

콘크리트 시공기술의 비전

Vision for Concrete Construction Technology

이한승 Han-Seung Lee
한양대학교 건축학부
교수

백현호 Hyunho Baek
현대건설 건축사업본부
CS센터 차장

김규동 Gyu-Dong Kim
롯데건설(주)
제2롯데월드 현장 수석

김광수 Kwang-Soo Kim
현대건설 화명대교
현장소장

1. 머리말

최근 콘크리트 시공기술은 콘크리트가 반제품이라는 특성상 구조물 주변 환경, 구조물 구조형식, 적용 거푸집의 종류 등 제반 시공 조건에 대응하며 눈부시게 발전하고 있다. 특히, 건설 구조물의 대형화, 고층화, 다양화, 특수화에 따라 콘크리트 시공기술은 지속적으로 발전되고 있으나 각 기술의 장단점 및 발전방향을 탐색할 여유도 없이 다른 기술로 이전되고 있어 이를 정리하여 금후의 발전방향을 탐색할 필요가 있다. 또한, 현장에서의 시공기술이란 경제성과 현장 적용성을 바탕으로 선정되기 때문에 현실적인 시공기술 발전방향을 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다. 이러한 측면에서 본 고에서는 현재 시점에서 건설현장의 콘크리트 시공기술 현황을 살펴보고 이를 기반으로 콘크리트 시공기술의 발전방향을 알아보려고 하였다. 원고 집필은 건축 및 토목 현장 전문가와의 대담 및 서면을 바탕으로 최대한 원고를 가공하지 않음으로써 현장에서의 최신기술 현황과 금후 발전방향을 체감하고자 하였다.

2. 콘크리트 거푸집 시공기술 비전

철근콘크리트(RC)조 구조물은 거푸집의 형상에 따라 모양이 형성되기 때문에 거푸집 재료 및 시공법의 선정은 매우 중요하다. 특히, 거푸집 공사는 구조체 공사비의 약 30~40%, 전체 공사비의 약 10%를 차지하는 최대 단일공정이며, 마감 및 설비 공사 등 후속공사에 미치는 영향이 매우 크다. 건축분야에서 아파트 건설의 경우 <그림 1>에 나타난 것처럼 내부벽체는 유로폼, 슬래브는 내수합판, 외부벽체는 갱폼의 공식화된 거푸집 공법이 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근 아파트 평면 및



그림 1. 철근콘크리트(RC)조 거푸집의 종류

마감에 있어 소비자들의 요구가 다양화 되고, 아파트 형태가 판상형에서 탑상형으로 변화되면서 고층화가 추진되고 있다. 이에 따라 골조공사에서는 내부벽체 및 슬래브는 AL-Form, 외부벽체는 ACS(automatic climbing system, 주로 40층 이상 유압 자동 상승) 폼이나 GCS(guide-rail climbing system, 주로 30~40층 내외, 레일을 따라 타워크레인으로 인양) 폼의 사용이 확대되고 있다. 최근 세계에서 2번째로 높은 건물로 지어지는 '롯데월드타워'에는 이러한 '무교체 자동 상승(ACS) 거푸집'이 적용되어 자체 발판에서 모든 거푸집 작업과 철근 작업 그리고 콘크리트 시공을 할 수 있게 되었다. 또한, 이러한 ACS Form은 콘크리트 타설 후 다음 위층까지 유압 시스템으로 자동 인양돼 안전 시공은 물론 공기 단축까지 가능해진 장점을 가지고 있다. 또한 이곳에 적용되는 ACS Form은 특수 플라스틱 재질이 적용되어 기존 거푸집에 비해 2배 이상으로 내구성이 강해 200회 이상 전용이 가능하다. 123층을 시공하는 기간 동안 거푸집 교체없이 처음부터 공사완료시까지 공사 진행이 가능해져 1개월 정도의 공기가 단축될 것이라고 보고하고 있다. 또한 공사에는 'Auto Sliding System'이 활용되어 1층에서 123층까지 경사면을 따라 평면이 줄어드는 것으로 구조에 따라 작업발판이 같이 줄어드는 시스템을 적용하고 있다. 이와 같이 콘크리트 시공을 위한 거푸집 시공기술은 건설생산성 및 정밀도 향상을 위하여 거푸집의 유닛화, 시스템화, 대형화, 기계화, 자동화 및 내구성 향상 기술 개발에 초점을 두고 있으며, 소음 환경문제를 해결하기 위하여 거푸집 해체에 의한 소음 저감 공법도 함께 개발되고 있다.

