01

횡하중저항능력 확보를 위한 콘크리트 선행부재와 후속부재간의 연결방법

Connection Methods between Concrete Members for Lateral Load Resistance

강현구 Thomas H.-K. Kang
서울대학교 건축학과 교수

김상희 Sanghee Kim
서울대학교 건축학과 석사과정

윤장근 Jang-Keun Yoon
대림산업(주) 기술개발원 과장

방중석 Jung-Suk Bang
대림산업(주) 기술개발원 부장

1. 머리말

건축물은 부재간의 연결부위에서 충분한 강성 및 강도를 가짐으로써 횡하중에 대한 저항능력을 발휘하여야 한다. 하지만 선행된 부재와 후속부재 간의 접합부는 철근이음, 콜드조인트 등의 문제로 건축물이 요구하는 횡하중 저항능력을 갖추기란 쉽지 않다. 그래서 현장에서는 충분한 강성과 강도의 확보를 위해 접합부에 다양한 철근이음상세와 현장 타설을 적용하여 접합부를 일체화시키는 방안이 모색되고 있다. 이 때 충분한 연성능력을 가지기 위해서 선행부재와 후속부재를 연결하는 철근은 특별한 이음상세를 필요로 한다. 접합부의 철근 이음상세로는 굽힌 철근 박스형, 매립커플러형, 슬리브형을 이용한 연결방법 등이 있다. 더 나아가 최근에는 이러한 연결방법을 개선하고 발전시킨 '체어 기능의 연결 전단보강 철물을 이용한 프리캐스트 기둥과 현장타설 슬래브의 접합부 구조 및 접합부 시공방법'이 개발되었다. 이러한 기존 접합부의 철근 이음상세와 신공법을 본 기사에서 소개하기로 한다.

2. 굽힌 철근 박스형

굽힌 철근 박스형 공법은 여러 가닥의 굽힌 철근이 관통되어 있는 아연도금강판(pre-galvanised steel casing and cover)을 거푸집에 고정한 후 정착철근을 기존 철근과 결속하고 절곡된 철근을 타설 후 펴서 이음철근으로 사용하는 공법이다〈사진 1〉. 본 이음공법을 사용하면 공구로 거푸집을 뚫는 과정을 생략할 수 있으며, 다량의 철근을 한번에 배근하여 시공성을 향상시킬 수 있다. 하지만 철근은 굽힘과 폄의 반복적인 과정에서 변형경화(strain hardening), 가

(a) Placing bent re-bars (b) Straightening bent re-bars (c) Placing slab re-bars

사진 1. 굽힌 철근 박스을 이용한 시공과정[1)]

공경화(work hardening), 바우싱거 효과(bauschinger effect) 등이 발생하고, 〈그림 1〉[2]과 같이 이러한 영향으로 조기항복(d-e-f)이 발생한다. 특히 철근의 강도가 높을수록, 그리고 철근의 지름이 굵을수록 이러한 현상이 심화되어 휨강도 저하로 나타나며, 특히 SD400 D16 철근은 공칭 휨강도의 75%만 발현되는 것으로 연구되었다〈그림 2〉[1]. 시장에는 〈그림 3〉과 같이 다양한 제품들이 출시되고 있는데, SD300 강도의 D13 철근이 주로 사용되며 상위 강종에 대해서는 현장적용에 있어 주의가 필요하다.

3. 매립커플러형

매립커플러형 공법은 박스나 판의 한쪽면에 커플러가 설치되고 반대쪽에는 정착철근이 장착된 기계이음 형태의 공법이다. 커플러가 부착된 박스를 못으로 거푸집에 고정하고, 정착철근은 미리 배근된 철근에 결속시키며, 타설 및 양생 후에 덮어두었던 덮개를 제거하고 커플러의 이음나사선을 통해 이음철근을 연결한다. 또한 매립커플형은 형태에 따라서 단독형(박스형, 플랜지형), 채널형 그리고 판형으로 나눌 수 있다. 단독박스형은 박스의 한쪽을 덮개로 막고 반대쪽에는 커플러를 부착하여 사용한다. 타설과 양생과정을 거친 후 박스의 뚜껑을 제거하고, 커플러에 이음철근을 결속한다〈그림 4-(a)〉. 단독플랜지형은 작은 철판(플랜지)과 커플러가 일체화된 형태로써 전면을 메탈 디스크나 플라스틱 플러그를 설치하여 모르타르의 유입을 막고, 제품의 네 구석을 못으로 박아 거푸집에 부착할 수 있다〈그림 4-(b, c)〉. 채널형은 단독형을 1열로 연결하여 시공성을 향상시킨 제품이고〈그림 4-(d)〉, 판형은 〈그림 4-(e, f)〉와 같이 강판의 상하부에 커플러와 정착철근을 미리 부착한 제품이다. 2열 배치여서 슬래브나 벽의 접합부에 사용이 유리하고, 거푸집 제작에도 단독형보다 편리하며, 강판에 굴곡이 있어서 전단키의 역할을 수행할 수 있는 장점도 있다.

