

# 내구성 향상을 위한 고성능 콘크리트의 개발과 활용

변근주

연세대학교 토목공학과 교수

우리 협회 비상근전문위원

다음은 지난 1월 24일 열린 「전문건설 신기술 세미나」에서 연세대 변근주 교수  
(우리 협회 비상근전문위원)가 주제발표한 내용으로 이에 소개한다.

## 1. HPC의 개발의 필요성

콘크리트는 공사재료로서 매우 유용한 재료로 골재와 시멘트 그리고 물의 배합으로 구성되어 있으며, 이러한 세가지 요소는 시멘트의 수화작용과 굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티에 관계되어 있다. 최근 10년 동안 콘크리트의 강도와 내구성에 대하여 잉여수화수(Excess non-hydrated Water)의 악영향에 대한 연구가 이루어져 왔다. 그럼에도 불구하고 물은 타설을 위한 유동적 특성(Reological Properties)을 얻는 데 필수적인 요소인 것이다. 이러한 이유로 콘크리트의 공학적인 특성을 개선시키기 위하여 수량을 감소시키는 방법에 대한 개발의 필요성이 대두되었다. 또한 이와 동시에 다른 학자들은 배합설계에 중점을 둔 조밀한 배합(Compact Mix)으로부터 단일 재료나 단단한 바위같은 재료로 재구성하는 데

역점을 두기 시작하였다. 이러한 접근이 고성능(High Performance)을 얻기 위한 방법으로 나타나게 되었다.

## 2. 외국의 개발동향

기존에 건설된 콘크리트구조물은 여러 요소에 심각한 문제를 갖고 있다. 이에 따라 세계 각국은 과거의 콘크리트구조물을 장기적인 안정성을 갖는 고성능콘크리트의 대체에 직면하게 되었다. 그 결과 고성능콘크리트의 여러 측면에 대하여 국가적인 규모의 연구가 추진중에 있다. 미국 Northwestern 대학을 중심으로 4개의 대학이 컨소시엄을 구성하여 시멘트계 신소재(New Cement-Based Materials)의 개발과 시멘트계 재료의 성능과 구조에 대한 수치모형 등을 연구하고 있으며, National Academy of Science에 의

해 포장, 교량 및 고속도로에 대하여 포틀랜드 시멘트의 내구성을 증가시키는 연구가 추진중에 있다. North Carolina State 대학 및 2개의 대학은 서로 다른 고속도로에 적용하기 위한 고성능콘크리트의 내구적 특성과 기계적 성질에 대한 특성 연구가 완료되었고, 시카고의 Joint-Industry Project에서는 케이슨에 저탄성계수 압축강도 10000psi, 고탄성계수 압축강도 16000psi의 콘크리트 배합이 실시되었다. 캐나다의 NEC에서는 고성능콘크리트망을 구성하여 빌딩에 대한 신재료 개발과 고강도콘크리트의 구성방정식, 전단강도, 기둥의 거동, 고강도철근의 부착 및 정착과 설계 기준 및 신제조공법, 진단기술등에 대하여 연구중에 있다.

일본의 건설성에서는 “new RC”라는 이름으로 빌딩에 대한 고강도콘크리트와 고강도철근의 역학적 특성에 대한 연구가 추진중이며, 프랑스에서는 “New Ways for Concrete”라는 프로젝트에서 Joigny에 길이 114m, 3경간 포스트텐션교량에 28일 압축강도 8700psi의 고성능콘크리트를 시공하여, 여기서 입수된 정보로부터 수학적 모형을 확인하는 연구가 이루어지고 있다.

### 3. 고성능콘크리트의 정의

아직 HPC에 공인된 정의는 없으며 사실 한가지로 정의를 내리기는 불가능하다. 고성능콘크리트는 고강도콘크리트와 비슷하지만 높은 내구성을 갖는 콘크리트이다. 미국의 SHRP의 고성능콘크리트의 기준은 다음과 같다.

- 1) 최대물시멘트비 < 0.35
- 2) 내구성지수 < 80%(AASHTO 666 method A)
- 3) 4시간 압축강도(Very Early Strength) : 3000psi (200kg/cm<sup>2</sup>)

24시간 압축강도(High Early Strength) : 5000psi (350kg/cm<sup>2</sup>)

28시간 압축강도(Very High Strength) : 10000psi (700kg/cm<sup>2</sup>)

일본에서는 열악한 시공성과 구조세목을 보완할 수 있는 “forgiving concrete”라는 이름으로 다음의 특징을 갖는 콘크리트로 정의하고 있다.

- 1) 다짐이 필요없거나 거의 없다.
- 2) 재료분리가 적은 점착배합이다
- 3) 재령초기에 건조수축과 온도변형에 의해 균열이 적다
- 4) 충분한 장기강도와 낮은 침투성을 갖는다.

일반적으로 고성능콘크리트란 재래의 구성재료와 배합, 타설, 양생으로는 얻을 수 없는 특질을 갖는 콘크리트로 재료분리없이 다짐과 타설이 쉽고, 우수한 장기적인 기계적 성질, 높은 조기강도, 고인성, 체적안정성 그리고 심한 외부조건에서도 긴 수명을 갖는 콘크리트로 정의할 수 있다.

### 4. 재료와 배합설계

보통콘크리트의 배합은 필요강도에 대한 물시멘트를 선정하면 간단히 할 수 있으나 고성능콘크리트는 입자들이 조밀하게 다져지고 유동성 개선제(reology modifier)가 사용되기 때문에 보통콘크리트보다 복잡하다.

