

RC 슬래브와 SC 벽 접합부의 전단마찰 거동에 관한 실험연구

이 경 진^{1)*} · 황 경 민²⁾ · 김 우 범³⁾

¹⁾ 책임연구원, 한전 전력연구원 ²⁾ 선임연구원, 한전 전력연구원 ³⁾ 교수, 공주대학교, 건축공학과

An Experimental Study on Shear Friction Behavior of RC Slab and SC(Steel Plate Concrete) Wall Structure with Connection Joint

Lee, Kyung Jin^{1)*} Hwang, Kyeong Min²⁾ Kim, Woo Bum³⁾

¹⁾ Principal Researcher, KEPSCO RESEARCH INSTITUTE, Daejeon, 305-760, Korea

²⁾ Senior Researcher, KEPSCO RESEARCH INSTITUTE, Daejeon, 305-760, Korea

³⁾ Professor, Architectural Engineering, Kongju University, Cheonan, 331-717, Korea

ABSTRACT : In this study, the structure behavior of RC slab and SC shear wall connection was investigated. Also experimental study was performed to evaluate the factor of safety of demand shear connection strength in KEPIC SNG Standard. As a result, shear friction strength of connection was known about 300kN and shear strength of rebar increased according to the displacement increase. With the installment of the lower rebars, 40% shear strength increased compared to the non-rebar specimen.

KEYWORDS : SC, steel plate concrete, shear wall, connection joint, shear friction strength, shear failure

1. 서 론

국내에서 운전되고 건설되는 원자력발전소 구조물은 철근 콘크리트(Reinforced Concrete : 이하 RC로 표기) 구조로 구성되어 있고 건설하는데 오랜 건설기간(58개월)과 많은 비용이 소요되고 있다. 원자력발전소의 건설비를 절감하고 경제성을 향상시키기 위해 구조물 설계를 최적화하고 공정합리화와 공기단축을 통해서 많은 시도가 수행되었지만 한계에 이른 상황이다.

원자력발전소의 주구조물인 격납건물과 보조건물의 구조는 일반구조물에 비해 부재단면이 크고, 내진설계를 위해 전단벽 비율이 높은 구조특성을 갖고 있다. 이와같은 원전 구조의 특

성을 고려하고 공기단축을 목적으로 강판 콘크리트(Steel plate Concrete : 이하 SC로 표기) 구조를 원전에 적용하는 연구가 국내 및 일본, 미국에서 이루어지고 있다^[1].

SC 구조는 RC 구조에 비해 연성이 크며 내진성능이 우수하고 시공성 측면에서 모듈화 제작이 용이하여, 건설공기 단축을 통한 경제성 확보를 위해 원자력발전소 구조물과 같은 대형 구조물에 대한 SC 구조의 설계반영이 적극 검토되고 있다. 그 동안의 연구성과를 반영하여 국내와 일본에서 원전 구조물 SC구조 설계기준이 발간이 되었다.

SC 구조는 구조체의 양면에 강판을 설치하고 내부에 콘크리트를 타설하는 구조형식으로, 강판과 스티드를 이용하여 콘크리트와 일체화시키는 구조로서, 강판과 스티드가 RC 구조의 거푸집과 철근구조체의 역할을 동시에 수행하는 개념이다. 시공성 측면에서 SC 구조와 RC 구조를 비교해 보면, 단순 벽체 구조인 경우 RC 구조는 철근 조립에서 거푸집 제거까지 소요되는 기본공기가 28일이고, SC 구조는 14일로서 SC 구조가 RC 구조에 비해 공기단축 면에서 큰 장점을 가진 것으로 보고되고 있다.

Note.-Discussion open until June 30, 2014. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 27, 2013; revised September 10, 2013; approved on October 2, 2013. © KSSC 2013

* Corresponding author

Tel. +82-42-865-5577 Fax. +82-42-865-5592
E-mail: leekj@kepri.re.kr

국내에서는 SC 구조를 원전구조물에 전면 적용하기 이전에 부분적용을 검토하고 있으며 기존의 RC 구조로 된 원전 구조물에 SC 구조를 부분적으로 적용하게 되면, RC 구조와 SC 구조 간의 연결부위에서 이질접합부가 발생하게 된다. RC 구조와 SC 구조 이질접합부의 파괴거동이나 구조특성에 관한 연구는 국내외에서 수행된 사례가 많지 않고, 국내에서 전단벽과 전단벽의 수평, 수직접합에 관한 실험연구가 수행된 사례가 있다^[2),(3),(4),(5),(6),(7),(8)].

SC 구조, RC 구조 이질접합부의 구조특성에 대한 연구가 많지 않기 때문에 이를 원전구조에 반영시키기 위해서 이질 접합부에서의 구조적 특성을 상세히 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 원자력발전소에 SC 구조를 부분 적용할 경우 보조건물에 많이 발생할 것으로 예상되는 RC 구조 슬래브와 SC 구조 전단벽이 만나는 접합부의 거동특성을 파악하고 RC구조 슬래브-SC구조 전단벽 이질접합부의 전단마찰내력을 평가하며 KEPIC SNG의 접합면 소요전단강도 기준의 안전율을 평가하기 위해 실험연구를 수행하였다.

SC 구조 슬래브와 벽 접합부에 관한 선행연구로는 김형국 등^[4] 등이 수행한 연구가 있고, 이 연구에서 접합부의 내력 및 파괴모드를 도출하였다.

RC 구조 슬래브와 SC 구조 전단벽 접합부는 SC 구조의 표면 강판에 의해 콘크리트가 분리되며 이로 인해 접합부의 응력전달기구가 RC 구조와는 다를 것으로 판단된다. 원전 구조에서 전단벽과 슬래브가 만나는 접합부 부분은 전단보강을 위하여 접합부 슬래브 하단에 전단받침 강판을 설치한다. 슬래브 하단에 위치한 전단받침 강판은 외부에 노출되어있어 화재 발생 시 소요 내력을 발휘하지 못하므로 설계 시 무시하고 있다. 이 경우 전단받침강판이 없으면 SC벽-RC슬래브 접합부의 소요 전단마찰내력이 충분하지 못할 것이라는 예상이 있고, 본 실험연구에서 전단 받침 강판의 유무, 기타 설계 조건을 추가하여 이질접합부의 전단마찰 내력을 평가하고 구조거동을 확인하였다.

2. 접합부 전단력 설계식

강판 콘크리트 구조의 접합부에 관한 설계식으로는 바닥 슬래브와 벽면이 접합할 경우, 대한전기협회에서 제정한 KEPIC SNG^[9](대한전기협회(2010))에서 규정한 접합면 소요전단강도(V_u)와 접합면 공칭전단강도(V_n)는 다음과 같다.

