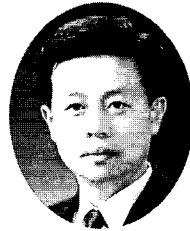


중국 콘크리트 기술의 현황과 전망

- Concrete Technology in China - Today and Future -



김영진*

1. 서론

21세기 거대 시장으로 부상되고 있는 중국은 건설 시장으로서 대단히 큰 매력을 갖고 있으며, 특히 콘크리트 기술 분야에서 중국의 상황을 이해하는 것은 매우 의미가 있다고 생각된다.

오랜 역사를 갖고 있는 중국에서, 광의의 콘크리트는 기원전 5,000년 전부터 사용된 것으로 기록되고 있다. 콘크리트는 중국어로 혼응토(混凝土)라고 하는데, 글자 그대로 혼(混)은 혼합, 응(凝)은 응결이라는 의미이다. 중국에서 근대적 의미의 콘크리트 기술의 역사는 1889년 당산(唐山)에 시멘트 공장이 건립된 때부터 시작된다. 1949년 전까지는 철근 콘크리트의 발전은 완만하고 응용도 활발하지 못했으나, 그 이후에는 도로, 수공 구조물, 특수 구조물 및 건축물에 대한 응용, 이론 및 실험 연구가 급속히 발전되었다.

1952~53년에 프리캐스트 콘크리트가 사용되기 시작했으며, 1954년에는 18m 지간의 PSC 보가 제작되었으며, 1969년에는 주철관을 대용할 수 있는 철근 콘크리트관이 각각 개발되었다.

중국은 1970년대 후반부터 경제 개발 정책을 시행하여, 1980년대에는 경제 건설을 위한 대규모의 시멘트와 콘크리트의 수요가 있었고 이에 따라 생산량도 급증하였다. 1989년을 기준으로 시멘트 생산량은 2억 4000만 톤, 콘크리트 생산량은 2억 500만 m³에 달하고 있다. 도시 건설, 공업, 교통 및 에너지 등에 사용되는 콘크리트는 매년 약 2억 m³ 이상, 시멘트는 약 6,000만 톤으로 연간 생산량의 1/3 이상을 차지하고 있다. 나머지 2/3은 농업 구조물, 도로 및 농촌 주택의 건설 등에 이용되고 있다. 중국 각지의 농촌 지대에는 많은 콘크리트 제품 생산 및 시멘트 공장이 있으며, 여기서 RC관, 교량 부재 등이 생산되고 있다. 본고에서는 이러한 배경을 갖고 있는 중국 시멘트·콘크리트 기술, 콘크리트 제품·구조물의 현황 및 금후의 발전 전망을 중심으로 살펴보고자 한다.

* 정회원, 대우건설 기술연구소 책임연구원

2. 시멘트 기술 현황

1889년 중국에서 시멘트가 자체 생산되기까지는 주로 서양에서 수입하여 사용하였는데, 이런 뜻에서 중국에서는 양탄(洋炭)이라고 칭하고 있다. 1906년부터 1949년까지 중국 시멘트 공업은 완만하게 발전하였는데, 공장은 규모가 작고 단일 품목만을 생산하였고 품질 관리 규준은 없었다. 1952년에 개최된 중국 제1회 시멘트 표준화 회의를 통해 중국 시멘트산업은 다품목화로 발전하게 되었다. 1960년대 말기에 이르러 전문적인 시멘트 생산 설비를 설계하고 제조하는 기업이 등장하게 되어 대형 국영기업, 지방 중소기업도 발전하였다.

시멘트 생산량은 1988년에 2억 톤, 1995년 4.6억 톤에 이르렀고, 1995년 기준으로 시멘트 생산 기업은 6,200여 개에 달하고 있다. <표 1>은 시멘트 생산량 추이이다. 1998년 현재 5.3억 톤에 이르고 있다.

표 1. 중국 시멘트 생산량 (× 10⁴톤)

1908	1949	1970	1980	1985	1995
19.5	314.6	2,800	8,100	14,595	46,000

중국 시멘트 공업의 특징은 생산량이 세계 1위이고, 생산되는 종류도 많다는 것이다. 시멘트는 크게 포틀랜드 시멘트와 특수 시멘트로 구분될 수 있다. 1949년 직후에는 포틀랜드 시멘트만 생산되었고, 강도 구분도 없었다. 다양한 시멘트가 생산된 것은 1950년 이후로서 고로, 포졸란, 油井, 댐 시멘트 등이 생산되었고 1970년 이후에는 플라이 애쉬 시멘트도 생산되었다.

