

新素材를 利用한 콘크리트의 特性과 可能性

文 英 鎬

〈산업연구원 연구원〉

金 鎭 根

〈한국과학기술원 조교수〉

1. 序 論

최근에 이르러 산업계는 첨단기술의 홍수 시대로 접어들었다. 신소재의 개발과 실용화, 컴퓨터의 고도화 및 로봇화, 정보사회로의 전환 등의 첨단기술의 개발과 이용기술이 다양화되고 있다. 이에 발맞추어 토목공학 분야에서도 설계 및 구조에서의 컴퓨터 이용의 제고, 시공에서의 로봇화, 재료에서의 새로운 제품의 개발과 신소재의 이용화 그리고 환경분야에서의 관심 등이 일어나고 있다.

건설분야에서 가장 널리 사용되고 있는 재료 중의 하나인 콘크리트에서 신소재를 이용한 제품의 개량에 대한 관심이 고조되고 있으며 우리나라에서도 상당한 연구가 진행되고 있다. 이러한 신소재의 필요성과 시장성은 콘크리트 재료가 갖고 있는 결점을 잘 파악함으로써 예견될 수 있다. 그러한 결점을 보완해 주기 위해 연구개발되어야 할 신소재로는 高附加價値를 가지는 새로운 시멘트, 超輕量 및 高強度輕量골재, 새로운 기능을 가지는 혼화제, 각종섬유계 보강재, 콘크리트 중의 耐蝕鋼材 및 超高張力鋼材 등을 들 수 있다.

여기서는 이러한 모든 신소재에 대하여 언급함으로써 연구계와 산업계에 새로운 가능성과 흥미를 돋우고, 금후의 새로운 기술의 개발에 기대감과 아이디어를 제공하고자 한다.

2. 특수한 재료를 이용한 시멘트

시멘트를 구성하는 크링커 광물은 alite(C_3S), belite($\beta-C_2S$), Ca-aluminate(C_3A), Ca-ferrite(C_4AF) 등의 주광물과 遊離石灰(free CaO), MgO, 알칼리성분(Na_2O , K_2O) 및 석고($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 등이 소량 함유되어 있고 水和反應時의 클링커 광물의 성분들은 각각 다른 水和度를 가지며, 水和反應에 의해 생성되는 水和物의 조성 및 구조도 첨가물에 따라서 다른 성질을 가지게 된다. 이런 水和反應時의 특성으로 특수한 재료를 이용한 시멘트는 보통 포틀란트시멘트와는 다른 성질을 가지고, 사용목적과 조건에 따라 여러 용도에 적합한 시멘트를 造成할 수 있다. 여기서는 특수시멘트의 製造와 화학적인 특성은 복잡할 뿐더러 간단히 다룰 문제가 아니므로, 최근의 새로운 시멘트·混和材料의 몇種에 대

하여 물리적인 특성과 용도에 대하여 기술한다.

2-1 M. D. F. 시멘트

1981년 영국 I. C. I.社에서 개발된 M. D. F. 시멘트(Mecro Defect Free Cement)는 시멘트 粒子가 대단히 미세한 粒末구조를 가지며, 여기에 소량의 물과도 시멘트 혼합이 용이하도록 하기 위하여 폴리머를 가미하고 Roll Mill로 混練하여 氣孔을 추출하여 만든 시멘트 제품이다. M. D. F시멘트는 낮은 W/C 比로서 低氣孔率, 未水和클링커의 효과, 注入材의 充墳·補強效果등으로 超高強度 시멘트를 만들 수 있다. 공개된 특허나 문헌에 의하면, 粒子直徑의 분포를 2 가지이상의 피크에서 형성되도록 조절하며, 이러한 피크간의 폭이 좁을수록 좋은 시멘트가 생성되고 이것에 의하여 반죽水量이 감소하며, 아울러 시멘트 硬化體의 氣孔이 감소한다는 것이다.

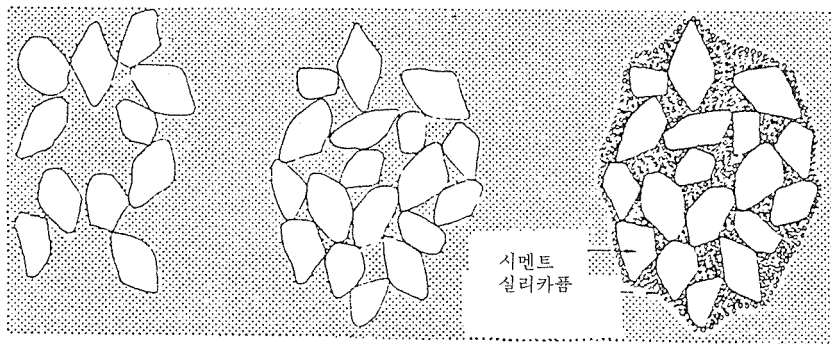
그리하여 시멘트를 100% 水化한데 필요한 理論水量인 23.5%보다 적은 20%이하에서 100% 硬化가 달성될 수 있으며, 이러한 낮은 W/C比로서 혼합을 용이하게 하기 위해서 高分子添加劑 (例: 하이드록시-메틸셀룰로오스 등)을 첨가하여 시멘트 입자의 界面活性效果와 粒子分散效果등을 가지는 것이다.

이미 I. C. I社에서는 압축강도 1500 ~ 2500

kgf/cm², 굽힘강도 400~1500kgf/cm², 인장강도 300~1000kgf/cm²의 高強度시멘트를 개발하였고, Roy등은 포틀랜드시멘트에 Hot Pressure (압력 3400kgf/cm², 온도 250°C)기술을 이용하여 氣孔率 1.8%, 시멘트水化率 29~37%의 압축강도 6463kgf/cm², 인장강도 629kgf/cm²를 달성하였다. M. D. F시멘트는 섬유보강에 의해서 集中應力の 緩和, 균열제어 등의 효과로 강도를 높이는데 기여하는데, Feldman에 의하면 應力집중이 생기는 곳에 C-S-H를 생성하며, 고분자 주입으로 미세한 공간을 분자의 架橋로써 결합한다.

