

강판 콘크리트 구조 접합부의 설계방식에 따른 검증실험 연구

황경민^{1*} · 이경진² · 양현정³ · 김원기⁴

¹선임연구원, 한전 전력연구원, 송변전연구소 ²책임연구원, 한전 전력연구원, 송변전연구소
³과장, 한국전력기술(주), 원자력토목건축기술그룹 ⁴교수, 호서대학교, 건축공학과

A Study on Verification Tests according to Connection Design Methods of Steel Plate Concrete Structures

Hwang, Kyeong Min^{1*}, Lee, Kyung Jin², Yang, Hyun Jung³, Kim, Won Ki⁴

¹Senior Researcher, Power Transmission Laboratory, Korea Electric Power Corporation Research Institute, Daejeon, 305-760, Korea

²Principal Researcher, Power Transmission Laboratory, Korea Electric Power Corporation Research Institute, Daejeon, 305-760, Korea

³Manager, Civil and Architectural Engineering Department, KEPCO Engineering and Construction Company INC., Seongnam, 463-870, Korea

⁴Professor, Department of Architecture, Hoseo University, Asan, Chungnam, 330-713, Korea

Abstract - In this study, out-of-plane flexural test was performed to analyze behavior properties for a beam specimen which imitated a structure with connection member between reinforced concrete and steel plate concrete part. Tie bars between a upper and a lower steel plate, and tie wide flange shapes between upper and lower ribs were designed to prevent the steel plate or the ribs from breakaway in the connection of the specimen. As a result of the test, ductile failure behavior of the specimen and the functionality of the tie members were conformed as originally intended. Also, tension tests were performed to evaluate the design appropriateness of two specimens produced to anchor and connect mechanically #14 bars. The two test results showed that the anchorage connection system behaves in elastic limit during the main bars yielded, and the integrity of the designed system was verified.

Keywords - Steel plate concrete structure, Connection member, Out-of-plane flexural test, Ductile behavior, #14 bars, Mechanical anchorage connection system, Tension test

1. 서론

최근 국내 신형 원자력발전소에 대한 설계가 이루어지면서, 복합모듈화 공법의 개발이 진행되고 있다. 모듈화 공법은 현장에서 시공하는 구조물 또는 계통설비공사의 일정 단위를 공장 제작화하여 현장에서 조립하는 것으로서 현장시공 방식보다 능률적이고 품질측면에서 유리한 장점을 발휘

할 수 있다^[1]. 또한, 모듈화 공법은 그 규모를 크게 할수록 건설공기가 더욱 짧아지고 경제성도 향상되어 미국, 일본 등 원자력기술 선진국에서는 원전건설 경제성 제고를 위해 꾸준한 연구를 수행해 왔다. 이러한 모듈화 공법을 국내 신규 원전에 적용하기 위해, 철근 콘크리트(Reinforced Concrete, 이하 RC) 구조 대신에 강판 콘크리트(Steel plate Concrete, 이하 SC) 구조의 일부 도입이 검토되고 있다. SC 구조는 구조체의 양면에 강판을 설치하고 내부에 콘크리트를 타설하는 구조형식으로, 강판과 스티드를 이용하여 콘크리트와 일체화시키는 구조로서, 강판과 스티드가 RC 구조의 거푸집과 휨 및 인장 등에 대한 구조체의 역할을 동시에 수행하는 개념이다.

기존의 RC 구조로 된 원전 구조물에 SC 구조를 일부 적용하게 되면, RC 구조와 SC 구조 간의 연결부위에서 이질

Note.-Discussion open until August 31, 2014. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on September 4, 2013; revised October 18, 2013; approved on December 16, 2013.

Copyright © 2014 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-42-865-5587 Fax. +82-42-865-5592

E-mail. hkm316@kepcoco.kr

접합부가 발생하게 되지만, 접합부의 파괴거동이나 강도에 대한 연구가 부족한 상태이기 때문에 이를 설계에 반영시키기 위해 이질접합부에서의 구조적 특성을 상세히 검토할 필요가 있다.

이를 위해 최근 SC 구조 벽-바닥 접합부의 거동 특성^[2], SC 벽-RC 벽 접합부 간 면내 전단^{[3],[4]}, 면외 휨^[5] 및 SC 벽-RC 슬래브 간 전단마찰^[6] 거동 특성에 대한 연구 등 SC 구조의 이질접합부를 대상으로 한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이경진 등(2010)^[7]은 RC 구조와 SC 구조 간에 이질접합부로 구성된 USC(Unstiffened SC) 및 SSC(Stiffened SC) 등 2개의 보형 실험체를 대상으로 면외 휨 거동특성 실험을 수행하였으나, 두 실험체 모두 취성파괴 거동을 보임으로써 원하는 연성거동을 검증할 수 없었다. 즉, 상부 주철근의 피복 콘크리트 또는 상부 리브재를 포함하는 콘크리트부에서 급격한 취성파괴가 발생하여 실험체가 분리된 결과를 보여주었다. 따라서 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여, 상하부 표면강판 간에 타이바를, 상하부 리브재 간에 타이형강을 구성한 SSC 보형 실험체를 설계함으로써 면외 휨 하중에 대한 실험체의 연성거동 유무 검증 및 타이바와 타이형강의 역할을 확인하고자 하였다.

