

# 특 집

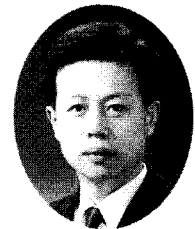
|| 콘크리트의 공장제품 ||

## 콘크리트 공장제품의 고기능화

- High Performance of Concrete Products -



강석화\*



김영진\*\*

### 1. 서 론

21세기라는 새로운 세기를 맞이하여 콘크리트 산업계는 시대의 변화에 부합하는 경영 방침이나 기술력이 요구되었으며 지금까지 보다 더욱 힘든 환경을 맞고 있다고 생각된다. 예를 들어 환경 문제는 1992년의 환경과 개발에 관한 UN회의를 계기로 지구온난화, 해양오염, 산성비, 오존층 파괴, 열대림의 감소, 사막화 등에 대한 국제적인 관심이 커지고 있어서 21세기는 환경의 세기가 될 것으로 보이며 이에 따른 신속한 대책 수립이 요구되고 있는 시점에 와있다. 또한 자원 리사이클링과 환경에 관련된 각종 법령 등이 국가 차원, 혹은 지방 자치단체 차원에서 제정되고 있어 이에 대한 대응 방안이 요구되고 있다. 더욱이 여러 사회단체나 NGO 등의 압력으로 각종 공공사업의 수행에 있어서도 기본 이념인 편리성, 안전성, 내구성, 공평성, 투명성 등에 덧붙여 공해, 미관, 생태계, 건강, 복지, 문화 유산 등에 대한 배려도 요구되고 있으며 적용이 이루어지고 있는 추세이다.

그러나, 한편으로는 생활 환경 자체가 국제화되고 개방화되어 가면서 정책 전환, 건설 투자의 축소, 규제 완화, 입찰, 계약 제도의 개혁, 국제표준화, 시장의 국제화, 제조물 책임법(PL)의 시행, 정보화, 소송의 다양화, 금융 외채 불안, 부실 채권의 처리 등 건설이나 콘크리트 산업계에서 해결해야 할 과제들이 증가하고 있다.

이에 따라 환경, 품질, 안전, 비용 등을 고려한 재료, 구조, 공법의 개발, 에너지 절약 및 재활용의 촉진, ISO 규격의 취득, 기술자력의 상호 인증, 경영의 효율화 등 각종 경영 혁신이나 기술 개발이 요구되고 있다.

이러한 시대적 변화에 대응하기 위해 콘크리트 공장제품의 역할이 증대되고 있으며, 더욱이 콘크리트 제품은 품질을 신뢰할 수 있고, 현장 거푸집이나 동바리가 필요 없고 조립시공이 용이하여 공기가 단축될 뿐만 아니라 노동인력 부족, 노임상승 등의 요인에 의해 노동력이 적게 들고 품질도 보장받을 수 있는 등 새로운 가능성이 기대되고 있다. 따라서, 본고에서는 21세기 변화하는 환경에 적응하기 위한 콘크리트 공장제품의 기술 현안을 알아보고, 이를 더욱 고기능화 할 수 있는 기술적 대응방안을 고찰하고자 한다.

### 2. 콘크리트 공장제품의 특징과 현황

#### 2.1 콘크리트 공장제품의 특징

일반적으로 콘크리트 공장제품이라 하면 품질 관리 체계가 잡혀있는 공장에서 제조되는 프리캐스트 콘크리트 제품을 의미하며, 콘크리트 표준시방서에서는 무근과 철근 콘크리트 제품 모두와 여기에 프리스트레스트 콘크리트 제품도 포함하여 콘크리트 제품이라고 한다. 공장 제조 콘크리트 제품을 호칭할 때, '공장제품', 혹은 '프리캐스트 제품'이라고 하며, '시멘트 2차제품', '프리

\* 정회원, 동양중앙연구소 건설재료연구실 실장

\*\* 정회원, (주)대우 건설기술연구소 토목연구실 책임연구원

패브(pre-fab) 제품이라 할 때도 있다. 콘크리트 제품은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 재료 선정에서 배합, 제조 설비, 시공까지 전반적인 관리가 가능하다.
- ② 숙련된 작업원에 의하여 안정된 품질에서 상시 제조가 가능하다.
- ③ 제조, 취급 작업에서 기계화가 가능하다.
- ④ 형상이나 성형법에 따라 다양한 형상의 제품을 만들 수 있다.
- ⑤ 규격이나 규준으로 표준화가 되어 있으므로 실물 시험도 p 가능하다.
- ⑥ 시공 현장에서 공기 단축, 안전 관리, 폐재 처리, 유지 보수 등이 용이하다.

그러나, 콘크리트 제품 공장에서 소비되는 시멘트 양은 전체 시멘트 수요량의 15% 정도로 선진국에 비해서는 낮은 편이다.

일반적으로 콘크리트 제품은 거푸집 회전을 제거나 조기 출하를 위하여 W/C를 낮게 한 된 비빔의 콘크리트를 공장에서 제조하고 이것을 강제 거푸집에 투입한 후, 진동 다짐이나 원심력 다짐, 가압 다짐, 진공 다짐 등 강한 진동이나 높은 압력으로 성형하여 표면 마무리 후, 상압증기양생이나 오토클레이브양생과 같은 촉진 양생을 거친다. 그러나 일반적으로 현장에서 타설하는 콘크리트에 비해서 다양한 재료나 배합의 콘크리트를 사용하고 혼합, 다짐, 양생, 마감 등에 특수한 공법을 적용하는 경우가 많다.

