하 모멘트 암은 스트롱 프레임에 핀접합 되어 있

으며 좌·우 모멘트 암은 액추에이터에 핀접합 되어 있다. 4개의 모멘트 암은 4힌지 프레임에 강접합 되어 있으며 4힌지 프레임의 각 부재는 핀으로 연결되어 액추에이터에 의해 가력된 힘이 휨 저항 없이 실험체로 유입되도록 하였다.

전단변형은 양면의 강판 표면에 설치된 볼트(@600)에 의해 대각 방향의 상대 변위를 LVDT로 각각 측정하였다. 또한 표면강판, 측면강판, 전단연결용 앵커근, 스티드의 변형도를 측정하였다. 표면 강판에 대해서는 직각3축형 로켓게이지를 사용하였다. 또한 콘크리트단면 내의 대각선 방향으로 설치한 철선(φ4)의 변형도를 측정하여 콘크리트 변형상태를 확인하였다. 그림 12에 게이지 부착 및 측정위치를 나타낸다.

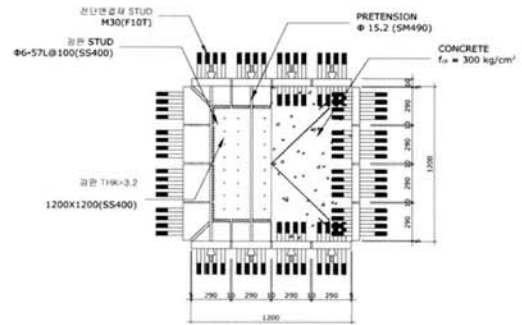


그림 10. 실험체 형상

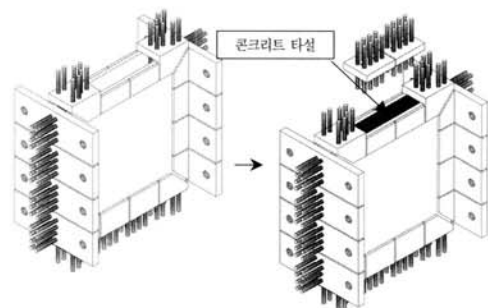


그림 11. 실험체 제작 및 콘크리트 타설

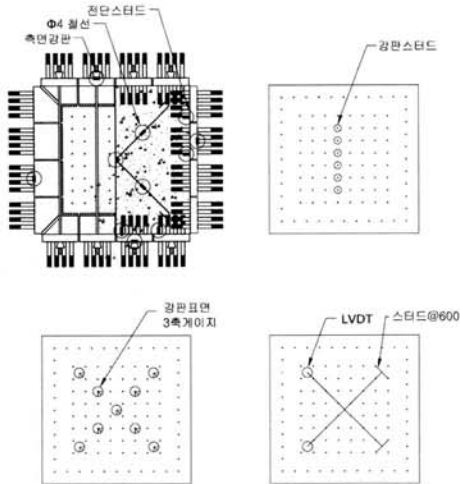
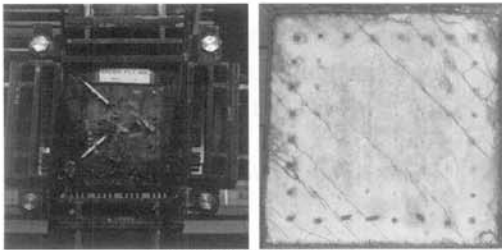
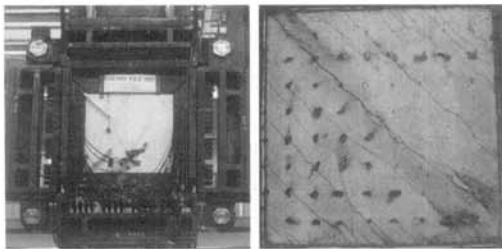


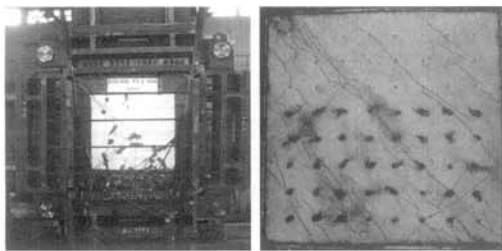
그림 12. 실험체 계측 상황



(a) S30/400 F3.2 N00-1



(a) S30/400 F3.2 N00-2



(a) S30/400 F3.2 N08

그림 13. 콘크리트 파괴 형상  
(실험종료 후 전면강판 제거)