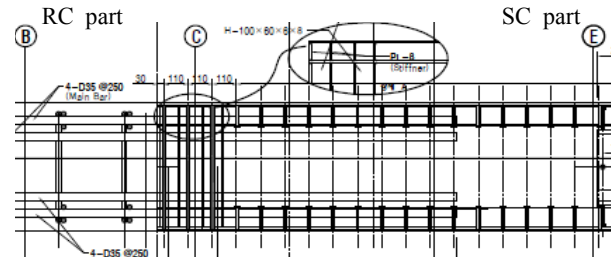
한편, ACI(American Concrete Institute) 349 Code^[8]에서는 #14 직경 미만의 철근에 대해서만 겹침이음 방식을 허용하고 있으며, 그 이상의 직경의 철근에 대해서는 기계적 정착이음 방식을 고려하고 있다. 그러나, 기존의 SC 구조 이질접합부의 설계검증 실험연구는 접합부에 #14 직경 미만의 주철근을 구성한 실험체를 대상으로 연성거동을 위한 미겹침 이음길이의 적정성을 판단하는 목적으로 수행되어 왔다. 따라서, 이 연구결과를 근거로 실제 원전 구조물에 적용하고자 하는 #14 직경 이상의 주철근을 미겹침 이음 방식으로 사용하여 설계하는 것은 접합부 성능의 신뢰성을 확보하기가 어렵다. 그러므로, 본 연구에서는 #14 주철근을 구성한 SC 구조 접합부에 대하여 기계적 정착이음 방식을 적용한 철근의 인장실험을 수행함으로써 본 방식의 설계 적정성을 검증하고자 한다.

2. 실험체의 구성

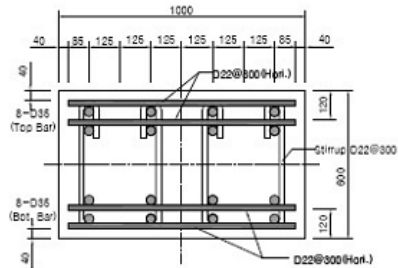
2.1 면외 휨 성능 평가용 보형 실험체

RC 구조와 이질접합부로 만나는 SC 구조를 모사하여,

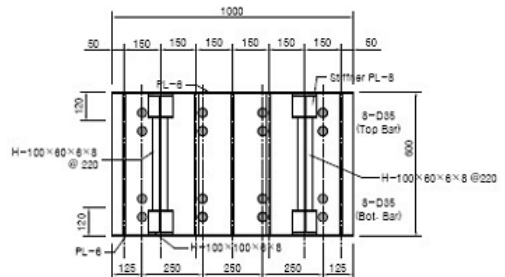
면외 휨 성능평가를 수행하기 위해 Fig. 1과 같이 보형 실험체를 제작하였다. 실험체의 크기는 8,400mm×1,000mm×600mm(길이×폭×높이)로서, KEPIC SNG^[9]에서 요구하는 RC부 주철근의 연성 미겹침 이음길이 조건을 고려하여 이질접합부위를 실험체 중앙에서 RC부로 600mm 만큼 이동한 지점으로 설계하였다. 이질접합부에는 SC부 상하부



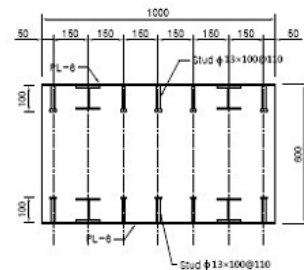
(a) Front view (Connection detail)



Section-B



Section-C



Section-E

(b) Section view

Fig. 1. Beam specimen design

리브재 사이에 4개의 타이형강(H-100×60×6×8)을 설치하고 D16 철근 15개를 상하부 강판 사이에 타이바로 설치하여 표면강판의 분리 등 실험체의 취성과파괴를 방지하고자 하였다. 주철근은 D35(#11) 철근을 2열로 8개씩 상하부에 배치하였으며, 연성 미접침 이음길이는 1,360mm로 설계하였다. 이질접합부가 포함된 양 지점 사이에 순수 휨 하중이 작용하도록 유도하기 위하여 하중가력점을 실험체의 양쪽 단부로 결정하였으며, 양 단부의 전단파괴를 방지하기 위해 H형강으로 실험체를 보강하였다.

실험체는 현장 적용성과 시공성을 고려하여 RC부와 SC부를 별도로 제작하여 단일 실험체로 합체함으로써 수직방향으로 설치하여 콘크리트를 타설하였다. 실험체를 수직방향으로 세워서 타설한 것은 본 실험체가 원전 전단벽 구조의 단위모듈을 재현한 것으로, 원전 구조물 내에서 수직으로 설치되기 때문이다. 콘크리트 타설은 실험체가 수직으로 설치된 상태에서 RC부를 1차로 타설하고, 7일 후에 접합부의 콘크리트에 요철작업을 수행한 다음, SC부를 2차 타설하여 28일 양생하였다.

한편, 실험체의 설계강도와 재료실험에 의한 재료강도를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Design and material strength of a specimen

Specimen	Design yield strength (MPa)	Material yield strength (MPa)	Maximum strength (MPa)
Concrete	35	44.8	-
Steel plate (SM490)	325	463	535.0
Steel bar (SD40)	420	490.7	659.2

2.2 기계적 정착이음 성능 평가용 인장실험체

#14(D43) 철근을 기계적 정착이음 방식으로 접합부를 구성한 실험체는 Fig. 2와 같이 UTM(Universal Testing Machine)의 용량한도(인장력 3,000kN)와 철근의 인장강도를 고려하여 4개(2행 2열)의 #14 주철근으로 구성하였으며, 정착이음방식을 변수로 하여 기본형과 개선형의 2개의 실험체를 제작하였다. 기본형 실험체는 웨스팅하우스(Westinghouse) AP1000 원전의 철근 정착방식의 설계를 참고하여 구성한 것으로, 주철근이 거셋 플레이트(Gusset PL, 25t) 구간을 통과하여 서포트 플레이트(Support PL,

58t)에 너트로 고정되어 있으며, 상하부 거셋 플레이트 간에 타이바(D19)로 연결되도록 설계하였다. 즉, RC부 주철근이 받는 응력이 거셋 플레이트 및 서포트 플레이트를 통하여 이와 연결된 SC부의 표면강판으로 전달되도록 구성한 설계방식이다. 개선형 실험체는 주철근이 거셋 플레이트 구간을 거치지 않고 직접 서포트 플레이트에 고정되어 있으며, 타이바 대신 거셋 플레이트와 일체화된 타이 플레이트(25t)가 설계되어 있는 구성으로, 콘크리트 타설의 효율성 등 시공성을 고려하여 설계를 변경한 구성이다.

