

확대머리철근의 기술 현황

State of the Art of Headed Bars

천성철 Sung-Chul Chun 인천대학교 도시건축학부 부교수	최창식 Chang-Sik Choi 한양대학교 건축공학과 교수	이병수 Byung-Soo Lee 한수원중앙연구원 건설기술팀 차장	김상구 Sang Koo Kim (주)부원비엠에스 전무이사
--	--	--	--

1. 머리말

철근의 직선 정착 길이 확보가 용이하지 않은 외부 보-기둥 접합부에서는 갈고리철근이 주로 사용된다. 그러나 접합부와 같이 철근이 과밀한 곳에서는 갈고리 배근 작업이 어렵고, 콘크리트 충전성이 저하될 우려가 있다. 확대머리철근(headed reinforcing bars)은 정착판(확대머리)을 철근 단부에 부착하여 정착강도를 확보하는 방법으로, 과밀 배근 해소를 목적으로 갈고리철근 대신 사용될 수 있다. 국내외에서 확대머리철근의 정착 성능에 대한 다양한 연구^{1~10)}가 수행되어 왔으며, 이 중 텍사스 오스틴 대학에서 수행된 Thompson의 연구^{1~3)}를 바탕으로 2008년 ACI 318에 구체적인 정착 길이 설계식과 구조 상세가 도입되었다. 2012년 개정된 콘크리트 구조기준에서는 ACI 318 설계기준에 국내 연구결과를 반영하여 확대머리철근 정착 설계 규정이 정립되었다. 콘크리트 구조기준의 정립 이후 외부 보-기둥 접합부, 철근 선조립 공법, 프리캐스트 구조물에서 확대머리철근의 적용이 증가하고 있다. 그러나 고강도 철근, 대구경 철근, 고강도 콘크리트, 고인성 콘크리트 등 다양한 재료 특성에 대한 연구가 부족하여 설계기준을 적용할 수 있는 확대머리철근의 강도와 콘크리트 강도에 제한이 있다. 또한 확대머리철근이 정착된 부재의 조건에 따라라도 정착 강도가 상이할 수 있으며, 현행 설계기준에서는 이러한 현상을 모두 고려하지는 못하고 있다. 본 기사에서는 국내외 확대머리철근의 설계기준과 표준을 살펴보고, 현행 설계기준의 제한사항을 해결하기 위한 최근의 연구 내용을 소개하고자 한다.

2. 확대머리철근 설계기준과 표준

확대머리철근 정착 설계를 위한 정착 길이와 피복두께, 순간격 등의 상세는 ACI 318과 콘크리트 구조기준에 가장 자세히 규정되어 있다. 일본 건축학회기준과 fib Model Code2010에서는 갈고리철근과 동일하게 취급하고 있다. 다양한 국내의 설계기준에서는 확대머리철근의 사용을 허용하고 있으나 상세한 정착 길이 설계식을 제공하지는 않고 있다. 확대머리철근 표준으로는 ASTM A970과 2012년 신설된 ISO 15698이 대표적이다. 국내 KS는 아직 제정되지 않았다.

2.1 콘크리트 구조기준과 ACI 318

콘크리트 구조기준과 ACI 318에서는 식 (1)을 확대머리철근 정착 길이 산정식으로 사용하고 있다. 이 식은 직선 정착

길이 그리고 갈고리 정착 길이 설계식과 같은 형태이며, 갈고리 정착 길이의 80%가 된다. 실제 정착거동은 직선 구간의 부착과 확대머리 정착판 지압과의 조합으로 구성되지만 정착 길이 설계식의 일관성을 통한 실무적 편의를 위해 $f/\sqrt{f_{ck}}$ 형태의 단일 항으로 설계식이 만들어졌다.

$$l_{dt} = 0.19 \frac{\beta f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}} \dots\dots\dots (1)$$

