

강판콘크리트(SC : Steel Plate Concrete) 보의 온도하중 재하 시 역학적 특성에 관한 실험연구

An Experimental Study on Mechanical Properties of SC Beam Structure under Temperature Load

이 경 진¹⁾ · 함 경 원²⁾ · 박 동 수³⁾
Lee, Kyung Jin · Ham, Kyung Won · Park, Dong Soo

요 약 : 이 연구는 열하중이 발생하는 구조물에 강판 콘크리트구조를 적용하는 경우, 역학적 특성을 평가하기 위하여 수행하였다. 원자력발전소 구조물 중 사용후 핵연료 저장조 구조물과 같이, 구조물 내부는 지속적인 열 하중을 받고 구조물 외부는 대기에 노출되어 있는 경우, 구조물은 내·외부의 온도차이로 인해서 열응력이 발생한다.

본 연구는 이러한 구조물에 강판 콘크리트 구조를 적용할 경우를 가정하여 보 형태의 강판 콘크리트 구조실험체에 온도하중을 재하한 상태에서 휨 내력 및 구조특성을 평가하고 추가적으로 실험체가 항복 시까지 하중을 가력하여 최종 휨내력을 평가하였다.

ABSTRACT : This paper describes the experimental study that was conducted on the temperature characteristic and bending capacity of a steel-plate-reinforced concrete-wall module (SC module). The steel plate ratio and temperature loading parameters were tested, and the influence of these parameters on the moment-curvature relationship and on the bending strength of the SC module was investigated. The fundamental-structure characteristic result of every SC module that assumed practical use was investigated.

In this study, the bending and flexural characteristics of SC structures were evaluated to verify the yielding and ultimate strength of the SC beam under thermal-loading conditions.

핵 심 용 어 : 강판-콘크리트, 온도특성, 휨과괴, 휨내력

KEYWORDS : SC, steel plate concrete, temperature-load, flexural failure, flexural force

1. 서 론

강판 콘크리트(SC : Steel Plate Concrete)구조는 최근 에 원전 구조물에 적용하기 위하여 일본과 미국, 영국에서 많은 연구가 진행되고 있다. 일본에서는 1990년대부터 현재까지 많은 실험연구를 수행하여 강판콘크리트 구조 내진설계기술지침을 작성하였고, 미국에서는 웨스팅하우스에서 강판콘크리트 구조를 적용한 원전을 설계하였다.

강판콘크리트 구조를 원전에 적용하는 이유는 현장 작업을 최소화하여 건설공기를 획기적으로 절감할 수 있기 때문이며, 구조적인 관점에서도 내진성능이 철근콘크리트 구조에 비하여 상당부분 향상된다는 연구결과가 있다.

강판 콘크리트 구조의 일반적인 개념은 콘크리트와 철근으로 구성된 철근콘크리트 구조를 대체할 수 있는 구조로서 철근콘크리트 구조의 철근대신에 강판(Steel Plate)을 사용하여 구조재와 거푸집을 대신하는 구조이고, 강판과 콘크리트의 일체화를 유지하기 위하여 스티드(Stud)를 사용하여 합성작용을 유지하고, 강판 콘크리트구조의 제작, 운반, 설치 시 강판의 변형을 방지하기 위하여 타이바(Tie Bar)를 사용한다.

강판 콘크리트 구조 모듈화 공법은 강판 모듈에 기전설비 또는 기기를 사전에 조립하여 건설현장에 설치한 다음, 조립된 모듈을 서로 연결하고 최종적으로 현장에서 콘크리트를 타설하는 공법이다. 철근콘크리트 공법이 전적으로 현장에서 수행되는 공법임에 비하여 강판 콘크리트 구조 모듈화 공법은

1) 교신저자. 한국전력공사 전력연구원, 책임연구원
(Tel. 042-865-5577, Fax. 042-865-5592, E-mail : leekj@kepri.re.kr)
2) 한국전력공사 전력연구원, 일반연구원(hkw@kepri.re.kr)
3) 한국전력공사 전력연구원, 선임연구원(dsark@kepri.re.kr)

본 논문에 대한 토의를 2010년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

공장에서 생산한 모듈을 건설현장에 이동하여 설치한 뒤, 현장에서 콘크리트를 타설하여 건설공기를 단축한 공법이다.

강관 콘크리트 구조는 모듈화 공법의 기본 구조로서 철근과 거푸집을 대신하여 콘크리트 표면에 강관을 사용하는 구조로서, 공장에서 생산한 강관 콘크리트 구조를 현장에 설치하고 콘크리트를 타설하여 구조체를 완성한다. 기존 철근콘크리트 구조와 강관 콘크리트 구조의 공기를 비교하여 보면, 단순벽체 구조의 경우, 철근콘크리트 구조는 철근 조립에서 거푸집 제거까지 기본공기가 28일 소요되는 데 비하여 강관 콘크리트 구조는 기본공기가 14일 소요되어 공기단축이 가능한 구조이다.