강판콘크리트 벽체의 표면강판은 하부 강판콘크리트 슬래브의 콘크리트와 강판콘크리트 벽체의 콘크리트의 연속성을 단절시키므로, 접합면의 소요면외전단에 대해 다음 조건을 만족시켜야 하며, 설계전단강도는 하부 강판콘크리트 슬래브의

콘크리트 마찰과 전단받침강판만을 또는 강재 리브의 복부 단면만을 적용하여 산정하여야 한다.

$$V_u \leq \phi_v V_n \tag{1}$$

여기서, V_u : 접합면의 소요전단강도 (N)

ϕ_v : 접합면의 전단강도감소계수로서, 콘크리트 마찰과 전단받침강판을 적용하는 경우 0.75, 강재 리브의 복부 단면만을 적용하는 경우 0.9

V_n : 접합면의 공칭전단강도 (N)

2.1 콘크리트 마찰과 전단받침강판의 공칭전단강도

(가) 슬래브 단부가 부모멘트인 경우

접합면의 공칭전단강도는 콘크리트와 표면강판 접합면의 마찰저항에 의한 공칭전단강도와 전단받침강판에 의한 공칭전단강도를 합산하여 다음과 같이 산정한다.

$$V_n = V_{nfr} + V_{nsp} \tag{2}$$

여기서, V_n : 슬래브-벽체 접합부의 공칭전단강도 (N)

V_{nfr} : 접합면의 마찰저항력에 의한 공칭전단강도

$$V_{nfr} = \mu A_{rt} F_{yr} \text{ (N)} \tag{3}$$

다만, V_{nfr} 은 $0.2 f_{ck} A_c$ 또한 $5.5 A_c$ 이하 이어야 함

V_{nsp} : 전단받침강판에 의한 공칭전단강도

$$V_{nsp} = 3M_{nsp} / l_w \text{ (N)} \tag{4}$$

μ : 접합면에서 콘크리트와 표면강판의 마찰계수 (= 0.7)

A_{rt} : 슬래브 단부의 상부철근 단면적 (mm²)

F_{yr} : 철근 설계기준항복강도 (MPa)

M_{nsp} : 전단받침강판 공칭휨강도 (N·mm)

$$M_{nsp} = S_{sp} F_{ysp} \tag{5}$$

S_{sp} : 전단받침강판 단면계수 (mm³)

F_{ysp} : 전단받침강판 설계기준항복강도 (MPa)

l_w : 전단받침강판 위의 하중분포길이 (mm)

$$l_w = 4 t_{sp} \quad (6)$$

t_{sp} : 전단받침강판 두께 (mm)

3. 실험 개요

3.1 실험체의 구성

RC 슬래브와 SC 벽이 이질접합 형태로 만나는 구조물의 전단마찰 내력을 평가하기 위하여, 이를 모사한 실험체를 제작하였다. RC 슬래브 부분은 실험의 편의를 위해 정사각형 단면으로서 1,000mm×400mm×400mm(길이×폭×높이)로 구성하고, SC 벽체에 캔틸레버로 접합된 형식으로 모사하였다.

주철근(SD40)은 D25로서, 전단받침강판의 강도가 전체 소요전단강도의 40% 이상이어야 한다는 KEPIC-SNG의 설계지침에 근거하여 압축철근량을 전체 철근량의 40%로 설정하여 상부 인장철근은 3개, 하부 압축철근은 2개를 배치했다. 주철근은 SC 벽체에 충분한 정착길이 및 갈고리길이를 확보토록 설계했고, 각 전단철근은 D13@80으로 배근하였다. SC 벽체 부분은 600mm×800mm×1,100mm(두께×폭×높이)로 구성했고, 양 표면에 6t의 표면강판(SM490)을 두어 충분한 벽체의 강성 확보를 위해 D16 타이바로 연결하였다(Fig. 1, 2 참조).

접합부의 전단마찰 내력에 기여하는 실험변수를 파악하기 위하여, 실험변수는 전단받침강판 유무, RC 슬래브 부분의 하부철근 유무, 이질접합부에 테프론 시트 유무 등으로 3가지 조건을 설정하였다(Table 1 참조). 실험체는 총 4개의 실험체를 제작하였고, 4개 실험체의 크기는 같다.

실험체 Case 1은 접합부에 전단받침강판(18t)을 설치하고 RC 슬래브에 상하부 철근을 구성하였고, Case 2 실험체는 전단받침강판이 없고 나머지 조건은 Case 1과 같다. Case 3 실험체는 전단받침강판이 없으며, 접합면의 마찰력을 최소화시키기 위해 테프론 시트(2t) 2장을 접합부에 삽입

Table 1. Shear plate and bottom bar in specimens

Specimens	Shear plate		Bottom rebar		Remarks
	Installation	No	Installation	No	
Case 1	O		O		
Case 2		O	O		
Case 3		O	O		Teflon Sheets 2 in Joint
Case 4		O		O	

*하부철근은 RC 슬래브의 하단부 철근으로 D13@80으로 배근하였음



Fig. 1 Inner view and finished figure of specimens

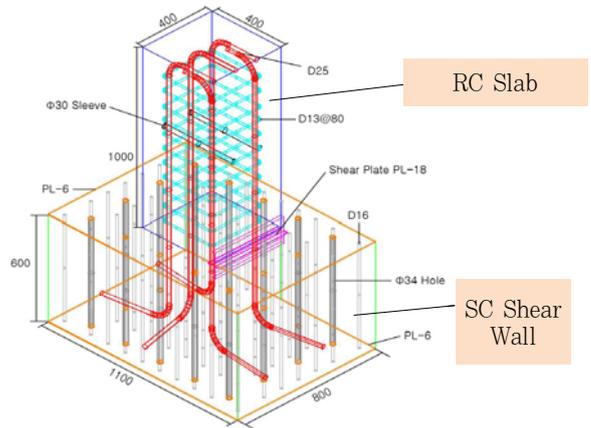


Fig. 2 No. 1 Specimen

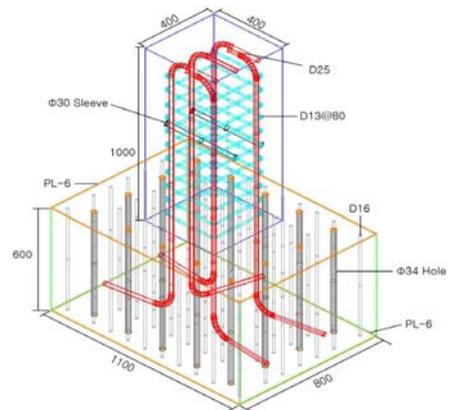


Fig. 3 No. 2 Specimen

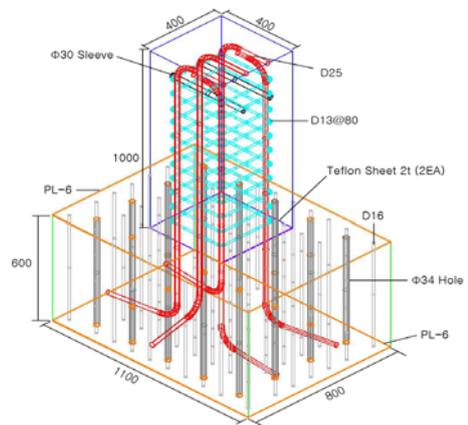


Fig. 4 No. 3 Specimen

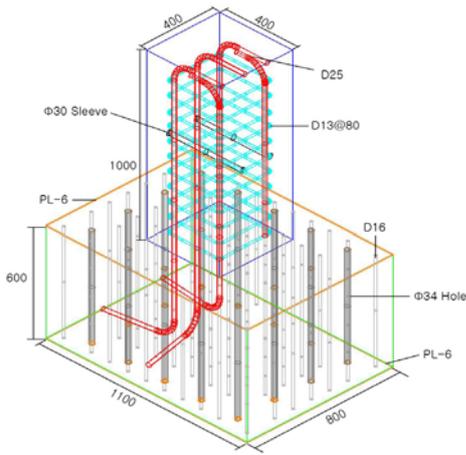


Fig. 5 No. 4 Specimen

Table 2. Material properties of specimens

	Design strength (MPa)	Experiment strength (MPa)	Max. strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)
Concrete (28 Days)	35	38.9	-	26,105
Steel plate (SM490)	325	412.7	568.9	210,492
Rebar (SD40)	420	422.2	576.3	186,234

했고, RC 슬래브 설계는 Case 1, 2와 같다. Case 4 실험체는 전단받침강판이 없고 RC 슬래브 하부의 압축철근을 SC 벽에 미정착시킨 실험체이다.

