

경량골재 콘크리트의 일본 시공사례

Construction Applications of Lightweight Aggregate Concrete in Japan



최지선 Ji-Sun Choi
현대건설 연구개발본부
E-mail : jsunchoi@hdec.co.kr



하주형 Ju-Hyung Ha
현대건설 연구개발본부
E-mail : jhha@hdec.co.kr



나옥빈 Ok-Pin Na
현대건설 연구개발본부
E-mail : okpin.na@hdec.co.kr



한승철 Seung-Chul Han
현대건설 연구개발본부
E-mail : hansc@hdec.co.kr

1. 서언

철근콘크리트 구조물의 초고층화, 장경간화에 따른 재료적 대응 방안으로 우선 콘크리트 강도를 고강도화하여 부재단면을 축소시켜 자중을 저감할 수 있고, 또는 콘크리트 단위중량을 작게 하여 구조물을 경량화하는 방안이 있다. 그 중에서도 본 고에서는 경량효과가 우수한 경량골재를 활용하여 콘크리트 단위중량을 저감하는 방법에 대해 알아보하고자 한다. 가장 활발하게 적용되고 있는 일본의 일부 사례를 중심으로 서술하였다.

일본의 경량골재 콘크리트 역사를 살펴보면 1947년 도쿄대학 하마다 박사가 천연경량골재를 활용한 경량콘크리트에 대해 연구한 것을 시작으로 1955년 JIS A 5002에 구조용 경량골재에 관한 규정이 신설되었다. 1960년대에는 인공경량골재 기술이 미국에서 도입되어 1964년에 인공경량골재가 제조되었고, 1966년에 인공경량골재협회(ALA)가 설립되었다. 1978년에는 건축학회에서 경량콘크리트 배합 및 시공지침이 제정하여 경량골재 콘크리트에 대한 시공/품질 기준을 확립되었다. 이런 과정을 통해 1980년대부터 인공경량골재의 구조물 적용이 활발해졌으며, 고성능 경량골재 개발까지 진행되었다.¹⁾

고성능 경량골재의 용도는 다음 [표 1]과 같다.

[표 1] 고성능 경량골재 용도(예)²⁾

구분	발생처		고성능경량골재 사용에 따른 장점
토목	현장타설	교량(상부공)	하부공 및 기초의 부담 저하
		해양구조물(부유체)	자중저감으로 경제적 부유체구조물 설계
	증축, 확장, 내진보강	자중증가 최소화	
Precast	도로, 철도의 PC거더, 세그먼트, 수로	운송적재량 증가로 운송 효율 상승 및 소형중장비로 시공이 가능하여 작업효율 향상	
건축	현장타설	슬래브, 기둥, 보	벽체, 기초의 부담 저하
	Precast	커튼월	초경량, 고강도로 기존 제품과 차별화 가능
		PC 내진벽	기존구조물의 기초 부담 최소화 설치 및 철거 작업 용이
		주택용 PC 기초, 각종 PC 제품	소형중장비로 시공이 가능하여 작업효율 향상

이와 같이 일본에서는 자중저감, 기초의 부담저하, 소형장비 활용 등의 장점을 가진 경량골재를 토목, 건축 등의 건설사업에 폭넓게 적용하고 있다. 본 고에서는 일본의 인공경량골재를 활용한 경량골재 콘크리트의 적용 사례에 대해 살펴보고자 한다.

2. 시공사례

2.1 도쿄도 제1본청(1991)³⁾

도쿄도 본청은 지상 243m의 초고층 건축물로 직경 6.4m의 거대한 기둥과 높이 4m의 거대 보로 이루어졌으며, 2층부터의 데크플레이트 슬래브에는 경량골재콘크리트가 적용되었다. 설계, 재료, 시공, 환경 등에 대한 이슈를 폭넓게 검토하고 콘크리트 품질 확보 및 성공적인 시공을 위해 1988년 5월에 이 건축공사에 관한 콘크리트기술위원회가 조직되었다. 공사 개요 및 구조물 전경은 [표 2]에 나타내었다.