제품과 형태가 다양하여 사용빈도가 높은 만큼 매립커플러형의 횡하중 저항능력에 대한 다양한 실험이 수행되었다. 우선 U.C. Berkeley의 Moehle 등은 매립형 커플러가 쓰인 코어벽체와 포스트텐션 슬래브 접합부에 대한 내진성능 실험을 수행하였다[3]. Moehle 등은 선행 코어벽체와 포스트텐션 슬래브를 Lenton Form Saver로 연결하였는데, 그 실험 결과를 살펴보면 층간변위비 5%까지 충

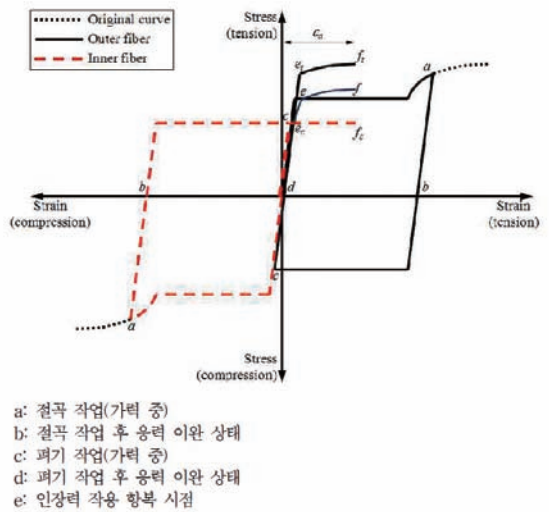


그림 1. 절곡-펴기에 따른 응력과 변형률 상태[2]

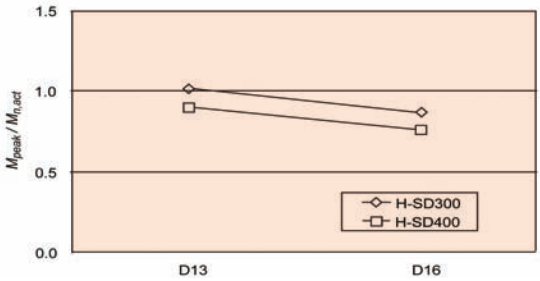
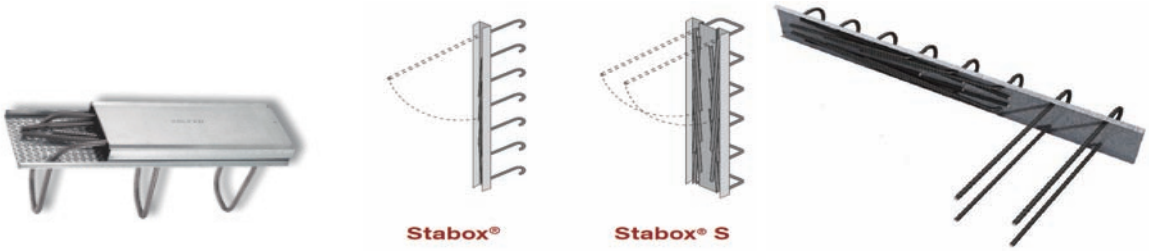
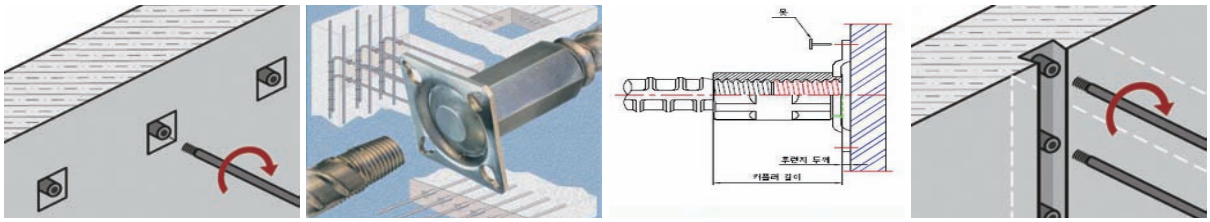


