

콘크리트 新素材의 特性和 開發動向

文 英 鎬

〈産業研究院 研究員〉

1. 흐 름

최근에 이르러 産業界는 尖端技術의 鴻수시대로 접어들었다. 新素材의 개발과 실용화, 인공지능 및 Expert System의 개발, 초LSI, 新세라믹, 로보트化, 情報社會로의 전환 등 尖端技術의 개발과 이용 기술이 多樣化되고 있다.

건설분야에서 가장 널리 사용되는 재료 중의 하나인 콘크리트에서도 新素材의 바람이 불고 있으며 콘크리트의 新素材에 대해서도 연구·개발에 투자가 확대되어야 할 것이다. 현재 콘크리트의 기술개발 과제는 輕量化, 高強度化, 早強度化, 耐候性, 프리캐스트化, 合理的인 설계 등으로 진전되고 있으며 국내에서 이 분야에서의 기술 수준이 미흡한 것은 사실이다.

여기서는 최근 외국에서 개발되었거나 연구와 실험을 거치고 있는 여러가지 新素材에 대하여 간단히 소개함으로써 새로운 아이디어와 흥미를 돌우고 금후의 콘크리트 기술의 연구·개발에 기대감을 가질 수 있을 것이다.

2. 특수한 재료의 시멘트

시멘트를 구성하는 크링카 組成은 Alite, Belite, Celite, Aluminate의 주요 4조성물과 遊離石灰 등의 소량광물로 되어 있다. 시멘트의 水和度에 미치는 영향으로는 ①粉末度 ②溫度 ③

濕度 ④ W/C比 ⑤氣孔率 등을 들 수 있는데 재료 자체의 특성과 제조 프로세스의 여러 변화를 통하여 보통포틀랜드 시멘트와는 다른 성질을 가지고, 사용 목적과 조건에 따라 여러가지 용도에 적합한 시멘트를 만들 수가 있다.

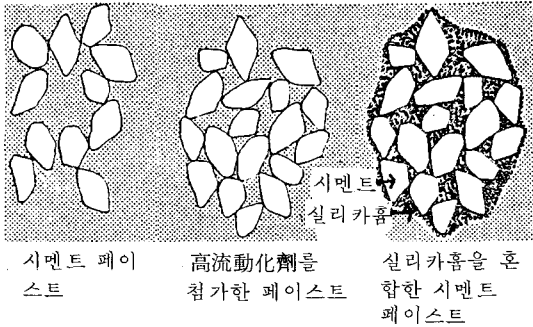
1) 금속재료에 도전하는 M.D.F 시멘트

1981년 영국 I.C.I社에서 개발된 M.D.F 시멘트(Macro Defect Free Cement)는 시멘트를 粒度調整하고 여기에 Polymer를 첨가, Roller mill로 混練하여 눈에 띄게 큰 氣孔을 추출하여 만든 시멘트 제품이다. M.D.F 시멘트는 낮은 W/C比로서 低氣孔率, 未水和크링카의 효과 注入材의 充填·補強效果 등으로 超高強度 시멘트를 만들 수 있다. 공개된 특허나 문헌에 의하면 粒子直徑의 분포를 2가지 이상의 피크에서 형성되도록 하며 이러한 피크들 간의 간격이 좁을수록 마크로한 氣孔이 추출되어 좋은 시멘트가 생성되는 것이다. 이것에 의하여 반죽 水量과 시멘트 硬化體의 氣孔이 감소한다는 것이다. 그리하여 시멘트를 100% 水和하는데 필요한 理論水量인 23.5%보다 낮은 20% 이하에서도 100%의 完全硬化가 달성될 수 있다. 또 하이드록시-메틸셀룰로스 등의 高分子添加劑를 가미하여 혼합이 용이하고 시멘트 粒子의 界面活性效果和 分散效果를 가지게 하며 섬유보강에 의하여 應力集中의 緩化, 균열제어 등의 효과로 더욱 강도를 높일 수 있다. 이미 I.C.I社

에서는 압축강도 1,500~2,500 kg f/cm², 인장강도 300~1,000 kg f/cm²의 고강도 시멘트를 개발하였고 Roy 등은 포틀랜드시멘트에 Hot Pressure 기술을 이용하여 압축강도 6,463 kg f/cm², 인장강도 629 kg f/cm²의 놀라운 시멘트를 실험하였다.