한편, Table 2는 실험체의 설계강도와 재료실험에 의한 재료강도를, Fig. 3은 3개의 #14 철근에 대한 재료실험의 결과로서 응력-변형율의 관계도를 보여주고 있다. 재료실험 결과, 철근의 탄성계수는 196,321MPa로 나타났다.

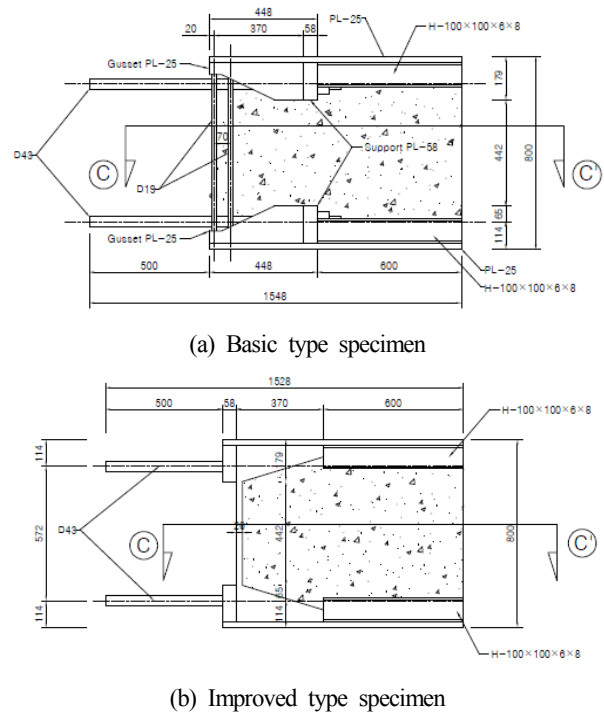


Fig. 2. Tension specimen design

Table 2. Design and material strength of specimens

Specimen	Design yield strength (MPa)	Material yield strength (MPa)	Maximum strength (MPa)
Concrete	35	51.1	-
Steel plate (SM490)	325	329.4	535.5
Steel bar (SD40)	420	483.5	669.0

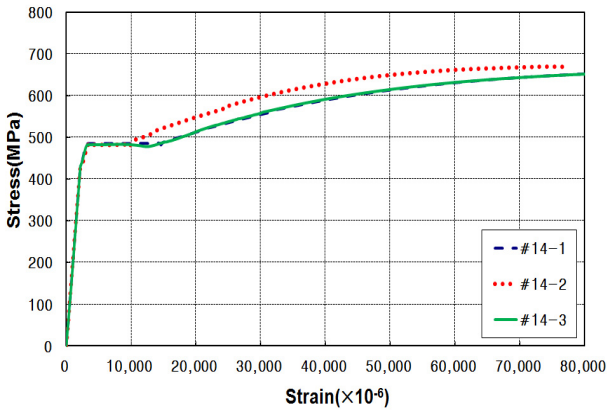


Fig. 3. Stress-strain curves of #14 bars



Fig. 4. Test set-up for the beam specimen

3. 실험방법

3.1 면외 휨 성능 평가 실험

실험에 앞서, 설계강도 및 재료강도에 의한 실험체의 예상 파괴강도를 계산해 보았다. Table 1의 설계강도에 의해 실험체의 공칭 파괴강도를 정리하면 아래와 같다.

$$a = \frac{A_{rt} \times F_{yr}}{0.85 f_{ck} b} = \frac{8 \times 956.6 \times 420}{0.85 \times 35 \times 1,000} = 108.0 \text{ mm}$$

$$M_n = 0.85 f_{ck} a b \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1,369.2 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$P_n = \frac{2M_n}{l} = \frac{2 \times 1,369.2}{2.4} = 1,141.0 \text{ kN}$$

위와 동일한 방법으로 Table 1의 재료강도에 의해 재료 실험 파괴강도를 계산하면 약 1,347.8kN으로서, 설계강도 값보다 약 18.1% 증가하였다.

면외 휨 실험은 Fig. 4와 같이 실험체가 휨 변형에 의해서 파괴에 도달할 때까지 실험체 상부 양 단부에 7,000kN 용량의 UTM을 이용하여 2점 가력을 진행하도록 구성하였다. 즉, 이질접합부의 순수 휨 거동을 확인하기 위하여, 이질접합부가 포함된 양 지점 사이에 순수 휨이 발생하도록 양단 가력방법을 선정하였다. 실험체의 원활한 하중 가력을 위해 실험체를 가력프레임에 세팅하였으며, 실험체의 변형을 및 변위 계측을 위한 콘크리트 게이지 및 변위계를 설치하였다. 가력속도는 변위제어 방법으로 0.01mm/sec의 속도로 정적 단조가력을 진행하였다.

3.2 기계적 정착이음 성능 평가 실험

기계적 정착이음 성능 평가 실험의 목적은, 주철근이 인장력에 의하여 항복하는 동안 주철근을 정착시키는 거сет 플레이트, 서포트 플레이트, 타이바, 표면강판 등의 시스템이 항복에 도달하지 않고 건전하게 정착기능을 수행하는지의 여부를 확인하기 위한 것이다. 따라서, 본 실험에서는 Table 2 및 Fig. 3에서의 철근 항복강도를 근거로 실험체가 보유한 4개의 #14 철근에 대한 항복강도를 산출함으로써 실험체의 예상 파괴하중을 약 2,808kN로 산출하였다.