그림 2. 지름 변화에 따른 휨강도 저하[1]

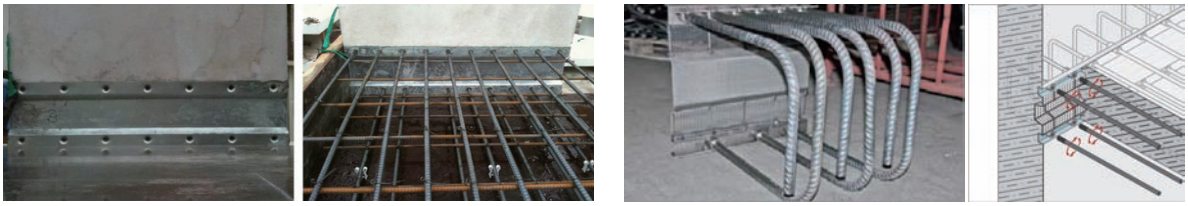


(a) HBT rebend connection(H사 제품) (b) Stabox(M사 제품) (c) Keybox(A사 제품)

그림 3. 다양한 굽힌 철근 박스형 제품



(a) Couplerbox(M사 제품) (b) Lenton form saver(E사 제품) (c) BMS form saver(B사 제품) (d) Couplerchannel(M사 제품)



(e) 커플러와 기계적 정착을 활용한 철근 이음용 매립강판[1] (f) Product combinations with threaded steel coupler system(M사 제품)

그림 4. 다양한 매립커플러

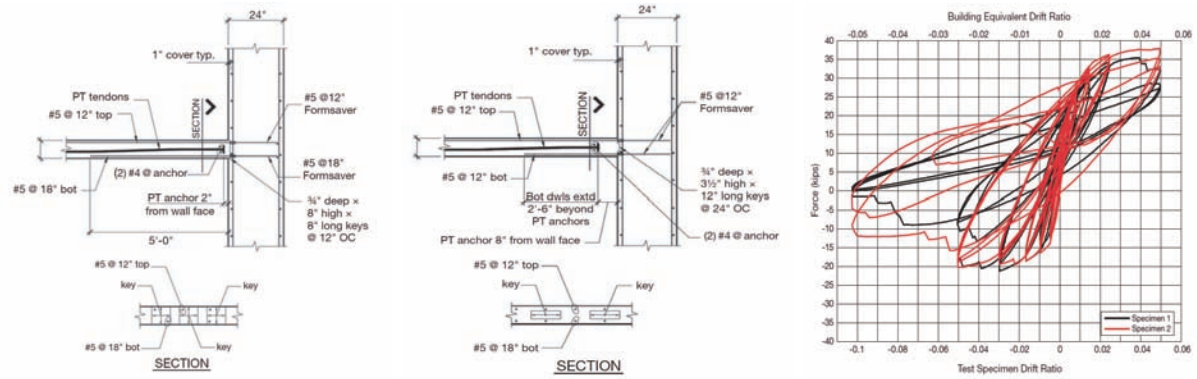
분한 내진성능을 발현하였다. 실험체 1〈그림 5-(a)〉에서 Form Saver는 4% 층간 변위비에서 뽑힘 현상이 관찰되었으나, 이 현상은 실험체 2〈그림 5-(b)〉에서 상당히 개선된 양상을 나타내었다. 그리고 두 실험체 모두 실험의 목표 층간변위비를 상회하였다〈그림 5-(c)〉.