2) 산업부산물의 실리카흙시멘트(Silica Fume Cement)

실리카흙은 제강용 脫酸·脫黃劑로 이용되는 합금철인 페로실리콘이나 실리콘메탈을 전기로에서 제조할 때 발생하는 가스 중에서 얻어지는 超微粉末의 산업부산물이다. 실리카흙은 粒徑이 50 Å~0.5 μm 로써 보통포틀랜드 시멘트(比表面積 약 3,000 cm²/g)의 70~80 배의 比表面積(20~25 m²/g)을 가지는 粉末體로 粒徑分布가 0.5~10 μm 의 시멘트 입자 둘레에 나타나는 공극을 실리카흙의 超微粒子로 충전하여 아주 치밀한 구조를 이루게 한다(〈그림-1〉).



〈그림-1〉 시멘트 입자의 분산상태

실리카흙 콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 1.5~2 배의 높은 彈性率을 보이며 특히 초기 高強度硬化의 특징이 있다. 실리카흙을 사용한 콘크리트의 28 일 압축강도는 1,180~2,670 kg f/cm²의 고강도를 가지는 것으로 보고되고 있다. 〈表-1〉에는 실리카흙을 이용한 고강도 콘크리트 조성의 한 예를 보이고 있다.

3) 기타의 특수시멘트

앞에서도 언급했듯이 시멘트는 크링카의 조성과 프로세스에 따라서 水和度의 차이와 혼화재료의 첨가에 의해서 화학적, 물리적 성질이 전혀 다른 시멘트 재료들을 개발할 수 있다. 〈表-2〉에는 이 중의 몇 가지에 대하여 간단히 소개하고 있다. 또한 이 외에도 重量콘크리트 구조물에 적합한 저발열성 시멘트, 화학적 침투에 대한 높은 저항성을 가진 耐약품성 시멘트, 고온에서 견딜 수 있는 耐熱 시멘트, 지하 파일

실리카흙 고강도 콘크리트 조성의 -例(무게比)

〈表-1〉

배 합 성분	% (무게)
실리카흙	133
포틀랜드 시멘트	400
잔골재 1/4~1 mm	141
잔골재 1~4 mm	566
굵은 골재 8~16 mm	1,153
고성능 감수제(분말)	13.5
水	100

〈表-2〉

여러 종류의 특수시멘트

종 류	주 성 분	특 성	용 도
초속경성 시멘트	소량의 C ₂ S, C ₁₁ A ₇ ·CaF ₂ 약 20% C ₄ AF 4.7%, 무수석고 약 20%	타설후 3시간 만에 200~300 kgf/cm ² 의 압축강도, 저온에서 단기강도 발현효과	급속시공, 긴급보수, 그라우팅공법, 콘크리트제품
지반개량용 시멘트	규산칼슘 8~20%, 생석회 5% 칼슘설포알루미네이트 10~14% 다이칼슘실리케이트 20% 이상, 석고	개량토의 강도증진, 지반중의 물과 고화작용, 凍上저항 증대효과	연약지반개량, 도로의 노반안정처리, 지반의 누수고화 및 산업폐기물 고화처리
Belite 지경성 시멘트	Slag : belite : alite 를 60:30:10 으로 구성	재령 1일에 0.5 kgf/cm ² 의 강도발현, 1~3일간 반복타설 가능, 장기강도저하가 없음	연약점토층의 항만구조물 해저지층개발 연약지반 고화처리

의 충전재로 사용할 수 있는 油井·地熱 시멘트, 여러가지 색상을 낼 수 있는 컬러시멘트 등이 집중적으로 관심을 보이고 있다.

3. 콘크리트 混和劑

콘크리트 混和劑는 1930 년대의 AE 劑, 減水劑의 발명으로 시작되어 合成化學, 界面化學의 진보에 따라 시멘트 콘크리트의 각종 성질을 개선하거나 특수한 성능을 부여하는 많은 종류의 혼화제가 개발되어 시멘트 콘크리트의 발전에 크게 기여하고 있다. 최근 골재의 저품질화, 시공법 개선의 합리화, 산업부산물의 유효이용 등으로 수많은 混和劑가 개발되고 있다. 混和劑에 대한 최근의 세계 공통적 관심은 高性能減水劑와 AE 劑類, 水中콘크리트用 混和劑 등에 집중되고 있다. 현재 國內에서는 20 여社の 혼화제 제조·판매 및 수입원 등이 있는데 대부분이 일본, 미국 등에서 원료를 수입하거나 기술제휴, 기술제공 등이고 완제품을 직접 수입·판매하고 있는 수입원도 많아 그 제조분야의 기술은 상당히 미흡한 실정이다. 세계 각국은 이런 混和劑의 개발에 특허와 노하우로 무장하고 있어 우리에게도 끊임없는 연구를 필요로 하는 분야이다. 일반적인 混和劑의 종류를 나타내면 <表-3>과 같다.