2-2 실리카폼 (Silica Fume)시멘트

보통콘크리트 압축강도의 3~5배에 이르는 1180~2670kgf/cm²의 고강도를 가지는데, 이는 실리카폼의 超微粉포졸란에 의한 것이다. 실리카폼은 제강용 脫酸·脫黃劑로 이용되는 합금철인 페로실리콘이나 실리콘메탈을 전기로에서 제조할 때 발생하는 가스 중에서 얻어지는 超微粉末 산입부산물이다. 실리카폼은 입경이 50A~0.5μm로서 보통포틀랜드시멘트(比表面積 약 3000cm²/g)의 70~80배의 非表面積(20~25m²/g)을 가지는 粉末體로 粒徑分布 0.5~10μm의 시멘트입자 둘레에 나타나는 공극을 실리카폼의 超微粒子로써 충전하여 아주 緻密한 구조를 이루게 한다.



시멘트페이스트

高流動化劑를
첨가한 페이스트

실리카폼을 혼합한
시멘트 페이스트

그림 1. 시멘트 입자의 분산상태

<圖 1>에서 보이듯이 시멘트입자의 둘레에 충전된 물 속으로 球形의 실리카폼의 초미립자가 시멘트 주위를 충만시켜 물을 추출시키고 있다.

실리카폼 혼화콘크리트는 초기 高強度硬化의 특징과 보통콘크리트에 比하여 1.5~2 배의 높은 彈性率을 나타낸다(<圖 2>).

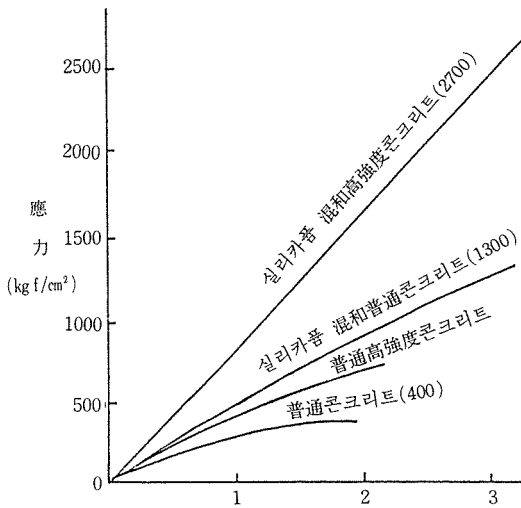


그림 2. 보통 콘크리트와 실리카폼 혼화콘크리트의 應力-變位度 (By H. H. Bache)

2-3 각종 시멘트·혼화제

앞에서도 언급했듯이 시멘트는 각각의 클링커의 조성과 水化度의 차이 등으로 클링커 광물 조성량의 조절, 혼화제 및 혼화재료의 첨가에 따라서 각각의 다른 화학적, 물리적 특성을 지니는 시멘트재료를 개발할 수 있다.

3. 콘크리트용 혼화제

콘크리트는 混和劑의 적절한 사용에 의해서 종래의 콘크리트 구조물의 결점을 補完할 수 있고, 시공상의 문제점 등을 해결하여 設計·施工法에서의 새로운 전기를 이룰 수 있

다. 지금까지 개발·시판되고 있는 混和劑는 상당한 수에 이르고 그 종류와 특성도 다양하다. 또한 시판품에서도 제조회사에 따라서 혼화제의 구성이나 첨가량 등이 조금씩 차이를 내고 있다. 최근, 골재의 저품질화, 反應性 骨材에의 대응, 시공법 개선과 합리화, 새로운 공법의 적용 및 산업부산물의 유효이용으로 새로운 혼화제가 개발되어 품질향상에 기여하고 있다. 일부 콘크리트용 혼화재료의 規格에 관하여는 日本 JIS에 규정되어 있다 (<表 2>)

3-1 AE제, 감수제, AE감수제

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, 골재사정의 악화, 펌프로 인한 耐久性의 劣化, 경화후 구조체의 결함 등에 대처하여 W/C比를 늘리지 않고 슬럼프량을 줄일 수 있는 混和劑인 것이다.

또한, 최근에는 生콘크리트 운반시에 콘크리트 중의 공기량 저하를 억제하여 被吸着性能을 개선한 高級脂肪酸系나 글리시돌(glycidol)系の 새로운 AE劑가 개발되어 주목되고 있다.

3-2 고성능 감수제, 유동화제

현재 시판되고 있는 유동화제는 나프탈린술폰산계와 멜라민술폰산계의 고성능 감수제에 속하는 것들로, 감수성능이 종래의 감수제에 비해 월등히 뛰어나며, 유수제는 고강도콘크리트 분야에 응용되어 오토클레이브 및 중기양생 고강도말뚝, 프리캐스트 콘크리트, 고강도패널, PC빔, PC트러스교 등의 800~1000kgf/cm² 이상의 고강도콘크리트 구조물이나, 일반의 콘크리트에 혼합하여 시공성 개선과 품질향상에 기여하고 있다 (<表 4>, <圖 3>).