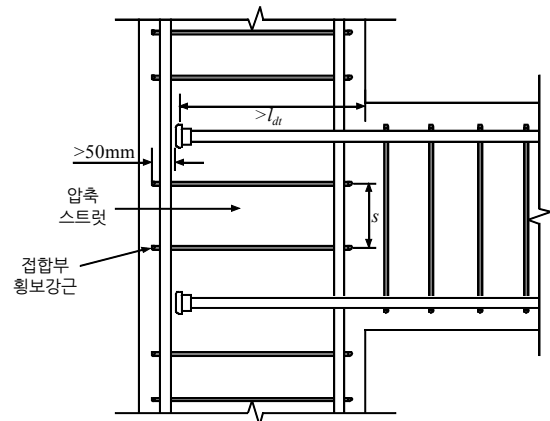
여기서, β 는 에폭시 도막철근의 경우 1.2, 그 외는 1.0이며, 정착 길이는 $8d_b$ 그리고 150 mm 이상이어야 한다.

이 식은 실험적으로 평가된 확대머리철근 정착강도의 하한값으로 결정되었으며, 설계식 개발에 사용된 실험체의 한계값인 다음 조건의 제한이 있다.

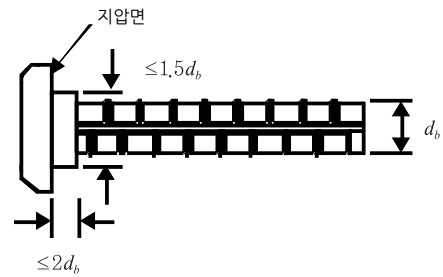
- 1) 철근항복강도 400 MPa 이하
- 2) 철근 직경 35 mm 이하
- 3) 일반 콘크리트 사용(경량콘크리트에 적용 불가)
- 4) 확대머리의 순지압면적(A_{bg})이 철근 단면적의 4배 이상
- 5) 순 피복 두께는 철근 지름의 2배 이상
- 6) 철근 순 간격은 철근 지름의 4배 이상
- 7) 콘크리트 강도는 40 MPa 이하

이 제한조건에서 철근 순간격 $4d_b$ 규정은 과도하게 엄격한 규정으로, 보-기둥 접합부와 같이 철근이 과밀하게 배근되는 부재에는 완화될 필요가 있다. 따라서 접합부에 정착된 확대머리철근의 국내 연구결과^{5,8,9,10)}를 반영하여 중간층 접합부에 보 주철근으로 확대머리철근이 사용된 경우에 한해 철근 순 간격을 $2.5d_b$ 로 완화하였다. 여기서 외부 접합부 횡보강철근의 체적비는 0.3% 이상이고, 확대머리의 뒷면이 횡보강철근 바깥면에서부터 50 mm 이내에 위치해야한다. <그림 1-(a)>는 철근 순 간격을 $2.5d_b$ 로 할 수 있는 예를 보여주고 있다. 확대머리가 횡구속된 코어의 후면까지 최대한 연장되면, 접합부에 압축 스트럿이 적절히 형성되어 접합부의 성능과 확대머리철근의 정착성능이 모두 향상된다.

순 간격과 피복 두께는 확대머리가 아닌 철근을 기준으로 산정한다. 그러나 확대머리도 철근의 일부분이므로 콘크리트 충전과 내구성을 위해 철근 상세에서 규정하고 있는 피복 두께는 확대머리를 기준으로 평가하여야 한다.



(a) 외부 기둥에 정착된 확대머리 이형철근



(b) 확대머리와 철근의 이음부

그림 1. 확대머리철근의 정착

2.2 fib Model Code 2010

2010년에 개정된 fib Model Code에서 확대머리철근 정착 규정이 신설되었으며, 다음 2가지 경우로 구분하여 설계한다.

