

반복하중을 받는 원자력 구조물 합성 바닥판의 구조적 거동

Structural Behavior of Composite Slab to Nuclear Power Structure under Reversed Cyclic Loads

김정혁* 김강식** 김우범*** 정하선**** 이광수***** 신성우*****
Kim, Jung Hyuk Kim, Kang Sik Kim, Woo Bum Jeong, Ha Sun Lee, Kwang Soo Shin, Sung Woo

ABSTRACT

Comparing with a single structure constructed with reinforced concrete or steel, composite structures have a great advantage. However, in case of nuclear power structure, the application of a conventional single structure (reinforced concrete or steel structure) inflicts a heavy loss on a economical and constructive efficiency. But, the application of composite slab to nuclear power structure could compensate these deficiency. Therefore, in this study, the structural behavior of composite slab in nuclear power structure is observed to assure economical and constructive efficiency.

1. 서 론

원자력 구조물은 일반건축구조물에 비해 구조성능뿐 아니라 방사능 차폐성능 등의 요구에 따라 슬래브두께 45cm~120cm 정도의 특수구조물이다. 국내에서는 특수구조물인 원자력 구조물을 재래식 공법으로 시공하고 있는데 이는 경제성 및 시공성 등 여러 가지 부분에서 개선점을 많이 내포하고 있다.

특히 원자력 구조물의 경우 공사기간 단축에 따른 경제적 이득이 일반 구조물에 비해 그 차이가 매우 크므로 공사기간의 단축은 매우 큰 경제성을 확보할 수 있다. 그러나 기존의 RC공법으로는 공기단축이 어려워 철골을 포함한 합성구조 시스템을 개발하였다. 특히 본 시스템의 경우에는 기존의 SRC와는 다소 차이가 있으므로 이에 대한 검증이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 기존의 일반적 구조단면 형식인 철근콘크리트, 일반 합성단면의 구조적 거동과 시스템에 적용되는 새로운 합성단면의 구조적 거동을 비교·분석하였으며, 접합부의 철근배근 방법에 따

- * 정회원, 한양대학교 건축공학과, 석사과정
- ** 정회원, 한국전력연구원, 연구원
- *** 정회원, 한국전력연구원, 수석연구원
- **** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 이사
- ***** 정회원, 여주대학 건축과 부교수
- ***** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

큰 구조적 거동과 내력의 차이에 대해서도 분석하였다. 본 연구는 이러한 실험을 통하여 본 시스템의 구조성 및 시공성을 확보하고 나아가서 경제성을 확보하고자 한다.

2. 원자력 합성바닥판 시스템

본 연구 시스템은 원자력 구조물에 합성구조를 도입한 구조시스템으로써 평면도가 그림 1에, 그리고 단면도가 그림 2에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 본 연구시스템은 철판 Girder 사이에 Beam을 설치하고 Girder와 Beam사이에 슬래브 종류에 따라서 1.1m 또는 1.2m 간격으로 Sub - Beam을 설치한다. 설치된 Sub - Beam 상부에 P.C.판을 설치하며 설치된 P.C.판은 시공하중(자중 + Construction Load)을 지지할 수 있도록 계획되었으며 P.C.판 설치 후에 P.C.판 상부에 콘크리트를 타설하고 일체화시키는 시스템이다.

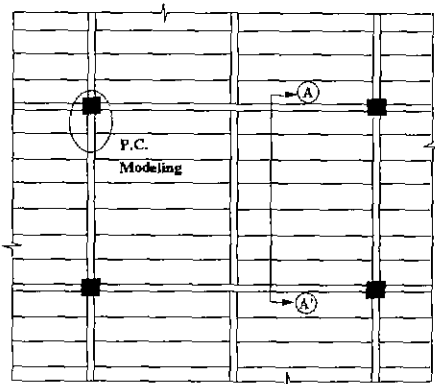


그림 1 합성바닥판 시스템 평면도 및 Modeling 구간

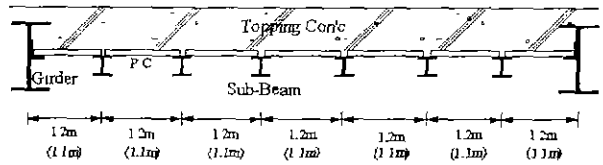


그림 2 합성바닥판 시스템 단면도(A~A')