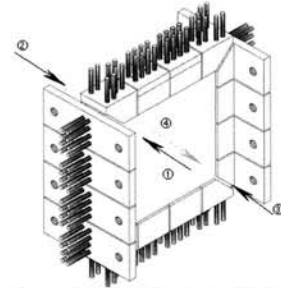
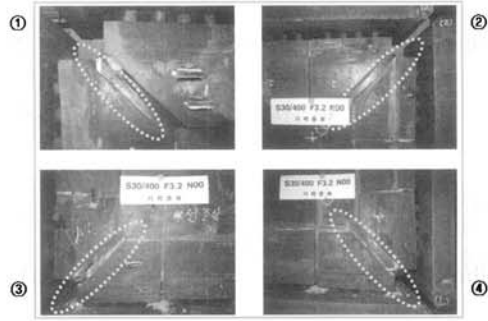
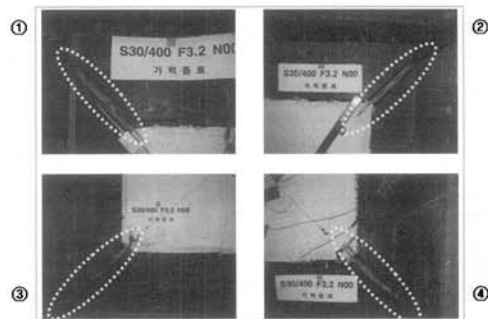


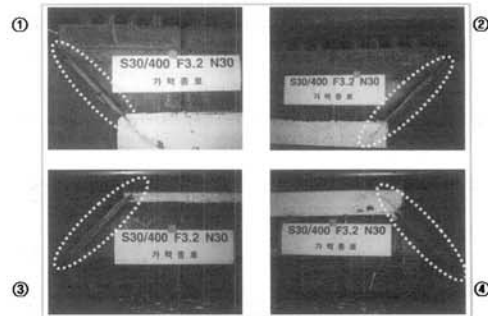
그림 14. 실험체 사진촬영 위치(사진 2)



(a) S30/400 F3.2 N00-1(실험조기종료)



(a) S30/400 F3.2 N00-2(모서리 강판 인장파단)



(a) S30/400 F3.2 N08(모서리 강판 인장파단)

그림 15. 가력 종료시 가력보강 측면강판 파괴 상황

3.3 실험결과

N00-1 실험체는 표면강판으로 전단력을 전달하는 보조강판의 용접 불량으로 인해최대내력 결정 이전에 실험이 종료되었다

N00-2 실험체와 N08 실험체의 경우 5cycle 이후 가력 중 콘크리트의 부분적인 항복으로 인한 것으로 보이는 소리와 함께 일시적인 내력 저하가 보였고 이후 6cycle 가력시 인장측 대각선 끝의 강판이 항복하여 파단이 일어나며 최대내력을 결정하였다. 외관으로는 인장측 강판의 파단 이외에 특이할만한 상황은 보이지 않았다. 그림 15는 모서리 표면강판의 인장파단 상황이며 사진촬영위치를 각 번호로 표기하였다.

N00-1 실험체를 제외한 나머지실험체 모두 항복시 최대하중이 강판의 전단항복강도(0.6Fy, Fy는 소재실험결과)와 콘크리트의 전단항복강도(0.16√fck, fck는 공시체 시험결과)를 합산한 전단항복강도와 JEAG4618에 의한 전단력을 상회하고 있다. 또한 일본실험결과에 비해 최대하중은 낮고 전단변형각은 대체적으로 유사한 결과를 나타내었으나 N08 실험체 전단변형각의 경우 일본실험결과에 비해 다소 높은 값을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 표 2.2에 일본이 실시한 실험결과와 함께 나타나 있다.