기계적 정착이음 방식의 #14 철근 인장실험은 Fig. 5와 같이, 3,000kN 용량의 UTM을 이용하여 #14 철근에 연결된 지그 및 강봉을 당김으로써 #14 철근이 항복할 때까지 실험체에 인장력을 가하여 기계적 정착시스템의 내력을 확인하고자 하였다.



Fig. 5. Test set-up for the tension specimen

4. 실험결과

4.1 면외 휨 성능 평가 실험

면외 휨 실험결과, Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 9와 같이 최대 하중 1,275kN에서 접합부에 휨 파괴가 발생하였으며, 주철근의 변형율이 증가하는 연성 항복거동을 보이면서 실험이 종료되었다. 하중가력 초기부터 RC부에서 접합부를 지나 SC부로 미접침 이음된 주철근(D35)이 주로 하중을 부담하였으며, 실험체 상부에 휨 균열이 발생하면서 실험이 진행되었다. 주철근은 이질접합부 부근에서 변형율이 가장 크게 발생하였으며, 리브재도 항복에 도달(최대 2,936 μ)하였으나, 함께 접합부에 위치한 타이바(최대 795 μ) 및 타이형강(최대 468 μ)에는 상대적으로 작은 변형율이 계측되었다. 따라서, KEPIC SNG에서 제시하는 주철근의 연성 미접침 이음길이의 적정성이 검증되었으며, 면외 휨 하중에 대하여 주철근 및 SC 구조의 리브재가 가장 큰 기여를 하고 있

음을 확인할 수 있었다. 또한, 타이바 및 타이형강은 면외 휨 하중에 대한 하중 분담비율은 상대적으로 낮지만, 리브재 또는 강판이 실험체로부터 분리되는 것을 막아줌으로써 최종적으로 실험체가 연성거동을 발휘하기 위한 중요한 기능을 수행하고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 실험체가 받는 하중에 따른 실험체 하부 각 지점에서의 변위량을 보여주고 있다. RC부가 SC부보다 강성이 약하기 때문에 RC부 끝단인 7번 변위계에서 가장 큰 변위가 측정되었음을 알 수 있다. Fig. 9 및 Fig 10은 각각 하중에 따른 상부철근 및 타이바의 변형율을 보여주고 있다. 최대 변형율이 계측된 위치를 실험체 도면상에 별도로 표기하였다.

한편, 실험체의 실험 최대내력이 1,275kN으로서, 재료 강도를 반영한 이론 공칭강도인 1,347.8kN의 94.6%에 그친 값을 나타내었다. 이 공칭강도는 SC부의 표면강판이 받는 인장응력이 스티드 볼트(직경 13mm, 길이 100mm)를 통하여, 이에 미접침 이음된 인장철근(D35)으로 완벽히 전달된다는 가정 하에 산출된 것으로, 본 실험체에서 설계된 스티드 볼트의 크기 및 간격으로는 미접침 이음된 D35 주철근으로의 응력전달이 효율적이지 않는 것으로 판단된다.

따라서, 실제 원전 구조물에 적용 시 이러한 점을 설계에 반영할 필요가 있으며, 이론 공칭강도의 상회를 유도하기 위한 추가적인 실험연구가 필요하다.