- 1) 정착 길이를 고려하지 않고, 정착판의 지압만으로 설계
- 2) 정착 길이를 고려하여 정착판 지압과 정착 길이 부착의 조합으로 설계

정착 길이를 고려하지 않기 위해서는 정착판의 순지압면적이 $8A_b$ 이상, 피복두께가 철근지름의 2배 이상, 철근 중심간 간격이 철근지름의 6배 이상, 콘크리트의 설계강도가 철근의 설계강도의 1/24 이상 그리고 철근 축의 직각방향으로 균열이 없어야 한다. 정착 길이의 부착을 고려하여 부착과 지압이 함께 철근의 인장력에 저항하는 경우는 갈고리철근과 동일하게 취급하거나 시험에 의해 그 성능을 검증해야 한다.

2.3 그 외 설계기준

국내 설계기준으로는 건축구조기준(KBC 2013), 도로교설계기준(KBDC 2010), 도로교설계기준 한계상태 설계법(KBDC LSD 2012), 전력산업기술기준 격납구조 (KEPIC SNB 2012), 전력산업기술기준 철근콘크리트구조(KEPIC SNC 2010)에서 확대머리철근의 사용을 허용하고 있으나 구체적인 설계식을 제공하지는 않고 있다. 국외 설계기준으로는 AASHTO LRFD(2012), ASME III Div. 2(2010), Eurocode 2(2004), CSA-A23.3-04(R2010), JSCE (2007)도 확대머리철근의 적용을 허용하고 있다. ACI 349-13은 ACI 318과 동일한 정착 길이 설계식을 사용하고 있으며, ACI 352는 ACI 318보다 빠른 2002년에 같고리 정착 길이의 75% 정착 길이를 갖는 확대머리철근을 보-기둥 접합부에서 보 주근의 정착에 사용할 수 있도록 규정하였다.

2.4 ASTM A970-13

ASTM A970은 확대머리철근의 표준으로 1998년에 처음 제정되었으며, 정착판의 형상, 철근과의 연결 방법, 시험방법을 규정하고 있다. ACI 318에서는 ASTM A970의 HA등급을 만족하도록 규정하고 있으며, HA등급의 제한 조건은 다음과 같다.

- 1) 확대머리의 순지압면적(A_{brg})이 철근 단면적의 4배 이상
- 2) 확대머리와 철근의 연결을 위해 철근 마디와 리브

가 손상되는 경우 그 길이는 확대머리의 지압면부 터 $2d_b$ 이하

- 3) 확대머리와 철근의 연결부분의 지름은 $1.5d_b$ 이하
- 4) 확대머리철근의 인장강도는 철근의 최소 인장강도 이상
- 5) 용접으로 확대머리를 철근에 연결한 경우 굽힘시험 실시

2.5 KS

확대머리철근의 KS는 아직 제정되지 않았다. 실무에서 확대머리철근을 사용하기 위해 필요한 제작 방법, 시험 항목과 방법 그리고 형상에 관한 사항은 콘크리트 구조기준 8.2.6의 해설에 수록되어 있으며 참고문헌 13에 자세히 설명하였다.

2.6 ISO 15698 : 2012 Steel for the Reinforcement of Concrete – Headed Bars

확대머리철근에 대한 ISO표준이 2012년에 처음 제정되었다. 확대머리 정착판의 재질 및 형상과 확대머리 철근의 강도, 시험방법을 규정하고 있으며, <그림 2>는 ISO에서 규정된 시험방법을 보여주고 있다. 인장시험은 정착구간에서 콘크리트와의 부착 유무에 따라 구분되고, 하중 조건도 정적하중뿐 아니라 고사이클 탄성 피로하중과 저사이클 탄소성 하중도 포괄하고 있다. 확대머리 정착판과 철근 연결부의 신뢰성 검증을 위한 웨지시험과 굽힘시험도 포함하고 있다.