1) AE 劑, AE 減水劑

界面活性作用에 의해 워커빌리티나 凍結融解에 대한 耐久性과 강도를 향상시키고 中性化억제, 水密性 개선 등의 효과가 있다. 최근 골재 사정의 악화, 펌프시공의 일반화, 레미콘에 의

한 수송 등이 單位水量을 증가시키고 이로 인한 耐久性의 劣化, 硬化 후의 구조물의 결함 등에 대처하여 W/C 比를 늘리지 않고 슬럼프량을 줄일 수 있는 混和劑인 것이다. 최근에는 이러한 AE 劑에서 문제점으로 대두되고 있는 氣孔連行性を 방지하기 위한 被吸着性能을 개선한 高級脂肪酸系나 글리시돌系的 새로운 AE 劑가 개발되고 있다.

2) 高性能減水劑

콘크리트의 高強度化的 꿈과 뛰어난 시공성의 기대에 부응하는 근래 가장 각광을 받기 시작하는 混和劑가 高性能減水劑이다. 현재 시판 중인 高性能減水劑는 메라민술폰酸系, 나프탈린술폰酸系, 改良된 리그닌술폰酸系 및 기타 몇 가지로 대별되는데 종래의 減水劑에 비하여 減水性能이 월등히 뛰어나며 대개 12 cm 안팎의 슬럼프량을 나타낸다.

高性能減水劑는 고강도 콘크리트 분야에 應用되어 ALC 제품, 프리캐스트 콘크리트, 고강도 판넬, PC빔 등에 활용되어 압축강도 800~1,000 kgf/cm² 이상의 고강도 콘크리트 구조물이나, 流動化劑로 사용되어 전조수축의 감소, 브리딩의 감소, 수밀성과 기밀성의 증대, 펌프시공의 효율화 등으로도 효과적으로 사용될 수 있다.

이러한 減水劑는 다른 混和劑와의 병용에 의하여 새로운 기능과 특성을 나타내는데, 이것에는 AE劑, 지연제, 점성부여제 및 여러 종류의 無機鹽系가 있다. 이러한 복합효과에 의하여 시공성, 내구성이 더욱 향상될 뿐만 아니라 水中 콘크리트, 寒·暑中콘크리트, 超早強콘크리트의 분야에 적용되어 더욱 새로운 新素材와 新工法을 창출하고 있다. 또한 최근에는 여러가지 폴리카본酸, 아크릴-아크릴메틸 共重合物, 폴리아미노산系 양성제면활성제, 케텐系 高縮合술폰산 등의 다양하고 性能이 향상된 소재들이 개발되고 있다.

3) 超遲延劑

불화염, 인산염, 붕산염 등의 無氣質系 및 글루콘산, 구연산, 헵탄산 등의 有氣質系 물질을 주성분으로 하는 초지연제는 이의 사용량을 적

混和劑의 종류

<表-3>

① 促進劑, 促進形減水劑	⑧ 保水劑
② 遲延劑, 遲延形減水劑	⑨ 消泡劑
③ 空氣連行劑	⑩ 알칼리골재 反應減水劑
④ 減水劑, AE 減水劑	⑪ 發泡劑
⑤ 高性能減水劑	⑫ 防腐劑
⑥ 防水劑	⑬ 膨脹劑
⑦ 防鏽劑	⑭ 着色劑

절히 조절함으로써 재령 28日 강도를 살리면서 콘크리트의 凝結·硬化를 의도적으로 조정할 수 있다(26~36시간의 凝結 지연 가능). 초지연제를 사용한 여러 실험 결과와 시공보고에서는 초지연제의 사용이 0~0.3% 정도로 다양한 지연 효과를 얻었다고 하는데 콜드조인트방지, 이음부의 일체화를 위한 타설시의 공정 관리 개선 등에 거듭 새로운 시도가 이루어지고 있다. 이외에도 주요 應用 분야로는 晝中콘크리트, 대형 不靜定構造物, 슬라이딩工法, 이음면의 부착성 개선, 말뚝머리 처리 및 야간작업을 할 필요가 없는 등의 여러 분야에 적용되고 있으며 그 적용이 점차 확대될 전망이다.