현재 중국에는 등급 275호(하중을 받지 않는 곳), 325호(벽돌 시공), 425호(미장), 525호(고급 미장), 625호(고급 미장), 725호(특수 공사)의 포틀랜드 시멘트와 포틀랜드 고로 시멘트가 일반적으로 사용되고 있는데, 등급의 의미를 등급 275호를 예를 들어 설명하면, 재령 28일 강도가 27.5 N/mm² 이상을 의미한다.

중국은 시멘트 플랜트가 중소형이고, 노동력이 풍부하기 때문에, 범용성이 있는 시멘트의 대량 생산보다는 특수 시멘트의 소량 생산이 가능하며, 조강, 저발열, 무수축, 팽창, 내산 및 내알칼리 시멘트, 혼합 시멘트인 알칼리 슬래그 시멘트, 특수 시멘트인 알루미늄 시멘트, 제3

시리즈 시멘트 등도 생산되고 있다. 이중 제3시리즈 시멘트는 1970년에 개발된 sulphoaluminate 시멘트, 1980년대에 개발된 ferrialuminate 시멘트를 말하는 것으로 주된 조성화합물은 C₄A₃S와 C₂S이다.

3. 콘크리트 및 혼화 재료 현황

중국에는 통상 압축 강도 200~300 kgf/cm²의 보통 및 경량 콘크리트가 일반적으로 사용되고 있다. 경량 콘크리트에는 輕石, 슬래그, 플라이애쉬 陶粒이 사용되고 있다. 고층 빌딩에는 350~450 kgf/cm²의 고강도 콘크리트가 이용되는데, 50층의 Shenzhen 국제무역센터가 그 예이다. 1950년대 말 정도 500~1,000 kgf/cm²의 고강도 콘크리트가 장기간의 PSC 구조에 이용되었다. 철도 관련 PSC 주형에는 300~800 kgf/cm²의 콘크리트가 사용되었다. 시멘트 중량의 10~20%에 해당하는 제올라이트를 이용하여 고강도 콘크리트를 제조하는 기술도 연구되었다.

최근 고분자 수지, 에폭시 수지를 이용한 폴리머 콘크리트가 포장, 화학공장 등에 사용되고 있고, 폴리머 함침 콘크리트가 파이프 라인 등의 방수·방식을 위해 사용되고 있다. 이 외에도 팽창, 수중, 섬유 보강 콘크리트 등도 활발히 이용되고 있다.

혼화제는 1950년대 초에 내동해용으로 CaCl₂와 NaCl이 급결제로서 사용되었다. AE제의 사용은 1955년 武漢楊子江 대교 공사 이후부터이다. 감수제는 개발 초기는 야황산염 펄프 폐액을 원재료로 하였지만, 현재는 나프탈린술폰산염, 멜이라민술폰산염계 등을 주원료로 사용하고 있다. 1970년 이후부터는 고성능 감수제가 개발되어 널리 사용되고 있다. 이 외에도 응결 촉진제, 응결 지연제, 내동결 용해 첨가제 등도 사용되고 있다.

1987년 콘크리트용 혼화 재료의 연간 생산량은 15만 톤에 달하였고, 이 중 약 25%가 구조용 콘크리트의 첨가제로 사용되었다.

혼화재로 고로 슬래그, 화산탄, 플라이 애쉬 등이 있는데, 주로 시멘트 사용량의 절감을 목적으로 사용되고 있다. 플라이 애쉬는 1950년대에 사용되기 시작하여, 생산량이 연간 5,000만 톤에 달하고 생산량의 10%가 혼화재로 사용되고 있다. 시멘트에 혼합되는 혼화제로서 가장 많이 사용되는 것은 천연 제올라이트로서, 중국에서 생산되는 시멘트의 1/3은 천연 제올라이트가 혼입되어 있다. 실리카 폼은 가격이 비싸고 자

원이 부족하여 혼화재로서 보급은 기대되고 있지 않는 실정이다.