커플러가 부착된 판형의 반복하중에 대한 거동도 평가되었는데, 〈그림 6-(a)〉의 C-D13은 판형의 매립커플러〈그림 6-(b)〉로 부재를 연결한 실험체이고, S-D13은 일반적인 정착철근에 의해 부재가 연결된 실험체이다[1]. 그리고 사용된 강종은 SD400이다. 반복하중에 대한 실험결과는 〈그림 6-(c)〉에 나타나 있는데, 점선은 계측된 재료강도로 계산된 공칭 휨강도이다. C-D13-F400는 공칭휨강도를 상회하며, 5%가 넘는 변형 능력을 가지는 것으로 연구되었다. 이 결과는 이음상세없이 후크를 사용한 S-D13-F400의 변형 능력과 동등하거나 다소 상회한다.

4. 슬리브형

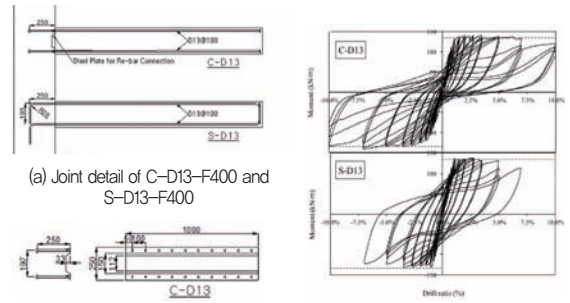
슬리브형 공법은 하부 수직재의 주근이나 다월철근을 상부 PC부재의 슬리브에 넣은 후 슬리브의 아래쪽 삽입구를 통해 무수축 모르타르를 삽입하는 이음공법이다. 위쪽의 배출구를 통해 그라우팅 정도를 파악할 수 있으며, 철근과 무수축 모르타르의 부착응력을 이용한다〈그림 7〉.

김형기[5]는 부착응력이 철근의 부착 길이 및 무수축 모르타르의 강도와 밀접한 관계가 있다고 보고하고 있다. 또한, 철근이음에서 철근 항복강도 125% 이상의 인장력을 전달하여 KCI의 내진기준을 만족하기 위해서는 그라우트 압축강도가 70 MPa일때 철근의 정착 길이는 4.5 d_b 이상, 그라우트 압축강도가 80 MPa일때 정착 길이는 3.9 d_b 이상 확보해야 한다고 발표하였다. 문정호 등[6]은 슬리브를 이용한 철근이음의 항복강도에 관한 구



(a) Slab-wall connection detail for specimen 1 (b) Slab-wall connection detail for specimen 2 (c) Lateral force vs. drift for specimens 1 and 2

그림 5. 단독형 매립커플러의 반복하중 실험[3]



(a) Joint detail of C–D13–F400 and S–D13–F400

(b) Steel plate for re–bar connection detail of C–D13–F400

(c) Moment–drift ratio relations of C–D13–F400 and S–D13–F400

그림 6. 매립커플러 판형의 반복하중에 대한 평가[1]

조실험을 수행하였는데, 설계기준강도의 1.34배를 발현하였다. 현재 시공현장에서도 70 MPa 이상의 무수축 모르타르를 사용하고 있다.

단순 인장실험뿐만 아니라 슬리브를 이용하여 부재를 연결하고 반복하중을 가하여 횡하중 저항능력을 평가한 실험 역시 수행되었다. Nakaki[7] 등의 연구를 살펴보면 슬리브를 PC 기둥의 주근의 연결매체로 사용하고, 수평부재는 비부착 강연선이 삽입된 PC 보(pretensioned beam)로써 기둥주근을 관통하도록 슬리브가 설치되었다. 그라우팅으로 접합한 후 cyclic test를 수행하였는데, 4% 이상의 층간변위비까지 강도의 손실없이 저항하는 것으로 나타났다〈그림 8〉. 그리고 Belleri와 Riva의 연구[8]에서는 부재간의 주철근을 직접적으로 연결하지는 않았지만, 슬리브를 이용하여 부재를 결합한 후 반복하중 실험을 수행하였다. 실험결과를 살펴보면 그라우트된 슬리브는 부재를 일체화하고 강접으로 연결하는 것으로 나타났다〈그림 9〉. 또한 PCA Notes에서는 강지진구역에서 슬리브를 사용할 수 있는 설계 예제[9]를 수록하고 있으며〈그림 10〉, 시장에는 〈그림 11〉과 같은 다양한 제품이 출시되었다.

