

中國의 콘크리트 應用 및 研究現況

李 承 懃 (譯)

〈韓國洋灰工業協會 技術課 代理〉

1. 개 요

중국은 1876년부터 시멘트를 생산하기 시작하여 해방전에는 철근 콘크리트의 발전속도가 완만하고 기술자도 많지 않았으나 戰後에는 건물, 도로, 水工構造物 등 특수 구조물에 대한 응용과 그에 따른 이론 및 실험연구가 급속하게 발전하였다. 이른바 葛洲壩(Gezhou)댐에서의 콘크리트 사용량은 1,115 만 m^3 에 달한다. 1952~1953년에는 PRC가 사용되기 시작하여 1954년에 PC 침목 등 18m의 PC 빔 제조를 성공한 바 있다.

鋼材의 절약을 위해 대부분의 구조물은 RC 또는 PC로 만들어지고 있다. 예로서 PS 트래스(trass)의 최대 스패(span:全長)은 61m에 달하고 9m 혹은 12m의 스패 PC 빔의 최대 耐荷力은 각각 400톤 및 200톤 정도이다. 그밖에 1969년에는 이전의 주철관 대응으로서 RC로 된 「深井戸」用 흡관을 개발, 최대 506m의 것이 있고 1970년부터 현재까지 18공장에서 생산된 흡관의 총량은 40만톤의 강재를 절약한 것으로 알려져 있다. 이로써 현재의 콘크리트 및 PC의 생산은 각각 연간 5억 m^3 , 1,000만 m^3 에 달하며 컴퓨터의 사용 또한 활발하여 CAD가 도형시스템이나 철근가공을 위한 실용화 단계에 있다.

2. 재료 · 건설 · 양생

1) 재 료

(1) 시멘트

중국에서는 등급 325, 425, 525, 625(kg/cm^2)의 포틀랜드 시멘트와 포틀랜드 고로 슬래그 시멘트가 일반적으로 사용되고 있으나 조강시멘트, 저발열 시멘트, 무수축시멘트, 팽창시멘트, 내산·내알칼리 시멘트 등도 사용되고 있다. 혼합시멘트로서 내알칼리 슬래그 시멘트의 제조를 위해 고로슬래그의 이용에 관한 연구도 수행하고 있다.

(2) 콘크리트

RC에는 강도등급 C20~30(MPa)의 보통, 경량 콘크리트가 일반적으로 사용되고 있다. 경량콘크리트는 3가지의 골재 즉 輕石과 같은 자연석, 고로 슬래그, 陶粒(겉보기 비중이 250~375 kg/cm^3 정도인 초경량)이나 플라이 애쉬와 같은 인공골재가 있다. 한편 「造膜콘크리트」로 불리는 시멘트 페이스트만으로 골재, 모래를 포집하는 공법의 콘크리트에 관한 연구가 있다. 이 콘크리트의 강도는 보통 콘크리트보다 20~30%씩 높아지고 水密性, 耐凍結, 耐衝擊의 성능도 높아진다. 또한 微粉末 플라이 애쉬와 減水劑를 첨가하면 시멘트의 절약뿐만 아니라 콘크리트의 腐蝕抵抗을 증가시킨다.

고층건물에는 C35~45의 고강도 콘크리트가 사용되고 있는데 53층의 深圳국제무역센터 빌딩이 그 일례이다. 50년대 말에는 C50과 C100의 고강도 콘크리트가 長 스패의 PC구조에 사용되었다. 현재 철도 등의 PC에는 C30~80이 일반적이다. C80으

로 全長 40m의 PC나 파이프파일에 사용된 예도 있다.

실리카 분말을 첨가한 콘크리트가 실용화 단계에 있으며 제오라이트 미분말(시멘트의 10~20 wt. %)을 사용하여 고강도 콘크리트를 제조한 연구실적도 있다. 自應力(Self stressed) 콘크리트는 60년대 말에 개발되어 주로 압력 파이프에 사용되고 있는데 자응력에 의한 케미컬 프리스트레스량은 4~6MPa에 달한다. 최근에는 unbonded 프리스트레스 鋼이 슬래브 구조에 사용되고 있다. 특수 콘크리트로서는 FRC, 폴리머콘크리트, 拘束콘크리트 등이 있는데 RC로서는 GFRC, SFRC, 내알칼리 슬래그 등이 활용되고 있다. 스틸화이버는 熱間引拔法으로 만든 직각 후크(hook)를 첨가한 것 또는 첨가하지 않은 것도 제조하고 있다. 70년대 이후 내알칼리 화이버와 저알칼리 시멘트의 거동에 관한 연구분야가 크게 발전하였고 세계적으로도 선도적인 것이 많다. 또한 스틸화이버를 첨가한 실리카 콘크리트도 사용되고 있다.