이러한 감수제들은 다른 혼화제와의 병용에 의하여 더욱 효과적이고 새로운 혼화제가 개발되고 있는데, 이것은 화학적인 재편성에 의해서 새로운 기능과 특성을 나타내는 것이다. 이런 것에는 감수제와 혼합하기 쉬운 AE

表 1. 각종 시멘트 混和劑

種 類	特 性	用 途
超速硬性 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 보통 콘크리트에 비해 소량의 C₂S와 C₁A₁ • CaF₂가 약 20%, C₄AF가 4.7% 無水석고가 약 20% 조정 • 타설후 3시간만에 200~300kgf/cm²의 압축강도 • 최종강도가 높고, 짧은 응결시간 • 저온에서도 단기간에 강도발현 	<ul style="list-style-type: none"> • 급속시공 • 긴급보수공사 • 그라우팅 공법 • 뿔칠공법 • 콘크리트제품
低發熱性 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 플라이애쉬나 고로 슬라그를 첨가 • 수화발열량이 적고 완만한 수화속도 • 첨가량에 따라 수화발열량 조절 • 워커빌리티가 향상되고, 3~6개월 후에는 보통 콘크리트와 동등한 강도 효과 	<ul style="list-style-type: none"> • Mass 콘크리트구조물 • 콘크리트뎀 • 고층건물기초, 긴 교량의 교대, 교각 • 원자력발전소
地盤改良用 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 규산칼슘 8~20%, 생석회 5% 이하, 칼슘 슬퍼알루미보트 10~14%, 다이칼슘실리케이 트 20% 이상, 석고등 첨가 • 개량토의 강도증진 • 지반중의 물과 고화작용 • 투수계수 저하작용과 凍上저항 증대효과 	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반 개량 • 도로의 노상·노반 재료의 안정처리 • 지반의 누수고화용 • 下水汚泥, 산업폐기물 고화처리
Belite選硬 性 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • Slag : belite : alite가 60 : 30 : 10으로 구성 • 피고화물 해저지반에 함유된 포졸란과 반응 • 재령 1일에 0.5kgf/cm² 강도발현, 1~3일 간격으로 반복 타설 가능 • 장기강도 저하가 없고, 3~6개월에 50kgf/cm² 이상의 강도발현 	<ul style="list-style-type: none"> • 연약점토층의 항만구조물 • 해저지층개발 • 연약지반고화처리
耐약품성 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 산성이나, 염해성에서 강도저하속도가 보통 콘크리트에 비하여 현저히 완만 	<ul style="list-style-type: none"> • 화학공장, 제당, 제과 공장 구조물, 학교화학실험실
耐熱시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 고온에서도 성능발휘 • 대개 300℃ 이하와 600℃ 이하의 2종류 	<ul style="list-style-type: none"> • 압력용기, 축열로, 해수담수화장치 • 원자로 격납용기 • 원자로 방사선 차폐용기 • 각종 발전소의 굴뚝, 제철소및 조각로의 굴뚝용
油井·地熱 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 원유나 지하가스 이용시에 사용되는 파이프와 항벽간의 충전재료 	<ul style="list-style-type: none"> • 지하천연가스, 온천수, 원유 등의 파이프
결려시멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 무기질의 광물·금속분이나 유질과 혼합하여 시멘트의 색채화 • 강도저하가 없음. • 염가의 안료사용 필요 • 방수제, 급결제 등을 혼합 사용가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 포장, 공장제품 • 건축자재, 조경용시멘트 장식물

表 2. 混和材料의 規格

JIS A 6201 (1980)	플라이애쉬
JIS A 6202 (1980)	콘크리트用 팽창제
JIS A 6203 (1980)	시멘트혼화용 폴리머디스퍼션
JIS A 6204 (1982)	콘크리트용 화학혼화제
JIS A 6205 (1982)	철근콘크리트용 防鏽劑

表 3. 表面活性劑의 주요효과 일람표

主 要 效 果		표 면 활 성 제 의 종 류						
		A E 劑	減 水 劑			A E 減水劑		
			표 준 형	지 연 형	축 진 형	표 준 형	지 연 형	축 진 형
아 직 근 지 않 은 콘 크 리 트	單位水量 減少	○	△	△	△	◎	◎	◎
	單位 Cement 量 減少	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	空氣連行性	◎	-	-	-	◎	◎	◎
	시공년도 개량	◎	○	○	○	◎	◎	◎
	Bleeding의 減少	◎	△	△	△	◎	◎	◎
	콘크리트의 응결지연	-	-	-	△	-	×	△
	콘크리트의 응결축진	-	-	-	△	-	×	△
	펌프어빌리티의 개량	○	◎	◎	◎	○	○	○
	피니셔빌리티의 개량	○	○	○	○	○	○	○
슬럼프 저하방지	-	○	◎	-	○	◎	-	
硬 化 된 콘 크 리 트	초기강도 증대	-	○	-	◎	○	-	◎
	水和熱 저감	-	○	◎	×	○	◎	×
	水密性 증대	○	○	○	○	◎	◎	◎
	中性화에 대한 저항성 증대	○	○	○	○	◎	◎	◎
	동결융해작용에 대한 저항성 증대	◎	-	-	-	◎	◎	◎
	화학적 침식작용에 대한 저항성 증대	○	○	○	○	◎	◎	◎
마멸, 마모작용에 대한 저항성 증대	-	○	○	○	○	○	○	