강관 콘크리트 구조체의 온도특성에 관련된 연구로는 미국 퍼듀(Purdue) 대학의 Booth⁽²⁾ 등이 강관 콘크리트 구조체에 온도하중과 정적 하중을 동시에 재하하여 휨 거동과 전단 거동에 대해 실험연구를 수행하고 별도로 제안한 해석모델을 이용하여 시험연구와 비교연구를 수행하였다. 시험결과로는 강관 콘크리트 보형 시험체가 온도하중을 받을 경우 균열 상태를 평가하고, 온도하중과 정적하중을 동시에 받을 경우 모멘트-곡률 관계를 제안하였다.

일본 건축학회⁽¹⁾에서는 온도하중을 받을 경우의 강관 콘크리트 구조체의 단면부 온도분포를 검토하고, 가열 중 처짐과 가열 후 콘크리트 부분의 균열분포를 평가하였다. 온도하중 재하 후 하중을 재하하면서 균열상황을 검토하고, 재하 시의 처짐 분포와 휨 모멘트-곡률 관계를 평가하였다. 또한, 강재비, 구조형식, 축력도입, 온도차에 따른 강관 콘크리트 구조체의 거동을 실험연구를 통해 구명하였다.

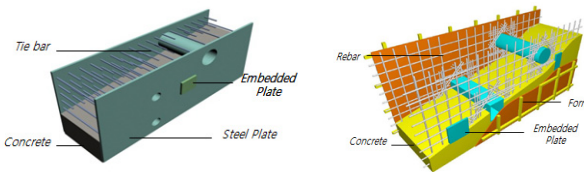


그림 1. 강관 콘크리트 구조와 철근콘크리트 구조 상세비교

본 연구는 열하중이 발생하는 구조물에 강관 콘크리트구조를 적용하는 경우, 역학적 특성을 평가하기 위하여 수행한 연구이다. 원자력발전소 구조물 중 사용후 핵연료 저장조 구조물과 같이, 구조물 내부는 지속적인 열 하중을 받고 구조물 외부는 대기에 노출되어 있는 경우, 구조물은 내·외부의 온도차이로 인해서 열응력이 발생한다.

본 연구는 이러한 구조물에 강관 콘크리트 구조를 적용할 경우를 가정하여 보 형태의 강관 콘크리트 구조실험체에 온도하중을 재하한 상태에서 휨 내력 및 구조특성을 평가하기 위하여 실험을 수행하였다.

2. 원전 구조물 온도 응력 설계요건

단면상의 온도분포가 비선형이고 단면이 균열될 것이라고 예상되는 경우, 단면 설계에 사용하기 위해서는 비선형 온도분포를 등가선형 온도분포로 가정할 수 있다. 이러한 경우, 등가선형 온도분포의 사용이 부재의 강도에 심각한 영향을 미치지 않는다. 그림 2는 온도 경사 분포의 영향과 평균온도분포와 기본온도간의 차이를 고려하기 위한 기법을 직사각형 단면에 대한 전환방법으로 나타낸 것이다. 균열단면이 사용할 수 있는 온도경사 분포는 그림 2(다)에서 ΔT 로 표현된다. 평균온도분포와 기본온도간의 차이는 $T_m - T_b$ 이다. 그림 2(다)의 직선 T_L 이 설계에 사용하기 위한 등가선형 온도분포로서, 다음과 같이 평균온도분포 T_m 과 온도경사 ΔT 를 산정하여 결정한다.

[단계 1] 콘크리트 두께방향의 실제 비선형 온도분포 T_{NL} 을 구한다.

[단계 2] 평균온도분포 T_m 을 다음 식으로 산정한다.

$$T_m = \frac{\int_{-t/2}^{t/2} (T_{NL} - T_b) dy}{t}$$

여기서, T_{NL} : 실제 비선형 온도분포, 그림 2(가) 참조.

T_b : 기본온도, 그림 2(가) 참조.

t : 콘크리트 두께

[단계 3] 직사각형 단면인 경우에 대하여 온도경사 ΔT 를 산정한다.

$$\Delta T = \frac{12}{t^2} \int_{-t/2}^{t/2} T_{NL} y dy$$

여기서, 적분은 T_{NL} 아래쪽 면적에 대해 단면중심선으로부터 떨어진 거리 y 를 곱한 단면1차 모멘트이다.

결과적으로 등가선형온도분포는 평균온도 T_m 과 온도경사 ΔT 를 갖는다. 이러한 등가 분배는 비선형 온도분포가 만드는 것처럼 단면의 중심선에 대하여 동일한 비균열 모멘트를 발생시킨다.

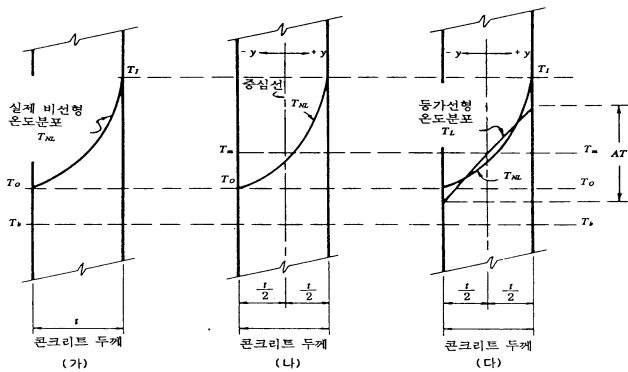


그림 2. 실제 비선형 온도분포와 등가선형 온도분포의 관계

3. 실험 개요

3.1 실험체

실험체는 실험변수(강재비, T/t(시험체 폭/강판두께 비), 온도차 유무)에 따라 보형 타입의 3개의 시험체를 설계, 제작하였다(표 1, 그림 3~4 참조). 강판은 SS400, 콘크리트는 4주 압축강도 30N/mm²으로 설계하여 제작하였다. 표1과 그림 3에서 시험체 S1.3-0T와 S1.3-0는 재원은 같고, 온도하중의 유무에 따른 구분으로 S1.3-0T 실험체가 온도하중을 가한 실험체이다.

