

지진으로부터 국민의 재산과 생명을 보호하다

MARCH

2022

고려대학교 산학협력단

이달의 산업기술상은 산업통상자원부 연구개발(R&D)로 지원한 과제의 기술 개발 및 사업화 성과 확산과 연구자의 사기 진작을 위해 매월 수상자를 선정한다. 신기술 부문은 최근 최종 평가를 받은 R&D 과제 중에서 혁신성이 높은 기술 또는 해당 기간 성과물이 탁월한 기술을 뽑는다. 고려대 산학협력단이 '사회 안전 확보를 위한 700MPa급 철근 활용 내진용 철근콘크리트 개발' 연구과제를 통해 700MPa급 철근을 활용한 철근콘크리트를 개발, 초고강도와 저항복비를 동시에 만족하는 내진철근 합금설계 기술을 활용해 특수 내진용 SD700S를 안정적으로 생산할 수 있는 발판을 마련했다. 이를 현대 내진 건축물에 적용하면 공사 기간을 단축하고 건설원가를 절감할 것으로 기대됨에 따라 영예의 신기술 부문 장관상에 선정됐다.



신기술 부문
산업통상자원부 장관상

INDUSTRIAL TECHNOLOGY AWARDS

이달의 산업기술상

ENGINEERING

고려대학교

지진으로부터 국민의 재산과 생명을 보호하다

2016년 경주에서 리히터 규모 5.8의 지진이 발생한 후 우리나라도 더 이상 지진에 대한 안전지대가 아니라는 인식이 높아지면서 국내 건축물의 내진설계 적용 확대 및 지진으로부터 안전한 건축물을 지어야 한다는 목소리가 커지고 있다. 이에 따라 고강도 내진 철근 및 생산 기술 개발이 추진되고 있는 가운데 고려대 신소재공학부 이준호 교수가 국내 최초로 700MPa급 철근의 내진 성능 확보와 초고강도 내진 철근의 생산 기술 개발에 성공해 국내 철근 생산 기술의 발전은 물론 국민의 사회 안전 확보에 크게 기여할 것으로 기대된다.

조병진 김가남

사회 안전 확보를 위한 700MPa급 철근 활용 내진용 철근콘크리트 개발

이준호 고려대학교 신소재공학부 교수

사업명 신소재핵심기술개발-금속재료
제품명 초고강도 특수 내진 철근 (SD600S, SD700, SD700S)
개발기간 2016. 7. ~ 2021. 4. (58개월)
총정부출연금 6,950백만 원
개발기관 고려대학교 산학협력단
 서울특별시 성북구 안암로 145
 02-3290-1132, lipi.korea.ac.kr

참여연구진 이준호, 이종구, 윤영수, 이명규, 심상철, 심광수, 이진영, 오준석, 김한결, Yuan Tianfeng, 권하연, 김찬양, 이재민, 명동준, 박준우, 최홍진, 정우진, Dereje Degefa Geleta, Shen Lina, Lin Yipeng, 이기정, 최유미, 문지연, 정지석, 장인동, 김기문, Kaushik Bandyopadhyay, 최익균, 이주혁, 최은자, Zhao Lihai, BK Rajeshwar, Ben Ningyu, Siddiqui MD Irtanul Haque, 한인지, 홍세희, 박동휘, 이유희, 정재훈, Iobsang Namgyal, 김민태, 오연주, 김민기, 최진석, 윤경환, 김한수, Ala Manohar, 유선재, 윤경환, 이재훈, 이석영, 박준범, 오기장, 정혜윤, 김보현, 서현진, 오혜민

지진으로부터 국민 안전 확보 기술 개발

2000년대 이후 우리나라에서도 규모 3 이상의 지진이 지속적으로 발생하고 있는 가운데, 경주 지진은 우리나라도 더 이상 지진 안전지대가 아니라는 인식이 사회적으로 확대 되는 계기가 됐다.