면내전단력에 의한 내부 콘크리트 파괴 상황을 확인하기 위해 강판을 제거한 결과 3개의 실험체 모두 인장에 의한 균열이 확인되었으며 실험체에 전체적으로 분포되어 있다. 이러한 균열은 강판과 콘크리트 연결제인 스티드가 삽입된 위치를 따라 이어졌다.(그림 13)

위와 같은 상황으로 볼 때 전체적으로 다음과 같은 파괴 경로를 따르는 것으로 판단된다(그림 14).

표 2.1 재료시험결과

| 강재시편      | 항복강도 (MPa) | 최대강도 (MPa) | 연신율 (%) | 항복비  | 강종    |
|-----------|------------|------------|---------|------|-------|
| PL- 3.2-1 | 297        | 399        | 37      | 0.74 | SS400 |
| PL- 3.2-2 | 298        | 393        | 36      | 0.75 |       |
| PL- 3.2-3 | 297        | 390        | 37      | 0.76 |       |
| 평균        | 297        | 394        | 37      | 0.75 |       |

| 콘크리트        | 공시체 A (MPa) | 공시체 B (MPa) | 공시체 C (MPa) | 평균 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|----|
| fck = 29Mpa | 35          | 38          | 35          | 36 |

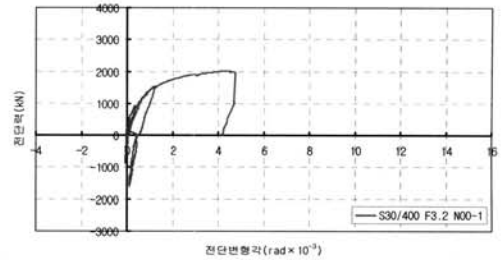
표 2.2 전단내력 실험결과

| 실험체명               | 최대내력 (Q kN) | 전단변형각 (rad × 10 <sup>-3</sup> ) | 전단 항복강도 <sup>1)</sup> (kN) | JEAG 4618 <sup>2)</sup> (kN) | 재료강도        |             |
|--------------------|-------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------|-------------|
|                    |             |                                 |                            |                              | steel (MPa) | conc. (MPa) |
| S30/400 F3.2 N00-1 | 2019        | 4.39                            | 1601                       | 2233                         | 297         | 36          |
| S30/400 F3.2 N00-2 | 2597        | 6.46                            | 1601                       | 2233                         | 297         | 36          |
| S30/400 F3.2 N08   | 2900        | 13.6                            | 1601                       | 2262                         | 297         | 36          |
| S3-00NN (일본)       | 3597        | 6.05                            | 1868                       | 2658                         | 351         | 42          |
| S3-30NN (일본)       | 3714        | 5.57                            | 1862                       | 2681                         | 351         | 40          |

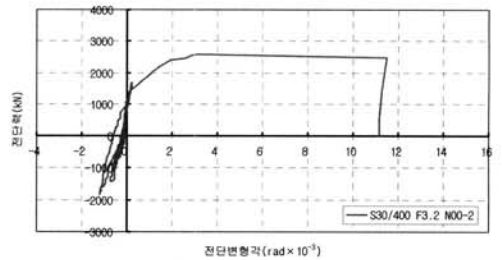
- 1) 각 재료별 전단내력의 합
- 2) 일본 SC구조설계지침 JEAG4618에 의한 전단내력