표 1에 표시된 온도차 45℃는 사용후 핵연료 저장조 구조물의 내외부 온도차를 반영한 실험조건이다.

표 1. 실험체의 종류별 제원

실험체 명칭	S1.3-0T	S1.3-0	S1.7-0T
강재비	1.32%	1.32%	1.77%
스터드 직경	Φ 13	Φ 13	Φ 16
스터드 간격(mm)	104	104	250
실험체 길이(mm)	7150	7150	7150
단면: B×T(mm)	600×675	600×675	600×675
강판 두께(t, mm)	9	9	12
T / t	75	75	56.25
타이바	D16	D16	D16
타이바 간격	180	180	180
온도차(℃)	45	-	45

표 2. 스투드와 콘크리트 재료특성값

소재 및 종류	부위 또는 규격	강도의 종류	재료강도 N/mm ² (kgf/cm ²)
스터드	Φ 13, 16	F _y	235 (2,400)
		F _u	400 ~ 550 (4,100이상)
콘크리트	4주 압축강도	f _{ck}	30 (300)

실험체는 온도 가열에 의한 온도하중과 단순보 2점 가력에 의한 휨 항복을 유도하였다. 재하하중에 의한 휨 항복 이전에 전단파괴가 되지 않도록 시험체의 전단스팬에 원형철근 Φ 16 을 전단보강근(Shear Bar)의 역할을 하도록 180mm 간격으로 배근하였고, 순수 휨하중을 받는 중앙부에서 거동특성을 파악하고자 하였다. 실험체 S1.7-0T는 시험체 S1.3-0T와는 다르게 강판을 9mm에서 12mm로 바꾸고, 강판 내부의 스투드는 Φ 16 을 250mm 간격으로 배치하였다.

3.2 가력 프레임

실험을 수행하기 위해서 가력프레임을 그림 5와 같이 구성하였다. 700tonf 용량의 만능가력기(UTM) 헤드부분에 가력프레임을 설치하고 2점 가력을 위해 용량 200tonf, 스트로크 450mm의 유압잭을 4개 설치하여 동일한 유압라인으로 연결하여 구성하였다. 구성된 가력장치의 용량은 수직방향 하중 최대 700tonf, 스트로크는 400mm 까지 가능한 시스템이다. 제작한 실험체가 한개 당 중량이 7tonf에 달하기 때문에 유압받침 및 레일을 가력프레임과 수평방향으로 설치하여 실험체 설치가 간편하도록 설계하였다. 만능가력기 헤드에 설치한 수평방향 가력프레임이 수직하중 재하시 수평을 유지할 수 있도록 용량 200tonf 유압잭을 좌우 양단에 1개씩 설치하여 별도의 유압라인으로 연결하여 수평방향 조정이 가능하고 수평균형을 유지하게 하였다.

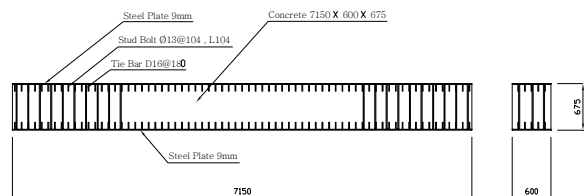


그림 3. 온도특성 실험체 (S1.3-0T, S1.3-0)

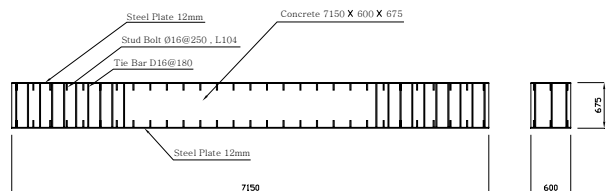


그림 4. 온도특성 실험체 (S1.7-0T)