2014년 국토교통부 자료에 따르면 국내 건축물 중 34%가 준공된 지 30년 이상 지난 노후 건축물이라 재건축을 통한



국내에서 유일하게 보유한 공초점주사현미경을 이용한 고온인장시험 및 미세조직 실시간 관찰장비로 철강재의 고온 변형에서의 조직 변화를 실시간 관찰할 수 있어 강재 개발에 유용하다.

사회 안전 확보 대책 마련과 함께 특별히 소재적 측면에서 재건축 단지의 고층화와 내진설계를 의무화해 고강도의 특수 내진 철근 개발 및 생산 기술의 안정성 확보가 시급히 요구됐다.

또한 본 연구과제의 기술 개발이 진행되기 전, 시판 중인 철근의 품질조사 결과 해외 수입 제품에서 한국공업표준규격(KS) 품질 기준에 미달되는 불량 제품이 다수 발견되면서 저가 불량 수입 철근 사용에 따른 안전문제를 극복하기 위해 서라도 국내산 철근의 제품 경쟁력을 확보할 수 있는 기술 개발 요구 목소리가 매우 높았다.

이런 가운데 이번 기술 개발 성공은 국내 철근 생산 기술의 발전에 기여하는 것 이상의 기대효과를 가져다 줄 것으로 평가받고 있다. 이와 관련해 개발 총괄책임자인 이준호 교수는 "본 사업은 이러한 국가적·시대적 요구에 부응해 대기업과 중소기업, 대학, 연구소가 협동 융합 연구를 진행한 우수 성공 사례로 기록될 수 있다"고 말했다.

How to

업체별로 조업 환경이 달라 자체 기술로 개발에 나서야 하는 상황에서 한 업체에서 지속적으로 불량 제품이 나오는 문제가 발생했다. 이 업체로부터 조업 데이터를 받아 인공지능(AI)을 활용해 분석을 수행했으며, 조업 조건 중 문제가 되는 구간을 찾아 개선법을 제안했다. 이 방식이 적용돼 요구되는 물성의 제품을 순조롭게 생산할 수 있었다.



고려대학교 신소재공학부 홈페이지 바로가기

고려대학교 공과대학 Korea University College of Engineering



이 사업에는 대표적인 국내 철근 제조업체인 현대제철, 동국제강, 대한제강이 참여해 개발된 제품이 실제 생산, 판매로 이어졌으며, 개발 제품의 시공성 및 안전성 검증을 위해 철근콘크리트의 설계 기준 및 시공 기준을 개발하는 한국콘크리트학회와 철근의 KS 표준개발을 담당하는 한국고속재료연구소가 과제에 참여했다. 또한 고려대, 서울대, 연세대, 성균관대, 포항공대, 서울과기대, 영남대, 인천대와 더불어 국책연구소인 한국과학기술연구원(KIST)과 슬래그 미분화 및 혼화제 개발을 담당하는 아시아특수재료가 참여함으로써 다학제 간 유기적인 협력관계를 통해 단기간에 상업화에 이른 대표적인 산학연 사업으로 평가받고 있다.

초고강도·저항복비, 두 마리 토끼를 잡다

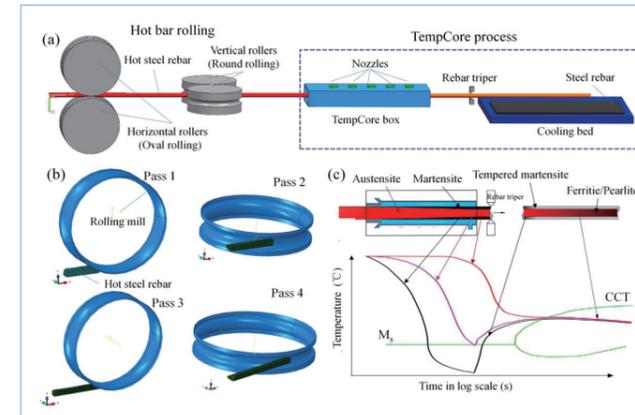
개발 기술에 대해 이 교수는 “본 과제에서는 700MPa급 특수 내진 철근 개발, 제강슬래그를 13% 이상 함유한 60MPa 이상의 저탄소 고강도 콘크리트 개발, 700MPa급 고강도 철근을 활용한 철근콘크리트 내진 구조물 설계 기준 개발 등 3가지 영역의 기술이 개발됐다”고 밝혔다.

