

콘크리트채움 U형 합성보의 소개

Introduction of U-shaped Composite Beam



이창남*



김범열**

* (주)센구조연구소 대표이사

** (주)센구조연구소 연구개발팀 연구원

1. 서론

최근 들어 건축재료를 효율적으로 이용하기 위한 합성구조 설계 사례가 증가하고 있다. 합성구조는 상이한 두 가지 이상의 재료를 이용하여 물량대비 구조성능을 향상시키는 것이다. 일반적인 합성보의 형태는 H형 강재보와 상부 슬래브로 구성된 것이며, 근래 들어 다양한 형태의 합성보가 개발되었다. 대표적인 합성보는 U형 강재 합성보다. 이는 (주)센구조연구소에서 개발한 신공법 및 신기술 중 하나로 TSC 합성보로 명명하였으며, 개요와 특성, 적용사례 등을 간략히 소개하고자 한다.

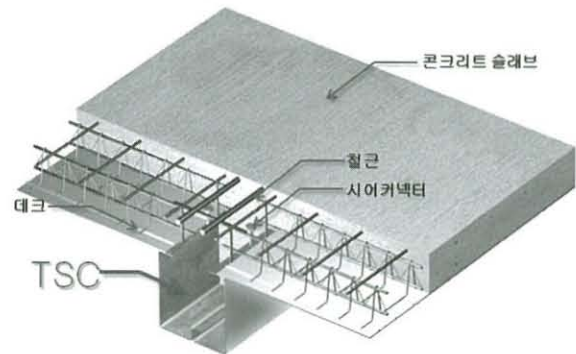


그림 1 TSC 보의 개념도

2. TSC 합성보의 구성 및 특징

TSC 합성보의 형상은 그림 1과 같이 외부의 U형 강판과 상부의 쉬어 코넥터, 하부의 돌기 및 내부의 앵글 및 슬래브로 구성되고 U형 강판내부와 슬래브에 콘크리트를 타설하여 구성요소들을 일체화 시키도록 한 것이다. TSC 합성보 각 구성요소의 역할은 다음과 같다. 외부 U형 강판은 하부 플랜지와 수직 부재인 웹, 상부 플랜지로 구성되고, 각 부재가 일체화된 구조이므로 구조 부재로서 장점을 가지며, 중립축에 근접한 상부 플랜지의 단면은 줄이고 중립

축으로부터 최외단인 하부 플랜지의 단면은 증가시켜, 슬래브와 함께 정모멘트 휨 내력에 대하여 부재를 효과적으로 사용하도록 한다.

또한 TSC 합성보의 내부 콘크리트, 슬래브 콘크리트와 함께 타설하여 일체화할 수 있도록 하였다. 상부 플랜지의 스티드 또는 앵글 등을 이용한 쉬어 코넥터는 바닥 슬래브와 U형 강재보가 함께 거동하도록 한다. 쉬어 코넥터의 설치 간격과 형상 등의 기준은 건축구조기준에 따른다.

TSC 합성보 하부에 쉬어키 역할을 하는 스티드가 없는 경우 충분한 변형 능력이 확보되지 않고 조기 파단된 사례를 실험을 통하여 확인하였다. 이와 관련하여 하부 플레

트에 반원 형상의 돌기를 설치하였으며, 돌기는 쉬어키 역할을 하도록 하였다. 또한 돌기는 중립축으로부터 가장 먼 하부 플레이트의 단면적을 증가시켜 부재내력을 상승시키고 성형한 2조각 부재간의 용접성을 향상시키는 효과도 가지고 있다.

U형 강재 내부에 설치하는 앵글은 구조재로서의 내력을 증가 시키는 것은 아니고, TSC 합성보 형상이 U자형이므로 작업자들의 작업의 편의와 형상유지를 위해 사용된다. 또한 춤이 커지는 경우 판 폭 두께비를 만족시키고 2조각 부재 상호간의 간격을 고정시키는 역할도 하게 된다.

3. 개발 및 연구 과정

3.1 용접제작 보 휨 실험

최초 개발 단계에서는 강판 성형 대신 강판을 용접 제작하였으며 TSC I 이라 칭한다. TSC I 합성보의 성능을 평가를 위하여 휨 실험을 실시하였다. 실험은 쉬어 커넥터의 배치방식, 좌우웹 강판과 상하부 플렌지 강판의 용접방법, 쉬어키의 유-무, 하부강판의 두께 등을 변수로 하여 10개의 실험체를 제작하였다. 실험체의 크기 및 설치상황은 모두 사진 1과 같다.