註：◎：효과가 크다 ○：효과가 있다 △：효과가 다소있다 ×：사용불가 -：관계없다

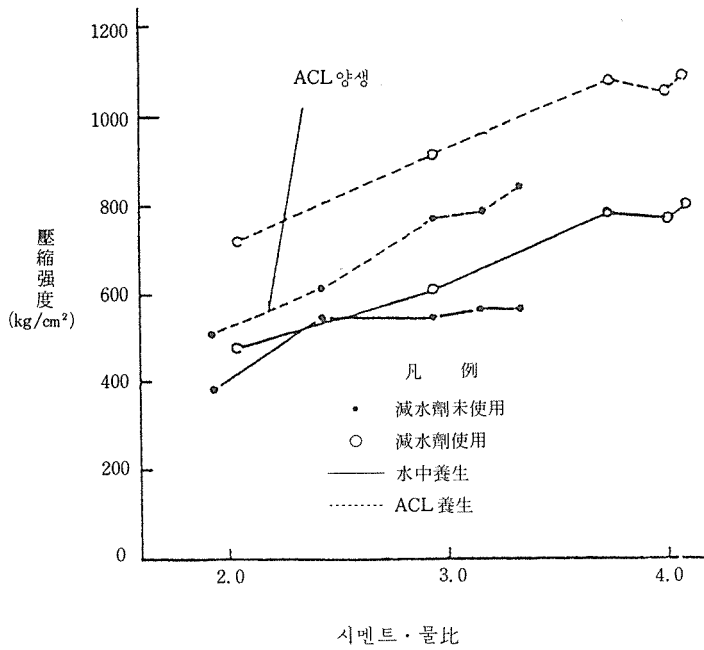


그림 3. 高強度 콘크리트의 시멘트 · 물比와 壓縮強度

제, 지연제, 점성부여제 및 여러 종류의 無機鹽系가 있고, 이러한 복합효과에 의해서 시공성, 내구성 등을 향상시킬 뿐만 아니라 수중콘크리트, 寒·뿔중콘크리트, 超早強콘크리트의 분야에 적용되어 새로운 재료와 공법을 창출하고 있다. 또한, 새로운 몇 가지의 폴리카본산, 아크릴-아크릴산메틸 共重合物, 폴리아미노산系 양성계면활성제, ketene系縮합술포산 등의 다양한 소재가 개발되고 있다.

3.3 초지연제

불화물, 인산염, 붕산염 등의 無機質系 및 글루콘산, 구연산, 헵톤산 등의 유기질계 물

질을 주성분으로 하는 超遲延劑는 이를 적절히 사용함으로써 재령 28일 강도를 살리면서 콘크리트의 凝結·硬化를 의도적으로 조절할 수 있으며(26~36시간의 凝結지연가능), 콜드조인트(cold-joint)방지, 이음부의 일체화를 위한 水密性·氣密域의 향상, 타설시의 공정관리 개선 등 거듭 새로운 시도가 이루어지고 있다. 주요 應用分野는 뿔중콘크리트, 대형 不靜定構造物, 슬라이딩공법, 야간 콘크리트 타설의 불필요, 이음면의 부착성 개선, 말뚝머리 처리등에 응용될 수 있다. 참고로, 日本 上智大學 중앙도서관 신축공사에서 기

表 4. 高強度 콘크리트의 배합례

구 구 물	실계기준 강도 (kgf/cm²)	슬 럽 프	w/c (%)	s / a (%)	단위시멘트 량 (kg/m³)	고성능 감수제 (C×%)
현장 PC 工型	800	12±2.5	30	40	484	0.75
PC 트러스	800	12±2	23	38.5	600	1.5
ACL PC 트러스	800	12±2.5	30	39.5	530	1.5
고강도혼화제와 중기양생한 PC 말뚝	800	8~12	29~32	41~42	430~460	1.2

表 5. 遲延劑의 콘크리트 배합례

온도 (°C)		10	20	30	40
슬럼프		-	20±1	-	-
공기량 (%)		-	4.5±0.5	-	-
물·시멘트比 (%)		-	57	-	-
모래비율 (%)		-	49	-	-
단위배치량 (kg/m ³)	시멘트	344	347	351	375
	물	196	198	200	214
	모래	844	841	836	808
	자갈	895	891	887	857
A E 표준형 減水劑		0.2	0.2	0.2	0.2
超遲延劑		0~0.3	0~0.3	0~0.3	0~0.4

초말뚝시공시의 지연제 배합에 대한 예비실험결과를 제시하였다.

3-4 수중콘크리트용 혼화제

수중에서 타설하는 콘크리트는 재료분리, 특히 시멘트 분말의 유출, 물에 의한 희석이 원인이 되어 신뢰성에 결함이 있고 수질오염 등의 문제점을 가진다. 셀룰로오즈에틸과 아크릴산 등의 水溶性 고분자물을 주성분으로 하는 새로운 수중콘크리트는 적용분야를 확장하여 콘크리트의 수중공시에 신기원을 이루었다고 할 수 있다.

3-5 防鏽劑

防劑는 하천모래의 고갈로 인하여 海砂使

용의 필요성이 증대되어 海砂중의 염분에 의한 철근 부식을 억제하거나, 해안부근의 콘크리트 구조물의 염분입자에 의한 부식방지 등에 유효하게 사용될 수 있다. 최근 美國 등지에서는 아연산 칼슘을 주성분으로 하는 防鏽劑의 대량사용이 고려되고 있어 주목할 만하다.

3-6 收縮低減劑

최근 콘크리트의 건조수축의 감소를 목적으로 하는 저급알콜성의 알킬렌옥시드(alkylene oxid)부가물을 주성분으로 하는 비이온계의 유기질 수축저감제가 개발되고 있다. 이것은 경화 시멘트 시의 겔 세공 중의 간극

表 6. 수중콘크리트용 混和劑

特 性	用 途
① 점성과 유동성이 풍부	① 교량하부공의 신설, 보수
② 공기에서와 같은 강도 획득	② 각종 해양구조물의 앵커 및 기초공사
③ 교란, 분리감소와 수질오염의 우려를 해소	③ 항만구조물, 잔교, 방파제
④ 블리닝이 적고 레이턴스가 없다.	④ 하천수리구조물, 호안, 수로, 제수공, 하구연
⑤ 진동다짐가능	⑤ 지하연속벽공법, 현장말뚝공법
	⑥ 누수공법

수의 표면장력을 저하시켜 모세관장력에 의한 쪼의 수축력을 감소시키는 것이다. 이것의 사용으로 건조수축은 40%까지 감소시키는 것이 가능한데, 장래 그 성능이 가일층 향상되고 이제까지의 무기질계 팽창제나 유동화공법 등과 조합한다면, 건조수축에 의한 균열에서 콘크리트 구조물을 완전히 해방시켜주는 것도 단지 꿈만은 아닐 것이다.