이러한 특징을 갖는 다양한 콘크리트 제품이 시장에 등장함에 따라 건설 공사의 방식이 레미콘을 운반, 타설하는 방식(습식공법)에서 부재를 공장 제조 콘크리트 공장제품의 형태로 공장에서 대량 생산하여 현장으로 운반, 조립하는 방식(건식공법)이 점차 증가하고 있는 추세이다. 이러한 수요에 대비하기 위하여 콘크리트 공장 제품 제조 기술의 발전(촉진양생용 고강도 시멘트 개발, 경량화)이 시급하다. 콘크리트 제품을 사용하여 건설 공사를 하는 경우 현장 타설 콘크리트와 비교한 장점은 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 현장에서 양생기간이 필요 없으므로 공기를 단축할 수 있다.
- ② 미리 만들어서 현장으로 운반하여 조립하는 제품이므로 공사시 계절이나 기상 작용의 영향이 적다. 특히 한냉기 시공에 유리하다.
- ③ 거푸집이 필요 없고 공사를 기계화할 수 있으므로 현장 작업 공정이 간략하며 공사에 필요한 노동력이 줄어든다.
- ④ 제품의 성능이 충분히 확인된 상태에서 사용하므로 안정한 품질의 구조물을 얻을 수 있다.
- ⑤ 건설 폐기물의 발생이 적으므로 작업장 환경의 개선이 가능하며 환경 문제도 감소한다.<sup>1)</sup>

콘크리트는 가격면에서 강재와 비교할 때 매우 저렴하며 물과 혼합하여 굳는 물질로 반죽 상태로 운반하여 거대하고 복잡한 형상의 구조물을 쉽게 성형할 수 있고 내구성이 우수한 재료라는 점에서 널리 사용되어 왔지만 경화하면서 수축이 일어나는 점,

수화열의 발생, 근본적으로는 취성 재료라는 점에서 한계가 있다. 따라서 콘크리트의 이용기술은 이러한 한계를 극복하는 과정을 통해 발전되어 왔다고도 할 수 있다.

콘크리트 제품 기술의 개발에서 기본적으로 요구되는 것으로 콘크리트가 반죽 상태에서는 제품 제조 공정의 특성에 적합한 작업성과 유동성을 나타내고, 경화 후에는 목표하는 물성(압축강도, 휨강도, 인장강도 등)과 장기적인 내구성(중성화 억제, 동결융해 저항성, 내화학적, 균열의 방지 등)을 확보하는 것이다. 유동성을 확보하기 위한 방법으로는 고성능 감수제의 활용이 적극 도입되고 있다. 고강도를 얻는 방법으로 고성능 감수제를 사용하여 물-시멘트비를 크게 낮추는 동시에 단위시멘트량을 높이거나 조강 시멘트를 쓰는 방법이 보편적이거나 이 경우 대량의 수화열의 발생하여 온도응력에 의한 균열 위험성이 있어 한계가 있다. 또한 제품의 표면이나 내면에 발생하는 건조 수축에 의한 균열을 억제하기 위해서는 팽창재나 수축저감제를 사용할 필요가 있다.

## 2.2 콘크리트 제품 관련 최근의 현황

국내 콘크리트 제품의 업계현황을 살펴보면, 오래 전부터 벽돌, 파이프, 전주, 파일 등 여러 가지 콘크리트 제품이 생산·이용되고는 있지만, 일부 소수업체를 제외하고는 대부분 제조회사가 중·소규모의 영세성을 면치 못하고 있으며 소규모의 노동집약적 산업으로 이루어지고 있다. 따라서, 콘크리트 제품에 대한 국내의 전반적인 현황이나 수요공급에 대한 자료도 충분히 파악하기 어렵고, 기술측면에서도 어느 수준에 도달해 있지 않은 것이 바로 현 실정이다.

〈표 1〉은 국내 건설신기술로 지정된 신기술 중 공장제품의 연도별 적용실적에 관한 것이다. 2002년 9월 현재 총 344건이 신

표 1. 공장제품관련 신기술 현황

일련 번호	지정 번호	신기술명	적용건수		비고
			2000	2001	
1	8	C-S 보강도 옹벽공법	15	16	토목 구조 및 시공 분야
2	40	프리캐스트 콘크리트 segment를 이용한 복개아치건설 공법	1	1	
3	130	기어형 콘크리트 블록을 이용한 수중구조물의 축조기술	24	78	
4	151	eye-bolt 접합형 조립식 PC 압거 설치공법	129	111	
5	202	절곡된 PS 강선을 이용한 조립식 PC 압거의 제작 및 설치공법	6	9	
6	221	단계적 긴장력 도입에 의한 PSC I형 거더의 제작 기술	1	2	
7	77	프리스트레스트 프리플렉스 합성보의 설계 및 제작방법	0	10	교량 분야
8	247	장경간 교량용 DB-TEE 거더의 분절제작 및 시공방법	0	0	

주) 한국건설기술연구원(<http://www.kict.re.kr>), 한국건설신기술협회(<http://www.kcna.or.kr>) 홈페이지의 자료를 활용하여 가공함

표 2 최근 일본의 프리캐스트 공장제품의 현황

공법명	공법 개요	사용재료의 특징
2한지 프리캐스트 아치에 의한 공사용도로 터널 건설공법 <sup>2)</sup>	다분할식 2한지 아치의 대형 RC 공장 제품을 이용하여 측벽부재 설치후 정판 부재 설치	고강도 콘크리트(400 kgf/cm <sup>2</sup> ) 사용
대형 프리캐스트 부재에 의한 우수 지하저류시설 축조공법 <sup>3)</sup>	박스형 블록과 슬래브를 조합하여 시공	소음·진동저감을 위해 자기충전성 콘크리트 사용
대단면 프리캐스트 지하철 박스 건설공법 <sup>4)</sup>	상, 하 슬래브는 RC 구조로, 측벽 및 중앙부 기둥은 PC 구조로 제작후 조립 시공	고강도 콘크리트(400 kgf/cm <sup>2</sup> ) 사용

기술로 지정되어 있고, 이중 토목분야는 78건이며, 토목분야 중 공장제품에 관련된 것은 7건 정도에 불과하여, 토목분야 신기술의 약 9%, 전체의 약 2%에 불과한 실정이다. 또한 표에서 알 수 있는 바와 같이, 몇 건의 신기술을 제외하고는 대부분의 사용 실적이 거의 없는 것으로 나타나 국내 공장제품 관련 연구의 선진화가 보다 시급한 것으로 분석된다.