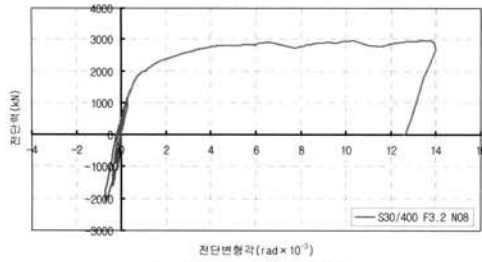
그림 16. SC평판전단실험체 파괴 경과



(a) S30/400 F3.2 N00-1



(b) S30/400 F3.2 N00-2



(c) S30/400 F3.2 N08

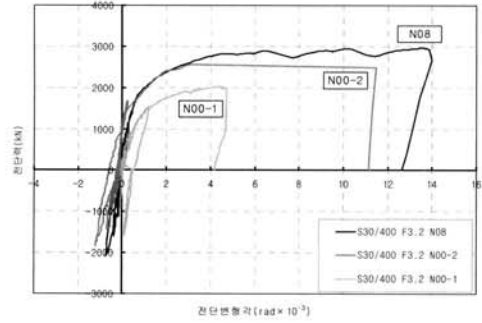


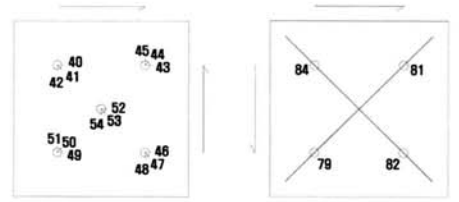
그림 17. 전단력-전단변형각 관계

가력 싸이클별 강판, 콘크리트 대각선 변형도를 비교한 그림 20에서 N00-2 실험체의 경우 4cycle 800kN 이후 인장측 콘크리트와 강판의 변형도 차이를 확인할 수 있으며, 5cycle 가력시 약 90kN에서 강판은 대략 일정한 형태의 변형을 보이고 있으나 콘크리트의 미세하지만 일시적으로 급격한 변형을 보이는 것으로 보아 이 시점에서 균열이 시작되는 것으로 판단된다. 이후 1500kN 가력시 인장측과 압축측 모두 콘크리트의 급격한 변형이 확인된다. N08 실험체의 경우 콘크리트와 강판의 변형도 차이는 5cycle 이후 확인할 수 있으며 이것은 축력 가력으로 인한 구속효과로 사료된다. N00-2 실험체와 마찬가지로 400kN에서 콘크리트와 강판의 변형도 차이를 확인할 수 있으며 이는 가력이 진행될수록 변형도의 차이는 증가하였다.

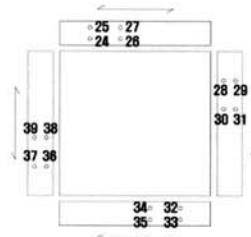
6cycle 가력시 500kN 가력시점 이후 큰 변형을 보이며 2710kN에서 강판의 파단으로 인하여 최대 내력이 결정되었다.

전단력에 따른 강판과 콘크리트의 재료별 변형도 변화추이를 비교해 보면, 콘크리트 균열발생으로 추정되는 시점 이전까지 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 따라서 강판과 콘크리트는 탄성구간내에서 일체거동하고 있다고 판단된다. 전단연결스터드의 변형도 역시 각 방향별로 거의 일치하고 있는 결과로 확인되는 바, 액츄에이터의 하중이 4힌지프레임을 통해 실험체의 순수 면내전단변형을 유도하고 있다고 사료된다.(그림 21)

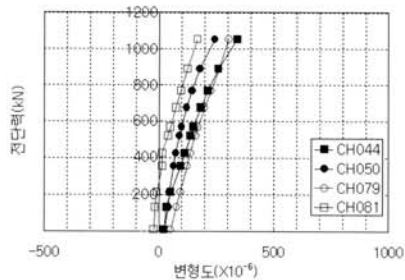
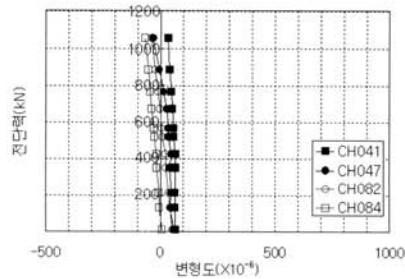
균열 발생 상황 및 강판의 항복 상황, 콘크리트 및 강판의 변형도 분포 상황을 볼 때 실험체 전 영역에 대체로 균일한 하중이 전달되었으며 이에 따라 균일한 응력 상태인 것으로 사료된다. 항복시 최대 하중은 각 실험체간 다소 차이를 보이나 각 실험체의 초기강성은 축력 레벨의 변화에 큰 영향을 보이지 않는 것으로 판단된다.