3.7 기타의 혼화제

이 외에도 시멘트의 수화열을 억제하여 콘크리트의 온도 상승 속도와 온도 상승량을 감소시키는 dextrin을 주성분으로 하는 수화열억제제, 특수처리한 알루미늄 분말과 분산제, 유동화제를 주성분으로 하는 膨脹狀態를 콘트롤하는 膨脹劑, 겨울에 타설하는 콘크리트의 초기 냉해를 방지하는 防凍·耐寒劑 등이 있다.

또, 수밀성, 방수성을 부여한 신종의 방수제, 뽕철공법에서의 누수시의 시공을 가능하게 하는 급결제, 블록의 형틀을 즉시 해체하게 할 수 있는 AE성 블록용 혼화제 등등이 개발되고 있다.

4. 콘크리트용 補強材

시멘트·콘크리트의 보강재는 그 종류가 매

우 다양하며 보강용 섬유와 종류 또한 여러 가지가 있다(圖 3, 表 7).

여기서는 주로 섬유계의 신소재를 소개하는데, 이것에는 탄소섬유(CF), 아라미드섬유(AF), 고강도·고탄소성의 폴리에틸렌 섬유 및 비닐 등이 있고, 이들은 종래의 유리섬유에 비하여 비중이 작고, 인장강도와 탄성계수가 크며, 耐候性, 耐藥品性 등이 우수하지만 가격이 다소 비싼 결점이 있다. 表 8 에는 각종 고장력 섬유의 특성을 나타내고 있다.

4.1 탄소섬유의 특성과 시멘트 콘크리트 분야에의 이용

탄소섬유는 폴리아크릴리트릴, rayon系の 고분자 섬유를 원료로 한 PAN系, 탄소섬유와 석유피치를 원료로 한 피치系 탄소섬유가 있다.

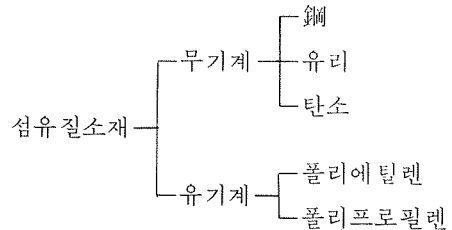


表 7. 시멘트 콘크리트의 補強用 纖維의 內容(秋浜繁幸 등)

섬	유 의 종 류	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ² × 10 ⁶)	비 중
鋼	탄 소 강	3500~10000	1.95~2.10	7.8
	아 연 도 금 강	3500~10000	1.95~2.10	7.8
	스 테 인 레 스 강	4900~10000	1.95~2.45	7.8
耐	알 칼 리 성 유 리	14000~35000	0.70~0.78	2.7
탄 소	피 치 계 (저탄성)	8000~11000	0.43	1.6
	P A N 계 (고탄성)	20000~30000	2.00~4.00	1.7~1.9
	ASBESTOS	5600~9800	0.84~1.40	2.9
폴 리 에 틸 렌		5600~7700	0.0035	0.9
콘 크 리 트		5~25	0.1~0.3	1.0~2.3

表 8. 각종 高張力 纖維의 特性

諸 元	炭 炭 素 纖 維				Aramid 纖 維			기타의 有機纖維		유리纖維
	PAN系		피 치치系		Kevlar		HM-50	테크미론	크 라 론	
	高强度品	高彈性品	汎 用 品	高 强 度 高 彈 性 品	Kevlar-49	Kevlar-29				
引張強度 (kg/mm ²)	260~450	200~250	100	300~	280	280	310	150~350	70~150	250~350
彈性係數 (kg/mm ²)	20000 ~24000	35000 ~45000	4000	40000 ~80000	13000	6300	7700	8000 ~10000	1100 ~3700	7000 ~8000
延 伸(%)	1.3~1.8	0.4~0.6	2.5	0.4~0.6	2.3	4.0	4.4	3.0~6.0	7.0	4.5~6.0
密 度(g/cm ²)	1.7~1.8	1.8~1.9	1.6	1.9~2.1	1.45	1.44	1.39	0.96	1.26 ~1.30	2.5
直 徑(μm)	7~8		10		12		12	50~100	14	12
熱 分 解 溫 度	3000℃				600℃		500℃	140℃ ²	240℃	800℃

PAN계 탄소섬유는 유기질 섬유를 고온처리하여 질소와 수소를 뽑아내고 탄소원자만으로 구성되어 안정화된 우수한 배향성을 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 역학적특징은 유리섬유의 70% 정도의 밀도로서 동등한 인장강도를 얻을 수 있으며, 伸率은 유리섬유에 비하여 3~4 배 이상 높으나, 破斷變形에는 약한 결점이 있다(圖 4)).

이러한 결점을 보완하기 위하여 유리섬유나 fabric을 이용하여 이러한 단점을 보강할 수 있다. 탄소섬유는 耐水性, 耐알칼리성, 耐

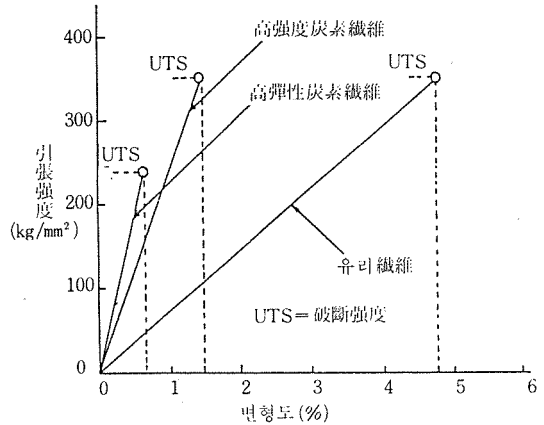


그림 5. 炭素纖維의 應力 - 變位度 (by R. M. Gill)

海水性, 화학저항성이 우수한 점에서 이전의 유리섬유나 스테인레스강섬유 등이 따를 수 없는 점이다. 앞서의 이런 장점으로 탄소섬유는 이것을 短섬유화하여 시멘트모르타르중에 분산한 탄소섬유보강시멘트(CFRC)를 만듦으로써 그 우월성이 기대되는데, 이 短섬유화하는데는 직경 10μm전후의 모노필라멘트상태를 이용하여 분산처리하는 특수한 기술로, 상당한 노우하우를 요하는 것으로 알려져 있다. 이런 이유로 GRC에 이용하는

耐알칼리 유리섬유의 Chop스트랜드 형으로 분산하는 것이 효과적인 방법으로 알려져 있다. 이 외의 탄소섬유의 특성은 정전방지의 기능, 3000°C부근에서도 사용이 가능한 내열성이 두드러진 특징 등을 가지고 있다.