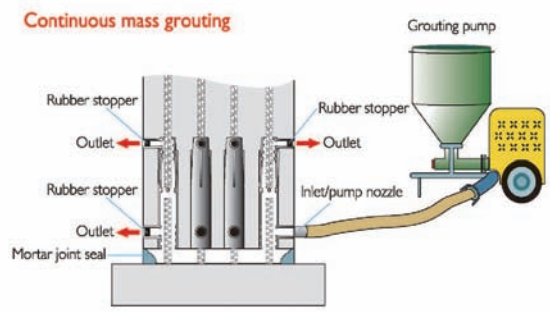
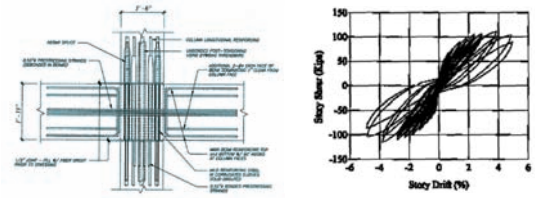


그림 7. Sleeve Connection System[4]

5. PC 수직부재와 RC/PT 슬래브 접합의 신공법

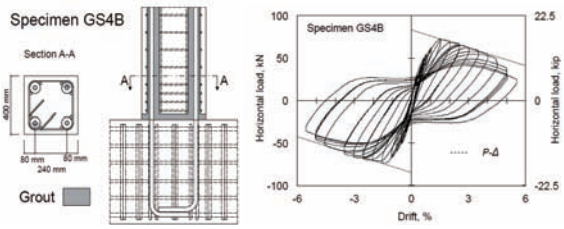
최근에 PC 수직부재와 RC 슬래브의 접합부분을 효율적으로 시공할 수 있는 '체어 기능의 연결 전단보강 철



(a) Pretensioned frame interior joint

(b) Pretensioned frame hysteresis loop

그림 8. Nakaki 등의 슬리브를 이용한 접합부의 반복하중 실험[6]



(a) Detail of specimen GS4B

(b) Lateral load versus column drift for GS4B

그림 9. Belleri와 Riva의 슬리브를 이용한 접합부의 반복하중 실험[7]

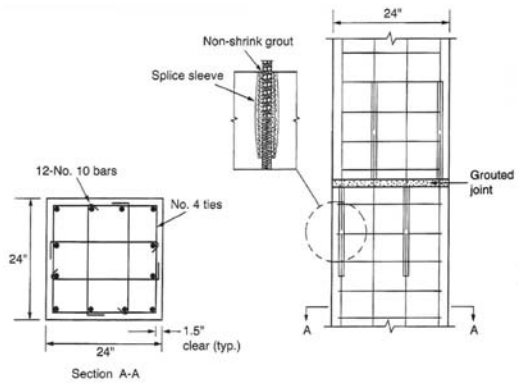


그림 10. 프리캐스트 특수모멘트골조에 사용된 슬리브 강접합 상세에 대한 PCA Notes[8] 예제

S–Sleeve(S사 제품)

DS Grout Splice Sleeve(D사 제품)

NMB SPLICE–SLEEVE(N사 제품)

Sleeve–Lock(D사 제품)

그림 11. 다양한 슬리브

물을 이용한 프리캐스트 기둥과 현장타설 슬래브의 접합부 구조 및 접합부 시공방법'이 개발되었다〈그림 12〉. PC 기둥과 RC 슬래브 또는 PT 슬래브를 연결할 수 있는 반건식 시공방법으로, 수직부재를 PC로 시공하여 공기를 단축할 수 있다. 또한, PC 기둥 완제품과 슬래브내 PT 강연성의 긴장은 동바리 제거를 조기에 가능하게 하고, 이는 내부공사 등을 원활하게 진행토록 유도하며 결과적으로 총 공사기간을 추가적으로 단축할 수 있는 장점이 있다. 수평부재는 현장타설로 시공하여 슬래브의 개구부 설치가 용이하고, 횡하중에 대한 다이어프램의 효과를 기대할 수 있다. 세부적으로는 PC 기둥의 주근 개수만큼 슬리브를 설치하고 무수축 모르타르로 그라우팅하여 주근을 연결한다.