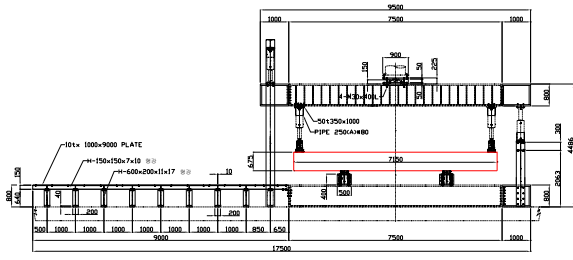


그림 5. 가력 프레임 구성도

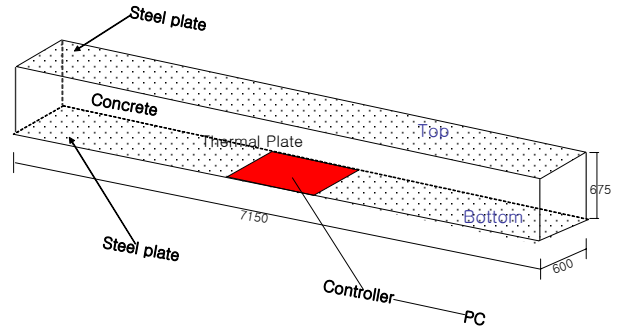


그림 7. 온도가열장치 설치모습과 구성도

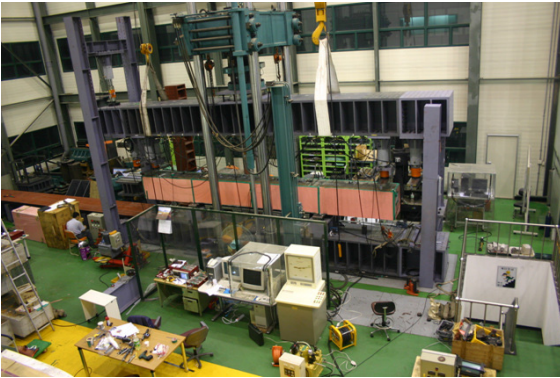
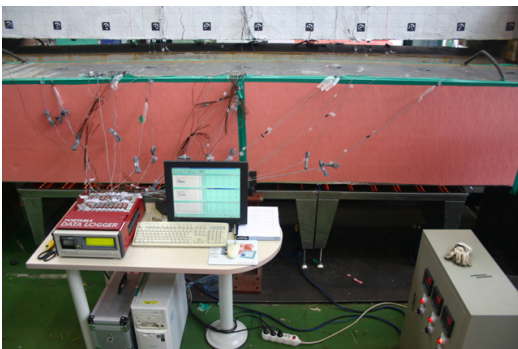


그림 6. 실험체 설치모습

3.3 온도 가열장치

온도가열장치는 실험체의 하단부를 가열하기 위해 구성하였다. 온도특성 실험체의 온도조건은 실험체 하단부는 70℃, 실험체 상단부는 25℃를 유지하여 하중 재하시 상하부의 온도차이를 45℃로 일정하게 유지하여 사용후 핵연료 저장조 구조물의 온도조건을 재현하고자 구성하였다. 또한 실험체에 온도를 가열할 때 2℃/hr의 비율로 일정하게 상승시켜 실험체 상단부에서 하단부의 온도분포가 25℃에서 70℃까지 선형이 되도록 가열하였다. 이와 같은 조건을 만족시키기 위해 실험체 하단부에 전열판을 구성하여 온도 컨트롤러와 온도센서를 연결하여 온도를 제어하였고, 온도센서는 실험체 중앙부에서 높이방향으로 강판 상부, 하부, 콘크리트 내부에는 15cm 간격으로 설치하여(총 10개) 데이터 로거로 계측하였다(그림 7 참조).



3.4 실험체 센서와 데이터 로거

실험체를 설치하고 온도가열과 하중재하에 의한 실험결과를 측정하기 위해서 온도를 측정하는 온도센서와 스트레인 게이지, 변위계(LVDT)를 설치하고 데이터 로거에 연결하여 실험 데이터를 기록하였다. 센서의 수량과 규격, 설치 위치는 표 3과 그림 8에 정리하여 나타내었다.

표 3 센서의 수량과 규격

센서명	수 량	비 고
온도센서	10 ch.	T-Type
스트레인 게이지	30 ch.	Tokyo Sokki
변위계	5 ch.	Tokyo Sokki
데이터 로거	1 set	Tokyo Sokki TDS602

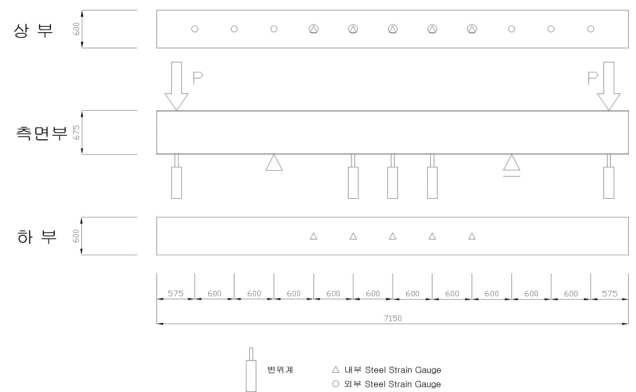


그림 8. 실험체의 게이지 설치 위치

3.5 실험방법

실험체는 SC강판 하단부를 가열하여 상단부와 하단부에 온도차이가 발생하고 이로 인한 열팽창에 의해 휨 변형이 생긴다. 이러한 초기 조건에서 실험체 상단 양단부에 2점 가력을 하여 온도하중에 의해서 발생한 휨 변형을 변형 전 상태로 되

돌리고 최종적으로는 실험체가 2점 가력에 의해서 휨 변형에 의해 항복에 도달할 때 까지 재하 한다. 실험방법을 정리하면 다음과 같다.