총 4가지 실험체 중 Case 1 실험체의 구성을 Fig. 2에 나타내고 실험체 Case 2~Case 4는 Fig. 3~5에 나타내었다. Table 2는 본 실험에 앞서 실험체의 콘크리트 28일 압축강도, 주철근 및 전단받침강판의 인장강도를 확인하기 위해, 재료실험에 의한 재료실험강도 결과를 보여주고 있다.

3.2 실험 방법

본 실험에서는 식 (1), (2)로 표시한 이론식과의 비교를 위해 1단계 하중을 가력하여 RC 슬래브의 상부 인장철근이 항복을 유지한 상태에서 2단계 하중을 가력하여 접합부의 전단마찰 파괴를 유도하도록 실험 방안을 수립하였다. Fig. 6 과 같이 SC 벽체가 바닥면의 지그와 고정되고 RC 슬래브가 상부로 오도록 설치한 후, 접합부에서 RC 슬래브로 500mm 만큼 떨어진 지점에 RC 슬래브 상부 인장철근의 항복을 유도하기 위해 1,000kN 용량의 유압가력기 1을 실험체의 좌측에 설치하였다. 단, Case 3 실험체의 경우에는 접합부의 마찰저항력이 작기 때문에 500mm의 팔길이로는 실험체가

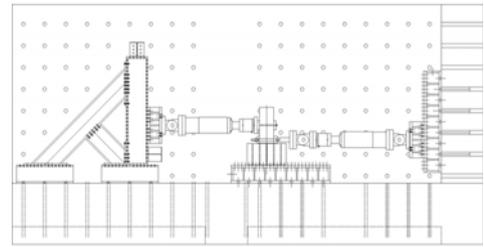


Fig. 6 Installation design of specimen

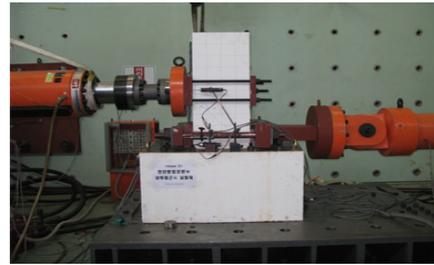


Fig. 7 Installation of specimen (Case 1, 2, 4)



Fig. 8 Installation of specimen (Case 3)

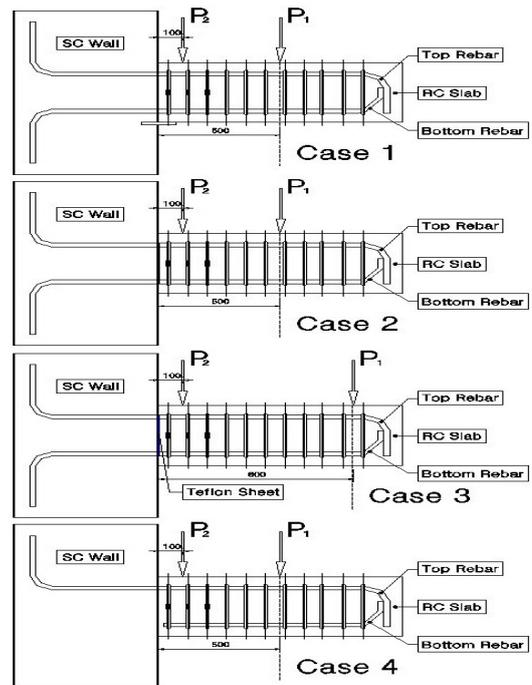


Fig. 9 Loading design of specimens

공칭 전단내력에 도달할 때 항복 모멘트를 만들 수 없기 때문에, 800mm의 팔길이를 적용하였다(Fig. 8 참조).

한편, 추가적으로 접합부의 전단마찰 파괴를 유도하기 위한 1,000kN 용량의 유압가력기 2를 Fig. 6, 7과 같이 최대한 접합부쪽으로 밀착(접합부로부터 100mm 거리)시켜 실험체 우측에 설치하였다.

Fig. 9는 실험체 Case 1~Case 4의 하중가력 위치와 실험체 조건 등을 나타낸 그림이다.

실험체는 SC벽체를 하단, RC슬래브를 상단에 오도록 설치하고, 1단계 가력으로 접합부로부터 500mm 떨어진 지점에 100tonf(981kN) 유압가력기로 휨 가력(Push 하중)을 수행하여 이질접합부에 압축 존(Zone)을 유도하였다. 1단계 가력을 유지한 상태에서 접합부로부터 100mm 떨어진 지점에 강봉 및 100tonf(981kN) 유압가력기와 결합하여 2단계 Pull하중으로 접합부의 전단마찰 거동을 유도하고자 하였다.

또한, 2단계 가력 시 접합부에서의 모멘트 팔 길이 100mm에 의한 휨이 발생되어 1단계 가력에 의한 휨에 부가적인 휨 하중으로 작용하므로, 확인하고자 하는 접합부의 전단마찰 파괴 전에 휨에 의한 파괴가 발생할 여지가 있다. 따라서, 표 3에 나타난 바와 같이 RC슬래브 상단철근(인장철근, D25 3

단 배근)을 항복시키기 위해 계산한 모멘트 195,013kN.mm를 유지한 채, 전단력 P1, P2를 조절하는 하중단계로 하중을 가력하였다. 전단마찰실험체 Case 1, 2, 3, 4의 전단력 증가에 따른 구조거동을 파악하기 위해 실험체의 각 부위에 스트레인 게이지를 설치하였고, 주요 설치 위치는 RC슬래브 내부의 압축/인장 철근과 접합부 주위의 강판, 전단철근이다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 Case 1 실험체(전단받침강판이 있는 경우)

이질접합부에 전단받침강판을 설치하여 전단마찰 실험을 수행한 실험체의 모습을 Fig. 10에 나타내었다. 실험체 설치는 SC벽체를 하단, RC슬래브를 상단에 오도록 세팅하고(Fig. 10 참조), 1단계 가력으로 접합부로부터 500mm 떨어진 지점에 100tonf(981kN) 유압가력기로 휨 가력(P1 : Push 하중)을 274.36kN까지 가력하여 이질접합부에 압축 존(Zone)을 유도하였다. 1단계 가력(274.36kN)을 유지한 상태에서 접합부로부터 100mm 떨어진 지점에 100tonf(981kN) 유압가력기를 이용하여 2단계 Pull 하중(P2)으로 578.35kN 까지 가력하여 RC슬래브 상단철근(인장철근, D25 3단 배근)을 항복시킨 상태에서 Pull 하중(P2)을 증가