한편 선진 외국에서는 이미 오래 전부터 이러한 문제점의 해결을 위하여 콘크리트가 가지고 있는 커다란 단점인 중량 문제와 내약품성, 동결융해 저항성 등에 대한 취약성을 개선하기 위하여 각종 특수 콘크리트를 이용한 다양한 제품들이 생산·판매되고 있다. <표 2>는 최근 일본에서 개발되고 있는 프리캐스트 공장제품의 현황이다.

일본의 경우 프리캐스트 콘크리트 제품규격은 종래 사용되어 오던 원심력 철근 콘크리트 관, 철근 콘크리트 U형 등 20여 가지의 규격이 독립적으로 제정되어 왔지만, 최근 공사의 효율화를 도모하고 제품의 대형화, 환경과 경관에 대한 배려 및 고품화 등의 사회적 여건 변화에 대응하기 위해 현행의 개별제품에 대한 규격을 재편하여 '기본규격', '구조별 제품군 규격', '용도별 성능·추장(推奨) 사양규격'으로 대별하고 있다. 이 중 재료 및 제조방법(JIS A 5364)에는 기준에 사용해 오던 재료 외에, PC 이외의 제품에 재생골재의 사용, 고유동 콘크리트의 신기술 사용이 가능하도록 하였다. 굳이지 않은 콘크리트의 품질기준 중 물-시멘트비를 무근 콘크리트 제품은 65% 이하, RC제품은 55% 이하, PC제품은 45% 이하로 규정하였고, 동해를 받는 제품에는 공기량 4.5%인 AE 콘크리트를 사용하도록 표준화하였다.<sup>5)</sup>

### 3. 콘크리트 제품의 고기능화

고성능 제품은 콘크리트의 성능이나 형상을 고성능화하거나 고기능화시켜 새로운 제품을 만들어내는 것인데, 장기적으로는 초고강도 콘크리트, 수치침투 콘크리트, 황산화 세균에 대한 열화를 방지하는 항균 콘크리트, 초경량 콘크리트, 전자파흡수 콘크리트 등 콘크리트 재료에 관한 것을 고려해 볼 수 있다. 이외에 콘크리트 제품의 재생률은 높일 수 있는 방법을 통해 콘크리트 중량의 일부를 재생재료로 치환함으로써 경비절감과 환경부하저감을 동시에 이룰 수 있을 것으로 기대된다. 한편 중장기적으로는 고유동 콘크리트, 경량 콘크리트, 고강도 콘크리트 및 저발열

콘크리트의 사용으로 인한 고기능화가 가능하겠으며, 여기서는 중장기적인 고기능 대책을 중심으로 살펴보고자 한다.

#### 3.1 고유동 콘크리트의 활용

콘크리트 제품은 일반적으로 철근이나 강선이 배근된 거푸집 안에 콘크리트를 투입하여 성형한다. 철근의 배근이 복잡하거나 치밀한 경우 콘크리트의 흐름이 막히거나 재료 분리 현상이 일어나 시멘트 페이스트 부분만이 일부 흘러들어 가고 골재가 모이면서 폐쇄현상이 발생하여 콘크리트가 완전히 타설이 되지 않을 수 있다. 따라서, 경화후 콘크리트가 채워지지 않은 부분은 결합이 되므로 건축물의 수명을 단축시키는 커다란 요인이 되고 있다. 보통은 콘크리트의 타설 직후 진동다짐기를 30 ~ 40 cm 간격으로 넣어서 1분 정도 진동시켜 완전히 충전이 되도록 하고 있다. 그러나 이 작업은 진동이 약한 경우 오히려 결합의 원인이 되고 과한 경우 콘크리트의 분리가 일어나 매우 주의를 요하는 작업이다. 다짐도의 관리로 신뢰성을 기할 수는 있지만 여러 가지 조건에 따라 항상 동일한 수준의 다짐도를 유지한다는 것은 매우 어려운 일이므로 다짐이 필요 없을 정도로 유동성이 우수하고 높은 충전성을 갖는 초유동성 콘크리트가 생각되었다. 이러한 초유동성 콘크리트는 동경대학 토목공학과 岡村甫 교수 그룹에서 제창한 고성능 콘크리트(High-Performance Concrete)라는 명칭으로 널리 쓰이고 있다.<sup>6)</sup>

완전한 다짐을 위해서는 콘크리트의 유동성을 향상시키는 것이 첫 번째 요건이다. 두 번째는 점성이다. 콘크리트는 주성분이 물, 시멘트, 모래, 자갈로 이루어진 복합재료이다. 이들은 비중차이에 의해 본질적으로 분리의 경향을 갖고 있으며 유동성이 클수록 이 경향은 더욱 크다. 따라서 콘크리트의 페이스트 부분과 골재 사이에 미끄럼을 방지하는 분리저항성이 필요하다. 고성능 콘크리트란 고유동성과 고분리저항성이라는 본래 모순되는 성질을 겸비하도록 한 것이다.

유동성과 점성을 동시에 높은 고성능 콘크리트는 고성능 감수제와 메틸셀룰로오스나 폴리아크릴아미드계의 증점제와 같은 유기계 혼화제를 사용한 콘크리트이다. 그러나 유기계 혼화제만으로는 고성능 콘크리트를 실현하기 어려우며 점성에 대해서는 유기계 혼화제보다 무기계 혼화제의 효과에 더 비중을 두고 있다. 岡村팀은 무기분말이 경화후 콘크리트 물성에 악영향을 끼치지