4-2 아라미드(Aramid) 섬유

아라미드섬유는 芳香族폴리아미드

(aromatic polyamide)섬유의 약칭으로 나일론공업에서 파생한 부산물로서 美國 듀폰社의 kevlar가 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 굴절하는 에스테르 結合合金의 dope로 되어 노즐방출한 紡絲로, 이것을 고온 延伸하여 고장력, 고탄성률의 직선상의 분자구조로 되는 것이다. 이러한 아라미드섬유의 특징은 다음과 같다.

① 탄소섬유보다 가볍지만 동등한 강도를 가진다.

② 탄소섬유보다도 韌性이 대단히 커서 방탄복으로 사용하기도 한다.

③ 耐藥品性이 강하다.

④ 赤外線에 약하며, 전기전도성이 없다.

⑤ 탄소섬유계의 FRP는 파괴韌性, 충격저항이 약하여 아라미드섬유와 조합하여 하이브리드 복합재료로 개선하는 방법이 시도되고 있다.

이 아라미드섬유는 시멘트 콘크리트에서 다음 분야에 이용될 수 있다.

- ① PC콘크리트용 緊張材
- ② 해양환경에서의 PC緊張材
- ③ 短섬유분산에 의한 프리캐스트 제품
- ④ 아라미드섬유를 이용한 FRP 제 緊張材

4-3 고강도·고탄성의 플라스틱 섬유

테크미론이라고 불리는 유기질섬유도 탄소섬유나 아라미드섬유에 필적할만한 高결정성의 폴리에틸렌섬유로 輕量·高韌性의 점에서는 탄소섬유보다 優秀하며, 耐候性의 관점에서도 아라미드섬유보다 우수하나, 고온

환경에서의 사용이 적절하지 못하다는 결점이 있다. 이 유기질계섬유는 각종 로프재료나 FRP용 강화재 등의 용도로 상리당한 기대를 가지며, 短섬유 분산기술에 의한 輕량, 高韌性시멘트계 복합판에 이용될 수 있고 슬레이트의 보강재의 이용에 대한 높은 효과가 있을 것 같다.

4-4 특수합성고무를 혼입한 철근콘크리트

주요 원료로, ①조강시멘트, ②보통시멘트, ③細골재(규사, 모래 등), ④스티렌·부타디엔·고무(SBR)폴리머-40%, 물 60%를 시멘트와 1대 10으로 혼합·믹서한 후 진공상태에서 압출·성형한 外壁材가 개발·발매되고 있다. 이 外壁材는 인장강도가 100kg/cm², 굽힘강도가 300kg/cm²로 보통콘크리트의 약 10 배에 달하는 놀라운 강도를 지니고 있다. 시공시에는 이 外벽재를 2자장으로 양쪽에 설치하고 그 중간에 보통의 철근콘크리트를 타설하는 것으로, 이 고무합성 콘크리트는 밀도가 높아 마치 대리석같이, 물을 일체 통과시키지 않아 콘크리트를 보호하는 역할도 한다.

이상의 신소재 중 일부는 그 가격면에서 아직 不利한 점이 있으나, 해양구조물의 방식피복재나 내식보강재 등의 유지관리가 어려운 구조물에는 耐久年限과 코스트와의 관계를 고려하면 필요불가결한 소재로 대두될 것이다.

5. 콘크리트용 骨材

5-1 초경량골재

(1) 概 要

경량골재는 膨脹眞岩을 원료로 하여 比重을 대단히 輕量化시켜 절대건조비중이 1.2~1.3인 것이 보통이나, 여기에는 절대건조비중이 0.5~1.0의 범위에서 자유로 조절·제조하는 초경량골재에 대하여 간단히 소개한다.

(2) 製 法

현재의 造粒型 人工경량골재의 생산시스템과 동일한 공정으로 생산가능한데, 이것은 膨脹眞岩을 粉碎하여 加濕造製의 로타리킬

表 9. 초경량 골재 콘크리트의 시험결과

力學的인 특성	비 중 0.5			비 중 0.8		
W/C	35	45	55	35	45	55
슬 럽 프 양 (cm)	7.1	9.7	9.8	6.5	9.4	8.1
단 위 용 적 질 량 (kg/cm ³)	1387	1324	1292	1506	1454	1437
압 축 강 도 (kg/cm ²)	233	205	179	268	257	242
굽 힘 강 도 (")	32.8	31.8	25.9	39.1	35.4	33.3
인 장 강 도 (")	16.6	15.0	12.7	19.2	18.8	18.1
흡 수 율 (%)	-	2.77	-	-	2.45	-
열 전 도 율 (kcal/mh °C)	-	0.344	-	-	0.390	-

른(Rotary kiln)에 의해 약 100°C의 온도로 燒成한다. 원료와 첨가물의 조합방법, 粉碎方法, 造粒方法 및 燒成方法 등의 각 공정은 보통경량 콘크리트와 동일하다.

(3) 性 質

○ 比重—造粒材(15~5mm)인 경우는 0.5, 中粒材(5~1.2mm)의 경우는 0.8까지 輕量化

○ 骨材強度는 비중 1.25의 일반인공경량에 비하여 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ 정도의 높은 압축강도

도를 나타낸다.