Table 3. Loading step of specimen case 1

Load step	1st Load P1 (kN)	2nd Load P2 (kN)	V=P1+P2 (kN)	V/Vn*	Mn=500 P1 + 100P2 (kN.mm)	Mn/100
1	0	0	0	0.000	0	0
2	274.36	0	274.36	0.257	137178	1371.78
3	274.36	578.35	852.71	0.800	195013	1950.13
4	269.03	605.00	874.03	0.820	195013	1950.13
5	263.70	631.65	895.35	0.840	195013	1950.13
6	258.37	658.30	916.66	0.860	195013	1950.13
7	253.04	684.95	937.98	0.880	195013	1950.13
8	247.71	711.59	959.30	0.900	195013	1950.13
9	242.38	738.24	980.62	0.920	195013	1950.13
10	237.05	764.89	1001.94	0.940	195013	1950.13
11	231.72	791.54	1023.26	0.960	195013	1950.13
12	226.39	818.19	1044.57	0.980	195013	1950.13
13	221.06	844.83	1065.89	1.000	195013	1950.13
14	219.51	852.59	1072.09	1.006	195013	1950.13
15	217.96	860.35	1078.30	1.012	195013	1950.13
16	216.40	868.11	1084.51	1.017	195013	1950.13
17	214.85	875.87	1090.72	1.023	195013	1950.13
18	213.30	883.63	1096.93	1.029	195013	1950.13
19	211.75	891.39	1103.13	1.035	195013	1950.13
20	210.20	899.15	1109.34	1.041	195013	1950.13

* Vn : 공칭전단강도 1065.89 kN

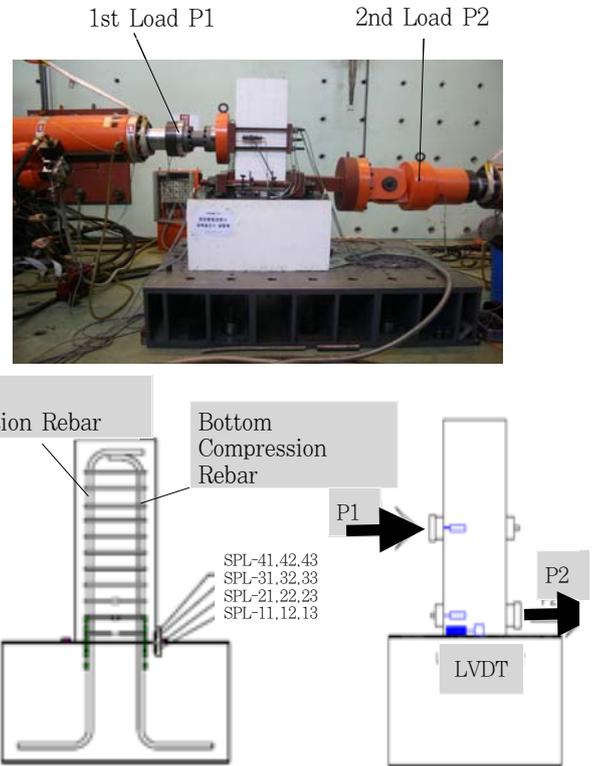


Fig. 10 Loading and gauge of specimen case 1

시켜 접합부의 전단마찰 거동을 유도하였다.

하중 P1, P2 가력으로 인해 발생하는 모멘트는 195,013 kN.mm 로 일정하게 유지하고(유압가력기 제어는 하중제어) 예상 파괴하중인 P1=221.06kN, P2=844.83kN까지 하중을 증가시켰다. 이 단계에서 RC슬래브에 작용하는 전단력 P1+P2=857kN에서 RC슬래브에 배근된 상부 인장철근(D25 3단 배근)이 항복하였다. 항복한 철근의 위치(TB-11, TB21)는 SC벽체에 10cm, 5cm 매립된 위치이다. 또한 전단력 857kN에서 접합부 왼쪽 가력방향으로 RC슬래브 들림 현상이 발생하기 시작하였고, RC 슬래브에 전단균열은 발생하지 않았다.

예상파괴하중은 전단력(P1+P2) 1065.89kN으로 계산하였고, 실제 파괴하중은 1,410kN이다. 실험체 파괴는 P1=190.02kN, P2=1,000kN에서 P2=1,000kN으로 유지한 상태에서 P1을 증가시켜 P1=410kN 까지 가력하였을 때 전단받침강판이 항복하면서 실험이 종료되었다(Fig. 11, 13 참조).

접합부에 전단받침강판(t=18mm)을 설치하여 전단력이 작용할 경우, 전단받침강판이 전단력을 대부분 부담하고, 전단받침강판이 항복하고 난 후에 RC슬래브에 위치한 인장, 압축철근이 항복을 하였고, RC슬래브 콘크리트에는 균열이 거의 발생하지 않았다. 전단받침강판은 전단력이 1,410kN에 도달했을 경우, 접합부에 인접한 부분(SPL-31, SPL-32)이 항복에 도달했다(Fig. 12 참조).

Fig. 11은 전단하중 가력으로 실험체가 항복한 다음 접합부 전단받침강판의 모습과 이질접합부 인근에서의 실험체 균열도를 나타낸 그림이다.

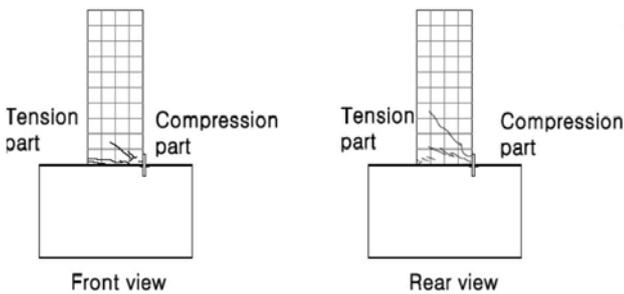


Fig. 11 Crack Line after yielding of Case 1

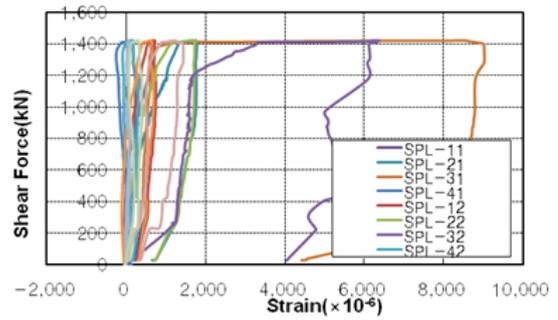


Fig. 12 Shear force vs. strain relation in shear plate of Case 1

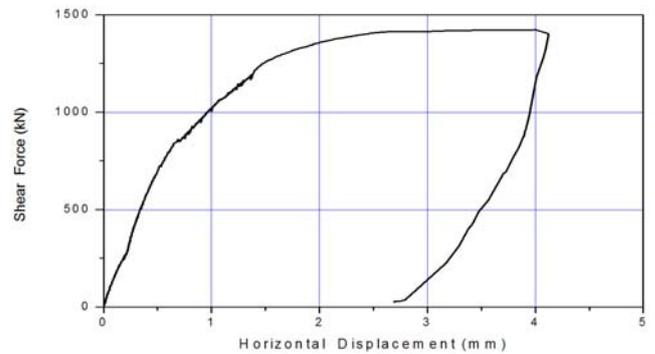


Fig. 13 Shear force vs. horizontal displacement relation of Case 1

Fig. 12는 실험체의 접합부 전단받침강판의 전단하중-변형을 관계를 나타낸 그림으로 전단력이 1,410kN에 도달했을 때 접합부에 인접한 부분(SPL-31, SPL-32)이 항복했음을 나타내고 있다. Fig. 13은 실험체의 전단력-접합부 수평 전단변위 관계를 나타낸 그림으로 전단력이 1,410kN에서 접합부가 수평방향으로 최대 4.1mm 변위를 나타냈다.