한편, 토목분야에서 사장교와 현수교 주탑은 콘크리트 구조로 계획하는 것이 경제성을 비롯하여 많은 측면에서 유리한 것이 사실이다. 그러나 콘크리트 고소 압송을 위한 장비의 성능향상과 함께 재료기술이 확보되는 경우 콘크리트 주탑이 갖는 약점중의 하나는 공사기간의 문제이다. 거푸집 이동과 설치, 그리고 철근 조립과 콘크리트 양생이 반복되는 주탑시공 과정은 강제 주탑에 비해 다소 긴 시공시간과 많은 인력을 필요로 한다. 국내에서는 고주탑 시공을 위하여 ACS를 쓰거나 Slip Form을 쓰게 되는데, Slip Form이 공사 단축에 효과적이다. 그러나 시공품질 문제와 24시간 작

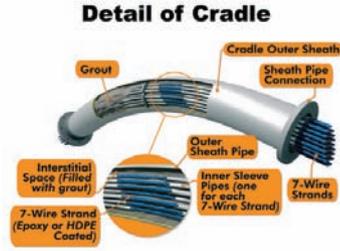
업에 따른 현장관리의 어려움을 완전하게 극복하기는 어렵다. 결국, 콘크리트 고주탑의 공기 단축문제는 앞으로도 지속적으로 분석되어야 할 과제가 되고 있다. 울산대교의 주탑은 ACS를 적용하여 전체 주탑의 완성을 앞두고 있는데, 각 단계별로 산출된 공사기간의 편차가 있어 정확한 표준 공기의 산출은 어렵다. 그러나 콘크리트 주탑 시공을 위하여 소요되는 공기가 지속적으로 단축되고 있는 것은 분명하다. 근로자의 숙련도와 효율적인 작업관리는 개별 시공현장에서 노력할 문제이나 주탑의 시공높이를 증가시키고 공사기간을 단축하기 위하여 기계적 시스템이 미치는 영향 또한 작지 않으므로 이에 대한 건설기술자의 관심도 필요하다고 하겠다.

3. 콘크리트 타설 시공기술 비전

건축분야 아파트의 경우, 콘크리트 타설은 레미콘과 펌프카 장비의 보급으로 인력 중심에서 기계화 타설로 변화하고 있다. 지하층과 아파트 저층에서는 펌프카의 붐대로 원하는 부위에 철근배근의 손상 없이 직접 타설을 하고 있으나 골조공사의 진행에 따라 보통 7~8층 이상에서는 콘크리트 압송관을 수직 배관하여 타설한다. 과거 슬래브 위에서 콘크리트의 수평 압송배관이 타설압에 의해 변위가 생기면서 기 시공한 철근배근을 훼손하는 경우가 많았으나 근래에는 콘크리트 분배기가 보편화 되면서 타워크레인으로 양중 및 위치이동을 하고, 붐대를 리모컨으로 조작하면서 철근배근의 훼손 없이 양질의 시공이 가능하게 되었다. 또한, 지하주차장과 같은 경우 상대적으로 면적이 넓어 거푸집 설치 및 콘크리트 타설에 시간이 많이 소요되고, 기온과 우천 등의 날씨 영향, 여러 공장의 레미콘 투입에 의한 하루 타설 물량 과다로 균일한 콘크리트 품질의 확보가 힘들어 준공 후 균열 및 누수 발생이 빈번해져 <그림 2>와 같은 공기 단축 및 고품질의 콘크리트를 위한 HALF-PC 공법이 점차 확대되고 있는 실정이다. 다만, 부재간 접합부위가 방수에 취약하다는 단점은 지속적인 개선이 필요한 부분이라고 할 수 있다. 한편, 토목분야 사장교 고주탑 시공에서도 시공장비와 배합기술의 발달로 콘크리트의 압송범위가 크게 증대되고 있는데, 국내의 경우 이순신대교 270m, 해외



(a) 아파트 지하주차장 Half-PC 공법



(b) Maumee교의 주탑측 Cradle



(c) Maumee교의 PC 박스 거더 시공

그림 2. PC 및 Half-PC 시공 사례

에서는 러시아의 리스키교가 321m로 건설되었다. 콘크리트를 이용한 고주탑 시공기술이 발전하면서 공사 기간이 매우 부족한 경우를 제외하고는 강주탑에 비해 콘크리트 주탑에 대한 선호도가 더욱 높아지고 있다. 특히, 국내 연구진은 400m급 고주탑 콘크리트 적용을 목표로 관련 기술을 개발하고 있어 이러한 추세는 더욱 두드러질 전망이다. 해외에서도 콘크리트 교량의 건설은 꾸준히 지속되고 있으며, 다양한 시공기술들이 개발되고 있다. 전체 건설시장 규모에 비해 케이블 교량건설이 최근에 상대적으로 작았던 미국의 경우에도 콘크리트 사장교 관련 기술은 지속적으로 개발