이때 고가의 철제 슬리브를 사용하지 않고, PC 부재 거푸집의 제작단계에서 콘크리트를 성형하여 제작하고 부재연결 후 에폭시로 충전함으로써 두 부재를 연결하는 공법도 가능하다. 또한 기둥주근 연결부위는 강접합이 되고, 슬래브에 비하여 강한 기둥 매커니즘을 통해 슬래브에서 소성힌지현상을 유도할 수 있다. 약한 기둥 매커니즘이 형성된다고 하더라도 기둥에서 소성힌지를 형성하여 연성능력을 충분히 발휘할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 PC 기둥을 제작할 때 절곡형상의 철근을 기둥외곽 상부에 매립하면 다양한 이점이 있다〈그림 12 ~ 14〉. 첫 번째로 절곡철근은 슬래브와의 일체성을 확보할 수 있는 전단보강근 역할을 한다. 두 번째로는 PT 슬래브에서 텐던의 거치(또는 RC 슬래브에서 철근의 거치)를 할 수 있는 체어 역할을 수행한다. 이는 2개 이상의 텐던이 기둥의 전단 위험단면 안쪽에 배치되

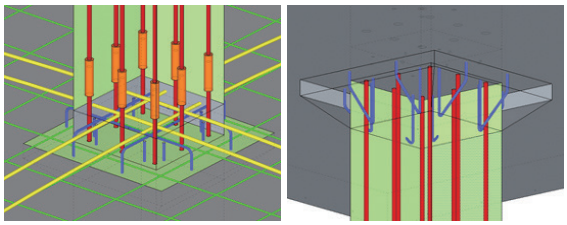


그림 13. 경사형 전단캡을 가진 PC 기둥의 연결방법 상세

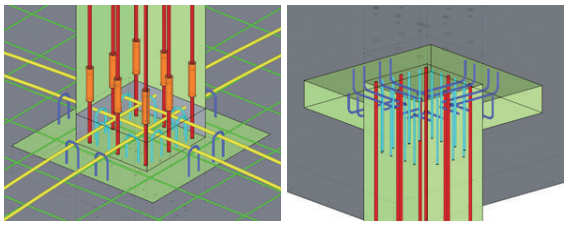


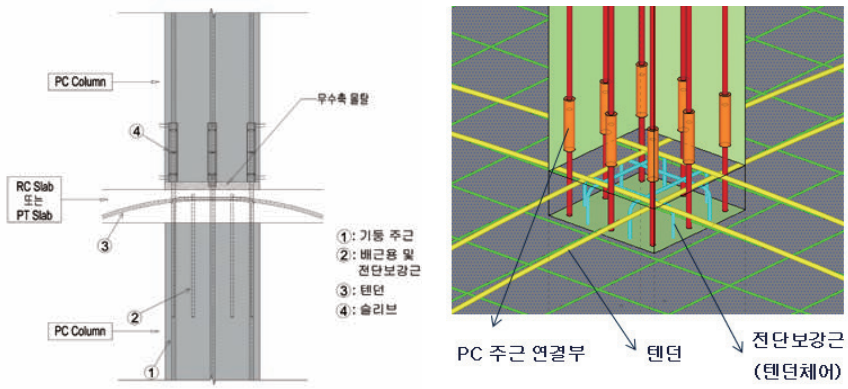
그림 14. 박스형 전단캡 가진 PC 기둥의 연결방법 상세

어야 하는 규정을 만족시킬 수 있게 한다. 세 번째로 운반 및 시공할 때에 PC 기둥의 양중 고리 역할도 할 수 있다.

마지막으로 PC 기둥의 주두부를 전단캡(shear cap)의 형태로 제작이 가능한데, 이렇게 제작하면 기둥주변의 위험단면 영역을 확대하여 전단성능을 극대화하는 효과가 있다. 그리고 경사형의 경우 천정틀 마감 밖으로 노출된 구조부재를 하나의 디자인 요소로 활용할 수 있는 이점도 있다.