중국에서 레미콘의 도입은 비교적 늦었는데, 1984년은 연간 60만 m³이었다가, 그 후 급증하여 1988년에 2,500만 m³, 1990년에 4,000만 m³에 이르렀다. 중요한 플랜트는 일본, 독일, 미국 등에서 수입하였지만, 현재는 시간당 15, 20, 25, 50 m³의 컴퓨터 제어에 의한 자동 또는 반자동의 중국제 플랜트를 사용하고 있고, 생산되는 콘크리트는 대규모의 구조 공사에 사용되고 있다.

상해의 레미콘 사정을 중심으로 보면, 레미콘 공장은 1991년에 28개, 1993년에 38개, 1994년에 100개를 초과하여 1996년부터 최근까지는 120개 정도를 유지하고 있다. 상해시는 중국 최대의 시멘트 소비지로서 연간 1,000만~1,200만 톤에 이르고 있다. 레미콘의 운반 시간은 계약서에 명기하지 않은 경우에는 1.5시간 이내로 하고, 최고 기온이 25℃ 이하의 경우에는 0.5시간 연장할 수 있도록 하고 있다.

콘크리트의 압송 기술은 1970년대에 장치가 수입되어 상해, 북경, 심천 등의 대도시에서 레미콘의 90% 이상이 타설되었는데, 상해전시센터건축에서는 168m의 펌프 압송 높이를 기록하고 있다.

4. 콘크리트 제품 및 구조물

4.1 콘크리트 제품

시멘트 콘크리트 제품은 목재나 강재의 대응으로 1956년부터 본격적으로 개발되었는데, 지금까지 다품종, 다량의 제품이 개발, 생산되어 오고 있다. 이는 목재 및 강재의 부족에 따라 이를 대응하기 위해 주로 사용되며, 주로 시멘트 콘크리트 제품이 주를 이루고 있고 압력 파이프, 프리스트레스트 콘크리트 전주(電柱), 시멘트 및 콘크리트 선박, 콘크리트 침목, 조립식주탁 부재 및 석면 시멘트 보드 등이 대표적인 제품이다.

압력 파이프는 SS(Self-Stressed) 콘크리트 파이프, 프리스트레스트 콘크리트 파이프, 석면 시멘트 파이프 등이 있는데, 팽창 콘크리트로 제작한 SS 콘크리트 파이프가 주종을 이루고 있다.

부분 PC식 주택 부재는 주로 벽체 또는 상판을 대상으로 하고 있다. 이 부재들은 도시 및 농가 주택 건설에 사용되고 있다. 이는 주로 프리캐스트 콘크리트 공장에서 이루어지고, 특히 농촌에 있는 콘크리트 제

품 제조 공장에서도 이루어지고 있다.

4.2 콘크리트 구조물

콘크리트, 철근 콘크리트 구조의 건물, 공장 등이 계속 건설되고 있고, 수백 동의 10~25층의 고층 주택이 상해(shanghai), 북경(beijing), 광주(guangzhou), 심천(shenzhen) 등의 대도시에서 건설되었는데, 주요 건축물은 다음과 같다.

- ① Shun Hing Square office complex
(Shenzhen, 68층, 325 m)
- ② International Trade Center
(Shenzhen, 50층, 161 m)
- ③ Xiancheng Building
(Shenzhen, 218 m)
- ④ Sky Central Plaza
(Guangzhou, 80층, 322 m)
- ⑤ Baiyun Hotel
(Guangzhou, 33층, 115 m)

토목 구조물로는 양자강에 가설된 중경 PSC 도로교는 지간 74 m이고, 황하강에 가설된 사장교는 주경간이 220 m에 달하고 있다. 각종 콘크리트 교량 지간의 기록은 다음과 같다.

- ① 사장교 : Tianjin Yonghe교 (260 m)
- ② 단탑 사장교 : Chongqing Shimen교
(220 + 230 m)
- ③ PSC 연속 라멘교 : Guangdong Luoxi교
(최대 경간 180 m)
- ④ RC 박스 거더 아치교 : Sichuan Fuling Wu River교(200 m)
- ⑤ PSC 연속교 : Guangdong Huizhou교
(최대 경간 124m)

5. 콘크리트 관련 기관 및 연구 개발

5.1 주요 홈페이지

건설 관련 홈페이지 연결은 청화대학(淸華大學) 홈페이지를 이용하는 것이 편리한데, 주요 홈페이지 주

소는 다음과 같다.