되고 있다. Cradle System과 프리캐스트 부재를 적절하게 활용한 Maumee River Bridge의 경우에서도 콘크리트교의 시공 효율성을 개선하기 위한 노력들이 확인되고 있다. 따라서 구조물의 초고층화, 대형화 및 고성능화에 따라 콘크리트 타설 시공기술은 초고층까지 콘크리트를 타설하는 기술, 대량으로 콘크리트를 연속 타설하는 기술, 철근배근을 손상하지 않고 콘크리트를 타설하는 기술 등으로 장비와 시공기술이 개발되고 있다. 이에 따라 <표 1>에 나타난 것처럼 타설 장비의 현대화 및 고성능화와 함께 콘크리트 이송배관 및 분배장치가 발전되고 있다.

표 1. 콘크리트 타설 시공 기술 발전 추세

콘크리트 타설 기술 분야	콘크리트 타설 요소 기술	콘크리트 타설 시공 기술 발전 추세	타설 시공 사진
콘크리트 타설 장비의 현대화 및 고성능화	콘크리트 펌프카	현재 가장 보편적으로 사용하는 콘크리트 타설 장비이며, 타설 붐의 길이에 따라 그 성능을 판단할 수 있고, 과거 24m 짧은 붐에서 근래 50m를 증가하는 대규모 고성능의 장비가 개발되고 사용 중이다. 최신장비로는 외국 유명 장비회사에서 60m 이상의 초고성능 장비를 개발하고 그 성능이 발전되고 있다(중국 SANY 중공업:72m 펌프카 개발).	 〈Pump Car 시공 사례〉
	이동식 펌프	10층 이상의 고소부위나 펌프카 접근이 곤란한 위치에 콘크리트를 타설할 경우 압송배관을 설치하고, 그 배관과 콘크리트 호퍼를 연결하여 타설하는 장비이며, 배관길이에 적합한 성능의 펌프를 사용해야만 한다. 최대 수평 500m, 수직 200m 길이까지 압송이 가능하며, 높은 압력을 부담할 수도 있고, 무엇보다 이동이 가능하다는 장점을 가지고 있다.	 〈Concrete Moli Pump〉
	고정식 펌프	30층 이상의 고소부위나 압송거리가 500m 이상인 위치에 콘크리트를 타설할 경우 설치/고정된 압송배관과 콘크리트의 호퍼를 연결하여 타설하는 장비이며, Moli와 동일하게 압송높이와 타설시 시공 생산성(시간당 토출량)을 검토하여 펌프 사양을 결정해야만 한다. 초고층 구조물이나 장대 교량 등의 시공에 필수적인 장비이다. 특히, 100층 이상, 500m 이상의 초고층건축 시공에는 초고압 펌프가 적용되고 있으며, 외국 유명사 독일의 Putzmeister, Schwing과 중국의 SANY 등에서는 1km 높이까지 콘크리트를 쏟아 올릴 수 있는 Capacity의 초고압 펌프에 대한 기술개발이 진행되고 있다.	 〈초고압펌프: 최대출력 571kW, Putzmeister사〉