4) 水中콘크리트 混和劑

水中에서 타설하는 콘크리트는 재료분리 특히 시멘트 분말의 유출, 물에 의한 희석이 원인이 되어 신뢰성에 결함이 있고 수질오염 등의 문제점을 가진다. 앞으로 水中콘크리트 混和劑는 많은 진전과 경쟁적인 연구 개발이 예상되고 그 수요 또한 상당히 증가할 것으로 보이는데 서독 Gewatech 社의 '하이드로크리트'가 그 선두 주자를 달리고 있다. 이 '하이드로크리트'는 철저한 노하우로 무장하여 混和劑의 시료 자체로 판매하지 않고 직접 시공판매하고 있다고 한다. 또한 금년 10월에는 일본에서도 거의 같은 性能을 나타내는 水中콘크리트 混和劑가 개발되었다고 하며 국내에서도 개발을 서두르는 업체가 있다. 이 수중콘크리트 混和劑는 水溶性 고분자물을 주성분으로 하는데 지금까지의 적용분야를 확대하여 수중공사에 신기원을 이루었다고 할 수 있다(表-4).

5) 其 他

최근에는 防鏽劑, 收縮低減劑 등도 연구개발되고 있으며 특히 混和劑는 나날이 새로운 재료가 쏟아지고 있는데 日本의 경우 그 종류도 수십종에 이르고 있으며 제품의 수도 500여종이 넘게 시판되고 있다. 근래에 관심을 보이고 있는 중에서 텍스트린을 주성분으로 하는 수화열억제제, 특수처리한 알미늄분말과 분산제, 유동화제를 주성분으로 하는 膨脹劑, 초기 냉해를 방지하는 防凍·耐寒劑 등이 있다. 또 수밀성, 방수성을 부여한 신종의 방수제, 뿔칠工法에서의 누수시의 시공을 가능하게 하는 급결제, 블록의 형틀을 즉시 해체할 수 있는 A E성 블록용 혼화제 등등이 개발되고 있다.

4. 콘크리트用 補強材

시멘트 콘크리트의 補強材는 그 종류가 매우 다양한데(表-5)이제까지는 주로 鋼纖維나 유리섬유를 주로 사용해왔다.

纖維補強콘크리트에 대한 연구는 이미 先進工業國에서 10여년 전부터 수없이 實驗·研究되어 현재 상당한 규모로 實用化되고 있으나 우리나라에서는 아직 거의 사용되지 않고 있다.

콘크리트용 纖維는 매우 다양한 크기와 모양으로 만들어지는데 鋼纖維는 보통 0.25~0.76mm 정도의 圓型과 두께 0.15~0.41mm, 폭 0.25~0.9mm 정도의 剪斷型이 있으며 일반적인 유리섬유는 0.005~0.015mm의 직경으로 되어 있다.

여기서는 주로 섬유제의 新素材를 중심으로 소

새로운 水中콘크리트用 混和劑

表-4

特 性	用 途
① 점성과 유동성이 풍부	① 교량하부의 시설, 보수
② 공기에서와 같은 강도 획득	② 각종 해양구조물의 앵커 및 기초공사
③ 교란, 분리감소로 수질오염의 우려를 해소	③ 항만구조물, 잔교, 방파제
④ 브리딩이 적고 레이턴스가 없다.	④ 하천수리구조물, 호안, 수로, 제수공, 하구언
⑤ 진동다짐가능	⑤ 지하연속벽공법, 현장말뚝공법
	⑥ 누수고화공법

개하고자 하며 이것에는 탄소섬유(CF), 아라미드섬유(AF), 고강도·고탄성의 플라스틱섬유 등이 있고 종래의 강섬유나 유리섬유에 비하여 비중이 작고 인장강도와 탄성계수가 크며 耐候性, 耐藥品性 등이 우수하지만 가격이 다소 비싼 결점이 있다. 근래에는 섬유보강콘크리트의 사용에 있어서 그 단가를 낮추어 실용화에 박차를 가하는 연구들이 많이 진행되고 있다.