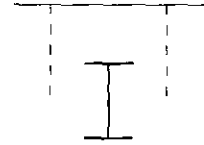


그림 3 합성보의 단면도

3. 실험

3.1 실험체 모델링

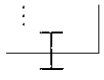

본 연구의 대상으로 선정한 구간은 본 시스템에서 기둥과 보가 접합되는 단부 부분으로 그림 1과 같으며 그 단면형상은 그림 3과 같다. 부재의 모델링은 철근콘크리트 모멘트 연성골조에서 보부분을 나타내도록 계획하며 본 실험에서 하중 가력 시 Cyclic Load를 가하기 위하여 T자형으로 제작하였다.

본 실험은 합성슬래브 시스템에서 사용되는 합성단면의 구조적 성능을 평가하는 실험으로 실험체는 보 주근으로 SD40(항복강도 4000kgf/cm^2)의 철근을 사용한 합성 실험체, D19를 사용한 일반 RC실험체, 그리고 Steel 위에 슬래브가 설치되는 일반 합성실험체를 기준 실험체로 선정하였다. 이와같은 실험체의 상세가 다음 표1과 그림 4에 나타나있다

3.2 재료 시험

본 실험에 사용된 철근 및 콘크리트의 재료적 특성을 알아보기 위하여 KS에 따른 재료시험을 실시하였으며 다음 표 2에 철근 및 철판 시편의 인장시험 결과가 그리고 표 3에 콘크리트 압축강도 시험 결과가 나타나있다

표 1 각 실험체의 특징

실험체명	단면 b × D (cm)	Holing %	단면형상
C6TC	50×36	60	 - 합성단면 (C6TC, C2TC)
C2TC		20	
T.C.G*	50×11	60	 - 일반합성단면 (T.C.G)
R.C.	50×46	-	
SRC	50×39	60	

* T.C.G : Typical Composite Girder b : 보폭, D : 콘크리트 두께

본 실험체에서 사용된 C6TC는 다음과 같이 의미를 가진다.

C : Composite Beam

6 : 기둥철골을 관통하는 보 압축철근의 개수 6개 (2: 기둥철골을 관통하는 보 압축철근의 개수 2개)

T : 철근배근방법 (Straight)

C : 하중가력방법 (Cyclic Load)

표 2 철근 및 철골의 인장강도 시험결과

Type		E_s (kgf/cm ²)	f_y (kgf/cm ²)	ϵ_y (×10 ⁻⁶)	신율 (%)
철근	D10	1.66×10 ⁶	4563	0.0019	12
	D19	2.00×10 ⁶	3999	0.0025	19
철골	300×300×10×15	2.69×10 ⁶	3715	0.0024	15
	250×125×5×8	2.11×10 ⁶	3794	0.0018	17

표 3 콘크리트 압축강도 시험결과

구분 종류	압축강도 (kgf/cm ²)		탄성계수 (kgf/cm ²)
	3일	28일	
$f_{ck} = 270$ (kgf/cm ²)	75	370	2.97×10 ⁹

3.3 실험체 설치 및 실험

본 연구에 사용된 실험체 상세는 그림 4와 같으며 실험체 설치상황은 그림 6에서 보는 바와 설치하였다. 기둥 구속조건으로 지지조건을 주었으며 일정축력을 가하기 위하여 실험체의 하부에 300tonf 용량의 오일잭(Oil Jack)을 설치하였다. 실험체에 하중은 50tonf Actuator로 반복하중을 주었으며 Actuator와 실험체와의 체결은 파이프를 이용하여 연결하였다.

실험의 진행 시 변위의 측정에는 변위 측정계(LVDT)로 측정하였으며 측정위치는 Actuator 가력 지점으로부터 4곳에 설치하였다. 변형율은 Data Logger(TDS-303)로 측정하였으며 하중은 Actuator의 head 부분에 부착되어 있는 로드셀(Load Cell)에 의하여 측정하였다.