실험결과 하부 플렌지의 두께가 두꺼울수록 내력 및 강성이 증가하였다. 그러나 변형 능력은 감소 한다는 것을 알 수 있었다. 이것은 상부에 쉬어 코넥터가 부분 합성으로 설계되어 충분한 내력 및 변형능력을 확보하지 못하고 초기에 수평 전단파괴가 일어나 내력이 저하되기 때문이라고 판단한다. 용접제작 TSC I 보 휨 실험결과 TSC 합성보의 변형 능력 차이는 합성율과 밀접한 관계가 있는 것으로 평가되며 상부 쉬어 코넥터를 완전합성으로 설계하면 TSC 합성보의 변형 능력은 충분히 확보할 수 있다. 또한 하부 쉬어키는 초기강성에 큰 영향을 미치지 않으나 보 하부의 콘크리트 휨 균열을 분산시켜 초기 파단을 방지하고, 구조물의 변형능력을 확보하는데 필요하다.

3.2 성형제작 보 휨 실험

상부 쉬어 코넥터와 하부 쉬어키의 대체 공법 및 배치간격, 제작방법 등의 특성에 대해서 완전합성으로 설계 및 제작하여 성형제작 보 IV 휨 실험을 실시하였다. 포밍기를 이용하여 제작한 실험체는 하부 플레이트의 내력 보강은 철근, 플레이트 용접과 강선을 이용한 포스트텐션 등으로 하였고, 상부의 쉬어 코넥터는 스티드를 기본으로 철근과 ㄷ

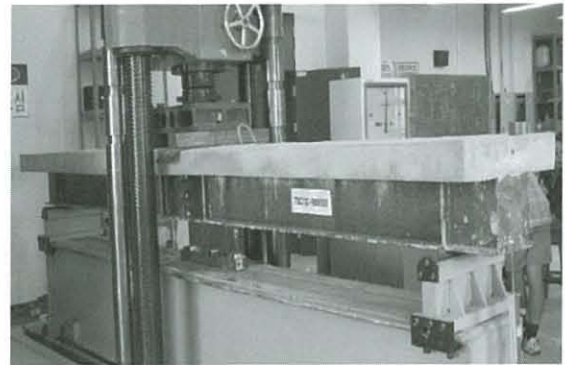


사진 1 보 휨 실험 실험체 설치

형강, 앵글 등을 이용하여 제작이 편의를 개선하는 방법 등을 연구하였다. 이에 대한 파괴양상은 사진 2와 같고, 결과는 그림 2, 3과 같다. 하부 쉬어키를 철근과 스티드로 사용하여 배치하게 된 경우는 유사한 하중과 변형능력을 보이고 있었다. 따라서 쉬어키의 종류와 배치간격에 대한 영향은 적은 것으로 평가된다. 또한 하부 인장부 보강은 철근을 이용하여도 동일한 내력확보가 가능하고, 하부 쉬어키의 배치도 최대 600mm까지 내력 및 변형능력의 변화가 없으며, 쉬어 코넥터는 스티드와 철근, ㄷ형강 모두 동일하게 적용 가능함을 확인하였다.