- 건설부 : www.cin.gov.cn/jsben
- 철도부 : www.chinamor.cn.net
- 청화대학 : www.tsinghua.edu.cn
- 동제대학 : www.tongji.edu.cn
- 건축재료연구원 : www.chimeb.edu.cn
/MCP/qyfc/jianchai/en

5.2 정부 기관

건설 관련 부서는 대규모 건설 투자 계획을 작성하는 국가계획위원회와 실무 부서인 건설부가 있으며 기타 철도부, 교통부 등 여러 부서가 있고 관련 국으로는 국가건축공업국, 토지관리국 등이 있다. 지방에는 각 성, 시별 건설위원회 및 계획위원회가 건설 발주에 직·간접으로 관여하는데, 이 기관은 행정적으로는 지방 정부의 지시를 받고 있으나 기술적으로는 건설부의 지시를 받고 있다.

5.3 건설회사

중국의 건설기업은 국가 소유, 도시 집체 기업의 시공기업과 정부 산하 기관 직속의 시공기업 및 농촌 建築隊의 3가지로 분류될 수 있다. 시공 건설회사는 정부가 별도로 설립한 건설회사를 제외하고는 대부분 건설 수요 기관에 소속되어 있다. 설계는 별도의 행정 기관인 설계원에서 하고 있다. 이러한 건설 조직은 중앙정부의 건설부와 지방 정부의 건설위원회에서 관리하고 있다.

중앙정부에서 계획한 거대 공사는 대부분 기관 소속 기업들이 수행하고 있는데, 건설부 산하 건설기업으로는 최대 기업인 중국건축공정총공사(中國建築工程總公司)가 있으며, 철도부 산하 철도부 공정총공사가 대단위 프로젝트를 수행하고 있다. 지역별로는 북경시 방산구 건축기업집단공사, 상해건축집단(上海建工集團), 대련시 제1건축공정공사, 광둥성 전력공업국 제1공정공사 등이 있다.

5.4 연구기관, 학회지 및 협·학회

1949년 이전에는 콘크리트 연구는 거의 이루어지

지 않았고, 1953년부터 중국 대도시, 공업 생산 기지에 콘크리트 재료시험 연구기구가 차례로 설립되었다. 북경 청화대학, 동제대학(東濟大學) 등 다수의 공과대학에는 전문적인 콘크리트 기술연구실과 실험기구가 설치되었다. 1950년 초에 설립된 국가 연구기관인 중국건축재료과학연구원(China Building Materials Academy)은 고성능 콘크리트, 시멘트, 혼화 재료를 등을 연구하는 중국 최대의 연구소이다.

한편 콘크리트 기술에 관한 전문 잡지로는 규산염학보(硅酸鹽學報, Jr. of the Chinese Ceramic Society), 중국토목학회지(China Civil Engineering Jr.), 건축구조학보(建築構造學報, Jr. of Building Structures), 특수구조(特殊構造, Special Structures), Industrial Construction, Highway, Concrete and Reinforced Concrete 등이 발행되고 있다.

학회로는 중국토목공정학회(中國土木工程學會, China Civil Engineering Society), 건축계획분야 위주의 중국건축학회가 있다. 특히 중국토목공정학회는 1912년 설립되었는데, 현재 회원은 약 9만 명, 12부문 50개 위원회로 구성되어 있고 전국 30개 성에 지부가 설치되어 있으며, 이사장의 임기는 4년이다.

한편 콘크리트와 관련된 학회는 한국요업학회와 유사한 중국규산염학회(中國硅酸鹽學會)가 있다. 이들 학회와 함께 시멘트 콘크리트 국제회의 등과 같은 전국 규모의 콘크리트 기술대회 및 외국 전문가가 참여하는 콘크리트 기술과 응용에 관한 국제회의가 개최되고 있다.

6. 콘크리트 관련 표준

중국에는 콘크리트에 관한 다수의 설계기준 및 권고가 제정되어 있고, 이는 주기적으로 개정되고 있다. 기준에는 GB J9-87 (Code of Loads), GB J11-89 (Seismic Design Code), GB J10-90 (Design Code for Concrete Structures) 등이 있는데, 이 중 설계기준인 GB J10-90의 목차는 다음과 같다.