- ① 실험체에 온도차를 유지하기 위하여, 실험체 하부에 가열판을 설치하여 2°C/hr의 가열속도로 48시간 가열을 실시한다. 이때 실험체의 온도를 유지하고 외부로 열의 확산을 막기 위해 실험체의 측면을 단열재로 감싼다.
- ② 상·하부판의 온도차이가 45°C로 안정적으로 유지되는 것을 확인(하부판 온도 : 70°C, 상부판 온도 : 25°C)한 후에, 온도에 의한 콘크리트의 균열과 실험체의 변위를 확인한다. 실험체의 변위는 지지점 위치를 기준으로 LVDT를 설치하여 수직방향의 변위를 측정한다.
- ③ 실험체 상·하부의 온도차를 유지하면서, 단순보 2점 가력방식으로 단조가력을 실시한다. 단조가력은 변위제어 방식으로 실시하며, 실험체 항복 시까지 가력을 한다. 가력속도는 변위제어 시 0.005mm/sec의 속도로 가력을 하고(실험시간 3~4시간, 가력 전 과정을 통해 콘크리트의 균열과 변위를 측정한다.
- ④ 실험체 항복 후, 실험체의 균열과 최종변위를 확인하고 데이터를 정리한다.

4. 실험결과와 분석

본 실험결과를 온도하중 재하시 시험체의 변위와 단면균열 분포상황을 평가하고, 하중 가력에 의한 실험체 항복시 모멘트-곡률 관계 등을 분석하였다.

4.1 단면온도 분포

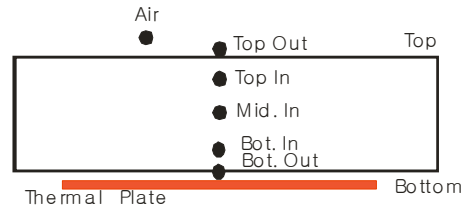
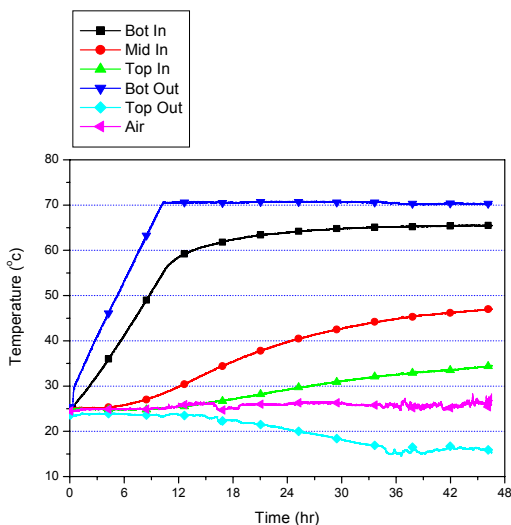


그림 9. 가열 중 온도분포 (S1.7-0T)

S1.7-0T 실험체의 가열 중 단면온도 분포를 그림 9에 나타내었다. 각 실험체에서의 단면 온도 분포는 48시간 후에 일정한 값에 도달한다. 그 이후에도 거의 같은 온도 분포를 유지하지만 시험체 상부 강판의 온도는 실내 온도가 변함에 따라 변화하는 분포를 보이고 있어, 추후 실험에 있어 상판 온도를 일정하게 유지하기 위한 보안이 필요하리라 판단된다.

4.2 가열 중의 처짐 분포

S1.7-0T 실험체의 가열 중의 처짐분포를 그림 10에 나타내었다. 각 실험체에서 순수 휨구간의 처짐 분포는 온도 하중에 의해 가열 측으로凸로 변형하고, 30시간 이후는 거의 같은 형상으로 변화가 없다. S1.7-0T 시험체의 가열 48시간 후 중앙점에서의 곡률은 $0.68 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 이다.

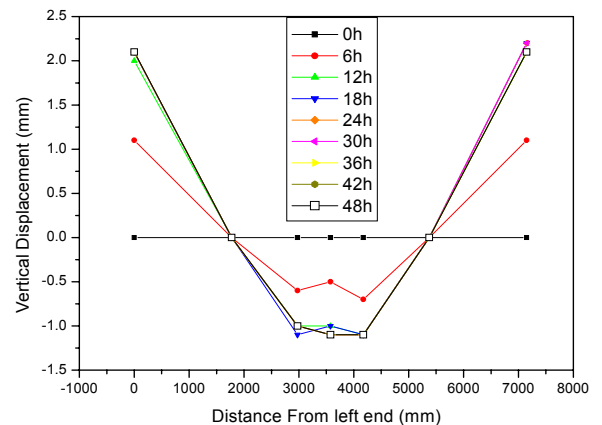


그림 10. 가열 중의 처짐분포 (S1.7-0T)

4.3 가열 후의 균열 상황

가열 48시간 후의 각 실험체의 균열 상황을 그림 11에 나타내었다. 가열 후에 S1.3-0T 실험체 하단부에는 열응력에 의한 미세균열이 발생하였지만, S1.7-0T 실험체에는 균열이 발생하지 않았다. 이는 S1.7-0T의 강재비가 커서 시험체 강성이 증가하여 열응력에 대한 저항성이 크기 때문인 것으로 판단된다.