4.2 Case 2 실험체(전단받침강판 무, 하부철근 정착)

이질접합부에 전단받침강판을 설치하지 않고, RC슬래브의 인장철근과 압축철근을 SC벽체에 정착하여 전단마찰 실험을 수행하였다. 본 실험체의 실험조건은 Case 1 실험체와 동일하며 1단계 가력으로 348.29kN까지 가력하고, 하중을 유지한 상태에서 2단계 Pull 하중(P2)으로 208.70kN 까지 가력하여 RC슬래브 상단철근을 항복시키고 Pull 하중(P2)을 계속 증가시켜 접합부의 전단마찰 파괴를 유도하였다.

하중 P1, P2 가력으로 인해 발생하는 모멘트는 195,013 kN.mm 로 일정하게 유지하고 예상 파괴하중인 P1=313.48kN, P2=382.76kN, 전단력 합계 696.23kN까지 가력하였다.

가력과정에서 전단력이 348kN에서 RC슬래브 측면에 전단균열이 발생하기 시작하였고(Fig. 15 참조), 전단력이 602kN에서 RC슬래브에 배근된 상부 인장철근이 항복하였다. 철근의 위치(TB-31, TB-32)는 SC벽체에 1cm 매립된 철근 위치이다. 예상과괴하중인 전단력이 696kN에 도달하였을 때 RC슬래브에 배근된 상부 인장철근과 하부 압축철근이 항복하였지만(Fig. 16 참조), 실험체는 항복하지 않은 상태

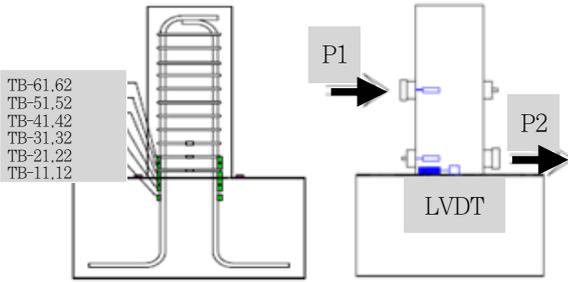


Fig. 14 Loading and Gauge of Specimen Case 2

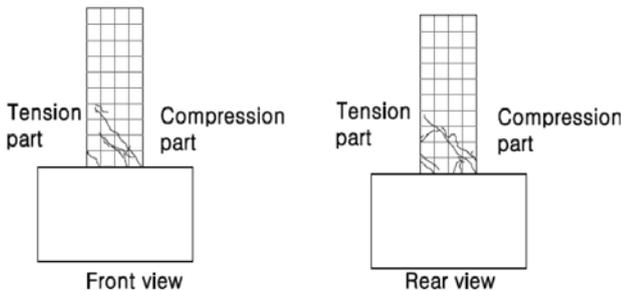


Fig. 15 Crack line after yielding of Case 2

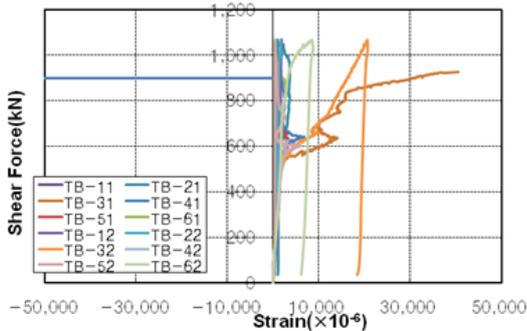


Fig. 16 Shear force vs. strain relation in top rebar of Case 2

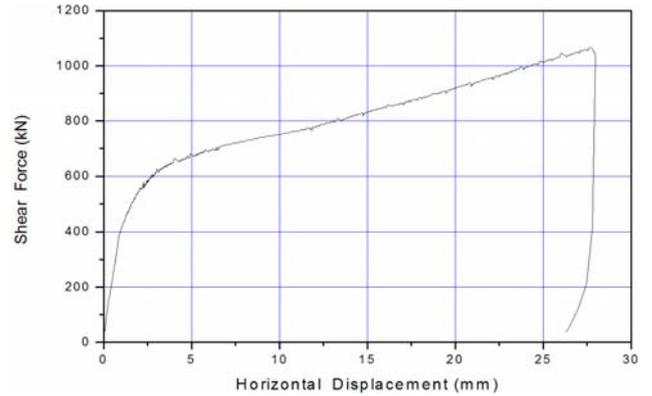


Fig. 17 Shear force vs. horizontal displacement relation of Case 2

로서, 전단력이 876kN에 도달하였을 때 이질접합부의 인장단에서 들어올림이 발생하였고, RC슬래브가 변형되었다. 최종적으로 전단력이 1,047kN에 도달하였을 때 실험체가 항복하였다(Fig. 17 참조). 실험체 항복시 접합부 최대수평변위는 28mm가 발생하였다(Fig. 18 참조).

4.3 Case 3 실험체(접합부에 테프론 시트 삽입)

접합부에 전단받침강판이 없고, 접합부의 마찰력을 최소화하기 위해 접합부에 테프론 시트를 2장 삽입하여 실험을 수행하였다. 다른 실험체 조건은 Case 2와 동일하나, 테프론 시트로 인해 접합면의 마찰저항력이 작아서 실험체가 공칭 전단내력에 도달하는 항복 모멘트를 만들기 위해 800mm의 팔길이를 적용하였다(Fig. 18 참조).

1단계 가력으로 243.77kN까지 가력하여 모멘트 195,013 kN.mm를 유지하여 RC슬래브 상단철근을 항복시킨 상태에서 P1과 P2 하중(P2)을 가하여 예상 파괴하중인 P1=239.64kN, P2=33.04kN, 전단력 합계 272.68kN까지 가력하였고, 실제 파괴하중은 630kN으로 RC슬래브 하부 이질접합부 부근에서 테프론으로 인해 RC슬래브가 하중가력 방향으로 밀리면서 최대수평 전단변위가 23mm 발생하고 항복하여 실험이 종료되었다(Fig. 19, 21 참조).