최근에는 고분자 수지, 에폭시 수지가 폴리머 콘크리트로서 鋪裝, 벽 또는 금속·화학공장의 콘테이너 등에 사용되고 있다. 또한 폴리머 습浸 콘크리트가 파이프라인, 플랫폼 등의 防蝕, 防水용으로 사용되고 있는데 1963년에는 充填콘크리트 기둥이 北京의 지하철역 기둥으로 사용된 바 있고 그 후 HIBC 등 다수의 연구가 행해지고 있다. 이것은 低層의 건물에 많이 채용되고 있다.

50년대 말에는 펠로 시멘트의 기계적 특성에 관한 연구가 이루어져 지하층 구조, 가스탱크, 물탱크, 슬라이스 게이트, 선박 등에 채용되고 있다.

중국에서는 50년대부터 혼화제를 사용하여 왔다. 현재 혼화제의 생산은 연간 6~7만톤 정도로서 그 중 감수제가 3/4을 차지하고 그밖에 경화촉진제, AE제, 동결방지제, 팽창제, 지수제, 고성능 감수제, 경화 지연제 등이 있다. 70년대 중반에는 磁化된 물을 콘크리트에 사용한 연구가 수행된 바 현재는 이 콘크리트를 시험 사용중이며 이로써 약 10~25%의 강도가 증가하는 것으로 알려져 있다.

2) 건설과 양생

콘크리트는 보통의 레미콘을 거푸집내에 타설하고 진동다짐을 하는 현장타설 외에 프리캐스트 또는

프리캐스트·일체화 구조가 흔히 사용된다. 일체화 콘크리트는 현장에서 배합되기도 하지만 플랜트에서 레미콘차를 이용하며(중국 전역에 300개의 레미콘 공장이 있으며 연간 1,300만㎃가 생산된다.) 펌프 壓送車도 이용되고 있다.

1986년에는 롤러콤팩션(Roller compaction) 콘크리트가 최초의 重力式댐(56.8m) 건설에 채택된 바 있다. 거푸집은 木材型이나 鐵材型 외에도 대나무로 짠 합판형, 대나무와 철재 프레임으로 된 합성형 등도 사용되고 있다. 굴뚝이나 사일로 등의 건설에는 油壓裝置로 順次徑을 변화시킬 수 있는 슬립폼 외에도 深圳의 53층 국제무역센터 빌딩과 같은 고층건물의 내측 튜브 및 외측 튜브의 건설에는 unit化 시킨 슬립폼이 사용된 바 1층 3일 주기의 건설속도로 기록되고 있다.

3. 콘크리트 기술

1) 교량·터널

戰後 다수의 콘크리트橋, 아치橋 등이 건설되었다. 최초의 단순 支持 PC橋가 1956년에 건설되어 60년대 이후에는 캔틸레버 방식에 의한 교량이 건설되기 시작하였다. 여러가지 콘크리트 橋의 주요 스패 기록은 다음과 같다.

- ① 斜張橋 - 天津永和(Tianjin Yonghe)橋 : 260m.
 - ② 單塔斜張橋 - 重慶石門(Chongqing Shimen)橋 : 2스팬=220+230m.
 - ③ 箱斷面의 연속 PC橋 - 廣東洛溪(Guangdong Luoxi)大橋 : 30개월만에 준공 : 180m(아시아 1위).
 - ④ 連續橋 - 廣東惠州(Guangdong Huizhou)大橋 : 13스팬 124m.
 - ⑤ 箱斷面의 콘크리트 아치橋 - 四川涪陵烏江(Sichuan Fuling Wu River)橋 : 200m.
 - ⑥ 그 중 아치 천정의 콘크리트 아치교 - 河南前河(Henan Qin River) : 150m.
- 트레스 斜材를 사용한 PC 콘크리트 아치橋가 중국에서 세계 최초로 건설되었다. 현재 설계중에 있는 貴州省江界河(Guizhou Jiangjian)橋는 스패 330

m로서 콘크리트 트레스橋의 분류로는 세계 유일의 것이며 아치교로 분류하면 유고슬라비아의 KRK 橋가 그 다음이다. 또한 콘크리트 슬래브와 鋼(또는 트레스)으로 된 합성구조의 교량이 1954년에 건설되었다. 교량의 기초에 있어서 케송(caisson)이나 파일을 사용하여 현장에서 타설된 掘削파일의 최대 깊이는 104m에 달하여 파일의 최대 직경은 5.8m, 최대 깊이는 47.5m이다.