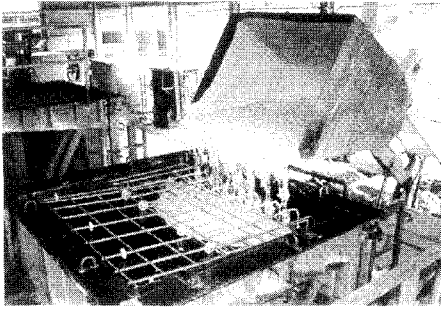


사진 1. 대형제품 제조전경<sup>6)</sup>

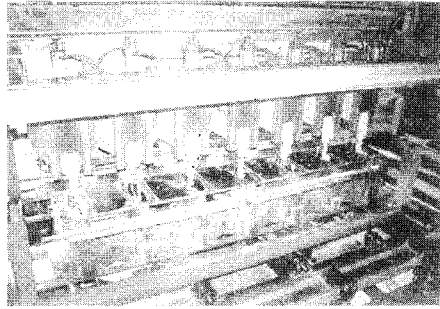


사진 2. 고유동 콘크리트 자동투입시스템<sup>6)</sup>

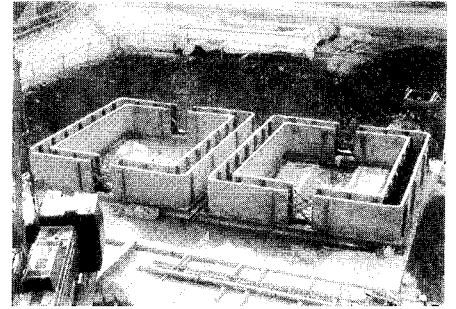


사진 3. 프리캐스트 거푸집의 조립<sup>6)</sup>

않고 특수한 유동성과 점성을 부여하는 것을 주목하였다. 골재를 60% 이상 포함하는 콘크리트가 치밀하게 배근된 철근 사이를 지나 복잡한 형상의 거푸집 내에 골고루 타설되기 위해서는 유기계 혼화제만의 효과로서는 충분하지 못하며, 오히려 고로 슬래그 미분말이나 플라이 애쉬와 같은 무기분말이 골재의 유동 특성에 영향을 끼쳐서 철근과 같은 장애물을 뚫고 골재를 인도할 수 있는 유동성과 점성을 부여한다고 주장하였다.

이러한 고성능 콘크리트는 현장 타설 뿐만 아니라 공장제품의 제조에도 적용할 수 있어<sup>7)</sup> 미래의 콘크리트로서 큰 주목을 받고 있으며 시멘트 분야에서도 이러한 요구를 만족할 수 있는 여러 가지 방법을 시도하고 있다. 콘크리트의 공장제품 제조에 사용된 콘크리트는 가능한 한 된비빔으로 하고 강제진동에 의해 밀실하게 다지는 방법으로 제조되는 것이 일반적이지만, 부재두께가 얇고 철근이 밀실하게 배근되어 있는 제품에서는 충전이 양호하게 되지 않을 수도 있다. 일본에서는 1991년부터 증점제, 분체계 고유동 콘크리트의 적용을 연구하여 1995년부터는 본격적인 적용을 하고 있는 실정이다. 고유동 콘크리트를 프리캐스트 제품의 제조에 활용하는 이점은 생산성의 향상, 거푸집 유지관리비의 대폭 절감으로 원재료비 증가의 상쇄가 가능, 다짐작업에 의한 인접한 주택지 등에 대한 소음·진동 공해 제거 등을 들 수 있고, 작업자의 노동강도가 완화되고 생산라인의 자동화, 기계화를 통한 공장자동화가 가능하게 되어 장래 규격화된 제품의 무인화 공장의 출현도 기대된다. 안정된 고유동 콘크리트를 제조하기 위해서는 안정된 재료가 필수적인데, 특히 잔골재, 굵은골재 및 혼화제의 품질안정이 중요하다. 향후 고유동 콘크리트의 투입방법, 관련 설비, 표면기포 등이 지속적인 연구과제로 되어 있다.<sup>8)</sup>

〈사진 1〉은 고유동 콘크리트를 사용한 타설 작업으로 종래보다 인력이 1/4 정도로 감소된 대형 제품의 제조상황이고, 〈사진 2〉는 고유동 콘크리트의 자동투입 시스템의 한 예이다.

한편 〈사진 3〉은 높은 교각의 급속 시공을 위한 프리캐스트 거푸집 공법에 사용된 프리캐스트 거푸집이다. 콘크리트는 두께 100 mm의 거푸집을 확실하게 추진시키고 재료분리를 방지하기 위한 균일한 콘크리트를 제조하기 위해 고유동 콘크리트를 사용하였다. 사용된 고유동 콘크리트 배합표는 〈표 3〉과 같고, 프리캐

스트 거푸집의 건조수축균열을 억제하기 위해 팽창제를 사용하였고, 혼화제는 고성능 AB감수제를 사용하였다.

표 3. 프리캐스트 거푸집 콘크리트 배합표<sup>9)</sup>

W/C(%)	S/a(%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )				
		C	W	S	G	Ex
35.7	51.8	476	170	840	798	30

주) 설계기준강도 : 50 N/m<sup>2</sup>, 슬럼프 플로우 : 65 ± 5 cm  
 공기량 : 4.5 ± 1.5%, 굵은골재최대치수 : 20 mm  
 고성능AE감수제 : (C + Ex) × 1.2%, Ex : 팽창제

한편 오노다시멘트는 유동성을 높이기 위해 입자를 구상으로 한 구상화시멘트를 개발하였다<sup>10)</sup>. 이 구상화 시멘트의 제조 공정은 다음과 같다. 우선 초속 100 m의 고속 기류중에서 보통 시멘트를 회전시켜 입자 사이의 충돌을 유도하여 표면을 연마한다. 이 과정에서 표면이 연마된 직경 10 ~ 30 μm 큰 입자와 1 μm 이하의 미립자로 분리가 되는데 교반이 계속되면서 전기적 응집력에 의해 미립자들은 다시 큰 입자표면에 달라붙어 고정된다. 이러한 과정에서 중심 입경 10 μm 정도이며 미분이 거의 없는 구상화 시멘트가 얻어진다. 이 방법은 '고속기류중충격법(高速氣流中衝擊法)'이라 하여 의약품, 화장품 등의 제조에 이용되고 있는 방법으로 시멘트 제조업에서는 기존의 시멘트 밀인 Ball Mill에서 분쇄할 때의 생기는 다량의 미분이 비표면적을 증가시켜 유동성을 악화시키는 것을 막기 위해 추진해왔던 방법이다. 본격적인 실험과 검토는 앞으로의 과제로 남아 있지만 고로 슬래그 미분말이나 플라이 애쉬와 같은 무기분말을 사용하지 않아도 다짐이 필요 없는 콘크리트가 가능할 것으로 알려져 무기분말을 사용하지 않는 만큼 배합이 용이해지리라 기대된다.