6. 맺음말

이상은 횡하중 저항능력을 확보하기 위한 선행부재와 후속부재의 다양한 연결방법에 대하여 살펴보았다. 굽힌 철근 박스형, 매립커플러형, 슬리브형은 공히 철근이음을 이용하고 있으며, 추가적으로 전단키를 가진 형태도 있다. '체어 기능의 연결 전단보강 철물을 이용한 프리캐스트 기둥과 현장타설 슬래브의 접합부 구조 및 접합부 시공방법'은 기존의 연결방식과 비교하여 전단보강 철물을 사용하기 때문에 구조적 결합이 향상된다고 판단되며, PC 공법



(a) 신공법 단면도 (b) 신공법 3D 입체도

그림 12. 텐던체어 기능의 연결 전단보강 철물을 이용한 PC 기둥과 현장타설 RC/PT 슬래브의 접합부 구조 및 시공공법

으로 정밀 시공 또한 가능할 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 철제슬리브와 무수축 모르타르를 사용하지 않고 에폭시 그라우팅을 사용할 경우 추가적인 재료비 절감 효과를 얻을 수 있다. 이 신공법은 건축현장에서 선행부재와 후속부재의 접합방법에 있어 다양성을 더하는 한편 우수한 구조적 성능 및 횡하중 저항능력을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

담당 편집위원 : 송훈(한국세라믹기술원) songhun@kicet.re.kr

참고문헌

1. 천성철, 이진곤, 하태훈, '굽힌 후 편 철근의 겹침 이음 및 기계적 이음을 갖는 벽-슬래브 접합부의 반복하중에 대한 거동', 콘크리트학회 논문집, Vol. 24, No. 3, 2012, pp. 275～282.
2. 천성철, 김상구, 오보환, 철근이음용 매립강판을 이용한 초고층 건축물 선행코어 후행슬래브 접합부 시공, 한국콘크리트학회 학회지, Vol. 23, No. 5, 2001, pp. 33～37.
3. Klemencic, R., Fry, J. A., Hurtado, G., and Moehle, J. P., "Performance of Post-tensioned slab-core wall Connections", *PTI Journal*, Vol. 4, No. 2, Dec. 2006, pp. 7～23.
4. www.splicesleeve.com
5. 김형기, '각종 그라우트 충전식 철근이음의 내력에 대한 비교평가', 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 16, No. 5, 2004, pp. 635～643.
6. 문정호, 오영훈, 이희영, 최재관, 고강도 철근용 스플라이스 슬리브 개발, '에스-PCE', (주)한남대학교, 2012.
7. Nakaki, S. D., Stanton, J. F., and Sritharan, S., "An Overview of the PRESSS Five-Story Precast Test Building", *PCI Journal*, Vol. 44, No. 2, March-April 1999, pp. 26～39.
8. Belleri, A., and Riva, P., "Seimic performance and retrofit of precast concrete grouted sleeve connections", *PCI Journal*, Vol. 57, No. 2, Winter 2012, pp. 97～109.
9. PCA, *Notes on ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete with Design Applications*, PCA, 2008, 1,026 pp.

강현구 교수는 UCLA에서 박사학위를 취득한 후 2004년부터 John A. Martin & Assoc. 등에서 캘리포니아 구조기술사로서 실무를 경험하였다. 2007년부터 오클라호마대(Univ. of Oklahoma)에서 4년간 교수로 재직하다 2011년부터 서울대학교 건축학과 교수로 재직 중이다. 현재 우리 학회 국제위원회, 영문논문집편집위원회, 콘크리트 전산해석위원회의 부위원장직을 맡고 있으며, PSC위원회에서 2권의 실무매뉴얼의 집필책임자로도 활동 중이다.

tkang@snu.ac.kr

김상희 석사과정은 전북대학교 건축공학과에서 학사학위를 취득하였으며, 2014년 2월에 서울대학교 건축학과에서 석사학위를 취득 후 3월부터 서울대학교에서 박사과정에 진학할 예정이다.

윤장근 과장은 한양대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득한 후 2002년 대림산업(주) 기술연구소에 입사하여 현재 건축구조기술사로서 실무 및 연구업무를 수행하고 있다. 주 관심 분야는 포스트텐션 공법의 건축물 적용에 관한 연구이며, 우리 학회 PSC위원회, 전산해석위원회에서 활동 중이다.

방중석 부장은 서울시립대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득한 후 1988년 대림산업(주) 건축사업본부에 입사하여 현재 건축구조기술사로서 건축연구지원팀 팀장으로 재직하고 있다. 또한 서울시립대학교 건축공학과에서 박사학위를 취득하였다. 주요 업무로는 건축구조 및 건축재료 분야의 연구개발과 현장 기술지원 업무를 총괄하고 있으며, 한국강구조학회 특집분과위원회에서 활동 중이다.