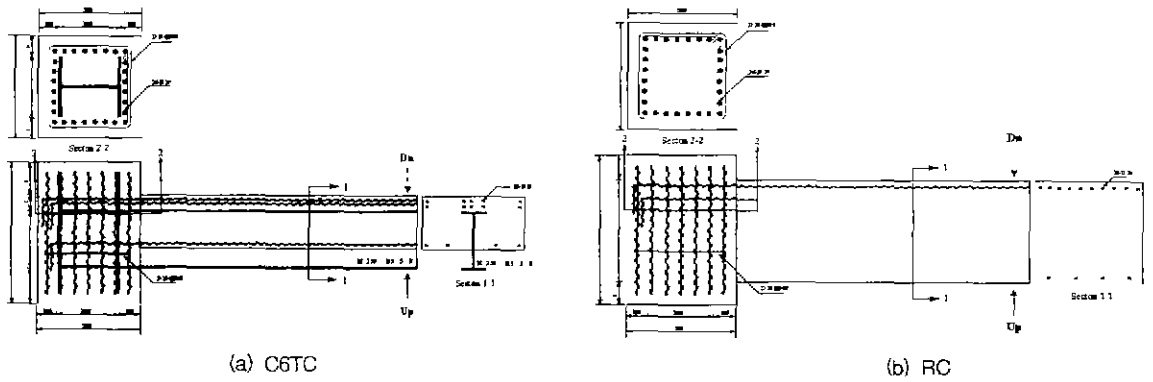


그림 4 실험체 상세

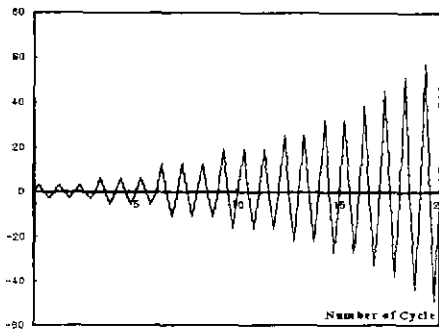


그림 5 하중이력

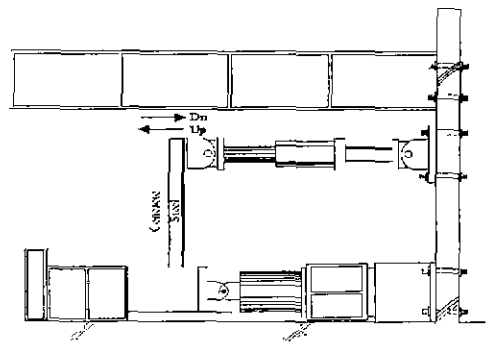


그림 6 실험체 설치상황

4. 실험결과

4.1 균열발생 및 파괴상황

균열은 합성부재의 경우 대부분 스티브-보 접합면에서부터 보 길이 $D(36\text{cm})$ 이내에 집중적으로 발생하는 양상을 보였다. 초기에 접합면으로부터 D 또는 $D/2$ 정도의 거리에서 초기 휨균열이 발생하였으며 Cycle 증가에 따라 접합면과 D 보다 더 떨어진 거리로 분산되었으며, 대부분의 균열은 전형적인 휨균열이었다. 그러나 RC 실험체의 경우 Cycle의 증가에 따라 사인장균열이 발생하여 최종파괴시 전단파괴가 일어났다. 합성부재의 경우 철근이 인장을 받는 부모멘트의 경우 균열이 많이 발생하였으며 철골이 인장을 받는 정모멘트의 경우에는 부모멘트보다 약 2~3 Cycle 정도 늦게 균열이 발생하였다. 또한 균열의 숫자도 부모멘트와 비교하여 매우 적었다. 이는 철골이 인장을 받는 경우 철골이 대부분의 인장력을 받아 콘크리트에 전달되는 인장력이 부모멘트에 비해 적은 것으로 사료된다.