### 3.2 콘크리트 제품의 고강도화

#### 3.2.1 콘크리트의 고강도화

새로운 공간의 이용, 통신, 교통의 다양화, 고도화, 노동력 부족, 공사의 대형화, 거주공간의 기능화 요구에 부응하기 위해 고 유동화, 저발열, 고내구성을 겸비한 고강도 콘크리트가 개발, 이

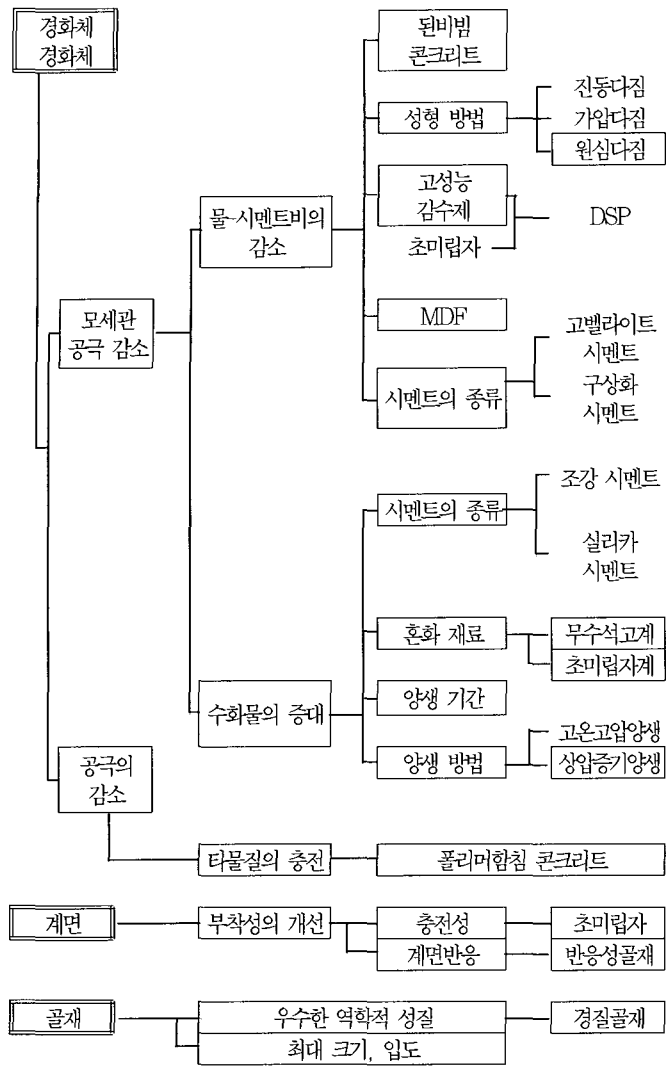


그림 1. 콘크리트의 고강도화 방법

용되고 있다. 시멘트 콘크리트 제품의 고강도화는 낮은 물-시멘트비, 높은 단위수량, 고성능 감수제의 사용, 혼합재(플라이 애쉬, 고로 슬래그 미분말, 실리카 폼 등)의 첨가 등으로 얻는 것이 일반적이지만 초고강도화를 달성하기 위해서는 구성재료 자체의 개선, 즉, 시멘트 자체의 고강도화, 골재의 개선, 골재와 시멘트 사이의 결합력의 개선이 필요하다<sup>11)~13)</sup>. <그림 1>은 콘크리트를 고강도화하는 여러 가지 방법을 정리한 것이다.<sup>14)</sup>

고강도 콘크리트는 특히 공장제조 공장제품, 즉 프리캐스트 콘크리트 제품에서 널리 사용되고 있는데 우선 물-시멘트비가 작은 부배합의 콘크리트를 채용하여 원심다짐이나 진동다짐, 압축다짐과 같은 강력한 기계적 다짐 방법을 사용하고 증기양생이나 오토클레이브 양생과 같은 촉진 양생을 통해 조기에 고강도를 얻고 있다.<sup>1)</sup>

### 3.2.2 고강도 콘크리트 제품의 배합

여러 가지 프리캐스트 제품의 제조에 사용되는 콘크리트의 배합과 28일 재령 압축강도는 <표 4>와 같다<sup>1)</sup>. 제품에서 요구하는 성능, 형상, 투입이나 다짐 방법에 따라 굵은 골재의 최대 크기, 단위시멘트량, 반죽 질기가 다르다. 굵은 골재의 최대 크기는 제품의 두께, 철근의 배근 간격 등과 주로 관계가 있고, 단위시멘트량은 제품에서 요구하는 강도와 관계가 있다. 즉 큰 축하중이나 휨하중을 받는 구조물, 높은 내압이나 외압에 견뎌야 하는 파이프 형태의 제품에는 강선으로 프리스트레스를 도입시키고 있는데 프리스트레스의 도입에 따라 콘크리트 자체의 강도를 높일 필요가 있다. 반죽 질기는 콘크리트를 형틀에 투입하는 방법(직접 투입, 펌프 압송, 벨트 컨베이어 이송 등)이나 다짐 방법(진동다짐, 원심다짐, 압축다짐 등), 제품의 탈형 시기(양생 후 탈형, 성