사진 2 성형제작 보 실험체 파괴양상

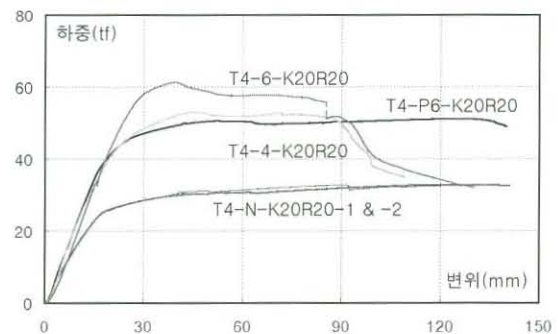


그림 2 하부 인장 보강방법의 영향

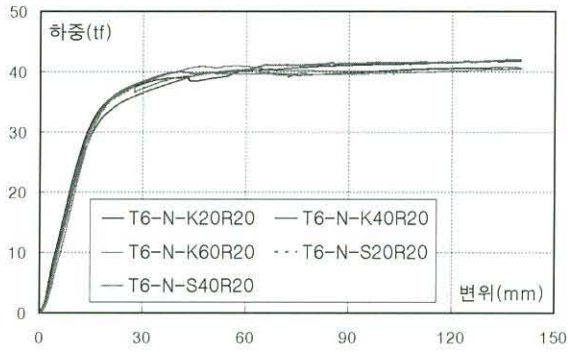


그림 3 쉬어키 간격과 종류의 영향

3.3 사용성 평가

TSC 합성보의 경우 기존의 철골 보와 비교할 때, U형 폐쇄 단면에 콘크리트를 채운 효과 등으로 사용성이 우수할 것으로 판단하여 신축 건축물에서 사용성 평가를 실시하였다. 측정된 건물은 지하 3층, 지상 12층 규모의 L빌딩(서울시 역삼동)과 지하 1층, 지상 15층의 K타워(서울시 구로동)와 지하1층, 지상 5층의 S고등학교 기념관(서울시 미아동) 등이다.

실험은 뒷꿈치 충격(Heel Drop Impact)과 보행하중에 대해 실시하였으며, 최대 가속도는 보행하중을 가진원으로 측정하여, 이를 FFT(Fast Fourier Transfer)변환을 통하여 바닥판의 고유진동수를 구하였다. 그림 4와 같이 수직진동 평가 결과 AISC의 제한치 0.5%g과 일본건축학회 기준의 권장치 V-3를 모두 만족하는 것으로 평가되었다.

3.4 접합부의 내진성능 평가

TSC합성보의 내진성능을 확인하기 위하여 센구조 연구소에서 개발한 신공법 중 하나인 철근콘크리트 기둥(철근

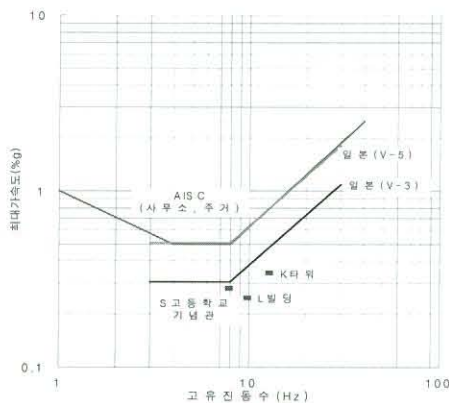
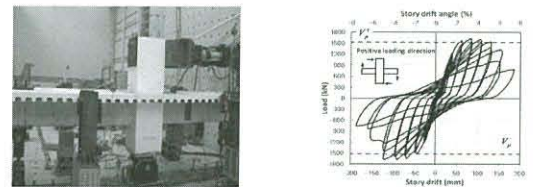


그림 4 사용성 평가 결과

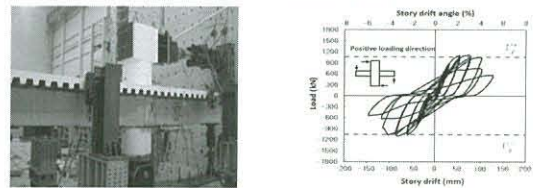
선조립 기둥), 프리캐스트 콘크리트 기둥(중공 원심성형 기둥), 그리고 일반적인 철골기둥과 합성기둥에 대해서 접합부 성능실험을 수행하였다. TSC 합성보를 대상으로 다양한 방식과 형태의 여러 가지 기둥을 적용하여 접합부 성능 실험을 수행한 결과 TSC를 이용한 기둥 보 접합부 내진성능은 특수모멘트 골조에서 요구되는 4% 층간 변위각을 증가하는 것으로 확인되었다. 이에 따라 TSC 보 접합부는 기둥 형상 및 구조시스템에 따라 다양하게 적용이 가능한 것으로 평가되었다. 각각 기둥시스템에 따른 내진평가를 위한 실험 전경 및 결과는 그림 5와 같다.