4.2 하중-변위 이력곡선

본 시스템에 이용되는 합성부재의 경우 RC의 하중-변위 이력곡선과 일반적인 합성부재(T.C.G)에서 발생하는 하중-변위 이력곡선의 중간적인 형태를 나타냈다. RC 실험체의 경우 약간의 편칭현상을 보이고 있는데 이는 하중이력이 반복됨에 따라 휨-전단의 영향이 나타나고 최종적으로 전단파괴에 기인하는 것으로 판단된다. 그러나 본 시스템의 합성부재에서는 RC 실험체에서 볼 수 있는 편칭현상이 합성부재에서는 나타나지 않았다. 실험체별 하중-이력곡선은 그림 7과 같다.

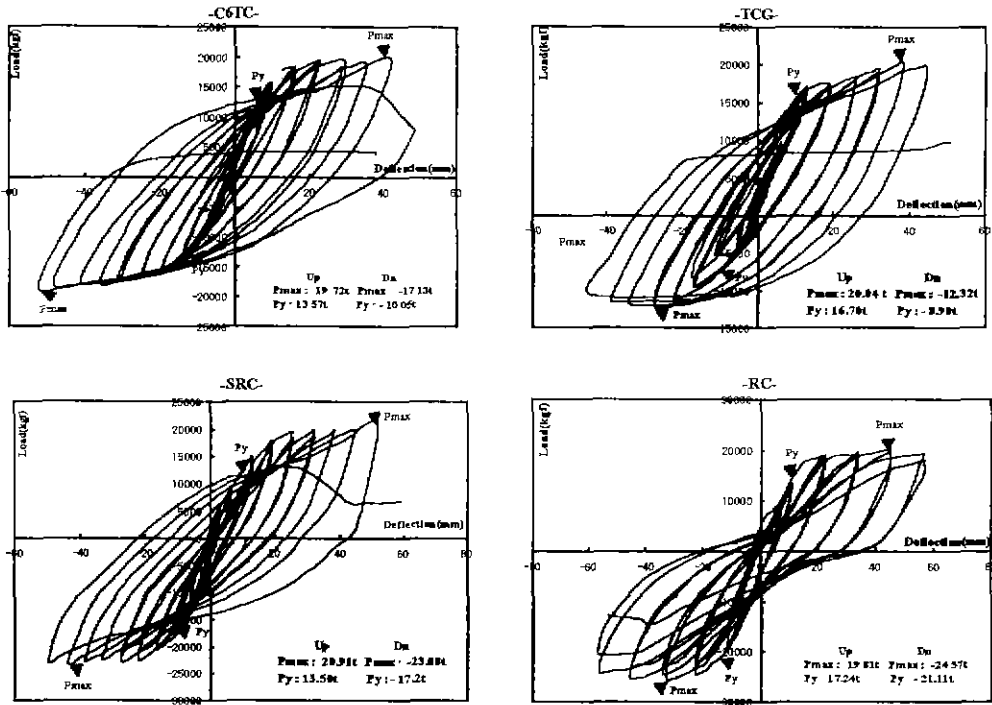


그림 7 하중-변위 아력곡선

4.3 최대하중

그림 8은 최대하중을 나타낸 것으로 정모멘트와 부모멘트의 경우로 나누어 비교하였다. 정모멘트의 경우 실험체별로 최대하중의 크기가 거의 차이가 없으며 본 시스템에서 사용되는 합성부재의 경우 RC와 SRC 그리고 T.C.G와 유사한 것으로 나타났으며, 이는 콘크리트가 압축대를 형성함에 있어서 중립축이 최대하중시 상승하기 때문으로 생각된다.

부모멘트의 경우 SRC와 RC 실험체가 본 시스템에서 선정된 실험체(C6TC, C2TC)보다 높은 최대내력을 보여주고 있으나, 본 시스템에서 선정된 실험체를 철골보 위에만 콘크리트가 타설된 실험체(T.C.G)와 비교해 보면 하중의 차이가 크게 나타났다. 또한 본 시스템에서 고려하고 있는 기둥의 Holing 정도는 최대내력에 큰 영향이 없는 것으로 생각된다.