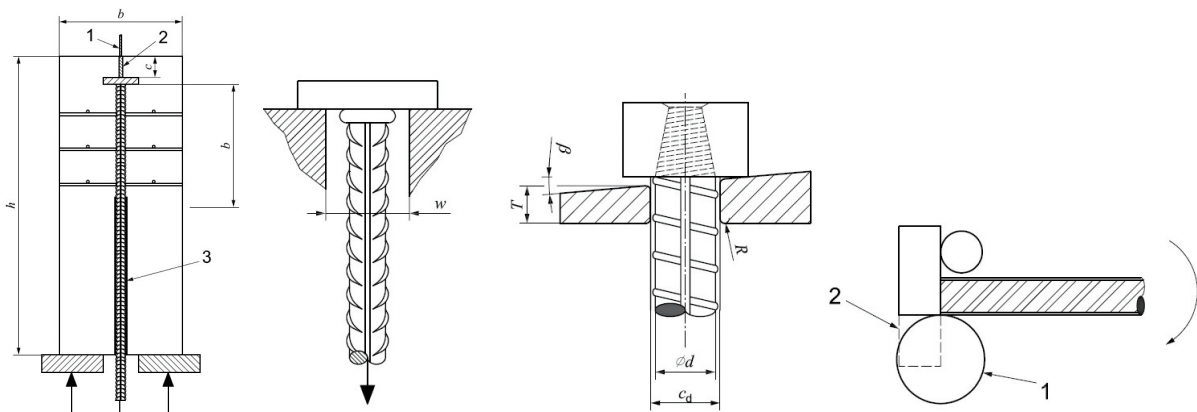


그림 2. ISO 15698의 확대머리철근의 시험 종류¹⁴⁾

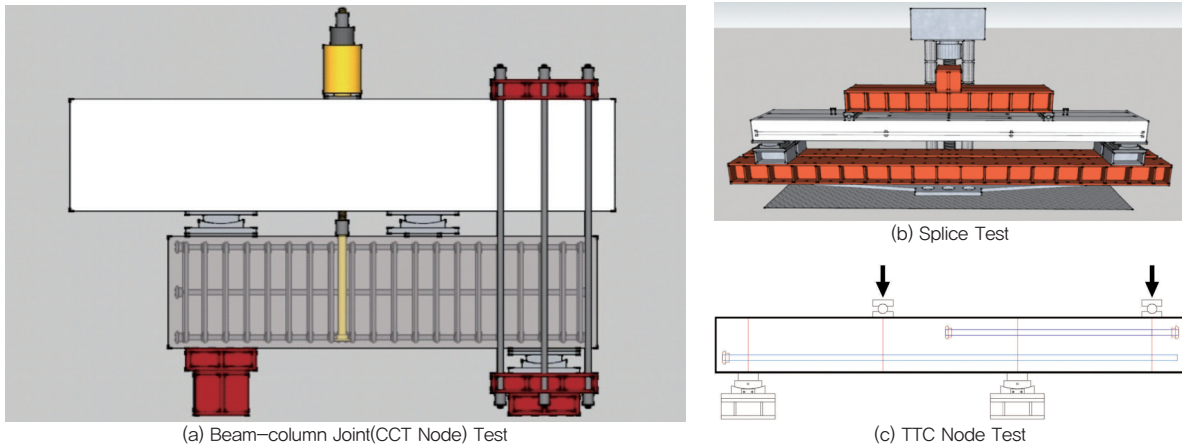


그림 3. 확대머리철근의 정착 부위에 따른 시험 방법

3. 대구경 고강도 확대머리철근의 정착 강도

확대머리철근은 우수한 시공성에도 불구하고 강도와 피복 및 순간격의 제한 규정으로 인해 현장 적용의 제약이 많다. 특히 철근 강도가 400 MPa로 제한됨에 따라 최근 사용이 증가하고 있는 SD500, SD600 철근 적용에 어려움이 있다. 원자력 발전소와 LNG저장탱크와 같이 대구경 철근이 밀집되어 사용되는 경우에는 확대머리철근을 사용하여 시공성 개선뿐 아니라 재료비 절감과 정밀 시공에 의한 우수한 품질을 확보할 수 있다. 그러나 현행 확대머리철근 설계기준에서는 최대 35 mm 지름의 철근까지로 제한하고 있어 적용이 불가하다. 이러한 제약을 극복하기 위해 550 MPa급 고강도에 57 mm 지름의 대구경 확대머리철근의 정착에 관한 연구가 진행 중이다.