3.5 내화성능 평가

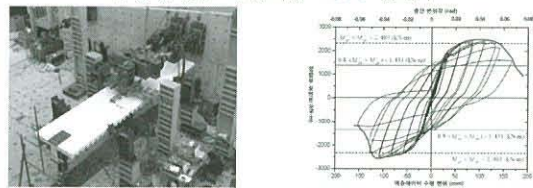
TSC 합성보가 강재 내부에 콘크리트를 충전한 형상이므로 내화성능이 우수할 것으로 판단하여 사진 3과 같이 내화성능 평가실험을 하였다. 실험결과는 그림 6, 7과 같이 25mm 내화 뿔칠한 H형강 보는 113분 만에 최고온도 1,110℃, 평균온도 615℃ 및 처짐 136mm로 시험이 중단된 반면, TSC 보는 동일한 25mm 내화뿔칠만 해도 3시간 화재



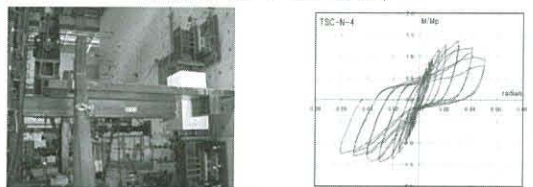
a. 선조립기둥 +TSC 접합부



b. 중공원심 성형기둥 +TSC 접합부



c. 철골기둥 + TSC 접합부



d. 합성기둥 + TSC 합성보

그림 5 접합부 내진평가 실험전경 및 결과

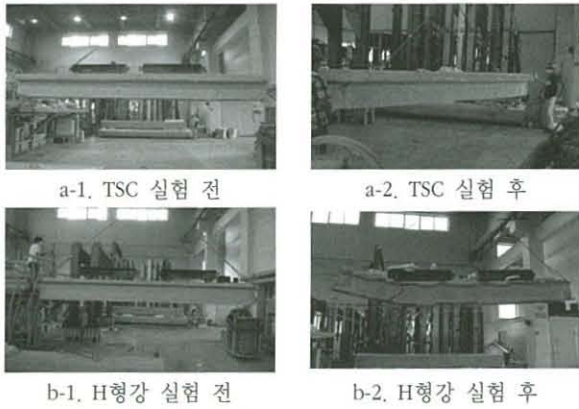


사진 3 내화성능 평가 실험

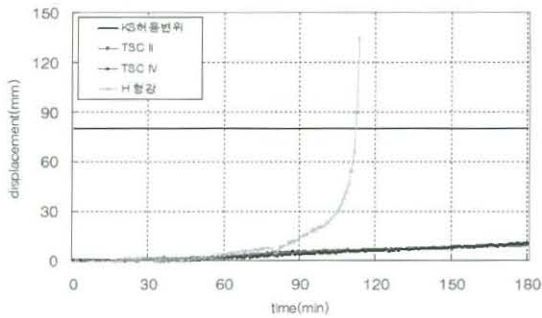


그림 6 실험체의 변위 그래프

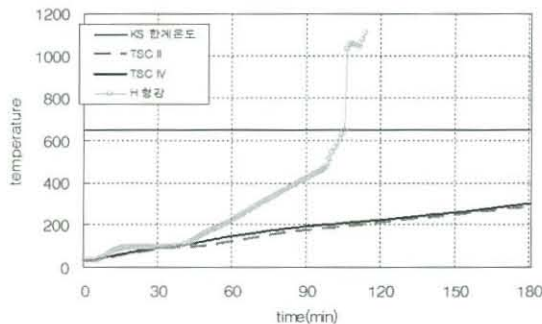


그림 7 실험체의 온도 그래프

후 강재와 콘크리트가 아무런 피해를 입지 않아 내화피복만 재시공하면 문제가 없음을 확인하였다.

3.6 부착강도 실험

TSC 합성보 내부에 채운 콘크리트가 경화수축 등으로 계면박리의 영향을 알아보기 위해서 실험을 통해 TSC 합성보의 부착강도와 휨 내력과의 관계를 알아보았다. 계면 실험의 전경은 사진 4와 같으며, 그림 8과 같이 실험 변수는 W자형 TSC 성형보(WT)와 Bottle neck 성형보(BT)로 구분하여 모래를 채우거나 혹은 경계면에 기름을 도포하여