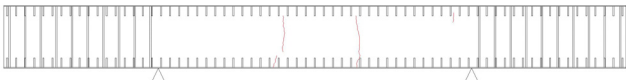


그림 11. 가열 후 실험체 균열 상황 (S1.3-0T)

실험체 파괴 후의 균열 상황을 그림 12에 나타내었다. 세 실험체 모두 순수 휨에 의하여 실험체 상부에 인장균열이 발생하였고, 지점 부근에는 전단에 의한 전단균열이 발생하였다. 하지만 온도 가열 유무에 따른 균열 분포의 차이는 거의 발생하지 않았다.

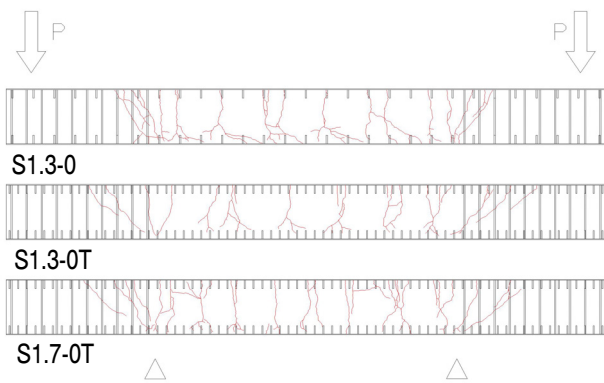


그림 12. 실험체 파괴 후 균열 분포도

4.4 재하시의 처짐분포

강관 항복 시까지의 휨 구간내 처짐분포를 그림 13에 나타내었다. S1.3-0와 S1.3-0T 실험체를 비교해볼 때, 온도를 가하였을 때 처짐이 더 많이 발생하였다. 강재비에 따른 처짐 분포를 비교해 볼 때, 강재비가 커짐에 따라서 항복 변위가 더 크게 발생하였다.

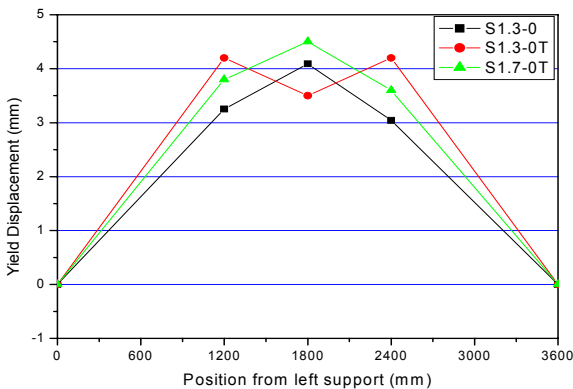


그림 13. 강관 항복 시 처짐분포

4.5 재하시의 곡률-휨모멘트 관계

그림 14 ~ 16은 가력시 실험체의 곡률과 휨 모멘트의 관계를 나타낸 것이다. S1.3-0의 경우, 93t·m의 모멘트에서 상부 강관이 항복하고, 122t·m에서 실험체가 파괴되었다. S1.3-0T의 경우, 100t·m의 모멘트에서 상부 강관이 항복하고, 119t·m에서 실험체가 파괴되었다. S1.7-0T의 경우, 135t·m의 모멘트에서 상부 강관이 항복하고, 161t·m에서 실험체가 파괴되었다.

세 실험체 모두 항복 변형시의 약 13~15배 정도에서 실험체가 파괴되는 결과를 보여주고 있다. 콘크리트의 균열이 생겨서 휨강성이 저하되어도 전체의 휨 강성에 대해 강재가 기여하는 비율이 상대적으로 크기 때문에 강재비가 크면 내력이 큰 것으로 판단된다.

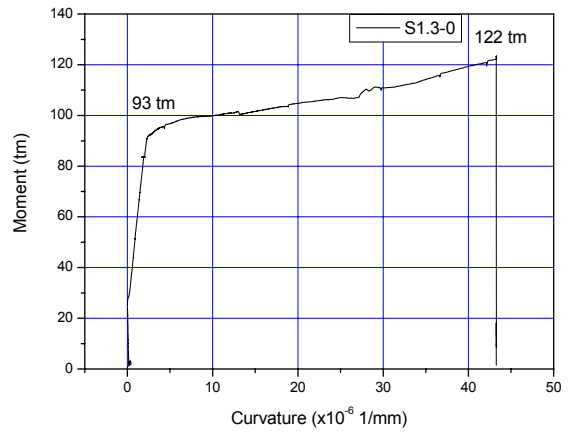


그림 14. 휨모멘트와 곡률의 관계 (S1.3-0)

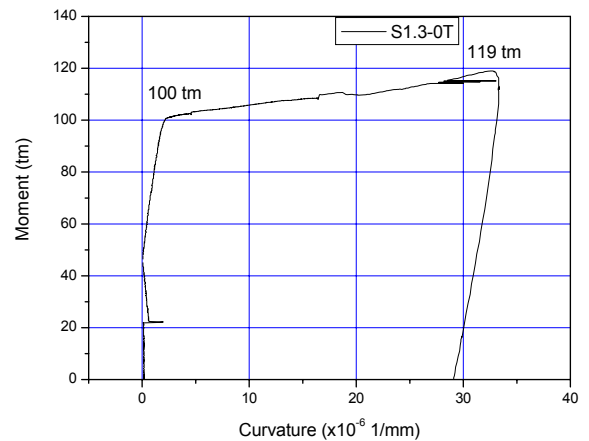


그림 15. 휨모멘트와 곡률의 관계 (S1.3-0T)