확대머리철근의 적용 부위에 따라 정착 성능이 상이하기 때문에 <그림 3>과 같이 3가지 적용 부위를 대상으로 실험을 수행하였다. 첫 번째는 외부 보기둥 접합부를 모사한 실험으로 확대머리 정착판은 스트럿-타이 모델 방법에 의하면 CCT 절점(Compression-Compression-Tension node)에 위치하게 된다. 이 경우 가장 우수한 정착 성능이 발휘되며, <사진 1-(a)>와 같이 측면 파열 파괴(side-face blowout failure)가 발생된다. 두 번째는 현행 확대머리철근 정착 길이 산정식의 근간이 되는 겹침이음 실험이다. 겹침이음 실험은 철근 정착과 이음 연구에서 가장 보편적으로 사용되는 실험방법으로, 순수 휨이 작용되는 구간에서 이음된 확대머리철근에 일정한 인장력이 작용된다. 실험결과 이음된 확대머리철근의 피

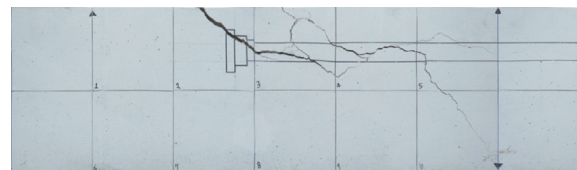
복이 <사진 1-(b)>와 같이 탈락되는 쪼갬 파괴가 발생되었다. 마지막 실험은 최상부 보-기둥 접합부 및 부재 중앙에서 절단된 확대머리철근(cut-off bars)을 모사한 실험이다. 이 경우 확대머리 정착판은 TTC절점(Tension-Tension-Compression node)에 위치한다. 겹침이음 실험과 마찬가지로 피복 콘크리트가 탈락되는 쪼갬 파괴가



(a) Side-face blowout failure of Beam-column joint test

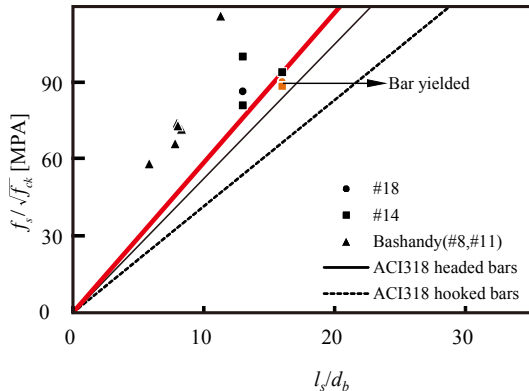


(b) Splitting failure of splice test

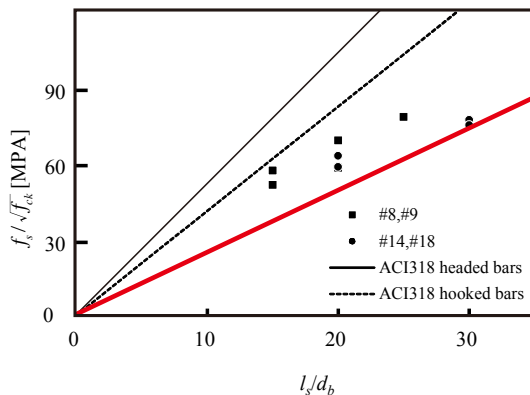


(c) Splitting failure of TTC node test

사진 1. 적용부위에 따른 대표적인 파괴 유형



(a) Beam-column Joint Test



(b) Splice and TTC Node Tests

그림 4. 정착 길이 또는 이음길이별 확대머리철근의 발현 강도

발생되었다.