○ 吸水性은 일반경량골재와 비교하여 비중 0.5인 경우는 3.5배, 비중 0.8인 경우는 2배의 높은 현저한 흡수율의 차이를 보인다.

(4) 콘크리트와의 특성(表 9)

(5) 用 途

- 프리캐스트제품
- 정원용, 주택용 공장제품
- 냉한지에서의 토목부재

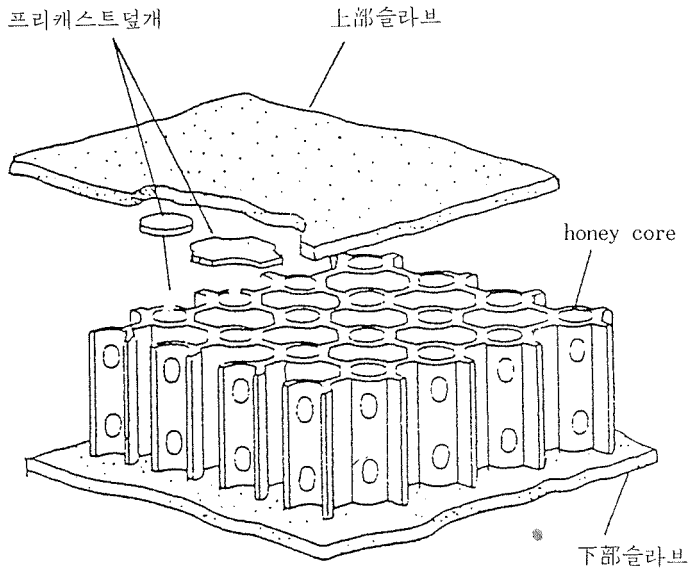


그림 6. Brick 부분의 honey core

表 10. 사용된 콘크리트의 주요사항

콘크리트의 種類	設計強度 (kg/cm ²)	設計比重 (t/m ³)	指定空氣量 (%)	凍結融解耐久性	콘크리트의 全鹽分(%)
輕量콘크리트	457	1.84	} 7 ± 2	} 300 cycle의 耐久性 指數 80% 以上	} 0.06以下
普通콘크리트	562	2.48			

- 강도를 필요로 하는 嵩上用 콘크리트
- 경량마무리材 모르타르
- 콘크리트 2차 제품의 골재

5-2 고강도 경량콘크리트

(1) 이용분야

인공경량콘크리트는 고성능 감수제 등을 이용한다면 최고 600~700kgf/cm²의 압축강도를 얻을 수 있다는 것이 실험으로 설명되고 있으나, 구조물 사용시에는 $\sigma_c = 400\text{kg/cm}^2$ 정도이며, 특히 건축분야에서는 $F_c = 240\text{kg/cm}^2$ 정도의 設計例가 고작이다. 그러나, 최근에 超大型 해양구조물, RC초고층 건축물 등에 이용되고 있어 새로운 기술분야로 주목되고 있다.

(2) 超大型 海洋構造物에의 이용

북극海域의 海低석유자원의 탐사목적용인 Concrete Island Drilling System이라고 하는 석유시추장치를 미국에서 개발하여 日本 建設업체에서 建造하였다. 이 장치는 Deck, Brick, Mud Base의 3 부분으로 구성되고 그 중에서 Brick 부분이 경량콘크리트제로 되어 있다. 이 Brick 부분(圖 5)에 사용된 콘크리트의 주요仕樣은 <表 10>에 나와 있는데, 콘크리트量은 보통콘크리트가 약 500m³, 경량콘크리트가 약 9000m³라고 한다.

(3) RC초고층 건축물에의 利用

초고층 건축물에 경량콘크리트를 사용한 RC 조가 가능한 기술에 이르고 있는데, 이러한 RC 조의 安全하고 경제적인 공법이 개발되고 있다. 경량콘크리트는 하층부분에서의 부재단면을 줄일 목적으로 상층부분에 사용할 것을 검토하고 있으며 설계기준강도가 360kg/cm² 정도까지 가능한 시도가 日本 大型建設會社를 중심으로 행해지고 있다.

6. 콘크리트용 鋼材

6-1 鹽害대책용 耐蝕鋼材

콘크리트 구조물에서 강재는 鹽害에 의한 早期劣化를 방지하기 위하여 피부두께의 증가, 균열억제, 고품질화 및 꼼꼼한 시공 등 콘크리트의 기술적인 측면에서 정밀시공이 행해져야 했다. 그러나, 구조와 재료에 따라 이러한 조건이 환경의 제약으로 항상 만족될 수는 없는 것이다. 이런 경우에 防蝕철근의 사용, 콘크리트 표면의 塗裝, 電氣防蝕 및 철근의 永久형틀 금속피복 등의 새로운 방법이 검토되고 있다.

(1) 에폭시樹脂 塗裝鐵筋

美國에서는 연간 5萬 5,000~7萬 3,000톤 이상이 사용되고 있으며 日本에서도 1983년도에 이에 대한 품질규준과 설계시공지침이 발간되었다. 에폭시수지에 의한 塗膜은 異形 철근의 표면에 이형형상을 손상하지 않아 콘크리트의 附着性低下의 염려가 없다. 최근 외국에서는 海砂사용의 증가로 철근의 염해 대책이 논란의 대상이 되고 있지만, 해사를 사용하지 않더라도 해안변의 콘크리트 구조물은 鹽害粒子가 날라와서 구조물에 축적·침투하여 강재부식을 촉진하고 있으며, 특히 降雪地帶에서 사용하는 동결방지제에 의한 도로나, 도로구조물의 劣化도 문제가 되고 있다. 몇몇 실험결과와 직접 사용에서 에폭시樹脂塗裝鐵筋은 이러한 염화물이 존재하는 콘크리트중에서 장기간 그 기능을 발휘하고 있다는 것이 實證되고 있다. <表 11>에 철근용 에폭시수지 도료의 몇 가지 例를 제시하고 있다.