본 공사에 적용된 기초 매스콘크리트, 일반 콘크리트, 경량골재 콘크리트의 개요를 [표 3]에 나타내었다. 최상층까지의 경량골재 콘크리트 압송을 원활히 수행하기 위해 당초 설계 슬럼프 180mm를 210mm로 변경하였고, 펌프압송시의 콘크리트 폐색현상을 방지하기 위해 흡수율을 27~29%로 프리웨팅한 경량골재를 사용하였다. 그 결과 경량골재 콘크리트를 최상층 243m까지 펌프압송을 할 수 있었으며, 압송

[표 2] 도쿄도 제1본청 건설공사 개요

공사명	도쿄도 제1본청 건설공사
공사기간	1988. 03 ~ 1991. 02
높이	243m
층수	지상 48층, 지하 3층
구조	2층 이상 슬래브 데크플레이트(경량골재 콘크리트 적용) 1층 이하 SRC조 / 직접기초 RC조
콘크리트 물량	일반콘크리트 약 67,500 m ³ 경량콘크리트 약 15,200 m ³
시공	타이세이건설, 시미즈건설, 타케나가 외 12사

전 경



도쿄도 제1본청 건설공사 개요

[표 3] 도쿄도 제1본청 콘크리트 개요

콘크리트 공사	매스콘크리트	일반콘크리트	경량골재 콘크리트
적용부위	기초	지하 3층 ~ 지상 2층	지상 2층 ~ 지상 48층
특징	저발열	철근 과밀배근으로 유동화 콘크리트 적용 필요	경량콘크리트 필요
설계기준강도	24 MPa(재령 91일)	24 MPa(재령 28일)	21 MPa(재령 28일)
목표 슬럼프	150 mm	당초 150 mm → 변경 210 mm	당초 180 mm → 변경 210 mm
목표 공기량	4 %	4 %	5 %
사용재료	고로슬래그 시멘트	일반 포틀랜드 시멘트	일반 포틀랜드 시멘트
사용 혼화제	AE 감수제	유동화제, AE 감수제	유동화제, AE 감수제
시공수량	35,400 m ³	32,100 m ³	15,200 m ³
비고	-	-	인공경량골재 적용(Gmax 15 mm, 흡수율 27 ~ 29 %) 기건단위중량 1,850 kg/m ³

전에 비해 압송 후의 평균 슬럼프 값은 약 20mm, 공기량은 1% 정도 저하되었다. 압송 전후의 압축강도는 동일하였으나, 단위중량은 압송 후 다소 증가하였다.

2.2 도호쿠 신칸센 누마쿠나이 교량(2001)⁴⁾

부재의 경량화에 의한 비용절감을 목적으로 도호쿠 신칸센 누마쿠나이 교량(11경간 연속 프리캐스트 박스거더교)의 상부공에 설계압축강도 40MPa의 경량골재 콘크리트가 적용되었다. 본 교량 공사 개요 및 경량골재 콘크리트의 요구성능을 [표 4, 5]에 나타내었다.

본 교량의 콘크리트에는 기존의 경량골재와 비교하여 흡수율을 대폭 저감시키기 위해 내부의 기포를 독립적으로 만든 고성능 경량골재를 사용하였으며, 콘크리트의 펌프압송성의 확보 및 골재의 분리를 억제하기 위해 특수 증점제를 사용했다.

콘크리트 타설전에 강도, 동결융해저항성, 박락저항성, 펌프압송성시험을 통한 고성능 경량콘크리트의 물성 및 시공성

[표 4] 도호쿠 신칸센 누마쿠나이 교량 공사 개요

공사명	도호쿠 신칸센 누마쿠나이 교량	
발주처	동일본여객철도 주식회사 도호쿠 공사 사무소	
시공	센다이 북부도로 타이세이·사토 공동기업체	
공사기간	2000. 02 ~ 2001. 06	
구조	11경간 연속 PSC 박스거더교	
물량	경량골재 콘크리트 3,244 m ³ 외부강연선 195 ton, 철근 375 ton	

[표 5] 경량골재 콘크리트 요구성능

항목	규격	비고
설계기준 강도	40 MPa	굵은골재만 경량골재 사용
배합 강도	48 MPa	재령 28일
단위용적질량	1,850 kg/m ³ 이하	
슬럼프플로우	550±50 mm	펌프압송성을 고려하여 결정
공기량	6 ± 1.5 %	
시멘트 종류	조강포틀랜드 시멘트	

을 확인하였다. 동결융해저항성의 경우 동결융해시험을 통해 300사이클 종료후에도 상대동탄성계수가 80% 이상인 것을 확인하였고, 외기온도 30℃의 높은 기온의 조건에서도 제조 후 2시간까지 유동성이 유지되는 것을 확인하였다.