적용부위에 따른 파괴 유형의 차이는 정착강도의 차이로도 나타났다. 이음실험과 TTC절점 실험은 유사한 파괴 유형을 가지며 확대머리철근에 발현된 정착강도도 유사하였다. <그림 4>는 피복두께 $2d_b$ 를 갖는 확대머리철근에 발현된 철근 응력 $\sqrt{f_{ck}}$ 로 나눈 값을 정착 길이 또는 이음길이별로 나타낸 그래프이다. 보-기둥 접합부에 정착된 확대머리철근은 매우 높은 정착강도를 가지며, 현행 설계기준보다 높은 강도를 발현하였다. 따라서 보-기둥 접합부에서는 550 MPa급 고강도에 57 mm 지름의 대구경 확대머리철근을 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 겹침이음 및 TTC절점에 사용된 확대머리철근은 낮은 강도에서 파괴되었다. 이러한 실험결과는 현행 설계기준을 세분화하여 적용 부위에 따라 정착 길이 설계식을 구분할 필요가 있음을 의미한다.

4. 맺음말

확대머리철근은 철근 콘크리트 구조물에서 과밀 배근이 빈번히 발생하는 접합부에 효과적으로 적용될 수 있다. 또한 프리캐스트 구조의 시공성 개선과 철근 선조립, 합성구조의 시공 상세를 효과적으로 개선할 수 있다. 최근 고강도 대구경 철근과 고강도 콘크리트의 필요성이 높아지고 있으므로 이러한 구조물에 적용 가능한 확대머리철근 설계법의 개발이 절실하다. 확대머리철근의 정착 강도는 콘크리트 인장강도에 크게 의존하므로 최근 개발되고 있는 초고성능 콘크리트(Ultra High Performance Concrete)에서는 매우 우수한 성능을 발현할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 새로운 재료와 새로운 구조 상세에 적합한 확대머리철근 정착 설계법의 개발을 통해 철근 콘크리트 구조물의 정밀 시공과 품질향상을 기대한다. □

담당 편집위원 : 김길희(공주대학교) kimkh@kongju.ac.kr

참고문헌

1. Thompson, M. K., Ziehl, M. J., Jirsa, J. O. and Breen, J. E., "CCT Nodes Anchored by Headed Bars—Part 1", *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No. 6, 2005, 11/12, pp. 808 ~ 815.
2. Thompson, M. K., Jirsa, J. O. and Breen, J. E., "CCT Nodes Anchored by Headed Bars—Part 2: Capacity of Nodes", *ACI Structural Journal*, Vol. 103, No. 1 2006, 1/2, pp. 65 ~ 73.
3. Thompson, M. K., Ledesma, A., Jirsa, J. O. and Breen, J. E., "Lap Splices Anchored by Headed Bars", *ACI Structural Journal*, Vol. 103, No. 2, 2006, 3/4, pp. 271 ~ 279.
4. Dong-Uk Choi, "Test of Headed Reinforcement in Pullout II: Deep Embedment", *Institute Journal of Concrete Structural and Materials*, Vol. 18, No. 3E, 2006, 12, pp. 151 ~ 159.
5. 하상수, 최동욱, 이창호, "반복하중을 받는 외부 보-기둥 접합부에서 작은 헤드를 사용한 Headed Bar 적용", *한국콘크리트학회 논문집*, Vol. 19, No. 4, 2007, 8, pp. 411 ~ 420.
6. 양준모, 권기연, 최홍식, 윤영수, "헤디드 바, 고장력 철근 및 CFRP 바로 전단보강된 세장 고강도콘크리트 보의 전단 거동 평가", *한국콘크리트학회 논문집*, Vol. 19, No. 6, 2007, 12, pp. 717 ~ 726.