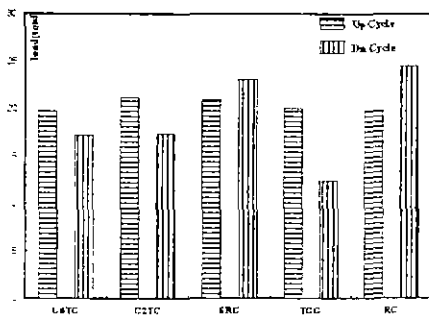


그림 8 실험체별 최대하중

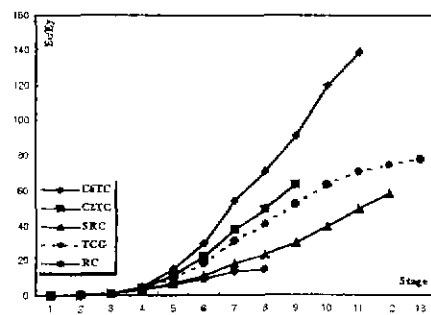


그림 9 에너지 소산능력

4.4 에너지 소산능력

누적에너지 소산능력의 경우 본 시스템에 사용되는 합성부재의 경우 C6TC는 RC, SRC 그리고 T.C.G와 비교하여 에너지 소산능력이 비슷한 것으로 나타났으나 C2TC의 경우 누적에너지소산능력이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 C2TC의 경우 최대하중이 다른 실험체에 비하여 낮게 나타났기 때문에 이에따른 누적에너지량도 작게 나타난 것으로 사료된다. 또한 SRC의 경우 누적에너지량이 가장 크게 평가되었다. 이는 철골부분이 콘크리트에 매립되어 있으므로 누적에너지량이 큰 것으로 사료된다.

4.5 강성저하

강성의 저하는 부재에서 발생한 균열의 크기와 밀접한 관계가 있다. RC의 경우 이와같은 이유로 인하여 편침현상이 발생하여 강성이 저하되는 것으로 판단된다. 단면이 모두 콘크리트로 쌓여있는 SRC와 RC의 경우 가력에 관계없이 일정한 값이 나왔으나 단면이 다른 합성부재가 정모멘트를 받는 경우 C6TC가 가장 큰 값을 가지고 있으며 이는 철골이 인장을 받기 때문으로 사료되며, 부모멘트를 받는 경우 콘크리트 면적이 가장 작은 T.C.G가 가장 작은 강성을 가지고 있는 것으로 나타났다. RC의 경우 양 Cycle 모두 급격한 강성저하는 나타냈으며 본 시스템에서 이용되는 합성부재의 경우 완만한 강성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

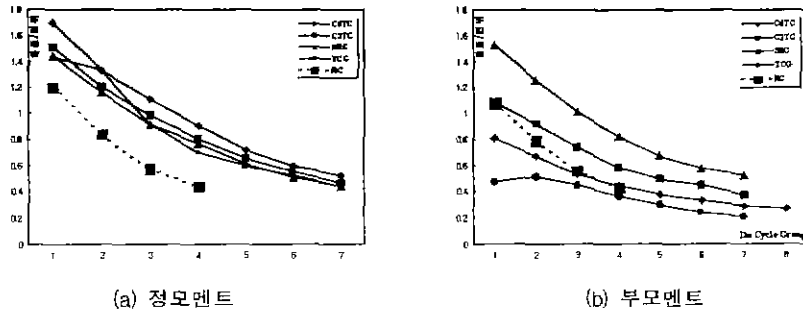


그림 10 강성저하

5. 결론

1. 본 시스템에 적용되는 합성부재의 하중부담능력은 RC와 비교하여 크게 차이가 없는 것으로 평가되었으며 SRC와 T.C.G와 비교하여서도 비슷한 하중부담능력을 가지고 있는 것으로 평가되었다.
2. 철골기둥을 관통하는 철근의 개수는 하중부담능력과 에너지 소산능력에 큰 영향을 미치지 않는다.
3. 에너지 소산능력의 경우 기존의 RC, SRC, T.C.G와 비교하여서 에너지 소산량이 큰 것으로 평가되었다.
4. 본 시스템에서 적용하고 있는 합성부재의 경우 강성저하 역시 안정적인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. ROBERT F. LORENZ. Some Economic Consideration for Composite Floor Beams, ENGINEERING JOURNAL 1983. pp 78~81
2. LAWRENCE G.GRIFFIS, Some Design Consideration for Composite-frame Structures, ENGINEERING JOURNAL 1986. pp 59~64