콘크리트 타설 기술 분야	콘크리트 타설 요소 기술	콘크리트 타설 시공 기술 발전 추세	타설 시공 사진
콘크리트 이송배관 및 분배장치의 고도화	콘크리트 이송 배관	콘크리트 이송배관은 그 두께와 연결부의 상세에 따라 그 성능이 결정되며, 곡관부의 개수나 형상과 같은 배관시스템에 대한 최적설계와 Lay-Out이 중요한 요소로 작용한다. 지금까지 주로 사용하던 배관은 두께가 4~6mm, 그 직경이 5인치이고, 그 배관연결은 단순 맞댐이음 후 클램프로 연결해주는 방식(통상 SK Type)이 사용되어 왔으나 초고층 시장의 확대에 의해 고압에 저항하는 배관 시스템으로 두께 8~11mm, 직경이 5~6인치 배관을 사용하고 그 연결도 암수연결 방식과 고압 클램프의 적용(통상 ZX Type, 버즈 칼리파 실적)되고 있다. 기존의 일반 배관은 최대 압력 150bar까지 저항할 수 있으며, 6인치 11mm 배관의 경우 250 bar 이상까지 부담할 수 있다. 특히 고강도 콘크리트를 사용하는 400m 이상의 초고층에서 구조물에서는 타설 시의 생산성, 즉 시간당 타설량과 배관 내의 압송부하를 고려할 때 6인치 배관이 적극적으로 검토되어야 할 것으로 판단되며, 그에 부수적인 배관 역세서리도 적극적으로 개발되고 있는 추세이다.	  <p>〈초고층 배관 시스템 계획 사례〉</p>
	콘크리트 분배기	타설 면적이 넓은 슬래브에 주로 사용되는 장비로써 일반적으로 배관만을 연결할 시공하는 경우보다 시공 생산성이 우수하며, 타설면 적에 따라 분배기 크기를 결정하여 사용하고, 그 크기를 증가시킬 경우 하중 증가에 따른 분배기의 하부 프레임의 지지구조에 대한 구조 안전성이 적극적으로 검토되어야 한다.	 <p>〈Rotary Distributor 이용 타설 전경〉</p>
	콘크리트 플레잉 붐	콘크리트 분배기와 동일하게 배관연결을 통해 콘크리트를 타설하는 장비이나 붐대를 소요 타설 부위까지 자유로이 이동하여 타설할 수 있는 장점을 가지고 있다. 예전에는 타워크레인과 동일한 방식으로 카운트 웨이트가 있고 붐대가 마스트에 부착되는 방식이었지만, 최근에는 카운트 웨이트 없이 마스트 단독으로 붐대를 지지할 수 있는 장비가 개발되어 현업에 많이 적용되고 있는 실정이다. CPB 또한 그 붐대의 길이에 따라 타설 반경을 결정할 수 있으며, 일반적으로 30m 전후의 붐길이와 10m 전후의 자립고를 가지지만 최근 들어 붐길이와 자립고를 더 높게 할 수 있는 기술개발이 진행되고 있다. 또한, 이러한 CPB는 초고층 시공에 있어서 필수 타설 장비이며, 상부로 Climbing 하는 방식을 ACS 거푸집형태 또는 슬래브 지지 방식 등 구조물의 형태에 맞게 최적화하는 기술이 발전되고 있다.	  <p>〈CPB 이용 고층부 콘크리트 타설 전경〉</p>

4. 콘크리트 다짐 및 양생 시공기술 비전

현장으로 운반되어온 콘크리트를 거푸집에 밀실하게 충전하기 위해서는 다짐 시공이 매우 중요하다. 또한, 다짐이 충분히 완료된 후에는 충분한 양생이 되어야만 소정의 콘크리트 성능을 발휘 할 수 가 있다. 이러한 측면에서 <표 2>와 같이 현재 활용되고 있는 콘크리트 다짐 및 양생기술의 발전 추세를 요약하였다.

5. 맺음말

최근 들어 콘크리트의 시공은 장비의 현대화와 재료기술의 발전 및 공법의 다양화를 통해 그 발전을 거듭하고 있는 실정이다. 특히 초고층과 같은 특수 구조물은 고성능 콘크리트의 재료기술을 기반으로 압송장비와 압송배

관 및 타설 장비의 현대화를 통해 600m를 넘는 위치까지 한번에 콘크리트를 쏘아 올려 시공할 수 있는 기술수준까지 이르렀다. 향후의 초고층이나 초장대 교량 등과 같은 특수 구조물의 원활한 콘크리트 시공을 위해서는 고성능 콘크리트의 저점도화를 통한 압송부하의 저감이 필수적 요소기술로 개발되어야 하고, 압송장비와 압송배관의 고내구성화 및 경량화를 통한 시공 용이성을 향상시켜야 하며, 타설장비의 자립에 대한 안전성 개선과 자동화를 위한 기술개발이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 구조물 특성에 맞는 양생방법의 해석기술 개발과 양생재료의 사용성과 경제성 및 내구성 개선을 위한 기술개발이 추가적으로 수행되어야만 고품질의 구조물 시공이 지속가능해질 것으로 판단된다. 