먼저 700MPa급 특수 내진 철근 개발과 관련해 철근의 물성을 높여주는 합금원소인 바나듐을 최소량만 첨가하면서

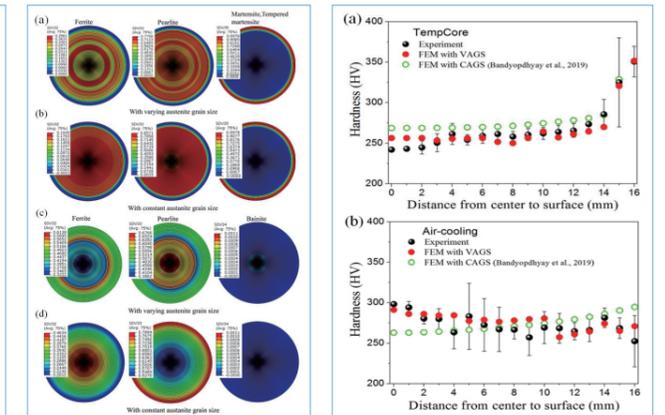
고강도와 고허복비, 연성의 특성을 만족하는 재질로 만드는 것이 핵심 과제였다. 이에 따라 전산모사 기법을 통해 합금 설계와 열처리, 급속냉각 기술을 통한 미세조직 예측 기법을 개발했고, 열역학과 속도론 모델을 기반으로 유한요소기법을 활용한 상변태 해석 및 강도 예측 기법을 개발해냈다. 특히 이 기술을 발표한 논문은 열역학 분야 국제 저명 학술지 Calphad 저널의 2018년 최우수논문으로 선정됐으며, 부상으로 받은 상금 1000달러를 지진 피해 지역에 기부해 화제가 되기도 했다.

다음으로 생산 기술 개발 단계에서는 조업데이터에 기반한 AI 기법을 활용해 요구되는 물성을 확보하기 위한 생산장비 맞춤형 조업 조건을 확립했으며, 이를 바탕으로 각 철근 제조업체의 자체 장비에 적합한 조업 기술을 고도화함으로써 안정적인 생산 기술을 조기에 확보할 수 있게 됐다.

끝으로 고강도 철근을 사용하면 사용량을 줄여 온실가스 배출량을 저감할 수 있는데, 이를 위해서는 콘크리트의 강도를 높임과 동시에 철근 생산 공정에서 발생하는 부산물인 제강 슬래그를 활용할 필요가 있다. 그러나 제강 슬래그를 첨가할 경우 일반적으로는 강도가 낮아지는 문제가 있어 본 연구에서는 슬래그 전처리 기술을 개발하고 최적의 배합비



템프코어 시뮬레이션 모델(Digital Twin)



철근 단면 상 분포(a, b 템프코어, c, d 공냉) 철근 단면 경도 분포(a 템프코어, b 공냉)

설계를 통해 이 문제를 해결하는 데 성공했다.

이에 대해 이 교수는 “본 연구에서 개발된 내진 철근은 국가표준인 KS D 3504에 반영됐으며, 한국콘크리트학회를 중심으로 700MPa 철근을 이용한 구조항목별 최적 설계조건을 검토해 구조물 실험에 따른 철근콘크리트 구조물 저비탄성 내진설계 기준안을 수립했다”면서 “본 연구기술 개발을 통해 사업단 전체에서 논문 43건을 게재하는 한편 특허출원 6건 중 현재 등록 1건, KS 제품인정 5건, 포상 7건을 수상해 기술의 우수성을 국내외에서 널리 인정받았다”고 밝혔다.