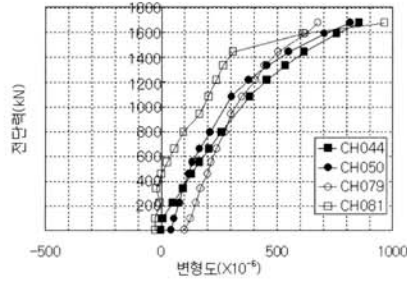
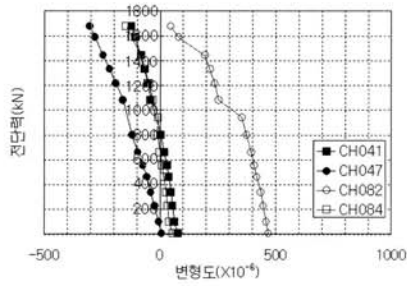
(a) 강판 표면 3축 게이지 (b) 콘크리트 삽입 철근 게이지  
그림 18. 가력방향, 측정 위치 및 번호(1)



전단연결스터드 강재게이지  
그림 19. 가력방향, 측정 위치 및 번호(2)

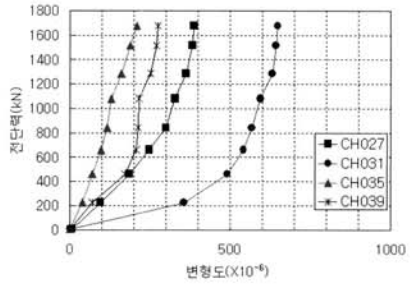
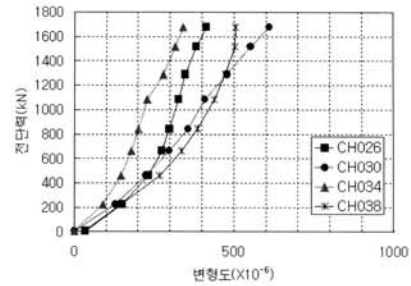


(a) 4 사이클 가력



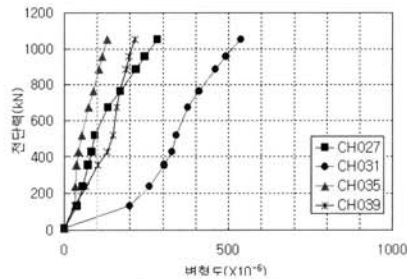
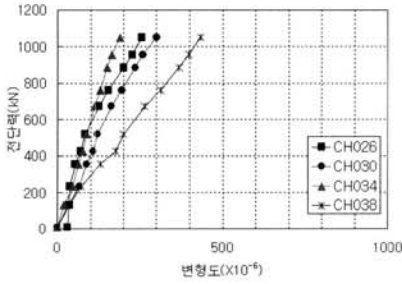
(b) 5 사이클 가력

그림 20. S30/400 F3.2 N00-2 가력 사이클별 강판, 콘크리트 대각선 변형도



(b) 5 사이클 가력

그림 21. S30/400 F3.2 N00-2 : 가력 사이클별 전단연결재 변형도



(a) 4 사이클 가력

#### 4. 실험결과 비교 및 분석

실험결과를 재료별 전단내력의 합으로 산정한 내력식(이하 내력식,  $Q_{y1}$ )과 JEAG4618에 의한 식( $Q_{y2}$ )에 재료 공칭 강도 및 재료시험결과를 대입하여 비교하였다. 재료별 전단내력 합에 의한 전단내력( $Q_{y1}$ )과 일본 JEAG4618에 의한 전단내력( $Q_{y2}$ )을 ①, ②에 설명하며 공칭강도를 적용한 비교결과를 표 3, 그림 22에 나타내며 재료시험강도를 적용한 비교결과를 표 4, 그림 23에 나타낸다.

① 재료별 전단내력 합에 의한 전단내력( $Q_{y1}$ )

$$Q_{y1} = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} \cdot A_c + 0.6 \cdot F_y \cdot A_s \quad (4)$$

② 일본 JEAG4618에 의한 전단내력( $Q_{y2}$ ).

$$Q_{y2} = \frac{K_\alpha + K_\beta}{\sqrt{3K_\alpha^2 + K_\beta^2}} F_y A_s \quad (5)$$