7. 윤승조, 이우진, 김상구, 윤용대, 서수연, 김성수, "Head로 횡구속된 편심하중을 받는 R/C기둥의 띠철근비의 영향", 한국콘크리트학회 봄 학술대회, Vol. 18, No. 1, 2006, pp.62 ~ 65.
8. Kang, T. H.-K.; Ha, S. S.; and Choi, D.-U. "Bar Pullout Tests and Seismic Tests of Small-Headed Bars in Beam-Column Joints", *ACI Structural Journal*, Vol. 107, No. 1, 2010. 1/2, pp. 32 ~ 42.
9. 천성철, 이성호, "외부 보-기둥 접합부에 정착된 확대머리철근의 파괴유형과 강도", 대한건축학회논문집, Vol. 25, No. 5, 2009. 5, pp.47 ~ 54.
10. Chun, S. C., Lee, S. H., Kang, T. H.-K., Oh, B. and Wallace, J. W., "Mechanical Anchorage in Exterior Beam-Column Joints Subjected to Cyclic Loading", *ACI Structural Journal*, Vol. 104, No. 1, 2007. 1/2, pp. 102 ~ 112.
11. 日本建築學會, "鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説", 2010. 2, 526 pp.
12. Joint ACI-ASCE Committee 352, Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures(ACI 352R-02), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, USA, 2002, 37 pp.
13. 천성철, 최동욱, 김승훈, 최석환, 문도영, "ASTM A970-09 확대머리철근의 표준과 시험방법", 한국콘크리트학회지, Vol. 23, No. 4, 2011. 7, pp. 64 ~ 66.
14. ISO 15698:2012 Steel for Reinforcement of Concrete - Headed Bars.



천성철 교수는 서울대학교 건축학과에서 철근 기계적 정착의 스트럿-타이 모델에 관한 연구로 박사학위를 취득하였다. 대우건설 기술연구원에서 14년간 근무하였으며, 2014년부터 인천대학교 도시건축학부 부교수로 재직하고 있다. 주 관심 연구분야는 철근을 비롯한 보강재의 이음과 정착, 앵커, 리모델링 구조 보강, 접합부 거동이다. 우리학회 구조설계기준위원회, 표준시방서위원회, 정착이음위원회 위원으로 활동하고 있다.
scchun@inu.ac.kr



최창식 교수는 한양대학교 건축공학과에서 반복하중을 받는 철근콘크리트 저형 전단벽의 이력거동에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 캐나다 Ottawa 대학과 미국 Illinois 대학 및 일본 동경대학교에서 Post Doc. 과 Visiting Scholar를 마친 후 2005년부터 한양대학교 건축공학부 교수로 재직하고 있다. 주요 관심 연구 분야는 정착 등 원전관련 콘크리트구조와 합성구조 및 고성능합성재료개발, 초고성능콘크리트의 개발 및 적용 등이며, 우리학회 연구담당 부회장을 맡고 있다.
ccs5530@hanyang.ac.kr



이병수 차장은 경희대학교 건축공학과를 졸업하고 육군공병단(1175 야공단)에서 군복무를 마치고 한국형 표준원전인 울진3,4호기 및 울진5,6호기 건설현장에서 건축기술업무를 수행하였다. 원전건설현장 경험을 바탕으로 한수원중앙연구원에서 "원전 구조물의 고강도철근 적용기술개발" 연구과제에 참여하고 있으며, 특히 고강도/대구경 확대머리철근의 원전 구조물 적용을 위한 국내 1차 기술기준(KEPIC, ACI, ASME) 코드개정 분야를 담당하고 있다.
lbs.6985@khnpp.co.kr



김상구 전무는 (주)부원비엠에스에 재직 중이며, 총주대학교 건축공학과를 졸업하고 동 산업대학원 석사학위를 수여 받았다. 대한민국 최초로 상온스웨이징나사이음커플러 BMS를 개발하여 산자부 및 건교부로부터 신기술을 지정받았으며, 대한민국 구조제품으로는 유일하게 세계최고층 빌딩인 버즈칼리파(Burj Khalifa)에 적용하였으며, UAE원전에도 적용 중이다. 우리학회의 정착이음위원회에서 활발하게 활동 중이다.
ibmsbar@naver.com