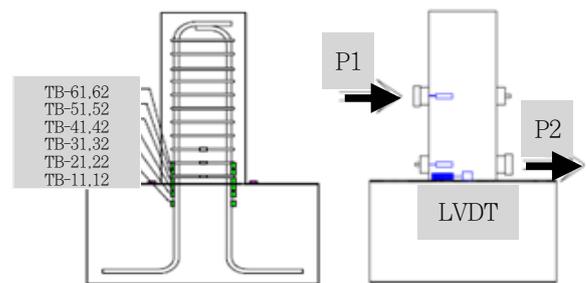


Fig. 18 Loading and gauge of specimen Case 3

접합부 주위에 위치한 RC 슬래브 상단 인장철근은 전단력이 증가하면서 변형율이 증가하였고, 접합부에 인근한 위치

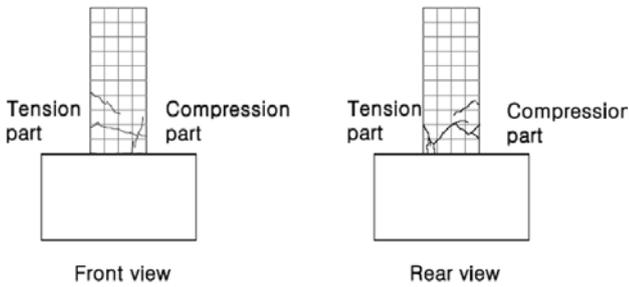


Fig. 19 Crack line after yielding of Case 3

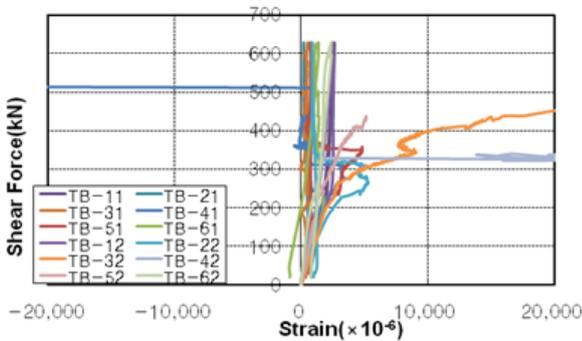


Fig. 20 Shear force vs. strain relation in top rebar of Case 3

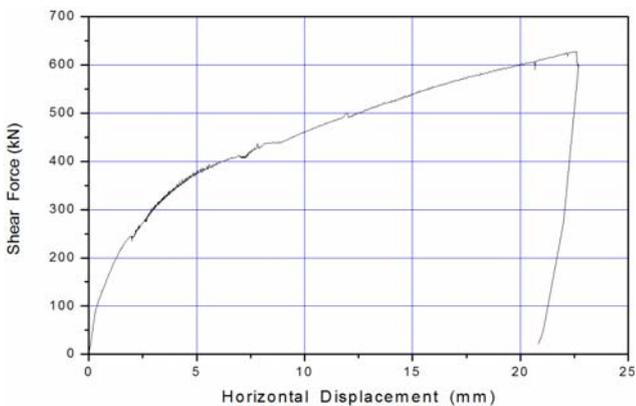


Fig. 21 Shear force vs. horizontal displacement relation of Case 3

(TB-32, TB-42)에서는 전단력이 300kN을 넘어가면서 항복을 하였다(Fig. 20 참조).

4.4 Case 4 실험체(전단받침강판 무, 하부철근 비정착)

본 실험체는 이질접합부에 전단받침강판이 없고, RC슬래브의 상부인장철근은 SC벽체에 정착이 되고 RC슬래브의 하부압축철근은 SC벽체에 미정착된 실험체이다(Fig. 22 참조).

하중가력은 1단계 가력(390.03kN)에서 RC슬래브 상단 인장철근을 항복시킨 상태에서 Pull 하중(P2)을 증가시켜 하중 P1, P2 가력으로 인해 발생하는 모멘트는 195,013 kN.mm 로 일정하게 유지하고 예상 파괴하중인 P1=375.23 kN, P2=73.99kN전단력 합계 449.22kN까지 가력하였다.

가력과정에서 전단력 280kN에서 이질접합부 하단에 1mm 수평방향 변위가 발생하였고, 1단계 가력 390kN에서 RC슬래브 측면에 전단균열은 발생하지 않았다(Fig. 23 참조). 그 이유는 RC슬래브 벽체 상단 인장철근 만이 SC벽체에 정착되어 수평방향력에 저항을 하고, 하단 압축철근은 SC벽체에

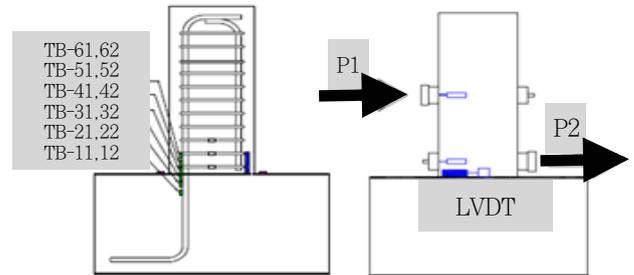


Fig. 22 Loading and gauge of specimen Case 4

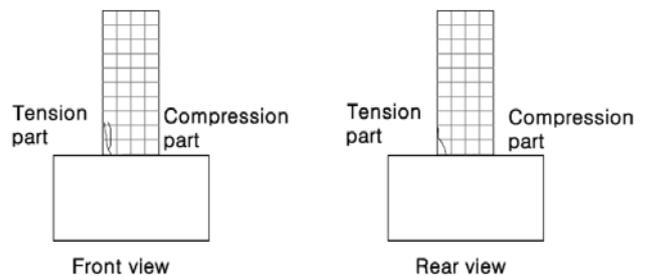


Fig. 23 Crack line after yielding of Case 4

미정착 되어서 수평방향력에 저항을 하지 못하기 때문으로 판단된다.

실험체 파괴하중으로 예상한 2단계 하중 P1=375.23kN, P2=73.99kN 가력하여 전단력이 449.22kN에 도달한 상태에서 상단 인장철근 대부분이 항복상태에 도달하였지만 (TB-51, TB-52), 실험체는 전단력을 계속 받는 상태이고 (Fig. 24 참조), 전단력이 증가하면서 접합부의 수평변위가 증가하여 전단력이 최종 601kN에 도달하여 RC슬래브 인장 측 콘크리트 균열이 확대되고 접합부의 수평변위가 증가하여 실험체가 항복하였다. 전단력 증가에 따른 접합부의 수평전단 변위는 전단력이 601kN에서 최대 접합부 수평변위는 27mm 발생하였다(Fig. 25 참조).

실험한 결과를 종합하여 Case 1~4에 대하여 실험한 전

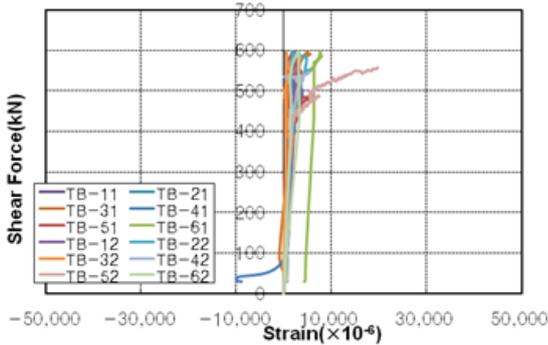


Fig. 24 Shear force vs. strain relation in top rebar of Case 4

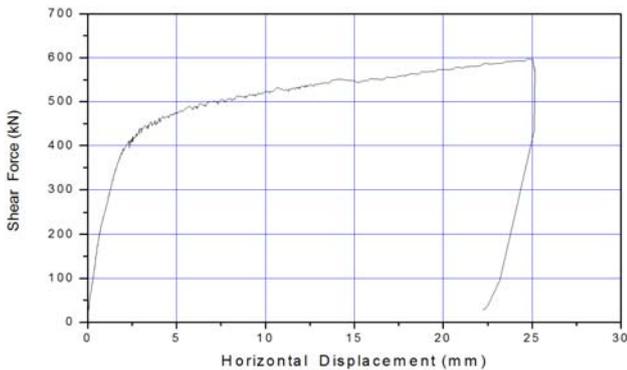


Fig. 25 Shear force vs. horizontal displacement relation of Case 4

Table 4. Shear force

Specimens	KEPIC-SNG(kN)	Experiment(kN)
Case 1	1065.89	1410.0
Case 2	696.23	1047.0
Case 3	272.68	630.0
Case 4	449.22	601.0

단내력과 KEPIC-SNG로 계산한 전단내력을 정리한 결과를 Table 4에 나타내었다.