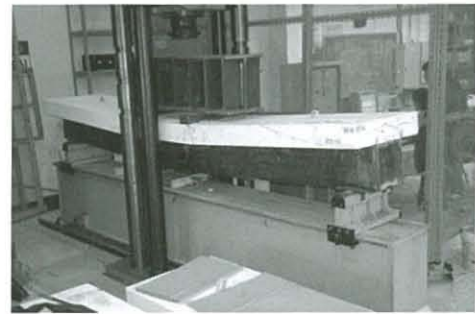


사진 4 계면박리실험의 전경

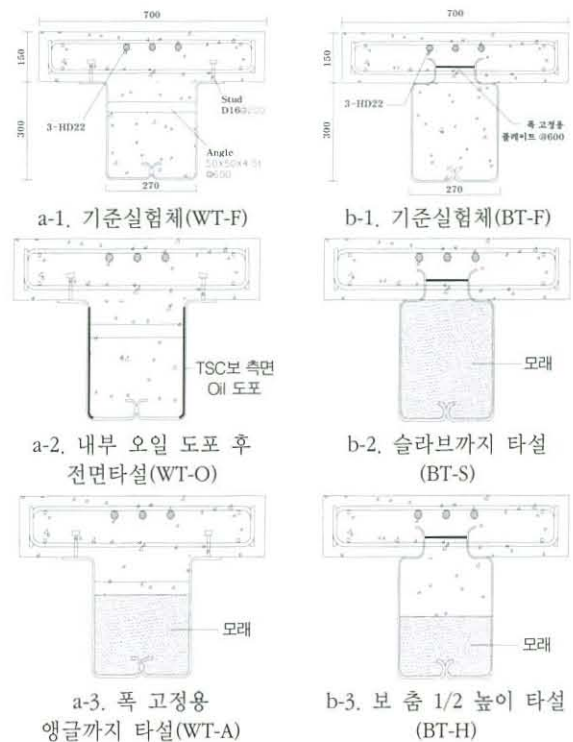


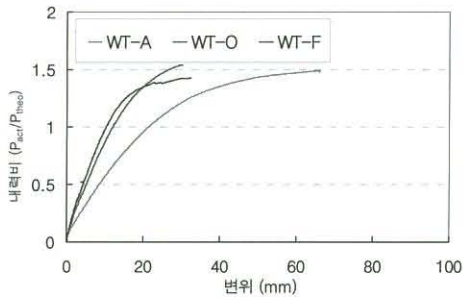
그림 8 계면박리 실험체 변수

임의적으로 계면을 형성하여 휨 성능을 평가하였다. 실험 결과로 그림 9와 같이 내력비에 있어 모든 실험체가 비슷하게 1.4을 넘어 안정적인 거동을 보였으며, 계면박리현상의 영향으로 내력 저하현상 및 응력 집중 현상은 나타나지 않았다.

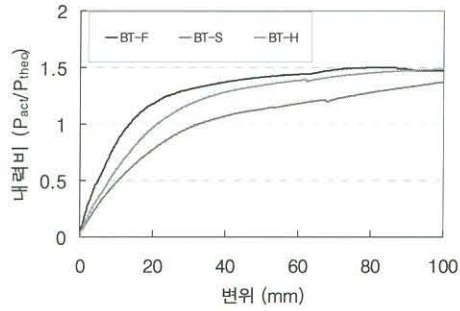
4. 설계 사례 및 적용 분야

4.1 설계 및 시공 사례

TSC 합성보를 이용한 설계 및 시공 사례는 약 250건 이상의 프로젝트가 진행되었으며, 대표적인 프로젝트는 표 1과 그림 10과 같다



W자형 TSC성정보



Bottle neck 성정보

그림 9 변수에 따른 내력-변위비 곡선

4.2 적용분야

TSC 합성보는 다음과 같은 건축물에 많이 적용하였다.

- 공사비 절감이 필요한 건축물
- 적재하중이 큰 건축물
- 장스팬으로 처짐 및 진동에 대한 사용성이 문제가 되는 경우의 건축물
- 층고절감이 요구되는 건축물
- 철골 구조와 철근콘크리트 구조가 혼합된 건축물의 하중 전이층의 경우
- 우수한 내화성이 필요한 건축물

추가로 U형 강판 내부에 콘크리트가 타설된 장점을 활용하는 예도 있으며, 지하실 탐다운 공사에 많이 적용한다. 업-업 공법의 경우 지하부분의 스트럿트 또는 수평지대는 가설 구조물로 사용하거나 토압에 의한 압축력을 저항할 수 있도록 설계되어야 하는데, 압축력은 강재보다 콘크리트가 효과적이어서 TSC 합성보가 적절할 것으로 판단된다. 또한 재래식 지하 가설 구조물은 공사를 진행하는 과정에서 철거 및 해체해야 하기 때문에 공사기간과 물량의 손실을 초래하게 되지만, TSC 합성보는 내부에 콘크리트를 타설하므로 공사 진행시 슬래브 콘크리트와 함께 일체화하여 콘크리트 타설 공사를 마무리하여 공사기간 및 물량에 이익이 될 수 있다.