경량골재 콘크리트의 적용과 함께 외부 긴장방식을 통해 부재두께를 축소시킬 수 있었고, 프리캐스트 상부공의 중량을 약 22% 절감시킬 수 있었다. 경량콘크리트 적용에 따라 콘크리트 재료 단가는 증가했으나, 기초구조에 대한 부담 저감 및 시공 장비의 소형화로 약 10%의 전체 공사비 절감이 가능했다.

또한, PSC부재로서 사용하였을 경우의 처짐특성, 유효프리스트레싱, 크리프량, 건조수축량, 열특성을 실제측하여 설계치와 비교함으로써 타당성을 검증하여 향후 교량에 경량골재 콘크리트 적용을 위해 기초자료로 활용될 수 있도록 하였다.

2.3 센다이 북부도로 3경간 연속 PSC라멘교(2002)⁵⁾

센다이 북부도로 노선공사시 포함된 3경간 연속 PSC라멘교의 가설부분이 연약지반으로 되어 있어 하부공 기초의 규모를 작게 하기 위해 상부공에 경량골재 콘크리트를 적용하였다. 교각 하부에서 교량거더 상부까지 콘크리트의 수직 펌프압송성을 필요하기 때문에 수평환산거리 150m 이상으로 펌프 압송성을 검토하였다. 공사개요는 [표 6]에 나타내었다.

본 공사에 적용할 경량골재 콘크리트에 요구되는 주된 요구성능을 [표 7]에 나타내었다. 펌프압송성 및 대상구조물이 한랭지에 건설되는 것을 고려하여 동결융해작용에 대한 충분

[표 6] 센다이 북부도로 3경간 연속 PSC라멘교 공사 개요

공사명	상부공 공사	
발주처	동일본 여객철도 도호쿠 공사사무소	
시공	센다이 북부도로 타이세이·사토 공동기업체	
공사기간	2001. 02 ~ 2002. 05	
교량 길이	지상 256 m	
구조	3경간 연속 PSC라멘 박스거더교	

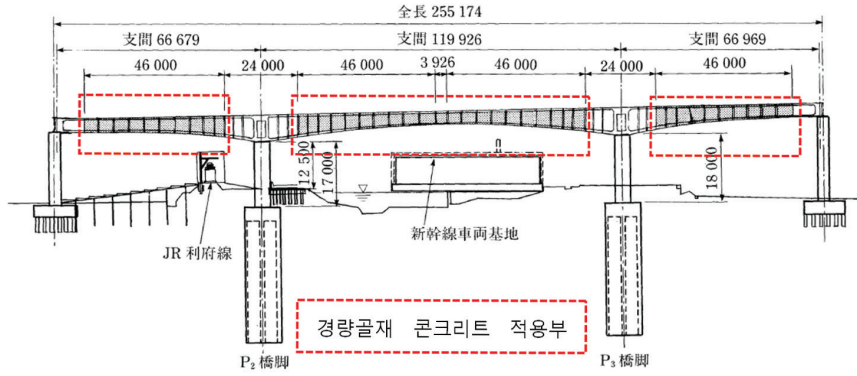


그림 2. 교량측면도

[표 7] 경량골재 콘크리트의 요구성능

항목	목표성능	사전검토시험
시공성	수직펌프압송성 (수평환산거리 150m 이상)	시공성검토 시험 (펌프압송시험)
내구성	우수한 동결융해저항성 (상대동탄성계수 60% 이상)	동결융해시험 (JSCE-G 501)
경화후 물성 (재령28일)	설계기준강도(40 MPa)	실내배합 검토시험
	탄성계수(21 GPa)	
	단위중량(1,800 kg/m ³)	

한 저항성이 있어야 하며 구조설계상 설계기준강도 40 MPa, 단위중량 1,800 kg/m³이 요구되었다. 슬럼프 플로우는 550 ± 50 mm로 하였고 90분간 유지 될 수 있도록 하였으며 탄성계수 21 GPa을 확보하기 위해서는 압축강도가 60 MPa 정도인 배합설계가 필요하였다. 콘크리트 품질 사전검토를 통해 최종적으로 동결융해 저항성이 우수한 배합을 적용하였다.