성능 향상과 측정 표준화 작업 목표

실제로 건축 현장에서 고강도 특수 내진 철근을 활용할 경우 안전성을 확보한 상태에서 건축 원가 절감 및 공기 단축으로 시공성과 경제성을 향상시키는 장점을 갖게 된다. 특히 초고층 건물 건축 시 기존의 부재 단면에 비해 획기적으로 작은 단면의 구조물 건설이 가능해 제반 경비 절감 및 공간 제약을 적게 받아 경쟁력 있는 설계와 시공이 가능하다.

이 교수는 “본 과제 개발 이후 국내에서 600MPa급 내진 철근이 일반화함에 따라 700MPa급 강종의 활용에 대한 국제적 인식이 고취되고 있다”며 “이에 따라 ISO TC 17/S C 16 위원회에서 700MPa급 철근의 등록이 제안돼 현재 700MPa급 철근의 기준이 개정됐으며, 지진이 빈번한 일본도 2020년 685MPa급 내진 철근을 JIS G 3112에 편입시켰다. 그리고 미국의 경우 ASTM A706에 항복강도 690MPa급 내진 철근을 신설할 예정”이라고 설명했다. 아울러 “본 과제를 통해 개발된 초고강도 내진 철근 생산 기술은 바나듐

사용량을 최소화함으로써 경제성을 높이는 등 다른 나라의 내진 철근과는 차별성이 있기 때문에 수입 제품에 대한 기술적 우위를 확보했음은 물론이고 향후 해외 시장 진출에도 유리한 토대를 구축할 것으로 판단된다”고 말했다.

향후 사업화 전망과 관련해 이 교수는 “본 연구에서는 연구실 수준에서 개발된 600MPa급 특수 내진 철근(SD600S)의 상용화 기술 개발을 진행해 조기 상업화에 성공했다. 이렇게 개발된 SD600S는 매년 수요가 약 30%씩 증가하고 있으며, 현재까지 1200억 원의 매출 실적을 올리고 있다. 특히 국내 건축물의 내진설계 적용 의무화가 확대되고 지진으로부터 안전한 건축물을 건설하는 사례가 증가함에 따라 초고강도 내진 철근에 대한 수요가 높아질 것으로 기대하고 있다”면서 “행정안전부 공공 시설물의 경우 내진 성능 향상을 위한 5년 단위 기본 계획이 수립됐으며, 2025년까지 공공시설 내진을 80.8% 달성을 목표로 하고 있어 본 기술 개발을 통해 내진용 철근 수요 증대에 적극적으로 대응할 수 있게 됐다”고 밝혔다.

마지막으로 앞으로의 계획 및 목표에 대해 이 교수는 “700MPa급 특수 내진 철근이 KS에 반영됐기 때문에 콘크리트 구조설계 기준 개정 후 점차적으로 사용량이 증대될 것으로 예상된다”면서 “다만 현 단계의 KS에는 최근 내진설계에서 주목받고 있는 균일 연신율에 대한 측정 조항이 없기 때문에 향후 해당 제품의 안전성을 더욱 향상시키기 위해 철근의 균일 연신율에 대한 영향인자를 파악하고, 실제 성능을 향상시켜 이를 표준화하려는 목표를 갖고 있다. 이외에도 고강도 철근을 비롯한 다양한 고강도 강재를 모둘러 건축물에 사용할 계획도 추진하고 있다”고 밝혔다.



MPa

메가파스칼. 콘크리트 강도 단위. 1MPa는 단위면적(1cm²)당 10kg의 하중을 견딜 수 있는 강도를 말하며 통상 40MPa 이상의 콘크리트를 고강도 콘크리트, 100MPa 이상의 콘크리트를 초고강도 콘크리트로 분류한다.

왼쪽 상단부터 시계방향으로 이준호 교수 연구실 소속의 심광수 실장, 김은주, 김하은, 박지우, Bo Jin, Dereje Degefa Geleta 박사, 박현우, 이준호 교수, 서인국 산학중점교수, 박동희