담당 편집위원 : 이한승(한양대학교) ercleehs@hanyang.ac.kr

표 2. 콘크리트 다짐 및 양생 기술 발전 추세

다짐 및 양생 기술 분야	다짐 및 양생 요소 기술	콘크리트 다짐 및 양생 기술 발전 추세	다짐 및 양생 시공 사진
콘크리트 충전성 향상 기술	무다짐 콘크리트, 자기충전 콘크리트, SCC Consolidating Concrete	구조물이 복잡 다양해지면서 과밀배근 및 기타 간섭이 많아서 다짐이 곤란한 경우나 도심지 대규모 타설시, 타설 시간 및 인력의 절감, 민원 예방 및 품질확보를 위해 무다짐 콘크리트의 사용이 증가하고 있다. 재료 특성상 별도의 다짐이 없고, 자중이 없어도 그 충전성이 우수하고 고품질의 시공이 가능하게 하는 장점을 가지고 있다. 특히, 초고층 대규모 매트기초(타워팰리스, 버즈 칼리파, 롯데월드타워 등)의 시공에 다수 적용되고 있으며, 초고층 구조물 상층부의 고강도 고유동 콘크리트에 필수적으로 적용되고 있다.	 (매트기초 무다짐 콘크리트 시공 전경)
	고주파 진동기	건축현장의 대형화 추세와 고성능 콘크리트의 사용 증가에 따라 구체의 일체성 확보와 밀실시공의 목적으로 고주파 진동기의 사용이 증가하고 있으며, 이는 진폭은 작고 진동수가 커서 콘크리트 충전효과를 증진시킴으로 고품질의 구조물 시공을 위한 노력이 증가하고 있다.	 (고주파 진동기)
콘크리트 양생 기술	보온 양생	초고층 공사의 경우 층당 3일 또는 4일 사이클과 같은 공정속도와 시스템화 된 거푸집(ACS Form 등)의 사용, 부재의 대형화와 같은 특수성을 가지고 있으므로, 현장 여건에 최적화된 양생재료와 방법이 적용되어야 한다. 시공속도를 고려할 때, 가능한 범위 내에서 습윤양생을 기본으로 하되, 거푸집 존치 기간의 재고, 고품질의 피막양생제 사용 및 안정적 강도확보 등에 대한 기술적 검토가 수반되어야 한다. 매트기초와 같은 대형 매스 콘크리트 부재의 보온양생과 동절기 한중 콘크리트의 양생 재료로써 버블시트와 같은 새로운 양생재료가 과거의 양생포를 많이 대체하고 있다.	 (동절기 버블시트 보온양생)



이한승 교수는 동경대학 대학원 건축학과에서 박사학위를 취득한 후, 현재 한양대학교 ERICA 캠퍼스 건축학부 교수로 재직 중이다. 우리 학회에서는 이사로서 학회지 편집 부위원장으로 활동하고 있으며, 최근에는 콘크리트 내구성 향상, 철근 부식 및 방식, CO₂ 및 PCM을 활용한 친환경 건축재료 개발, 구조물 보수·보강 연구를 수행하고 있다.
ercleehs@hanyang.ac.kr



백현호 차장은 한양대학교 건축공학과를 졸업한 후, 현대건설에 입사하여 현재 건축사업본부 CS센터 강남 사무소에 근무 중이다. 부산 아시아드 선수촌 아파트, 서초동 현대슈퍼빌, 화성동탄 하이퍼리온 등 주로 공동주택과 주상복합 신축공사를 수행하였으며, 초고층 및 TOP-DOWN(SPS 공법 등) 공사를 경험하였다.
skyho71@hdec.co.kr



김규동 부장은 한양대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득한 후, 현재 롯데건설(주) 잠실 롯데월드타워 현장의 품질기술팀장으로 재직 중이다. 고성능 콘크리트 재료기술연구와 실무적용 분야의 핵심기술 전문가이며, 특히, 세계 최고층 건물인 부르즈 칼리파 시공 시 고성능 콘크리트의 배합설계, 품질관리, 시공관리 및 세계 최고높이의 압송기술관리를 담당하였다.
concrete123@lottenc.com



김광수 박사는 서울대학교 토목공학과에서 박사학위를 취득한 후 현대건설에 입사하여 기술연구소와 토목환경기술개발실에서 근무하였다. 파형강판 복합교량, 복합 트러스교 등 복합구조 교량과 함께 콘크리트 사장교에 대한 연구를 수행하였다. 이후 콘크리트 사장교인 화명대교 현장소장으로 근무하였으며, 현재는 현대건설 토목환경해외사업실에서 해외 입찰팀장으로 근무중에 있다.
biocon@hdec.co.kr