표 4. 여러 가지 공장 제조 콘크리트 공장제품의 배합

콘크리트제품의 종류		굵은골재 최대크기(mm)	단위시멘트량(kg/m <sup>3</sup> )	물-시멘트비(%)	슬럼프(cm)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )
원심다짐	전주, 말뚝	30 ~ 10	400 ~ 520	45 ~ 37	3 ~ 10	400 ~ 500
	흙 관	25 ~ 10	370 ~ 540	50 ~ 37	3 ~ 8	350 ~ 480
	스팬파이프	20 ~ 10	400 ~ 440	45 ~ 38	3 ~ 7	400 ~ 450
진동다짐	널말뚝, 관	25 ~ 15	300 ~ 400	50 ~ 38	2 ~ 8	300 ~ 450
	도로용제품무근 블록	25 ~ 15	320 ~ 370	50 ~ 40	2 ~ 8	320 ~ 420
	세그먼트	30 ~ 20	240 ~ 300	55 ~ 45	2 ~ 6	200 ~ 300
		25 ~ 20	380 ~ 450	45 ~ 35	2 ~ 6	450 ~ 550
PC 제품	말뚝, 침목	30 ~ 15	420 ~ 500	45 ~ 32	2 ~ 6	450 ~ 620
	PHC 말뚝A	25 ~ 20	450 ~ 520	40 ~ 32	6 ~ 18	750 ~ 1000
	PHC 말뚝B	25 ~ 13	540 ~ 580	30 ~ 26	4 ~ 8	850 ~ 1000
즉시탈형 제품	침 목	25 ~ 15	420 ~ 400	40 ~ 30	0	500 ~ 600
	콘크리트관	20 ~ 15	280 ~ 350	40 ~ 34	0	350 ~ 450
	필터관	15 ~ 10	400 ~ 450	25 ~ 20	0	-
	블록 류	25 ~ 15	230 ~ 300	45 ~ 35	0	250 ~ 350
건축용제품	판넬, 보	25 ~ 20	300 ~ 350	45 ~ 35	0 ~ 5	300 ~ 400
	블 록	25 ~ 10	220 ~ 280	45 ~ 35	0	250 ~ 300

주, PHC 말뚝A는 규석분말을 사용하여 오토클레이브에서 양생.  
 PHC 말뚝B는 팽창성 혼합제를 사용하여 상압증기양생.  
 압축강도는 재령 28일 강도, 혹은 제품 출하시의 강도

형 직후 탈형 등)에 따라 다르다. 펌프로 압송하여 투입하는 경우(흡관 등)에는 반죽 질기가 높은 편이며(슬럼프 8 ~ 15 cm) 진동압축다짐 후 즉시 탈형하는 제품(조립식 맨홀 등)은 매우 된 반죽(슬럼프 0)을 사용해야 한다.

### 3.2.3 다짐 방법

프리캐스트 제품의 다짐 방법에는 봉진동기나 진동 테이블을 이용한 진동 다짐 외에 원심다짐, 압축다짐 등이 있다<sup>1)</sup>. 원심다짐 방법은 고속 회전에 의해서 얻는 원심력을 이용하는 방법이다. 이것은 파이프 형태의 가운데가 빈 원통(말뚝, 전주, 흡관 등)을 생산하는데 능률적이며 물-시멘트 비를 낮게 하여 고강도 콘크리트를 쉽게 제조할 수 있다는 장점이 있다. 즉 고속 원심력에 의해 콘크리트중의 물과 기포가 빠져 나오기 때문에 다짐후 물-시멘트 비는 5 ~ 10%가 낮아지며 압축강도는 15 ~ 25% 정도 높아진다. 최근에는 원심회전축에 진동기를 조합하여 다짐효과를 한 층 높은 진동식 원심다짐 방법도 쓰이고 있다. <표 5>는 콘크리트 말뚝의 원심다짐에서 사용되는 원심력과 회전시간이다.

압축다짐은 형틀에 콘크리트를 투입하고 압력을 가하여 물과 기포를 짜내서 고강도 콘크리트를 얻는 방법으로 가압된 상태에서 바로 100 °C 정도의 고온으로 양생시켜 수 시간 이내에 400 ~ 500 kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 압축강도를 얻을 수 있다. 가압 상태에서는 급격한 온도 변화를 가해도 콘크리트 물성에는 악영향이 없으며 장기강도의 증가도 계속된다고 한다. 주로 교량용 세그먼트, 널말뚝의 제조에 이 방법이 사용되고 있다.

### 3.2.4 양생 방법

콘크리트 제품에서 양생이란 타설 후 제품으로 사용할 때 적당한 물성을 얻기 위한 목적으로 행하는 처리 방법으로 PC에서는 축진양생방법을 주로 사용하고 있다<sup>1)</sup>. 이것은 형틀의 회전율을 높이기 위해 탈형이 가능할 정도의 강도를 얻는다는 목적 외에 제품의 출하를 가능한 빠르게 하기 위해 물성을 조기에 획득하려는 목적도 있다. 축진양생 방법에는 100 °C 이하에서 하는 상압 증기양생, 오토클레이브를 이용한 고온고압양생이 있다. <그림 2>는 일반적인 증기양생사이클을 나타낸 것으로, <그림 2>에서 온도 0 °C, 혹은 - 10 °C를 기준으로 온도 곡선내의 면적을 구할 수 있는데 이것을 성숙도(maturity)라 한다. 콘크리트의 강도와 성숙도는 1,000 °C · hour 부근에서 직선적인 관계를 나타내는데 양생사이클은 이것을 따라 결정한다.

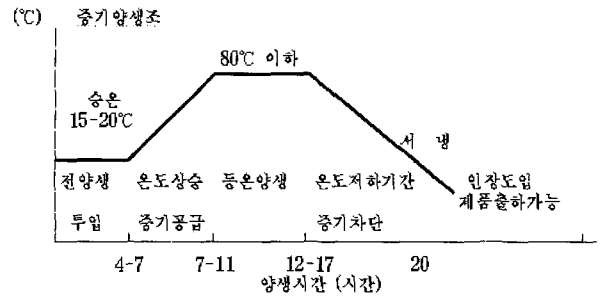


그림 2. 상압 증기양생 사이클

고온고압양생은 고온고압에서 생성되는 시멘트 수화물인 토버모라이트 섬유상 결정이 콘크리트의 압축강도를 크게 향상시킬 수 있다는 데 착안한 것으로 규석 미분말을 적당량 시멘트와 혼합하여 토버모라이트 결정을 최대한 많이 생성시켜 800 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도 콘크리트 제품을 제조할 수 있다. <그림 3>은 이러한 제품중 대표적인 고강도 콘크리트 말뚝(PHC Pile)의 양생 과정을 나타낸 것이다. 증기양생조에서 상압증기양생으로 프리스트레스 도입이 가능한 강도(450 kgf/cm<sup>2</sup> 정도)를 얻은 다음 오토클레이브 안에서 고강도(압축강도 800 kgf/cm<sup>2</sup> 이상)를 얻는 방법이다.