- ① 확률 이론에 입각한 한계상태설계법
- ② 평면 유지 가정에 따른 단면 강도 계산
- ③ 압축력, 프리스트레스 힘, 인장력에 의한 전단 강도의 증가 또는 저하
- ④ 전단과 비틀림을 받는 부재의 콘크리트 강도

저감 계수의 도입

- ⑤ 부정 정구조에 있어서 소성 변형에 의한 내력의 재분배의 허용값
- ⑥ 크레인 하중에 의한 단층 공장 건축 거동 평가
- ⑦ 사용 하중 하에 있어서 강성 및 균열 계산
- ⑧ 피로 조사, 압축 응력 분포, 철근 단면적 환산
- ⑨ 프리캐스트 부재, 깊은 보, 브라켓의 계산
- ⑩ 콘크리트 구조 부재에 대한 내진 설계

한편 GB 14902-94 (Ready Mixed Concrete) 에는 레미콘을 통용품(通用品), 특제품(特製品)으로 구분하고 있다.

7. 콘크리트 기술의 금후 동향

금후 중국 콘크리트 기술의 과제로 중국 내에서 부각되고 있는 문제를 정리하면 다음과 같다.

(1) 시멘트 콘크리트의 품질 향상

중국에서 생산되는 시멘트의 약 2/3는 소공장에서 생산되고 있기 때문에, 유리석회(CaO) 함유율이 높고 품질은 낮으며 에너지 소모량은 높다. 한편 시험체의 검사 결과, 프리캐스트 공장에서 생산되는 콘크리트의 합격률은 약 70%이고, 현장 타설되는 콘크리트의 합격률은 약 50%이다.

사용 조건 및 적정 시멘트를 선정하고, 엄격한 품질 관리 및 노동자의 기술 수준을 향상시키는 것이 과제로 되고 있다.

(2) 시멘트 절약, 슬래그 이용 확대 및 자원 개발

중국에 있어서 공업용 슬래그로는 고로 슬래그, فول라이 애쉬 등이 있는데, 연간 배출량이 1억 톤 이상으로 이를 완전히 활용하는 것은 환경 문제나 시멘트 생산량 증대를 위해 중요한 과제로 되고 있다. 지방의

천연 자원의 개발은 건축 재료의 생산뿐만 아니고 농민의 생활 개선에도 중요한 의미를 갖고 있다.

운반시 발생되는 불량 요인, 사용할 때의 부정확한 계량 등에 의해 시멘트의 낭비가 연간 3,000~4,000만 톤에 달하고 있다. 각종 혼화 재료 이용을 확대하고, 콘크리트 제조 기술을 향상시키는 것이 중요하게 고려되고 있다.

(3) 고강도화

현재 중국에서 일반적으로 사용되는 콘크리트의 강도는 200~250 kgf/cm²의 범위이다. 콘크리트의 고강도화에 의한 건설비의 저감 효과는 클 것으로 기대되어, 시멘트의 품질 향상, 생산 및 품질 관리 기술 향상, 혼화 재료 개발 등의 연구로 강도 범위를 300~400 kgf/cm²의 범위로 확대하는 것이 기대되고 있다.

(4) 복합화

요구되는 많은 성능에 대응하기 위해서는 콘크리트 이외의 재료와 복합하여 사용할 필요가 있다. 단열을 위한 석면, 실리카 칼슘 등의 단열재 등과 결합하여 사용하는 것이 연구되고 있다. 효과적인 복합 방법, 경계면의 부착 및 접착 기구, 열 변형 성능, 내열성 등이 주요 관심사가 되고 있다.

(5) 새로운 콘크리트제품의 개발

각종 공사에 요구되는 성능에 대응할 수 있는 새로운 콘크리트 제품의 개발 및 진전은 콘크리트 기술의 장기적인 발전을 위해 중요한 과제로 인식되고 있다.

(6) 각종 콘크리트 혼화제의 발전과 이용

콘크리트 혼화제는 콘크리트의 품질 향상 및 시멘트의 절약에 유효하지만, 현재 그 생산량은 작은 편이다. 향후 고성능 감수제를 중심으로 각종 혼화제의 개발이 이루어질 필요성이 강조되고 있다. □