1) 炭素纖維

탄소섬유는 폴리아크릴로니트릴, rayon系의 고분자 섬유를 원료로 한 PAN系, 석유피치를 원료로 한 피치系 탄소섬유가 있다. PAN系 탄소섬유는 유기질 섬유를 고온처리하여 질소와 수소를 뽑아내고 탄소원자만으로 구성되어 안정화된 우수한 配向性을 가진 구조로 되어 있다. 탄소섬유는 탄소결정의 배치방향도에 의해서 그 질이 크게 좌우되는데 산화과정과 탄소화과정을 경유하여 제조한 고강도 탄소섬유와 흑연화과정을 경유하여 제조하는 고탄성의 흑연섬유로 대별되는데 인장강도 향상을 위한 열처리를 緊張下에서 실시하여 탄소섬유에 높은 結晶配向度를 부여한다.

석유피치를 이용한 탄소섬유는 等質의 피치를 紡絲한 것으로 등질로 하기 위해서 고온에서 炭化하여 고탄성물의 고강도 탄소섬유를 얻게 된다.

이러한 탄소섬유들의 역학적 특징은 유리섬유의 70% 정도의 밀도로서 동등한 인장강도를 얻을 수 있으며 效率은 유리섬유에 비하여 3~4배 이상 높으나 破斷變形에는 약한 결점이 있다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 유리섬유나 f-abric 을 이용하여 이러한 단점을 보강할 수 있다. 탄소섬유는 耐水性, 耐알칼리성, 耐海水性, 화학저항성이 우수한 점에서 이전의 유리섬유나 스테인레스강섬유 등이 따를 수 없는 점이다. 앞서의 이런 장점으로 탄소섬유는 이것을 短섬유화하여 시멘트모르타르 중에 분산한 탄소섬유보강시멘트(CFRC)를 만듦으로써 그 우월성이 기대되는데 이 短섬유화하는 때는 직경 10 μ m 전후의 모노필라멘트 상태를 이용하여 분산처리하는 특수한 기술로 상당한 노하우를 요하는 것으로 알려져 있다. 이런 이유로 GRC에 이용하는 耐알칼리 유리섬유의 Chopped Strand 형으로 분산하는 것이 효과적인 방법으로 알려져 있다. 이 외에도 탄소섬유에는 정전방지의 기능, 3,000 $^{\circ}$ C 부근에서도 사용이 가능한 내열성 등의 특징이 있다.

2) 아라미드(Aramid)纖維

아라미드섬유는 芳香族폴리아마이드(aromatic Polyamide) 섬유의 약칭으로 나일론공업에서 파생한 부산물로서 美國 듀퐁社의 Kevlar가

시멘트 콘크리트의 補強用 纖維의 內容

섬 유 의 종 류		인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ² × 10 ⁶)	비 중	
무 기 질 체	탄 소 강	3,500~10,000	1.95 ~ 2.10	7.8	
	鋼	아 연 도 금 강	3,500~10,000	1.95 ~ 2.10	7.8
		스 테 인 레 스 강	4,900~10,000	1.95 ~ 2.45	7.8
	耐 알 칼 리 성 유 리	14,000~35,000	0.70 ~ 0.78	2.7	
	탄 소	피 치 계 (저탄성)	8,000~11,000	0.43	1.6
		PAN 계 (고탄성)	20,000~30,000	2.00 ~ 4.00	1.7 ~ 1.9
ASBESTOS		5,600~9,800	0.84 ~ 1.40	2.9	
유 기 질 체	폴 리 에 틸 렌	5,600~7,700	0.0035	0.9	
	아 라 미 드 섬유	28,000~31,000	1.3 ~ 0.63	1.39 ~ 1.45	
	테 크 미 론	15,000~35,000	0.8 ~ 1.0	0.96	
	크 라 론	7,000~15,000	0.11 ~ 0.37	1.26 ~ 1.30	
콘 크 리 트		5~25	0.1 ~ 0.3	1.0 ~ 2.3	

그 대표적인 예이다. Kevlar는 有機合成의 산물로 분자가 剛直하여 용해성이 낮으며 重合 중에 침전되는데 이를 紡絲하여 配向 섬유화한 것이다. HM-50의 分子構造는 약 110°C에서 醜結하는 에스테르 結合溶劑에서 용해도가 낮으며 重合 중에 침전하지 않고 高重合금의 dope로 되어 노즐로 방출한 紡絲로 이것을 고온 延伸하여 고장력, 고탄성률의 직선상의 분자구조로 되는 것이다. 이러한 아라미드섬유의 특징은 ①탄소섬유보다 가볍지만 동등한 강도를 가진다. ②탄소섬유보다 靱성이 대단히 크다. ③耐藥品性이 강하다. ④赤外線에 약하며 전기전도성이 없다. 이러한 아라미드 섬유는 주로 PC 緊張材, 해양환경하에서의 콘크리트 구조물, 프리캐스트 제품 등에 사용되어 높은 효율성을 발휘할 것으로 기대된다. 또 최근에는 탄소섬유계의 FRP는 파괴靱性, 충격저항이 약하여 아라미드섬유와 조합하여 하이브리드 복합재료로 개선하는 방법이 시도되고 있다.