4.5 종합 분석

실험결과를 종합하여, KEPIC-SNG의 설계지침과 비교하면 다음과 같다.

콘크리트 공시체, 철근과 강판 등의 재료실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- RC슬래브 상부철근 단면적:
 $A_{rt} = 3 \times 507 = 1,520 \text{ mm}^2$
- 하부철근 단면적:
 $A_{rb} = 2 \times 507 = 1,010 \text{ mm}^2$
- 철근 시험강도: $\sigma_{yr} = 422 \text{ MPa}$, $\sigma_{ur} = 576 \text{ MPa}$
- 강판 시험강도: $\sigma_{yp} = 411 \text{ MPa}$
- 콘크리트 시험강도 $\sigma_{ck} = 38.9 \text{ MPa}$

재료강도를 근거로, KEPIC-SNG에서 제시하는 설계식에 의한 전단마찰 공칭강도(철근 항복응력 기준)는 다음과 같다.

$$V_{n,sf} = \mu A_{rt} \sigma_{ry} = 0.7 \times 1,520 \times 422 = 449 \text{ kN}$$

실험체의 전단마찰 내력을 Case 2 실험체를 기준으로 접합부의 강판과 콘크리트 사이의 접합면 마찰내력, 상부철근의 전단내력, 하부철근의 전단내력으로 구분하여 분석하였다. 또한, 각각의 내력도출을 위해 Fig. 26과 같이 각 실험체별 접합부 변위(Slip) 대비 전단내력 곡선을 이용하여 대표적인 변위인 2, 3, 4, 5, 10, 25mm일 때를 기준으로 실험결과를 분석하면 다음과 같다. 단, Case 3 실험체에서 테프론 시트 간 마찰계수는 무시한다.

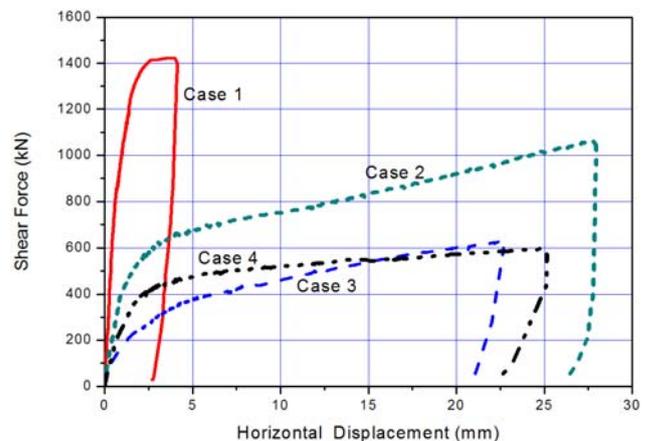


Fig. 26 Shear force vs. horizontal displacement relation of case 1, 2, 3, 4

- Case 1 실험체 : 전단받침강판 마찰내력 + 접합면 마찰내력 + 상부철근 전단내력 + 하부철근 전단내력
- Case 2 실험체 : 접합면 마찰내력 + 상부철근 전단내력 + 하부철근 전단내력
- Case 3 실험체 : 상부철근 전단내력 + 하부철근 전단내력
- Case 4 실험체 : 접합면 마찰내력 + 상부철근 전단내력

Case 4 실험체에서 접합면 마찰내력 + 상부철근 전단내력의 크기를 도출하면 Table 5와 같다. 이 때, 모든 실험체에 대하여 접합부 전단변위(Slip)가 2mm만큼 발생했을 때 상부철근이 항복한 상태였다.

하부철근의 전단내력을 구하기 위해, Case 2 실험체의 전단내력에서 Case 4의 전단내력을 빼면 Table 6과 같다.

접합면의 마찰내력을 도출하기 위해, Case 2 실험체의 전단내력에서 Case 3의 전단내력을 빼면 Table 7과 같다. 이 때 테프론 시트 간의 마찰계수는 없는 것으로 가정한다.

Table 5. Friction force +shear force

Specimens Displacement(mm)	Case 4 : Friction Force in Joint + Shear Force in Top Rebar(kN)
2	380
3	430
4	460
5	470
10	520
20	570

Table 6. Shear force in bottom rebar

Specimens Displacement(mm)	Case 2	Case 4	Shear Force in Bottom Rebar(kN)
2	540	380	160
3	610	430	180
4	650	460	190
5	670	470	200
10	750	520	230
20	920	570	350

Table 7. Friction force in joint

Specimens Displacement(mm)	Case 2	Case 3	Friction Force in Joint(kN)
2	540	240	300
3	610	300	300
4	650	340	310
5	670	370	300
10	750	460	290
20	920	600	320

Table 7에서 알 수 있는 바와 같이 접합면의 마찰내력은 약 300kN으로 일정한 값을 나타낸 것을 확인할 수 있으며, 이는 SC벽체의 강판과 RC슬래브의 콘크리트 간에 미끄러짐이 발생하면서 강재와 콘크리트 재질 간의 일정한 운동마찰내력이 발휘되기 때문인 것으로 판단된다.

상부철근 전단내력을 도출하기 위해, Case 4 실험체의 전단내력에서 Table 7에서 구한 접합면 마찰내력을 빼면 Table 8과 같다.

위에서 산출된 각 내력들을 종합하여 정리하면, Table 9와 같다.

Table 9에서 Case 4 실험체의 전단마찰 내력은 변위가 증가할수록 KEPIC-SNG의 설계지침에서 계산한 내력을 넘어서는 값을 나타냈으며, 4mm의 접합부 변위가 발생했을

Table 8. Friction force in top rebar

Specimens Displacement(mm)	Case 4	Case (2-3)	Friction Force in Top Rebar(kN)
2	380	300	80
3	430	300	130
4	460	310	150
5	470	300	170
10	520	290	230
20	570	320	250

Table 9. Friction force

Specimens Displacement(mm)	Friction Force in Joint (kN)	Shear Force in Top Rebar (kN)	Shear Force in Bottom Rebar (kN)	Case 4 (kN)	KEPIC-SNG (kN)
2	300	80	160	380	449
3	300	130	180	430	
4	310	150	190	460	
5	300	170	200	470	
10	290	230	230	520	
25	320	250	350	570	



Fig. 27 Comparison results of shear force and KEPIC SNG

때 공칭강도를 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 접합면 마찰 내력은 약 300kN으로서 일정하기 때문에 변위가 증가할수록 철근의 내력분담이 증가하게 되며, 상부철근보다는 하부철근의 전단내력 분담율이 높은 것으로 나타났다. 이는 상부철근은 항복을 한 상태에서 전단내력을 분담하고 있기 때문에 하부철근에 비해 전단내력 분담율이 낮은 것으로 판단된다. 그리고, 하부철근을 구성한 경우(Case 2 실험체)에는 하부철근이 없는 실험체(Case 4 실험체)에 비해 40% 이상 전단내력이 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 27은 실험결과 접합면의 전단내력과 KEPIC SNG를 비교하여 나타낸 것이다.