Fig. 6. Failure shape of the beam specimen

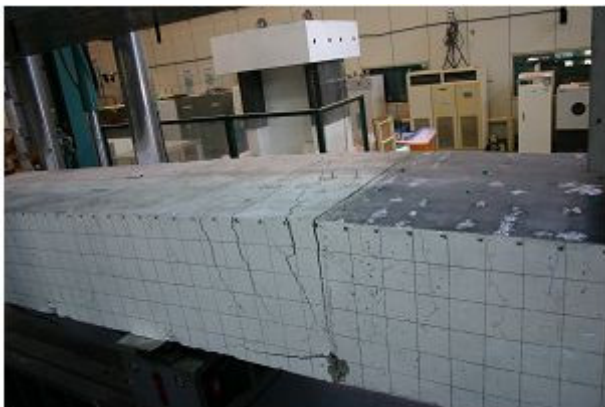


Fig. 7. Flexural crack of the beam specimen

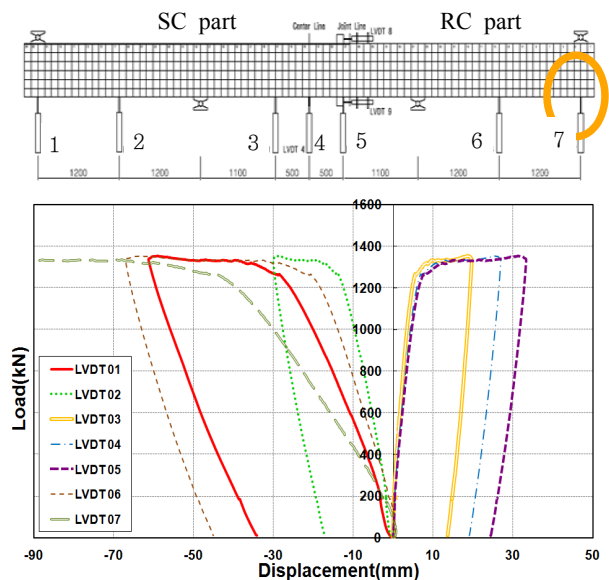


Fig. 8. Load-displacement results for the beam specimen

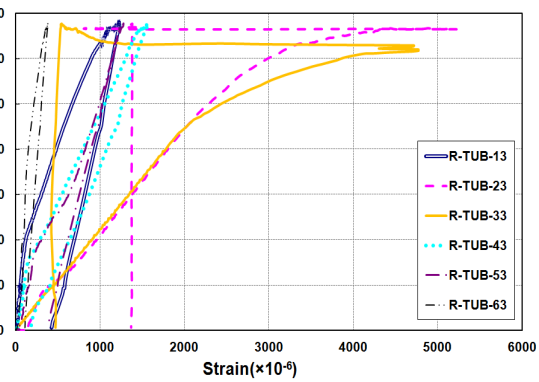
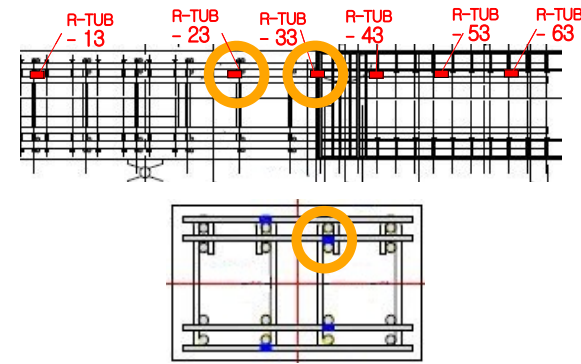


Fig. 9. Load-strain results for the upper main bars

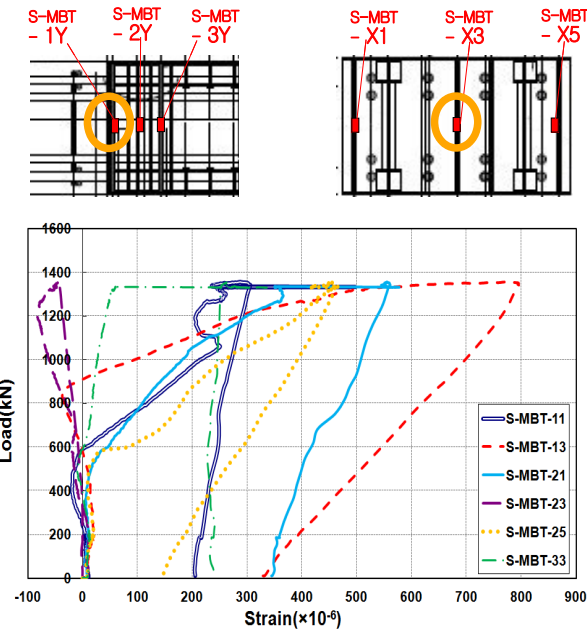


Fig. 10. Load-strain results for the tie bars

4.2 기계적 정착이음 성능 평가 실험

기본형 기계적 정착이음 방식의 #14 철근 인장실험을 수

행한 결과, 3,000kN까지 인장하중을 가력하였으며, Fig. 3에서의 #14 철근 재료실험 결과와 유사한 철근의 하중-변형률 거동을 보였다. 주철근인 #14 철근은 항복되어 가장 큰 인장 변형률이 발생하였으며, 그 다음으로는 타이바, 거셋 플레이트, 표면강판, 서포트 플레이트 순으로 인장 변형률이 크게 발생하였다. 각 위치에서 계측된 최대 변형률 값을 정리하면, Table 3과 같다. 여기서 (+)부호는 인장 변형률을 (-)부호는 압축 변형률을 나타낸다.

Table 3. Maximum strain measured at each part of basic specimen

#14 main bars	Tie bars	Gusset PL	Surface PL	Support PL
3,379	1,310 -134	631 -178	297 -304	134 -81

Fig. 3의 철근 재료실험에 의하면 철근 변형률이 약 2,470 μ 를 넘어서면 항복에 접어드는 것을 알 수 있는데, Table 3에서는 #14 주철근이 항복으로 접어들었음을 확인할 수 있으며, 주철근을 제외한 정착 시스템을 구성하는 부분들은 탄성한도 내에서 거동하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 설계구성에 의해 #14 주철근을 RC부와 SC부 간 이질접합부에 이음 정착할 경우, 본 정착시스템은 주철근의 항복 이후에도 탄성한도 내에서 구조적 건전성을 유지할 것으로 판단된다. 또한, 주철근이 받는 인장응력이 서포트 플레이트와 거셋 플레이트 및 타이바로 전달되고 최종적으로 표면강판으로 응력이 전달되는 거동을 보였다.

약 1,250kN의 하중가력 시 Fig. 11과 같이 주철근 주위 콘크리트에 균열이 발생하기 시작하였으며, 약 1,600kN의 하중에서는 주철근이 인장력을 받으면서 상대적으로 강성이 큰 서포트 플레이트 부근까지 인장응력이 전달되어 Fig. 12와 같이 서포트 플레이트 바로 윗 부분에 콘크리트 균열이 발생하였다.

주철근의 최대 인장변위는 약 8mm였으며, 타이바가 위치한 표면강판 외측부위는 인장력을 받는 타이바에 의해 강판이 벌어지려는 거동이 작용하여, 압축 변형률이 계측되었다.