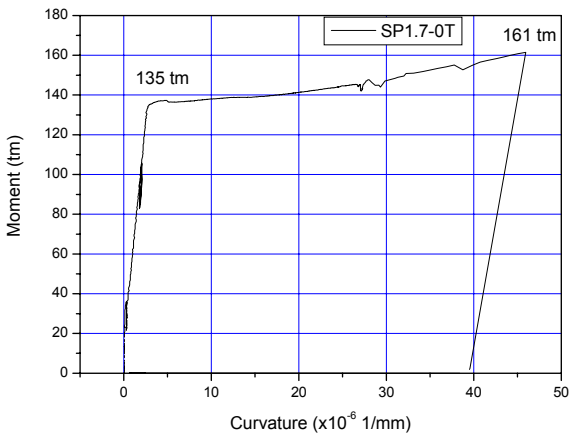


그림 16. 휨모멘트와 곡률의 관계 (S1.7-0T)

4.6 실험체 하중-변위 해석-실험결과 비교

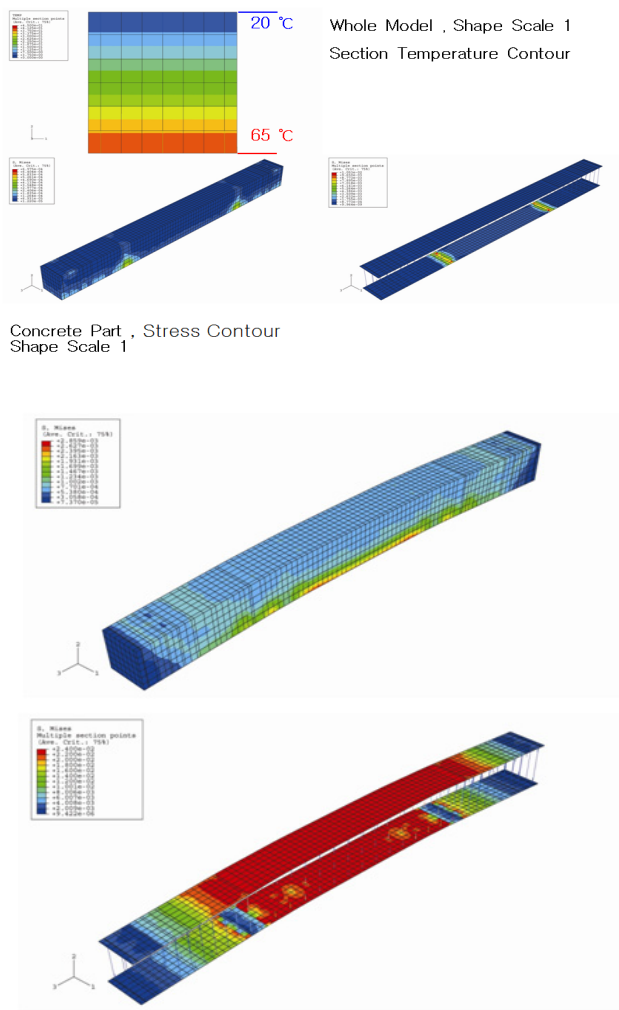


그림 17. 유한요소해석 모델과 해석결과(SP1.7-0T)

실험결과와 해석결과를 비교하기 위해서 온도해석을 수행한

다음, 실험체 양 단부에 하중을 재하하여 비선형해석을 수행하였다. 해석모델은 실험체 설계를 충실히 재현하여 유한요소 모델을 작성하였고, 해석프로그램은 ABAQUS를 사용하였다. 그림 17은 S1.7-0T 실험체의 유한요소해석 모델과 최종 파괴시 응력도를 나타낸 그림이다.

그림 18~그림 20은 각 실험체의 중심점에서 실험체 파괴시 하중-변위 관계를 실험결과와 비선형 해석결과를 비교하여 나타낸 그림이다.

온도하중을 가하지 않은 실험체 SP1.3-0은 하중가력 시 실험체의 중앙점에서 하중-변위 실험결과가 탄성변위에서 소성변위를 일으키는 하중이 125 tonf으로 나타났고, 해석결과는 225 tonf 으로, 실험결과가 해석결과의 56% 값을 나타내고 있다(그림 18 참조).

온도하중을 가한 후 가력을 한 실험체 SP1.3-0T는 하중가력 후 실험체 중심점에서 탄성변위에서 소성변위를 일으키는 하중이 실험결과가 136 tonf 이고, 해석결과는 226 tonf 로 나타났다. 실험체 SP1.3-0과 비교해 보면 실험결과는 소성변위하중이 8% 증가한 것으로 나타났고, 해석결과는 비슷하게 나타났다(그림 19 참조).

온도하중을 가한 후 가력을 한 실험체 SP1.7-0T는 소성변위하중이 실험결과가 186 tonf 이고, 해석결과는 269 tonf 로 나타났다(그림 20 참조).