일본 토목학회 『콘크리트 펌프시공지침』에 따르면 기존의 인공경량골재 콘크리트는 단위시멘트량 280 ~ 350 kg/m³, 슬럼프 120 ~ 180mm의 기준을 제시하고 있다. 그러나 본 시공에서 사용된 경량골재 콘크리트는 단위시멘트량이 많고, 물 - 시멘트비가 작아 기존의 인공경량골재 콘크리트에 비해 관내압력손실이 컸으나, 펌프카로 수평환산거리 150 m 이상의 펌프압송을 원활하게 할 수 있었다.

2.4 초고층복합빌딩 “아베노하루카스” (2013)⁶⁾

본 구조물은 오사카시에 위치한 높이 300 m의 초고층 구

[표 8] 공사 개요

공사명	아베노하루카스
공사기간	2011. 02~2012. 12(경량콘크리트 시공)
높이	지상 300 m
층수	지상 60층, 지하 5층
구조	S조, SRC조
경량콘크리트 물성	단위중량 1,850 kg/m ³ , 강도 21 MPa

전 경



조물로 지하층에는 주차장, 저층부에는 백화점, 중층부에는 미술과 및 오피스, 고층부에는 호텔 및 전망대로 이루어져 있다. 중저층부의 기둥에는 고축력을 지지하기 위해 초고강도인 150 MPa 콘크리트와 고강도 철골을 활용한 CFT 기둥을 적용하였다. 또한, 건물중량의 경량화 및 그에 따른 지진력 저감을 목적으로 지상층 슬래브에 경량콘크리트 (단위중량 1,850 kg/m³, 압축강도 21 MPa) 를 적용하였다. 높이 300m 라는 초고층 압송을 위해 슬립프를 230 mm로 하였고, 펌프 압송(수평환산길이 184 m)을 성공적으로 수행하였다.

경량콘크리트의 적용으로 얻을 수 있는 효과는 기둥의 슬립화 및 기초의 최적화이다. 지상층의 슬래브에 경량콘크리트를 적용하여 일반콘크리트를 적용하였을 경우 7,000 톤 정도의 저층부 기둥의 축력을 6,000 톤으로 저감시킬 수 있었고, 저층부 CFT기둥의 충전콘크리트에 150 MPa 콘크리트를 적용하여 내력을 크게 향상시키고 단면크기를 저감하여 기초

말뚝의 본 수를 줄일 수 있었다.

3. 결론

일본에서 인공경량골재는 토목/건축에서 많은 적용실적 및 활용가능성을 가지고 있으나, 국내에서는 인공경량골재의 품질 변동성, 콘크리트 품질관리의 어려움, 경제성, 펌프압송성 등의 시공상의 문제점 등으로 적용이 이루어지지 않고 있다. 그러나 일본의 사례처럼 사전에 철저한 시험을 통해 물성 및 시공성을 검토하여 시공상에 문제가 없도록 한다면 경량골재 콘크리트의 확대 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 펌프압송성 등의 시공성 확보를 위해서는 인공경량골재의 프리웨팅과 골재의 안정된 품질관리가 필수적이며 경량골재 콘크리트에 대한 더욱 많은 시험과 평가가 이루어져야 토목/건축구조물에 폭넓게 적용이 가능할 것이다.

담당 편집위원 : 고경택(한국건설기술연구원)

참고문헌

1. 笠井芳夫 : 軽量コンクリート, 技術書院, 2002.11
2. 人工軽量骨材協会 : 人工軽量骨材技術資料
3. 地上243mへのコンクリートの圧送—東京都新都庁第一庁舎建設工事—, コンクリート工学 Vol.29, No.12, 1991.12
4. 東北新幹線沼宮内橋への軽量コンクリートの適用, 高性能軽量コンクリートを用いた鉄道橋の施工計画と計測計画—東北幹沼宮内Bi—, コンクリート工学 Vol.40, No.2, 2002.2
5. 長距離ポンプ圧送による高強度軽量骨材コンクリートの施工—仙台北部道路3径間連続PCラーメン橋上部工工事—, コンクリート工学 Vol.40, No.7, 2002.7
6. 軽量コンクリートの高さ300mへの超高所圧送—高さ300m超高層複合ビル「あへのハルカス」—, コンクリート工学 Vol.51, No.8, 2013.8