한편, #14 주철근의 타이바 윗부분(BB-11, TB-11) 및 거셋 플레이트 구간부분(BB-12, TB-12)에서 계측된 하중에 따른 변형률을 Fig. 13에 나타내었다. 타이바 윗부분에서는 철근이 항복하는 것으로 계측되었으며, 콘크리트에

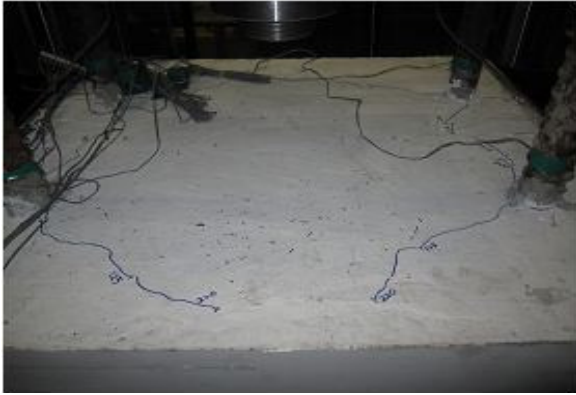


Fig. 11. Concrete crack near the #14 main bars

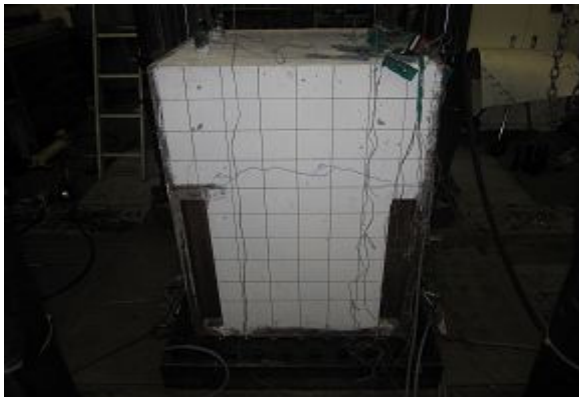


Fig. 12. Concrete crack of the basic form specimen

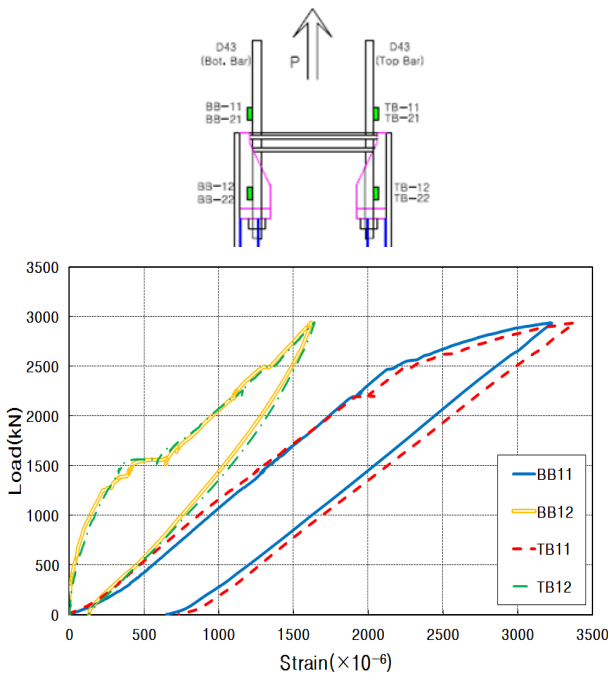


Fig. 13. Load-strain results for the #14 main bars

정착된 거셋 플레이트 구간부분에서는 탄성한도 내 거동을 보이고 있었다. 이는 철근의 콘크리트 정착효과 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 14는 거셋 플레이트의 위치에 따른 하중-변형률 결과를 보여주고 있다. 철근이 인장력을 받음에 따라, 양쪽 외측 거셋 플레이트에서는 인장 변형률이 계측되었으나, 중앙 거셋 플레이트 부위(GPL-21, GPL-22)에서는 압축 변형률이 계측된 것을 볼 수 있다. 이는 기본형 실험체는 철근 일부구간과 거셋 플레이트 및 서포트 플레이트가 콘크리트 내부에 구속되어 있기 때문에 인장하중에 대하여 콘크리트와 복합적인 거동이 작용된 결과로 판단된다.

한편, 개선형 기계적 정착이음 방식의 #14 철근 인장 실험체를 대상으로 3,000kN까지 인장하중을 가하였으며, 그 결과 주철근은 항복되어 가장 큰 인장 변형률이 계측되었다. 다음으로 Table 4와 같이 타이바, 거셋 플레이트, 서포트 플레이트, 표면강판 순으로 인장 변형률이 크게 발생하였다.

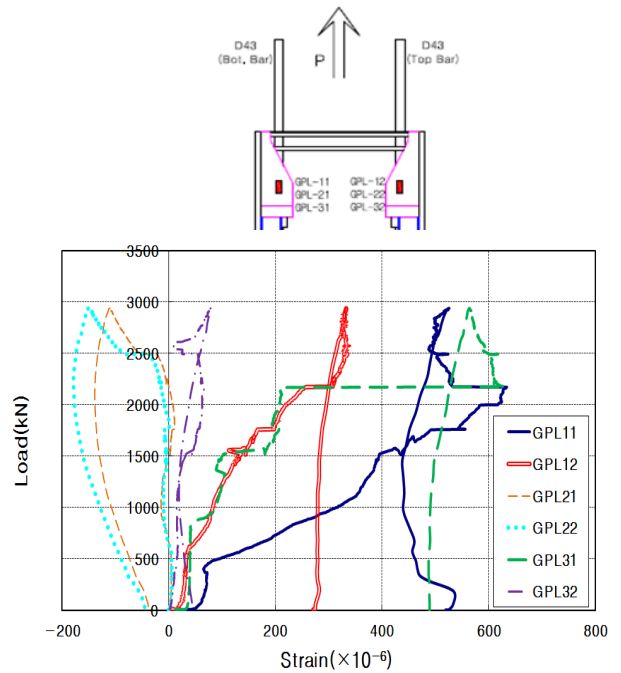


Fig. 14. Load-strain results for the gusset plates

Table 4에서 알 수 있듯이, #14 주철근이 항복에 도달하였으며, 주철근을 제외한 정착시스템 내 모든 구성부들은 탄성한도 내에서 거동하고 있었다. 따라서, 본 설계구성에 의해 #14 주철근을 이질접합부에 이음 정착할 경우, 본 정

Table 4. Maximum strain measured at each part of the improved specimen

#14 main bars	Tie bars	Gusset PL	Surface PL	Support PL
4,012	1,677	946	495-455	569

착시스템은 #14 철근이 인장력에 의해 항복에 도달하는 동안에도 정착 기능을 건전히 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 개선형 실험체에서도 기본형 실험체와 마찬가지로 주철근이 받는 인장응력이 서포트 플레이트와 거셋 플레이트 및 타이바를 통하여 최종적으로 표면강판으로 잘 전달되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 기본형 실험체에 비해서 주철근을 비롯한 모든 정착시스템 구성부들이 큰 응력을 받고 있었으며, 콘크리트 타설 등 시공성에서는 구조적으로 개선이 되었으나 인장력에 대해서는 기본형 실험체의 구성이 더 내력이 큼을 알 수 있다.