중국에서는 해방 후 약 2,500km의 철도가 건설되어 그중 1,085km인 成昆(Chenkun) 線에는 427개, 총 연장 341km(31%)의 터널이 있다. 最長 터널은 14.295km(세계 10위)의 大瑤山(Dayaosan) 터널로서 그 터널 양쪽에는 345km가 복잡한 라이닝 공법으로 되어 있다. 이 공법은 외측 라이닝으로서 초기 防護工은 Shotting으로, 다음 2차 覆工으로서 현장 타설 콘크리트가 内層을 이루며 그 사이에 1~2mm의 두터운 PVC 및 폴리렌 판으로 된 防水工이 설치되어 있다.

다른 목적의 터널로서 도로용, 引水用, 압력이 없는 給水用, 홍수나 모래의 조절용 등이 있다. 上海打浦(Shanghai Dapo)도로 터널은 黃浦江(Huangpi) 밑을 가로 지르는 2,761m의 것으로서 중국에서는 강 밑을 통과하는 최초의 터널이다. 총 연장 2,261m의 上海延安東路(Shanghai Yan'an Eastroad) 터널 중 1,476m에 달하는 円弧部는 1989년 실드(Shield)에 의한 掘着方法으로 완성되었다. 상해 지하철(총 연장 176km로 계획)중 14.41km의 1호선(남북선)은 1990년 착공 예정이다. 지하철 단면의 복선부분은 토벽을 이용한 open guard 공법, 그 나머지 부분은 실드공법을 채택하고 있는데 이 프로젝트는 1994년에 완료될 계획이다.

2) 水工構造物

50년대부터 연속 아치댐이 건설되어 현재 높이 60m 이상의 댐은 20개가 넘으며 최고 높이로서 178m의 青海龍羊(Qinghai Longyang) 협곡 수력발전소의 아치식 중력댐이 있다. 葛州(Genzhou)댐은 「主幹流量調整事業」으로서 長江(Yangzi)川의 主流에 건설된 것으로 최초의 대규모 水工工事로 평가된다. 이 하천에는 3협곡의 주간유량 조정사업 외에 3개의 선착장, 2개의 발전소, 27개의 수문, 2개의 별도 홍수조절 수문과 약간의 관리소 건물이

있어서 홍수조절, 전력공급, 港運, 灌溉 등의 많은 혜택을 입고 있다고 볼 수 있다. 또한 廣西岩灘(Guangxi Yantan) 발전소의 댐 공사에서 단 하루(1989. 10. 10)만에 사용된 롤러 콤팩션 콘크리트의 양은 10,619m³에 달하여 지금까지 세계 기록을 수립하고 있다.

3) 기 타

그밖에 저수탱크, 급수탑, 병커, 사일로, 냉각탑, 연돌, 송신탑 등 대다수의 구조물이 건설되고 있다. 이 중 원추형 저수탱크에 있어서 온도·습도 변화에 따른 M θ 를 고려한 修正引張力의 계산방법이 제안되어 있다. 이에 의하면 철근은 벽의 안쪽보다 바깥쪽에 배치되어야 하며 또한 균열 후에는 균열이 발생되지 않은 부분에 작용하는 수압에 대해 축방향의 인장력을 가지는 것으로 照査되어야 한다고 한다. 가장 큰 圓柱 저수탱크의 용량은 15,000m³이며 냉각탑의 높이는 130m에 달한다. 가장 높은 單管 및 4管 연돌의 높이는 240m이며 높이 235m의 2중 연돌도 완성되었다. 하중을 받는 외측 管은 철근 콘크리트로 되어 있으며 내측 管은 鋼材로 되어 있다. 瀋陽의 송신탑 높이는 306.5m이며 北京과 天津의 송신탑 높이는 각각 386.5m, 405m로서 두가지 모두 원추형으로서 축방향의 프리스트레스로 되어 있다. 또한 가스탱크로서 완성된 대규모의 2중벽 케송에서 내벽과 외벽의 직경은 각각 54.5m 및 68.6m로 나타나 있다.

4. 研究

1) 재 료

크리프(creep), 건조수축, 多軸應力下的 강도, Bond-Slip곡선, 完全應力-歪曲(비틀어짐)곡선, 渡勞강도, 中性化, 강재의 부식 및 고온 또는 저온 하에서의 콘크리트의 거동 등에 대한 연구가 있다. 潮流의 영향을 받는 여러 형태의 높은 장소에서 暴露된 공시체의 10년간의 관찰에 의하면 평균 海水位로부터 1.5m 높이에 위치한 것도 심하게 부식된 것이 있다. 중국의 항구에서 발생된 콘크리트 구조물내의 철근 부식은 주로 이 범위에서 일어나고 있

다.