### 3.3 경량화 방법

콘크리트의 취약점에는 무겁다는 것과 건조수축에 의한 길이변화가 있다는 것 등이다. 고층건물의 보급으로 보다 가볍고 강도가 높은 부재의 개발이 요구되어지고, 부재를 얇고 강하게 하는 연구가 급속히 진행되고 있는 중이다. 잔골재를 사용하지 않고 ( $\rho = 1.4 \sim 2.1 \text{ g/cm}^3$ ), 경량골재를 사용하거나 ( $\rho = 0.8 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ ), 콘크리트 중에 기포를 도입하는 ( $\rho = 0.25 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$ ) 등 콘크리트의 경량화는 단열성의 향상을 동시에 이룰 수 있으나 이들 방법은 반드시 강도의 저하를 초래한다. 경량화와 고강도화라는 상반된 수요를 콘크리트의 공극률을 높이지 않으면서 만족하려면 섬유보강 등에 의하여 부재의 박막화와 무철근화가 남은 유일한 방법이다.

철근을 대체할 수 있는 재료에는 각종 섬유가 있는데, 유리 섬유는 예전부터 사용되었던 재료의 하나이지만 내알카리성이 좋지 않은 근본적인 결점이 있다. ZrO<sub>2</sub> 첨가 내알카리 유리섬유도 장

표 5. 콘크리트 말뚝의 원심다짐에서 원심력과 회전시간

말뚝의 크기와 외경(mm)	저 속		중 속		고 속	
	원심력(g)	회전시간(min)	원심력(g)	회전시간(min)	원심력(g)	회전시간(min)
소형 300 ~ 450		1 ~ 2		2 ~ 5		4 ~ 8
중형 500 ~ 800	2 ~ 5	2 ~ 4	10 ~ 15	5 ~ 10	25 ~ 35	5 ~ 10
대형 1,000 이상		4 이상		10 이상		10 이상
평 균	3		12		30	

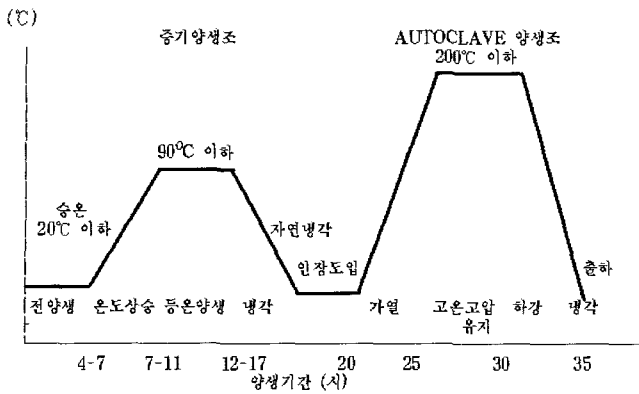


그림 3. 고온고압 양생 사이클

기간에는 콘크리트에 의해 침식을 받고, 용해되어 보강효과도 상실된다. 최근 화학적 안정성이 우수하고 인장강도, 탄성률 등의 기계적 물성이 유리섬유와 대등한 견줄만한 poly-prophenyl terephthaline amide 또는 이것과 poly-probenzyl amide의 공중합체로 된 para계 amide 섬유가 개발되고, 탄소섬유도 제조기술의 진보로 가격이 낮아져 2차원 sheet, 3차원 망상물의 형태로 보강한 FRC에 의한 건설부재의 박막, 경량, 고강도화가 시도되고 있다. 2차원 또는 3차원 직포를 보강재로 사용하여 연속구조를 취함에 의해 철근보다 1/3의 보강근량을 사용하더라도 철근 콘크리트의 3~4배의 강도를 얻을 수 있다. 이처럼 기술혁신에 수반하여 종래의 GRC를 대상으로 저알칼리화를 목표로 개발된 프리캐스트 제품용 시멘트는 부재의 두께감소, 경량화에 따른 변형을 절감하는 수축보상저백화형 시멘트로 목표기능을 바꾸어 가고 있다.<sup>10)</sup>

### 3.4 저발열 콘크리트

시멘트의 수화열 발산이 어려운 거대구조물, 장대교량의 기초 또는 지하 구조물 등이 많이 건설됨에 따라 콘크리트의 온도응력에 기인한 온도경사에 대처하는 것이 중대한 문제가 되고 있다. 지금까지 담과 같은 거대한 구조물의 건설에는 중용열 시멘트, 고로시멘트 등을 이용하여 수화발열량을 감소시키거나 또는 원재료의 사전 냉각, 타설 후에 찬물을 파이프에 넣어 순환시키는 방법 등을 실시하고있지만, 공기의 단축, 콘크리트의 대량 타설, 건설비용의 절감을 위하여 저발열 시멘트의 개발이 강력히 요청되고 있다. 즉 기존의 중용열 또는 고로 시멘트와 동등한 강도 발현율과 양호한 가소성을 확보하는 동시에 수화열과 단열온도상승을 낮추는 것이다. 그러나 강도를 발현하면서 수화열을 낮게 억제하는 것은 동일 물질을 사용하는 한 불가능하다. 따라서 소요 강도발현특성을 갖고 시멘트보다 발열량이 적은 제3의 물질을 이용하는 것이 필요하다. 즉 시멘트의 수화열은 Hess의 법칙에 의해 수화전후의 용해열의 차이로서 나타내어지지만 수화생성계의