여기서,

$$K_\alpha = A, G_s \quad (6)$$



$$K_{ij} = \frac{1}{\frac{4}{A_c E_c'} + \frac{2(1-\nu_s)}{A_s E_s}} \quad (7)$$

- 여기서,  $A_s$ : 강판의 전단 단면적 ( $\text{mm}^2$ )  
 $A_c$ : 콘크리트의 전단 단면적 ( $\text{mm}^2$ )  
 $E_s$ : 강판의 영계수 ( $\text{N/mm}^2$ ) (=206  $\text{kN/mm}^2$ )  
 $E_c$ : 콘크리트의 영계수 ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $G_s$ : 강판의 전단탄성계수 ( $\text{N/mm}^2$ ) (=79  $\text{kN/mm}^2$ )  
 $G_c$ : 콘크리트의 전단탄성계수 ( $\text{N/mm}^2$ )  
 $E_c'$ : 콘크리트의 인장균열을 고려한 영계수 ( $\text{N/mm}^2$ )  
 콘크리트의 영계수에 0.7을 곱한 값을 사용해도 좋다  
 $\nu_s$ : 강판의 포아송비 (=0.3)

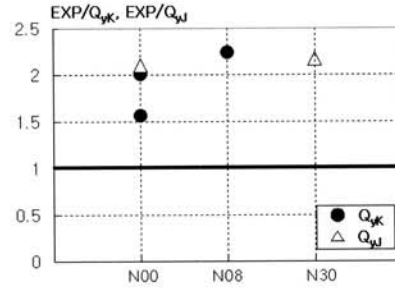
재료의 공칭강도가 적용된 내력식에 의한 예상값과 일본 SC 구조설계지침(JEAG4618)에 의한 예상값을 기준으로 실험결과를 분석하면 다음과 같다. 한국의 경우 내력식에 의한 예상값의 160%에서 220%를 보이고 있으며, 일본 SC구조설계지침(JEAG4618)에 의한 예상값의 120%에서 160%를 보이고 있다. 일본 SC구조설계지침(JEAG4618)에 의한 예상값의 경우 용접부 파단으로 인해 가력이 종료된 실험체를 제외하면 약 50%에서 60% 정도의 안전율을 확보하고 있으며 축력이 가해지는 경우 그렇지 않은 경우보다 10% 정도의 높은 강도를 보이고 있다.

일본의 경우 내력식에 의한 예상값의 210%에서 220%를 보이며 콘크리트와 강재에 의한 SC구조의 높은 내구성을 보여주고 있으며, 일본 SC구조설계지침(JEAG4618)에 의한 예상값의 150%를 보여 약 50%의 안전율을 보이고 있다. 한국의 실험체는 축력 유무에 따라 10%의 강도 상승을 보여주고 있으나 일본 실험체의 경우 축력의 유무에 따른 강도차이는 보이고 있지 않다.

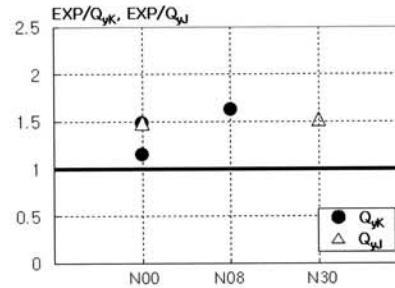
표 3. 공칭 강도에 의한 비교

| 실험체명                       | 공칭강도        |             | $Q_{EXP}/Q_{v1}^{1)}$ | $Q_{EXP}/Q_{v2}^{2)}$ |
|----------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
|                            | steel (MPa) | conc. (MPa) |                       |                       |
| S30/400 F3.2 N00-1         | 235         | 29          | 1.6                   | 1.2                   |
| S30/400 F3.2 N00-2         | 235         | 29          | 2.0                   | 1.5                   |
| S30/400 F3.2 N08           | 235         | 29          | 2.2                   | 1.6                   |
| S3-00NN (일본) <sup>3)</sup> | 323         | 32          | 2.1                   | 1.5                   |
| S3-30NN (일본) <sup>3)</sup> | 323         | 32          | 2.2                   | 1.5                   |

- 1)  $Q_{v1}$ : 각 재료별 전단내력의 합
- 2)  $Q_{v2}$ : 일본 JEAG4618에 의한 전단내력
- 3) 일본 전단내력실험결과