2) 基本部材 및 모델실험

1軸 또는 2軸 및 偏心荷重(壓縮·引張)을 받는 部材의 수직 단면강도, 비틀림, 휨 또는 剪斷을 수반한 비틀림 강도, 支壓강도, 결합부 강도, 프리캐스트 일체화, 데이프 빔(약 500공시체: 1~3스팬), 브라켓 등의 강도, 피로 하중에 있어서의 콘크리트 및 PC의 강도, 剛度, 균열, 이들의 短期載荷실험, 長期載荷실험(南京工學院에서 最長載荷는 6년 2개월을 기록), 偏心荷重을 받는 部材의 剛度, 균열에 관한 短期載荷실험, Partial PS에 의한 균열의 폐쇄에 관한 실험, 연속 들보에서 内部力의 재분배, 라멘(rahmen)과 剪斷壁의 에너지 흡수에 관한 실험 등이 이루어지고 있다. 短柱 및 長柱에 대한 偏心載荷柱의 실험수는 600회 이상에 달하며 剛度和 균열에 대해서는 700회에 달한다. 長柱의 안정성에 대해서도 장기재하실험이 수행되고 있다.

균열의 관찰 및 계획에 대한 정도를 파악키 위해 균열용 카메라가 개발되었다. 기타 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 해석이 파라미터의 영향분석을 위해 활용되고 있다. 구조 모델에 대한 여러 가지의 실험도 실시되고 있다. 예로서 靜的 및 피로특성에 관한 실험 그리고 單層으로 큰 공간을 가지는 경우나 윗층에 큰 공간을 가지는 경우 fish-bond type의 剪斷壁을 가진 12층 건물의 모델에 대한 실험, 프레임, 15층 등변 육각형 프레임·튜브의 모델에 대한 振動台에서의 지진응답 실험, 교량모델에 대한 風洞실험 등이 있다.

3) 技術檢査 및 調査

設計荷重의 1~1.2배의 하중 하에서 실 구조물의 실험이 수행되고 있다.

예를 들면 2徑間 多層프레임으로서 全長 20m의 PC 실험, 빌딩이나 교량의 지진응답관찰, 콘크리트 고층건물에 대한 風速의 관찰, 또한 8~33층에 40구멍의 剪斷壁 구조에 대한 自由振動週期の 측정, 무른 지반의 고층건축에서 橫變位の 관찰, 댐의 온도응력이나 변위의 관측, 교량의 靜的·動的 실험(예로서 洛溪(Luoxi) 橋) 등이다.

서로 다른 환경습도하의 여러 도시 건축물의 鋼

材의 부식에 대한 측정으로서 해안도시 1.6~1.7 mm의 균열폭도 실내에서는 25~70년 경과해도 부식이 발생되지 않은 것으로 나타났으나 균열에 물이 침투 된 경우에는 균열폭이 아주 작아도 강재가 부식되어 있었다.

5. 規 準

중국에서는 콘크리트에 관한 많은 설계기준이나 권고가 조사나 실험기준과 같은 형식으로 발행되고 또한 주기적으로 개정되고 있다. 가장 기본이 되는 콘크리트 구조물용 설계기준(GBJ 10-89)에 대한 목적을 열거해 보면 다음과 같다.

- ① 확률이론에 입각한 限界狀態 설계법.
- ② 平面保持의 가정에 따른 斷面強度의 계산.
- ③ 압축력, 프리스트레스력, 인장력에 의한 剪斷강도의 증가, 또는 저하.
- ④ 剪斷과 歪曲을 받은 部材의 콘크리트 강도의 저감계수를 도입하기 위한 전단과 왜곡의 적용성 관찰.
- 이선 우선 휨, 전단 및 왜곡이 독립적으로 작용하므로 먼저 部材의 소요 철근량을 계산하고 그로부터 歪曲 耐荷力의 압축 및 프리스트레스의 적절한 영향을 고려한다.
- ⑤ 不靜定 구조에 있어서 塑性變形에 따른 内力의 재분배에 대한 허용치.
- ⑥ 크레인 하중에 의한 단층 공장건축에 대한 입체거동의 영향.
- ⑦ 사용하중에 있어서 剛度 및 균열의 계산에 대하여.

⑧ σ_s 의 역수와 線型 관계에 있는 철근 비틀림의 不均一係數 채용 ⑨ 압축을 받는 콘크리트의 평균 비틀림을 계산하기 위한 彈塑性 斷面係數에 定數의 채용

⑩ 피로 照査에 대한 압축응력의 線型分布, 철근 단면적의 $AsEs/Ec$ 에 대한 환산.

⑪ 프리캐스트 部材의 一體化力, 데이프 빔, 브라켓, 매립부 등의 설계 및 건설에 대하여.

⑫ 콘크리트 구조 部材에 대한 耐振設計. ▲

<資料: 콘크리트工學 Vol. 28 Aug. 1990>