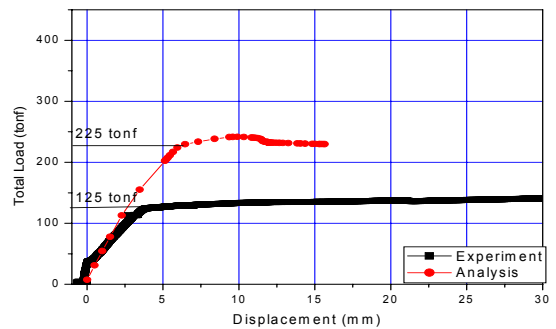


그림 18. 하중-변위 해석-실험비교(SP1.3-0)

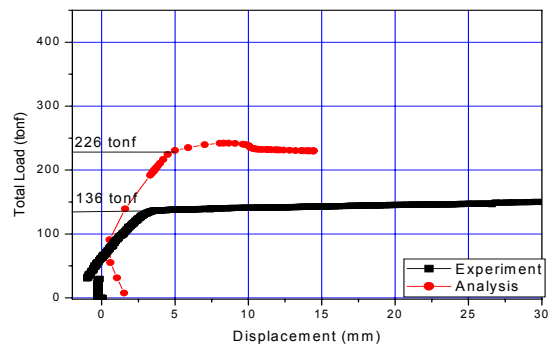


그림 19. 하중-변위 해석-실험비교(SP1.3-0T)

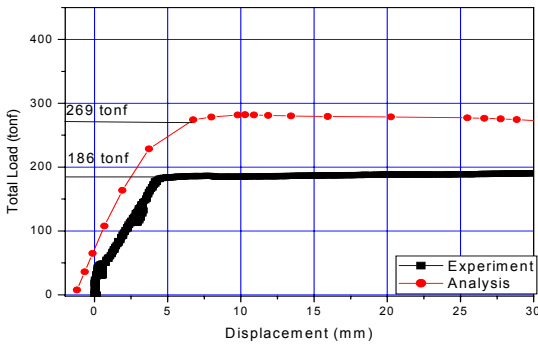


그림 20. 하중-변위 해석-실험비교(SP1.7-0T)

5. 결론

본 실험은 사용후 핵연료 저장조 구조물과 같이 열하중이 발생하는 구조물에 SC구조를 적용하는 경우를 예상하여 수행한 실험이다. SC구조벽의 측면에서 열하중을 받는 경우를 가정하여 SC구조를 보형 실험체로 제작하고, 온도에 따른 SC구조체의 강성 저하를 평가하고 하중 가력에 따른 휨 내력을 산정하는 실험이다.

SC구조의 온도특성실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 2°C/hr의 가열속도로 실험체를 가열할 경우, 48시간이 지나면 실험체의 온도 분포는 거의 정상 상태에 도달한다.
- (2) 가열 후 실험체 하단부에 열응력에 의한 미세균열이 발생하였고, 강재비가 클수록 균열이 적게 나타났다.
- (3) 하중 가력시 실험체 상부에 휨으로 인한 인장균열이 발생하였고, 지점부근에도 전단 균열이 일부 발생하였다. 온도 가열 유무에 따른 균열 분포의 차는 미비하였다.
- (4) 강판 항복시 순수 휨 구간내 처짐분포를 비교해 볼 때, 온도를 가열할 경우 처짐이 더 많이 발생하였고, 강재비가 커짐에 따라 변위도 더 크게 발생하였다.
- (5) 하중 재하시 하중-변위와 휨 모멘트-곡률의 관계를 살펴보면, 온도에 따른 강성저하의 효과는 크게 나타나지 않았으며 강재비가 클수록 휨 내력이 크게 나타나

는 경향을 보이고 있다. 이는 열응력으로 인해 콘크리트의 균열이 생겨 휨강성이 저하되어도 전체의 휨 강성에 대해 강재가 기여하는 비율이 상대적으로 크기 때문에 강재비가 크면 내력이 큰 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 지식경제부 기반기금과제인 “SC구조 기술기준 개발” 과제의 일부로서 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

일본전기협회(2005), 강판콘크리트구조 내진설계기술지침, JEAG 4618-2005

대한전기협회(2009), 전력산업기술기준(KEPIC) SN 원자력구조 - SNG 강판콘크리트구조, pp.144~147.

이경진, 박동수, 전재호(2006), SC구조체의 온도특성에 대한 시험연구 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제26권 제1호(통권 제50집), pp. 313~316.

Booth, P. N. Varma, A. H.(2007) Response of Modular Composite Walls to Combined Thermal & Mechanical Load, *Final Technical Grant Report*, pp.1~8, submitted to Bechtel Power Corporation, Frederick, MD 21703, USA.

Lee, K. J. Ham, K. W. Park, D. S. Kwon, K. J.(2007) Experimental Study on Temperature Behavior of SC Structures, *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting PyeongChang*, pp.1~2, Korea, October 25-26.

Lee, K. J. Ham, K. W. Park, D. S. Kwon, K. J.(2008) Experimental Study on Temperature Behavior of SSC(Stiffened Steel Plate Concrete) Structures, *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting PyeongChang*, pp.767~768, Korea, October 30-31.

Mckinley, B. Boswell, L. F.(2002) Behavior of Double Skin Composite Construction, *Journal of Constructional Steel Research* 58.

(접수일자 : 2009. 8. 4 / 심사일 2009. 8. 21 / 게재확정일 2009. 9. 7)