용해열은 큰 변화가 없기 때문에 미수화상태의 용해열이 시멘트보다 작은 수경성 또는 수화반응성 물질을 혼합하는 것이다. 혼합재로 많이 이용되어지는 고로 슬래그미 분말이나 플라이 애쉬는 용해열이 각각 582 cal/g 및 220 cal/g으로 시멘트(보통 시멘트 603 cal/g, 조강 시멘트 613 cal/g, 중용열 시멘트 593 cal/g)보다 낮으므로 원료의 분말도, 입도분포, 혼합비, 시멘트의 종류 등으로부터 최적조합을 선택함으로써 저발열 시멘트를 얻을 수 있을 것으로 생각된다<sup>16)</sup>. 고로 시멘트의 수화반응은 활성화 에너지로서 판단하면 온도의존성이 높고, 고온에서는 강도발현이 나쁘다고 알려져 있으므로 콘크리트의 단열온도 상승을 낮게하고 콘크리트의 유동성을 좋게 하기 위한 혼합형 저발열 시멘트는 필연적으로 시멘트-고로 슬래그 미분말-플라이 애쉬 삼성분계가 가장 유망하다.<sup>11)</sup>

### 3.5 펌프압송시 작업성의 확보와 유지

콘크리트 공장제품에 있어서도 최근 일부 제품에는 펌프압송 타설 방식이 적용되고 있다. 따라서 유동성이 우수한 반죽을 만드는 방법이 필요하게 되었다. 단순히 혼합수량을 증가시켜 높은 유동성을 얻는 것은 재료의 분리, 강도의 감소, 내구성의 저하를 초래하므로 혼합수량을 낮추고 대신 감수제나 고성능 감수제 등의 혼화제를 사용하여 유동성을 확보하고 있다.<sup>14)</sup>

### 3.6 기타

부재의 프리캐스트화와 더불어 프리캐스트 콘크리트 판이나 ALC의 접합 재료, 미장 재료 등의 중요성도 커지고 있다. 여기에 사용되는 각종 모르타르 제품이나 그라우트 제품은 건물의 최종 마감재로서 미관뿐만 아니라 접합부나 표면의 기밀성이나 수밀성을 높여 구조물의 내구성에 중요한 역할을 한다. 물성으로는 무수축성, 자기수평성, 보수성 등이 요구되며 최근에는 포장된 모르타르 제품을 현장에서 물만 부어 혼합하여 사용하는 건조 모르타르 형태의 제품으로 제조되어 기계화 시공에도 편리하여 인건비 절감, 작업장 환경의 개선에 일조하고 있다.

## 4. 맺음말

현재 21세기 건설산업을 둘러싸고 있는 환경으로 노동인력의 고령화로 인한 숙련 노동력의 부족, 품질의 향상, 공기단축, 건설생산성 향상, 국내 건설시장의 개방 등 급속한 변화가 예상된다. 이러한 변화에 대응하기 위한 해법 중 하나로 프리캐스트 콘크리트의 활용에 많은 기대가 모아지고 있으나, 아직 국내에서는 많은 부분이 현장타설 콘크리트에 의존하고 있고 이에 대한 대응은 다소 부족한 실정이다. 선진외국에서도 콘크리트 공사의 대형화,

복잡화 등에 대응하기 위해 프리캐스트 공장제품의 코스트, 성능 및 환경문제를 해결하기 심각하게 연구하고 있는데, 코스트 측면에서는 CALS를 도입하여 수송효율화를 통한 물류비용절감을 추구하고, 성능면에서는 생산 유닛의 대형화, 국제규격화를 지향하며, 폐자재의 재활용을 통한 환경문제에의 대응을 적극적으로 전개하고 있다. 그러나 아직 국내에서는 공장제품에 대한 체계적인 연구와 대응준비가 부족한 실정이고, 사용에 대한 인식전환도 다소 부족한 실정이어서 이에 대한 보다 적극적인 준비가 시급하다고 판단된다. □

참고문헌

1. 桶口, 岸谷, 콘크리트재료I法ハンドブック, (株)建設産業調査會, 1985, pp.272~285.
2. 岩崎喬夫, "2ヒンジプレキャストアーチカル버트 I 法の開発・施工", セメント・コンクリート, No.636, 2000, pp.26~32.
3. 福室順也, 佐野淳文, "大型プレキャスト部材による調整池の築造技術", セメント・コンクリート, No.642, 2000, pp.10~16.
4. 菅原敬一, 高木芳光, "大断面プレキャスト地下鐵羽の急速施工", 콘크리트工學, Vol.39, No.2, 2001. 2, pp.44~47.
5. 長瀧 重義 ほか, "工業標準콘크리트製品規格の動向", セメント・콘크리트, No.646, 2000, pp.1~6.
6. 岡村 ほか, "하이퍼퍼포먼스콘크리트의開發", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.11, No.1, 1989, pp.699~704.

7. 本間 ほか, "하이퍼퍼포먼스콘크리트를 이용한工場製品の構造實驗", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.69~74.
8. 川島滿成 外 2人, "高流動콘크리트による工場製品の製造", 콘크리트工學, Vol.38, No.5, 2000. 5, pp.51~54.
9. 大江眞平 外 3人, "プレキャスト型枠I法による高橋脚急速化施工-丹波綾部道路乙味川橋工事", 콘크리트工學, Vol.40, No.6, 2002. 6, pp.22~27.
10. 内川, "わが國におけるセメント/콘크리트의將來", 小野田研究報告, 第42卷, 第1冊, 第122號, 1990.
11. Miyata, S., "Produce and Construction of Super-Plasticizer to High-Strength Concrete", Cement Concrete, No.427, 1989, pp.27~33.
12. G. J. Verbeck and R.A. Helmuth, 5th International Symposium on the Chemistry of Cement Toykyo, Vol. III, 1-32, 1968.
13. Kasai, et al., "Evaluation of Enhancing Agents for Concrete Quality", Cement Concrete, No.500, 1988, pp.130~163.
14. 飯塚, 新콘크리트用混和材料, CMC, 1988, pp.31~48.
15. 大浜, "高強度콘크리트の限界", セメント 콘크리트, 1992, No.546, pp.61~69.
16. 渡部 ほか, "二成分系低發熱型高流動콘크리트の基礎物性について", 콘크리트 工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.57~61.