약 1,600kN의 하중 가력 시 주철근이 인장력을 받으면서 서포트 플레이트 부근의 타이 플레이트 위치에서 Fig. 15와 같이 콘크리트 균열이 발생하였다.



Fig. 15. Concrete crack of the improved form specimen

주철근의 최대 인장변위는 약 10mm였으며, 개선형 실험체에도 타이바가 위치한 표면강판 부위에서는 압축응력이 작용하였다.

한편, #14 주철근의 네 가지 위치에 대하여 하중에 따른 변형율을 Fig. 16에 나타내었다. BB 철근에 비해 TB 철근에 상대적으로 큰 인장력이 작용하여 네 철근에 균등한 인장실험 결과가 나타나지는 않았으나, 개선형 실험체는 콘크리트 정착효과가 없기 때문에 동일한 철근 내에서는 변형율 값이 위치에 큰 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있다.

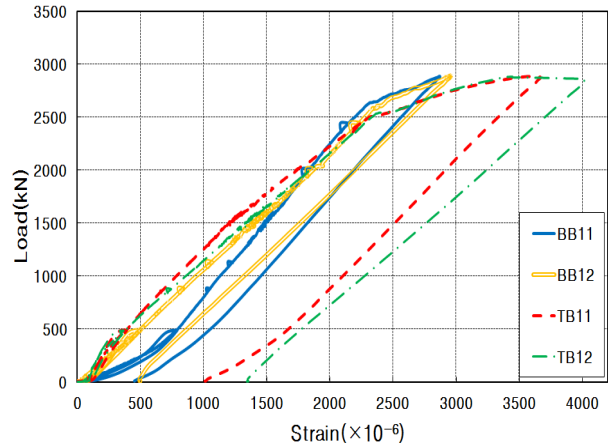
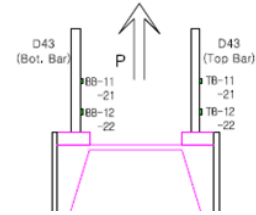


Fig. 16. Load-strain results for the #14 main bars

Fig. 17은 개선형 실험체의 거셋 플레이트의 위치에 따른 하중-변형율 결과를 보여주고 있다. 철근이 인장력을 받음에 따라, 모든 거셋 플레이트 위치에서도 인장 변형율이 계속되었으며, 특히 중앙에 위치한 거셋 플레이트 부위

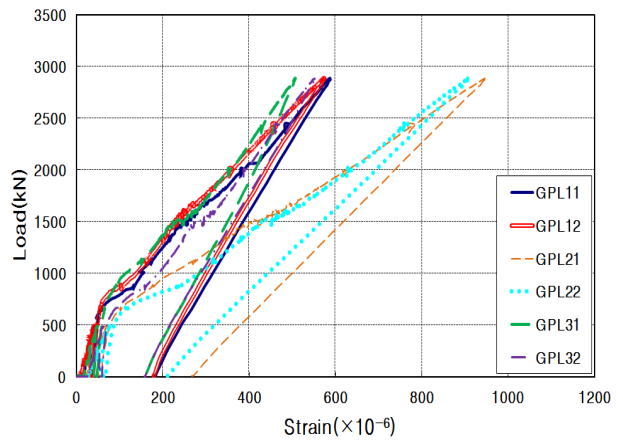
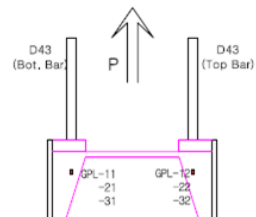


Fig. 17. Load-strain results for the gusset plates

(GPL-21, GPL-22)에서 큰 인장 변형율이 계측된 것을 볼 수 있다. 이는 철근 및 서포트 플레이트가 콘크리트 구속효과가 없는 개선형 실험체의 구조적 특성으로 인해, 중앙부 거셋 플레이트 부위에 인접된 양측 철근을 통해 상대적으로 인장응력이 크게 집중되기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 원전 구조물 내 RC 구조와 SC 구조가 이질접합된 경우를 모사하기 위하여, 상하부 표면강판 간에 타이바를, 상하부 리브재 간에 타이형강을 구성한 SSC 보형 실험체를 설계함으로써 면외 휨 하중에 대한 실험체의 연성거동 유무 검증 및 타이바와 타이형강의 역할을 확인하고자 하였다. 또한, #14 주철근을 구성한 SC 구조 접합부에 대하여 두 가지 형태의 기계적 정착이음 방식에 따른 철근의 인장실험을 수행함으로써 본 방식의 설계 적정성을 검증하였다.