3) 高強度·高彈性的의 플라스틱 섬유

테크미론이라고 불리는 유기질 섬유도 탄소섬유나 아라미드 섬유에 필적할 만한 高결정성의 폴리에틸렌섬유로 경량, 高靱性的의 점에서는 탄소섬유보다 우수하며 耐候性的의 관점에서 아라미드섬유보다 우세하나 고온 환경에서의 사용이 적절하지 못한 결점이 있다. 이 유기질계 섬유는 각종 로프 재료나 FRP용 강화재 등의 용도로 상당한 기대를 가지며 短섬유 분산기술에 의한 경향, 高靱性시멘트계 복합판에 이용될 수 있고 솔제이트의 보강재료로도 높은 효과가 있을 것 같다.

4) 특수合成고무를 混入한 철근콘크리트

주요 원료로 ①조강시멘트 ②보통시멘트 ③細골재(규사, 모래 등) ④스티렌·부타디엔·고무(SBR)폴리머-40%, 물 60%를 시멘트와 1대 10으로 혼합한 후 진공상태에서 압출·성형한 外壁材가 개발·발매되고 있다. 이 外壁材는 인장강도가 100 kg/cm², 굽힘강도가 300 kg/cm²로 보통콘크리트의 약 10배에 달하는 놀라운 강도를 지니고 있다.

이상의 신소재 중 일부는 그 가격면에서 아직 불리한 점이 있으나 해양구조물의 방식피복재나 내식보강재 등의 사후의 유지관리가 어려운 구조물 등에 적용되어 耐久年限과 코스트와의 관계를 고려하면 필요불가결한 소재로 대두될 것이다.

5. 콘크리트 技術에서의 新素材의 可能性

이상에서 콘크리트의 性能을 向上시키기 위한 여러 종류의 新素材에 대하여 언급하였으나 이외에도 절대건조비중이 0.5~1.0 정도의 초경량 골재, 鹽害對策用 耐蝕鋼材, 高強度鋼材 등의 新素材도 다투어 개발되고 있다.

재료분야나 화학공업분야 등에서의 새로운 재료의 끊임없는 연구·개발을 통하여 나날이 新素材가 개발되고 있으며 시멘트 콘크리트 분야로의 전환기술이 점차 확대·응용될 것이다. 또한 시멘트 콘크리트 분야의 시장적 측면에서 볼 때 건축의 고층화, 구조물의 대규모화, 부재의 공업화, 인간생활의 도시화 등으로 경량 고품질로서 경제성이 높은 콘크리트 技術이 끊임없이 요구될 것이며 선진 외국에서는 이러한 분야에 연구개발과 실용화에 투자가 확대되고 있다.

콘크리트는 지금까지뿐만 아니라 앞으로도 건설재료의 王者로 남아 있을 것이며 금후 高附加와 高性能을 가지는 콘크리트와 그 각각의 소재에 관심을 가진다면 耐力, 耐火, 熱·音響遮斷材 등의 각 기능을 확보하고 아울러 경량화와 시공효율성이 극도로 개선된 놀라운 콘크리트가 탄생될 것이다.

〈參考文獻〉

- 1) 佐藤健, 兒玉和巳, 小林一輔, 콘크리트工學(日), 24(3), 10(1986).
- 2) 關博, 콘크리트工學(日), 21(4), 4(1983).
- 3) 松田應作, 시멘트·콘크리트(日), No. 457.2(1985).
- 4) 長龍重義, 콘크리트工學(日), 23(5), 5(1985).
- 5) R. A. Wells, Composites, 13(2), 169(1982).
- 6) Read Gewatech Co, Hydrocrete(외6), 30p
- 7) P. Bosworth, Concrete(London), 20(8), 4(1986)
- 8) 문영호, 산업·기술동향, 4(9), 124(1986).
- 9) 문영호, 산업·기술동향〈附錄 I: 特定主題資料目錄〉, 4(9), 147(1986).
- 10) 日特開, 52-53927. ♣