(a) 재료별 전단내력의 합



(b) SC구조설계지침(JEAG4618)에 의한 내력

그림 22. 실험값과 공칭강도에 의한 이론값 비교

재료시험강도에 따른 내력과 일본 SC구조설계지침(JEAG4618)에 따른 내력을 기준으로 실험결과를 분석하면 다음과 같다. 실험결과는 재료시험강도에 따른 내력의 130%에서 180%를 보이고 있으며, SC구조설계지침(JEAG4618)에 따른 내력의 90%에서 130%를 보이고 있다. SC구조설계지침(JEAG4618)에 따른 내력의 경우 용접부 파단으로 인해 가력이 종료된 실험체를 제외하면 약 20%에서 30% 정도의 안전율을 확보하고 있으며 축력이 가해지는 경우 그렇지 않은 경우보다 10% 정도의 높은 강도를 보이고 있다. 일본의 경우 실험결과는 재료시험강도에 따른 내력의 약 2배를 보이며 콘크리트와 강재에 의한 SC구조의 높은 내력을 보여주고 있으며, SC구조설계지침(JEAG4618)에 의한 내력의 140%로 높게 나타났다.

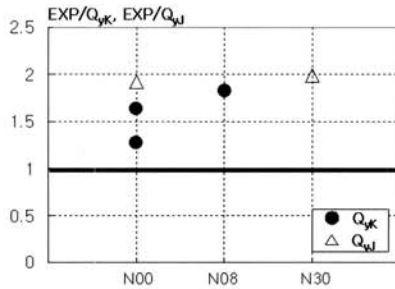
또한 재료시험강도를 적용한 내력식과 SC구조설계지침(JEAG4618)에 의한 강도 산정식에서 실험체는 축력 유무에 따라 10~20%의 강도 상승을 보여주고 있으나 일본 실험체의 경우 축력의 유무에 따른 강도차이는 보이고 있지 않다. 전단력과 함께 축력이 작용할 경우 콘크리트에 작용하는 전단력에 의해 주축 방향의 인장력이 작용하게 되고 콘크리트는 항복하게 되는데 이 때 축력에 의해 콘크리트의 팽창을 막게 되고 결과적으로 SC구조 평판전단내력의 상승 효과의 결과로 사료된다. 그림 14의 실험값과 재료강도에 의

한 이론값의 비교를 보면, 용접부 파단으로 인해 가력이 종료된 S30/400 N00-1 실험체를 제외하고 축력의 유무에 따른 내력이 일본의 경우와 유사한 실험결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

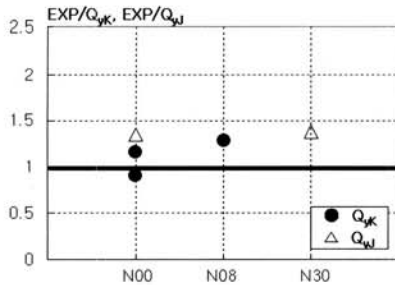
표 4. 재료 강도에 의한 비교

| 실험체명                       | 재료강도        |             | $Q_{EXP}/Q_{d1}^{1)}$ | $Q_{EXP}/Q_{d2}^{2)}$ |
|----------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
|                            | steel (MPa) | conc. (MPa) |                       |                       |
| S30/400 F3.2 N00-1         | 297         | 36          | 1.3                   | 0.9                   |
| S30/400 F3.2 N00-2         | 297         | 36          | 1.6                   | 1.2                   |
| S30/400 F3.2 N08           | 297         | 36          | 1.8                   | 1.3                   |
| S3-00NN (일본) <sup>3)</sup> | 351         | 42          | 1.9                   | 1.4                   |
| S3-30NN (일본) <sup>3)</sup> | 351         | 40          | 2.0                   | 1.4                   |

- 1)  $Q_{d1}$  : 각 재료별 전단내력의 합
- 2)  $Q_{d2}$  : 일본 JEAG4618에 의한 전단내력
- 3) 일본 전단내력실험결과