5. 결 론

SC구조 전단벽과 RC구조 슬래브 이질접합부 실험체를 제작하여 전단마찰 내력평가를 수행하고 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) SC벽-RC슬래브 이질접합부 전단마찰실험은 실험체 4개가 모두 접합부에서 전단파괴의 양상을 나타내었다.
- (2) KEPIC-SNG 이론식과의 비교결과 전단받침강판을 설치한 실험체 Case 1은 RC슬래브에 설치한 철근의 항복응력으로 계산한 접합부 강도 1,065kN보다 345kN 큰 1,410kN에서 접합부 전단파괴가 발생하면서 실험체가 항복하였다. 이론값과 실험값의 차이는 예상 파괴하중은 철근의 항복응력으로 계산하지만 실제 실험체는 철근의 극한응력까지 전단력을 부담하기 때문으로 판단된다. SC벽-RC슬래브 접합부에 설치한 전단받침강판은 전단력에 대해 충분한 전단내력을 발휘함을 확인하였다.
- (3) 전단받침강판이 없고 RC슬래브에 설치한 상/하단 인장철근과 압축철근이 SC벽체에 정착된 Case 2 실험체는 SC벽-RC슬래브 접합부의 표준설계로서, 계산한 접합부 강도 696kN보다 351kN 큰 1,047kN에서 접합부 전단파괴가 발생하면서 실험체가 항복하였다. 접합부에 전단받침강판을 설치한 경우에 비해 접합부에서 수평변위는 크지만 예상 설계하중보다 큰 내력을 확보하였고, 전단받침강판 없이 RC슬래브에 인장/압축철근을 설치하여 SC벽체에 정착함으로써 충분한 전단내력을 확보함을 확인하였다.
- (4) 전단받침강판이 없고 RC슬래브에 설치한 상/하단 인장철근과 압축철근이 SC벽체에 정착되고, 접합부에 테프론 시트 2장을 삽입한 Case 3 실험체는 접합부의 마찰계수를 최소화 시킨 실험체로서, 계산한 접합부 강도 272kN보다 358kN 큰 630kN에서 접합부 전단파괴가

발생하면서 실험체가 항복하였다. 접합부에 테프론 시트를 삽입한 경우 설계전단내력보다 큰 전단내력을 확보함을 확인하였다.

- (5) 전단받침강판이 없고 RC슬래브에 설치한 상단 인장철근만이 SC벽체에 정착된 Case 4 실험체는 계산한 접합부 강도 449kN보다 152kN 큰 601kN에서 접합부 전단파괴가 발생하면서 실험체가 항복하였다. 이론값과 실험값의 차이는 Case 1, Case 2, Case 3의 경우와 비교하여 작은 값으로 나왔고, 그 이유는 RC슬래브 상단 인장철근만이 전단력을 부담했기 때문으로 판단된다.
- (6) 접합면 마찰내력은 약 300kN으로 나타났고, 변위가 증가할수록 철근의 내력분담이 증가하게 되며, 상부철근보다는 하부철근의 전단내력 분담율이 높은 것으로 나타났다. 하부철근을 구성한 경우(Case 2 실험체)에는 하부철근이 없는 실험체(Case 4 실험체)에 비해 40% 이상 전단내력이 증가하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부 기반기금과제인 “기기 구조물 복합모듈화 기술개발” 과제의 일부로서 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌(References)

- [1] 古和田明(1999) 鋼板コンクリート構造に関する 實驗的研究, その 37 壁床接合部實驗(實驗計劃 と實驗概要), 日本建築學會大會學術講演梗概集.
Kowata (1999) *Experimental Study on Steel Plate Concrete Structure - 37 Wall Connection Experiment*, Transactions of Architectural Institute of Japan (in Japanese).
- [2] 이경진, 황경민, 함경원, 김우범(2012) 강판콘크리트 구조 이질접합부의 면외 휨/면내 전단하중 특성에 관한 실험연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제2호, pp.137-147.
Lee, K.J., Hwang, K.M., Hahm, K.W., and Kim, W.B. (2012) An Experimental Study on Flexural/Shear Load Properties of SC Structure with RC Joint, *Jouranal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 24, No. 2, pp.137-147 (in Korean).
- [3] Lee, K.J., Hwang, K.M., Hahm, K.W., and Kim, W.B. (2012) An experimental study on flexural/shear load properties of SC(Steel Plate Concrete) structure with reinforced concrete joint, *Journal*

- of Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol. 24, No. 2, pp.137-147 (in Korean).
- [4] 김형국, 김우범, 김원기(2008) SC구조 벽-바닥 접합부의 내력 및 거동특성, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제20권, 제2호, pp.347-354.
Kim, H.G., Kim, W.B., and Kim, W.K. (2008) Behavior and Strength of Wall-Slab Connection in SC Structure, *Jouranal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 20, No.2, pp. 347-354 (in Korean).
- [5] 이경진, 함경원, 박동수, 김우범(2010) 철근 콘크리트 구조와 강판 콘크리트 구조 이질접합부를 가진 보의 휨 하중 특성에 관한 실험연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제5호, pp.455-463.
Lee, K.J., Hahm, K.W., Park, D.S., and Kim, W.B. (2010) An Experimental Study on Flexural Properties of SC Beam Structure with Reinforced Concrete Joint, *Jouranal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 22, No. 5, pp.455-463 (in Korean).
- [6] Lee, K.J., Hahm, K.W., Park, D.S., and Kwon, K.J. (2008) Experimental Study on Temperature Behavior of SSC(Stiffened Steel Plate Concrete) Structures, *Proceedings of Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting*, PyeongChang, Korea, pp.767-768.
- [7] 이경진, 함경원, 박동수(2009) 강판콘크리트 보의 온도하중 재하시 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제21권, 제5호, pp.443-450.
Lee, K.J., Hahm, K.W., and Park, D.S. (2009) An Experimental Study on Mechanical Properties of SC Beam Structure under Temperature Load, *Jouranal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 21, No. 5, pp.443-450 (in Korean).
- [8] 이경진, 박동수, 전재호(2006) SC구조체의 온도특성에 대한 시험연구, 2006년도 학술발표대회논문집, 대한건축학회, 제26권, 제1호, pp.313-316.
Lee, K.J., Par, D.S., and Jeon J.H. (2006) An Experimental Study on Temperature Properties of SC Structure, *Proceedings of Architectural Institute of Korea*, AIK, Vol. 26, No. 1, pp.313-316 (in Korean).
- [9] 대한전기협회(2010) 전력산업기술기준(KEPIC), SN 원자력구조 - SNG 강판콘크리트구조, Korea Electric Association, *Korea Electric Power Industry Code(KEPIC)*, SN Nuclear Structures - SNG Steel-Plate Concrete Structure (in Korean).

요 약: 본 연구에서는 RC 구조 슬래브와 SC 구조 전단벽이 만나는 접합부의 거동특성을 파악하고 RC구조 슬래브-SC구조 전단벽 이질접합부의 전단마찰내력을 평가하고 KEPIC SNG의 접합면 소요전단강도 기준의 안전율을 평가하기 위해 실험연구를 수행하였다. 연구결과, 접합면의 전단마찰내력은 약 300kN으로 나타났고, 변위가 증가할수록 철근의 내력분담이 증가하게 되며, 상부철근보다는 하부철근의 전단내력 분담율이 높은 것으로 나타났다. 하부철근을 구성한 경우에는 하부철근이 없는 실험체에 비해 40% 이상 전단내력이 증가하는 것으로 나타났다.

핵심 용어: 강판 콘크리트, 전단벽, 이질접합부, 전단마찰력, 전단과괴