表 11. 철근용 에폭시 粉体도료의 例

도료	조 성		겔 타임 (s)	free-塗型신축률 (%)		글라스轉多點 (°C)
	에폭시수지	경화제		0 °C	10°C	
A	비스페놀 (bisphenol) A 형에폭시	페놀系	25 (200°C)	4 ~ 6	-	95
			17 (225°C)			
B	특수에폭시 반응성에폭시		6 (200°C)	7	13	100
			2 ~ 3 (220°C)			
C	비스페놀 A 형에폭시	페놀系	16 (200°C)	18~22	-	101
			10 (240°C)			
D	A 형에폭시	고분자페놀	15 (200°C)	9	10	87
E	A 형에폭시	방향족아민	5 (200°C)	8	9	105

(2) 아연도금철근

철근 표면에 酸化物, 水酸化物의 치밀한 피막이 산소와 금속의 접촉을 억제하여, 防蝕層의 기능을 가진다. 아연도금철근은 피막의 소모가 대체로 완만하여 실용가치가 있고 비교적 염가이나 부식작용이 심한 해양환경에서는 아연의 소모가 빨라 장기간의 방식기능의 기대가 곤란하다. 이러한 방식형태의 선별은 사용구조물의 조건과 환경에 따라 달라져야 한다.

(3) 耐鹽性철근

鋼中에 Si, P, S의 함유량을 저하시키고 특정의 금속원소를 첨가한 즉, 부식에 대하여 높은 저항력을 가지는 철근이 개발되고 있다. 그리고, 콘크리트에 대한 부착강도, 시공성, 耐火性등이 보통철근과 동등한 효과를 가지

고 있다는 것이다. <表 12>에 耐鹽性철근의 몇 가지 例가 나와 있다.

이상의 염해대책 외에도 대단위 공사에서 염가로 입수·시공할 수 있는, 콘크리트에 clad 鋼이라는 異質금속의 복합판의 영구형틀에 의한 염해대책에 간단히 사용할 수 있는 것도 있다. 이미 앞에서 언급한 도장방법 등은 실용화 단계에 와 있으며, 천차만별의 설계 조건에 만능적으로 사용할 수 있는 내식강재로 주목되고 있다. 무엇보다도 염해대책의 선정시에는 환경에 따른 최적의 염해대책을 선택하여야 한다.

6-2 고강도 강재의 이용

고강도 강재는 Ni, Cr, V, Mo 등의 특수원소를 첨가한 합금강에 열처리·가공한 것이다. 콘크리트와의 力學的 특성을 강화하고 강재

表 12. 耐鹽性鉄筋의 例(%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	W	Ni	Al
電 爐 鐵 筋	0.14	0.13	0.65	0.017	0.023	0.27		0.08	0.005
Cu-W系 鐵 筋	0.25	0.01	0.59	0.01	0.002	0.23	0.11		0.02
3.5% Ni系 鐵筋	0.21	0.05	0.30	0.011	0.002			3.48	0.02

량의 감소를 위해 고강도 철근이 개발되고 있는데, 현재 日本에서는 SD50의 연구개발이 추진, 실용화 단계에 와있다. RC구조에서 무제한적인 고강도철근은 콘크리트 자체의 강도와 연관되므로 적절한 합리화가 이루어져야 하며 철근의 고강도로 인하여 RC구조의 균열억제, 부착강도 상승의 강점이 있으며 靱性を 劣化시키지 않아야 한다는 문제점 등이 있다. 한편, 전단보강근을 고강도화하는 일은 굽힘모멘트를 主筋에 유도되도록 하면 효과적 이용이 될 것이다.

근래, 고강도 전단보강근은 부재의 전단내력의 향상 및 콘크리트의 압축靱性 확보에 기여한다는 연구가 활발히 진행되고 있다. 강재의 高強度化와 아울러 콘크리트 자체도 高強度化가 필연적으로 바람직한데, 鋼섬유보강 콘크리트와의 조합 등에 의하여 이러한 가능성은 대단히 커질 것이다. PC강재의 高強度化도 연구개발의 추진과 이용확대에 관심이 고조되고 있는데 최근에는 $200\text{kg}/\text{mm}^2$ 까지의 실용화가 이루어지고 있다. 이 외에 페로시멘트(ferro-cement)등도 콘크리트에서 고강도細徑品으로 채택되어 콘크리트의 성능개선을 기대하고 있다.

강재의 고강도화와 아울러 염해대책, 배근공사의 합리화 등과 필수적으로 고강도콘크리트의 개발과 콘크리트 補強材의 기술이 함께 연구된다면, 1990년대에는 콘크리트 구조기술의 안정된 새로운 시대가 도래할 것이 기대된다.

7. 콘크리트 기술에서의 신소재의 가능성

이상에서 콘크리트의 性能을 向上시키기 위한 여러 종류의 방법들이 언급되었고, 새로운 재료에 대한 이용의 가능성은 상당히 높다. 예를 들면, 콘크리트의 水密性·靱性を 향상시키기 위한 폴리머시멘트콘크리트(PCC)나 폴리머를 배치한 콘크리트(PIC)등은 이미 實用化되었으며 여러 종류의 섬유계 보강재료가 속속 개발되고 있다. 또 최근 反應性 골재에 대한 문제가 상당히 논란이 되고 있는데, 우리나라와 같이 골재자원이 부족한 나라에서는 反應性 골재의 유효이용을 위한 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

이 외에도 高強度剛性의 FRC材 등이 선진 외국에서 개발·실용화가 이루어지고 있다. 또한 앞으로 콘크리트 구조물의 보수재료와 보수기술에 대한 검토가 적극적으로 진행될 것으로 기대되는 바, 劣化원인과 劣化정도에 적절히 대응할 수 있는 보수재가 필요하다.

콘크리트는 지금까지 뿐만 아니라 앞으로도 건설재료의 王者로 남아있을 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.*