표 1 TSC 구조설계 및 시공 사례

순번	프로젝트 명	위치
1	U 빌딩	서울 강남구
2	C Tower	Kuwait City
3	K 청사	서울 종로구
4	D 쇼핑몰	서울 동대문구
5	B 종합터미널	경기도 부천시
6	S 아파트형 공장	서울 구로구
7	D 빌딩	서울 중구
8	S 마트	서울 구로구
9	S 백화점 본점	서울 중구
10	S 쇼핑몰	부산 해운대구
11	민자역사 I	서울 서대문구
12	A 백화점 건물	서울 구로구
13	민자역사 II	서울 성동구
14	T 판매시설	경기도 부천시
15	D 타워 I	서울 구로구
16	L 주상복합	서울 중구



그림 10 TSC가 적용된 대표건물들 조감도

5. TSC 인증서 및 지적재산권

지금까지 TSC개발을 통하여 얻은 관련 인증서는 그림10에서 그림 13과 같고, 지적재산권은 표 2와 3과 같다.



그림 10 건설신기술(제418호)



그림 11 건축성능 인정서(제06-3호)



그림 12 우수제품 인정서(제2005060호)



a. 2시간 내화성능인정서
15mm 적용



b. 3시간 내화성능인정서
21mm 적용

그림 13 내화구조 인정서

6. 맺음말

지금까지 TSC 합성보에 대해서 구성 및 특징, 연구개발과 실무적용 성과와 관련하여 설명하였다. TSC 합성보는 철골과 콘크리트의 장점을 접목한 합성구조이며, 두 요소의 특성을 잘 조화시켜서 시공성과 경제성등의 효율성을 극대화시키는 방안의 연구가 계속적으로 필요하다. 이에

표 2 특허 출원


특허	출원번호
TSC 보와 y형강관 띠기둥에 PPS보를 적용한 지하주차장 축조 공법	10-2005-0078707
PHC 기둥의 보 접합용 패널콘	10-2006-0077955
콘크리트를 부분 타설한 TSC보의 강선긴장보강공법	10-2007-0001287
TSC 보의 강선긴장보강공법	10-2007-0001288

표 3 특허 등록

특허	번호
강콘크리트 구조시스템	제 0343960 호
조립폐쇄단면 강구조시스템	제 0430317 호
병목형 상부 플랜지 TSC보	제 0592398 호
성형 강관 콘크리트보	제 0617878 호
W자 성형보	제 0602477 호

따라 지속적인 연구를 통해 더욱 발전된 합성구조가 될 수 있도록 할 계획이다.

참고 문헌

1. 대한건축학회, 건축구조기준 및 해설 2009.
2. 최재우, 김상모, 김영호, 김상섭, 이창남, 김규석, TSC 합성보의 거동분석, 대한건축학회 추계학술발표 논문집, pp.305~308, 2001. 10.
3. 김성배, 함정태, 이창남, 김상섭, SRC기둥-TSC보 접합부의 거동에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 제22권 6호 pp.55~62, 2006. 06.
4. 김성배, 김성진, 김상섭, PHC 파일에 부착한 밴드플레이트의 부착강도에 관한 연구, 대한건축학회 구조계, 제25권 2호, pp.29~36, 2009. 02.
5. 황현종, 박훈근, 이철호, 박창희, 이창남, 김형섭, 김성배, 콘크리트채움 U형 강제보-콘크리트 기둥 접합부의 내진성능, 한국강구조학회논문집, 제23권 1호, pp.83~97, 2011. 02.
6. 박훈근, 이철호, 박창희, 황현종, 이창남, 김형섭, 김성배, 콘크리트채움 U형 강제기둥 합성 내진접합부에 대한 주기하중 실험, 한국강구조학회논문집, 게재확정.
7. 박창희, 이철호, 박훈근, 황현종, 이창남, 김형섭, 김성배, 콘크리트채움U형 합성보-H형강기둥 십자형 합성접합부의 내진성능, 한국강구조학회논문집, 게재확정. 

[담당 : 김명한, 편집위원]