본 실험연구를 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) D35(#11) 주철근의 RC부와 SSC부가 이질접합된 보형 실험체를 대상으로 면외 휨 실험을 수행한 결과, 공칭 재료강도 대비 94.6%의 하중에서 휨 파괴가 발생되었으며, 실험체는 연성항복 거동을 보임을 확인하였다. 따라서, KEPIC SNG에서 제시하는 주철근의 연성 미접침 이음길이의 적정성이 검증되었으며, 타이바 및 타이형강은 면외 휨 하중에 대한 하중 분담비율은 상대적으로 낮지만, 리브재 또는 강판이 실험체로부터 분리되는 것을 막아줌으로써 최종적으로 실험체가 연성거동을 발휘하기 위한 중요한 기능을 수행하고 있음을 확인할 수 있었다.
- (2) 보형 실험체의 실험 최대내력이 1,275kN으로서, 재료강도를 반영한 이론 공칭강도인 1,347.8kN의 94.6%에 그친 것을 통해, 본 실험체에서 설계된 스티드 볼트의 크기 및 간격으로는 미접침 이음된 D35 주철근으로의 응력전달이 효율적이지 않는 것으로 판단된다. 따라서, RC와 SC부 간 수평하게 서로 접합되어 있는 구조물의 면외 휨 성능을 향상시키기 위한 추가적인 연구가 필요하다.
- (3) 기계적 정착이음 방식의 #14 철근 인장실험을 수행한 결과, 기본형 및 개선형 실험체 모두 3,000kN까지 인

장하중을 가력하는 동안 주철근에서만 항복이 발생하였으며 나머지 정착시스템의 구성부들은 탄성거동을 보여, 정착이음 시스템의 구조적 건전성 및 기능이 입증되었다.

- (4) 개선형 실험체는 기본형 실험체에 비해 효율적인 콘크리트 타설 등 시공성에서는 개선이 되었으나, 인장력에 대해서는 상대적으로 내력이 크지 않음을 확인할 수 있었다.
- (5) 본 연구에서 구성한 기계적 정착이음 방식은 인장하중에 대해서는 구조적 건전성이 입증되었으나, 콘크리트 타설 시 충전성 확보 등 시공성에 대한 개선이 필요하며, 추후에는 기계적 정착이음 방식을 적용한 시스템을 대상으로 휨 성능 검증을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부 기반기금과제인 “기기 구조물 복합모듈화 기술개발” 과제의 일부로서 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- [1] 한국수력원자력발전주식회사(2002) 원자력발전소 구조물과 계통설비의 모듈화공법에 대한 타당성 연구용역 (최종보고서).
Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd. (2002) *Feasibility study on the modularization of structures and system facility for nuclear power plants* (in Korean).
- [2] 김형국, 김우범, 김원기(2008) SC구조 벽-바닥 접합부의 내력 및 거동 특성, 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, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.20, No.2, pp.347-354 (in Korean).
- [3] 이경진, 황경민, 함경원, 김우범(2012) 강판 콘크리트 구조 이질접합부의 면외 휨/면내 전단하중 특성에 관한 실험연구, 한국강구조학회논문집, 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(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] 황경민, 이경진, 이종보, 원덕희(2012) 철근 콘크리트와 강판 콘크리트 간 이질접합부로 구성된 구조물의 휨 및 전단거동 특성 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제32권, 제5A호, pp.267-275.
Hwang, K.M., Lee, K.J., Lee, J.B., and Won, D.H., (2012) A study on flexural and shear behavior of the structure with steel plate concrete to reinforced concrete member's connection, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol.32, No.5A, pp.267-275 (in Korean).
- [5] 황경민, 이경진, 함경원, 김원기(2013) 철근 콘크리트 벽과 강판 콘크리트 벽이 수직으로 만나는 이질접합 구조물의 면외 휨 거동 특성 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제1호, pp.93-102.
Hwang, K.M., Lee, K.J., Hahm, K.W., and Kim, W.K. (2013) A study on out-of-plane flexural behavior of the structure with a vertical plane connection between a reinforced concrete wall and a steel plate concrete wall, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.1, pp.93-102 (in Korean).
- [6] 이경진, 황경민, 김우범(2013) RC 슬래브와 SC 벽 접합부의 전단마찰 거동에 관한 실험연구, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제6호, pp.623-634.
Lee, K.J., Hwang, K.M., and Kim, W.B. (2013) An experimental study on shear friction behavior of RC slab and SC(Steel Plate Concrete) wall structure with connection joint, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.6, pp.623-634 (in Korean).
- [7] 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(Steel Plate Concrete) beam structure with reinforced concrete joint, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.22, No.5, pp.455-463 (in Korean).
- [8] American Concrete Institute (2006) *Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI-349-06) and Commentary*.
- [9] 대한전기협회(2010) 전력산업기술기준(KEPIC) SN 원자력구조 - SNG 강판콘크리트구조.
KEA (2010) *Korea Electric Power Industry Code, SN, Structures for Nuclear power plants - SNG, Steel plate Concrete Structures*, Korea Electric Association (in Korean).

요 약 : 본 연구에서는 원전 구조물 내 철근 콘크리트 구조와 강판 콘크리트 구조가 이질접합된 경우를 모사하기 위하여, 상하부 표면강판 간에 타이바를, 상하부 리브재 간에 타이형강을 구성한 보형 실험체를 제작하여 실험체의 면외 휨 거동특성을 확인하고자 하였다. 실험결과, 실험체의 연성거동을 검증하였으며, 타이바와 타이형강이 콘크리트 및 강판의 분리를 방지함으로써 접합부의 취성파괴를 막아주고 있음을 확인하였다. 또한, #14 주철근으로 구성된 강판 콘크리트 구조 접합부에 대하여 두 가지 형태의 기계적 정착이음 방식에 따른 인장실험을 수행함으로써 본 방식의 설계 적정성을 평가하였다. 실험결과, 두 실험체 모두 주철근이 항복에 도달할 때까지 철근의 정착 및 연결 기능을 탄성한도 내에서 건전히 수행하고 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 강판 콘크리트 구조, 이질접합부, 면외 휨 실험, 연성거동, #14 철근, 기계적 정착이음, 인장실험