(a) 재료별 전단내력의 합



(b) SC구조설계지침(JEAG4618)에 의한 내력  
그림 23. 실험값과 재료강도에 의한 이론값 비교

타당성에 대해 검토하였다. 이를 실험과 해석에 의하여 고찰한 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 기둥-보 접합부 패널존과 4 힌지 프레임을 이용한 실험가력 방법에 타당성 검토에 대해 좌·우 모멘트 압의 단부 가력시 4 힌지 프레임의 전단변형이 유도되고 이와 같은 변형은 평판의 순수면내전단력 발생 및 변형을 유도하는 것으로 판단된다.
- (2) 최대내력은 대각선방향 강판의 전단균열파단에 의해 결정되었다.
- (3) 탄성 구간 내의 콘크리트와 표면강판의 하중-변형도 관계는 유사하게 나타났다.
- (4) 표면 강판의 전단균열 파단과 콘크리트 균열방향 일치하였다.
- (5) 콘크리트 균열은 강판 스티드 삽입위치를 따라 발생하였다.
- (6) 축력 유무에 따른 전단내력의 차이는 약 10%를 보이고 이것은 축력 가력으로 인한 전단변형 및 전단력에 대한 저항으로 보인다.
- (7) SC평판전단실험체 파괴 경과는 콘크리트 균열발생 후 표면강판 주인장방향이 항복하며 최대내력이 결정되고 실험체 인장영역 모서리 표면강판의 인장파단이 발생되는 순으로 사료된다.
- (8) 일본과 한국의 평판전단 최대내력은 동등한 수준이다.

면내전단력을 받는 SC구조 평판의 역학적 거동에 대한 실험적 자료 축적을 위해 축력 유무 및 축력비에 따른 거동에 대한 추가적인 실험 및 해석적 연구가 수행되어야 할 것이며, 개구부 유무에 따른 거동, 강판 내측 스티드 커넥터 및 리브 적용에 따른 거동 등 다양한 실험적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 연구는 2006년도 전력산업연구개발사업 원전구조물 모듈화공법(SC구조)기술개발의 지원으로 연구가 수행되었고, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

日本電氣協會 (2005) 鋼板コンクリート構造耐震設計技術指針 建築物・構築物編(JEAG4618), 日本電氣協會 pp.43-52  
北野剛人, 秋田昇道, 中澤正明 (1997) 鋼板コンクリート構造に關

### 5. 결론

SC구조의 거동특성 중 특히 벽체의 순전단응력상태 및 축력과 전단응력이 동시에 작용하는 상황에서 면내전단에 대한 내력과 변형 등 기본적인 역학적 특성 및 구조적 성능을 파악하였으며, 평판에 순수한 전단력만을 가력하기 위한 가력기구의

- する實驗的研究, 日本建築學會 學術講演梗要集, 1997-9 pp.1057-1064
- 成川匡文 外 5人 (1995) 原子力發電所建屋の鋼板コンクリート構造化の研究, その1. 研究全體計畫, 日本建築學會構造系論文報告集, pp.983-984
- 丹羽信之 外 5人 (1995) 原子力發展所建屋の鋼板コンクリート構造化の研究, その3. 壁の曲げせん断實驗方法と結果, 日本建築學會構造系論文報告集, pp.987-988
- 鈴木紀雄 外 5人 (1995) 原子力發電所建屋の鋼板コンクリート構造化の研究, その5. 壁のせん断終局耐力評價法, 日本建築學會構造系論文報告集, pp.991-992
- 井上貴之 外 5人 (1995) 原子力發電所建屋の鋼板コンクリート構造化の研究, その6. 壁・床接合部の實驗, 日本建築學會構造系論文報告集, pp.993-994
- Wonki Kim (1991) Seismic-Response Analysis and Design of Composite Building Structures, Doctor of Philosophy in Lehigh University pp.51-53
- K.M. Anwar Hossain, H.D. Wright (2004) Experimental and theoretical behaviour of composite walling under in plane shear, *Journal of Constructional Steel Research* Volume 60, Issue 1, pp.59-83
- Simon K. Clubley, Stuart S.J. Moy, Robert Y.Xiao (2003) Shear strength of steel-concrete-steel composite panels. Part I-testing and numerical modelling, *Journal of Constructional Steel Research* Volume 59, Issue 6, pp.781-794
- Simon K. Clubley, Stuart S.J. Moy, Robert Y.Xiao (2003) Shear strength of steel-concrete-steel composite panels. Part II-testing and numerical modelling, *Journal of Constructional Steel Research* Volume 59, Issue 6, pp.795-808  
(접수일자 : 2008. 6. 15 / 심사일 2008. 6. 20 / 게재확정일 2008. 8. 10)