고성능콘크리트의 배합은 강도만의 목적이 아니라 특수용도에 대한 최적성능(optimum performance)을 위한 배합으로, 경제적인 시공과 과대하중을 수행할 수 있는 능력, 장기내구성(long-term durability)과 같은 특수목적에 따라 적용되어야 한다. 배합비는 타설과 다짐을 쉽게 하고, 블리딩과 재료분리가 적고 건조수축을 줄일 수 있도록 조정해야 한다. 고강도와 고탄성계수를 위하여 골재선택에 주의를 해야 하며 응

결시간, 내구성, 워커빌리티를 위하여 혼화제를 사용한다. 또한 고성능콘크리트는 시멘트와 혼화재료간의 상호작용이 온도에 민감하기 때문에 배합도 보통온도와 극한온도에 대한 평가가 이루어져야 한다. 이러한 배합은 재료와 직접적인 관계가 있으므로 사용되는 재료를 중심으로 특성을 살펴보면 다음과 같다.

## 1) 시멘트

고성능콘크리트는 ASTM C 150 혹은 AASHTO M 85를 만족하는 포틀랜드 시멘트와 ASTM C 595 혹은 AASHTO M 240을 만족하는 혼합시멘트(blended cement)가 사용되어야 한다. 일반적으로 콘크리트의 성능과 수화열, 건조수축, 균열을 위해 시멘트량은 최소로 사용하는 것이 바람직하다. 용도에 따라 다음과 같은 시멘트를 사용한다.

- Very High Strength Concrete : Type I or II portland cement blended cement
- High Early Strength Concrete : Type III portland cement
- Very Early Strength Concrete : Regulated set cement
- Pyrament(another type of blended cement)

## 2) 혼화제(Chemical Admixture)

혼화제는 콘크리트의 응결(setting), 워커빌리티, 부식방지 등을 위해 사용되는 것으로 다음의 기능이 있다.

- ① 연행공기(entrained air) 확보 : 콘크리트의 동결저항능력 개선
- ② 응결시간 수정 : 촉진제(accelerator)는 찬물과 사용하여 응결과정을 가속시키고, 지연제

(retader)는 더운물과 사용하여 응결을 지연시킨다. 대부분의 지연제가 감수능력과 강도증가의 효과가 있고, calcium chloride와 같은 촉진제도 강도증가의 효과가 있다.

③ 감수(water-reducing) 효과 : 감수제(WRA)와 고성능감수제(HRWR or super-plasticizer)가 사용되며 수량을 증가시키지 않고 콘크리트의 워커빌리티를 개선시키나 너무 많이 사용하면 조기강도(very early strength)를 감소시킨다. HRWR은 낮은 물시멘트비의 콘크리트에 사용되고 HRWR을 사용한 배합은 급격한 슬럼프 손실을 가져온다.

④ 부식방지(corrosion inhibit)의 효과 : 가장 상업적인 부식방지제로는 Calcium nitrite가 있으며 응결시간을 촉진하면서 부식을 방지시키는 데 효과적이다.

## 3) 혼화재(Mineral Admixture)

주로 강도와 내구성을 증가시키는 데 쓰이며 고강도콘크리트의 성능에 중요한 역할을 한다.

### ① 플라이애쉬(Fly Ash)

— 칼슘량에 따라 Class F와 Class C의 두 종류가 있다.

— Class F 플라이애쉬는 황산염에 노출된 콘크리트의 내구성을 증가시키고 알칼리골재반응, 침투성(permeability), 공극(porosity), 수화열을 감소시킨다.

— 일반적으로 플라이애쉬를 함유한 콘크리트는 동결융해 내구성이 크다.

— 플라이애쉬의 양은 사용목적과 플라이애쉬에 따라 다르지만 보통시멘트와 혼화재의 전중량의 15~30%를 사용하며, 매스콘크리트구조물에는 시멘트중량의 60~100%까지 사용한다.

— 플라이애쉬는 blended cement와는 함께 사

용치 않는다.

## ② Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GGBFS)

- 보통시멘트계 재료 전중량의 40~60%를 사용하며 내산성이 요구되는 곳에서는 최소 50%를 사용한다.

- 포졸란재와 함께 사용하면 permeability를 감소시킬 수 있고 높은 온도에서는 강도의 증가가 빠르다.

## ③ 실리카흄(Silica Fume)

· 주로 초고강도(Very High Strength)와 화학적 손상에 대한 내구성 개선을 목적으로 사용된다.

· 같은 압축강도에서 보통콘크리트보다 실리카흄콘크리트의 permeability가 낮고, 실리카흄량이 비교적 적은 적당한 공극구조를 갖는 실리카흄콘크리트의 동결융해 저항성은 매우 크다.

· 최대 실리카흄 사용량은 10%이고 최적량은 시멘트계 재료 전중량의 5~10%이다.

## 4) 골재

골재는 고성능콘크리트에 중요한 역할을 하는 재료로 잔골재 수량(water demand), 굵은 골재량, 마감특성(finishing characteristics)에 영향을 주고 굵은 골재는 수량, 압축강도, 휨강도, 건조수축, 크리이프, 탄성계수에 영향을 미친다. 한 보고에 의하면 고강도콘크리트에는 조립률 3.0으로 좋은 결과를 보였다. 고강도콘크리트에 대한 ACI 363 State-of-the-Art Report에 의하면 수량을 줄이기 위해서는 둥글고 매끈한 모래 사용을 추천하고 있다. 굵은 골재는 고성능콘크리트에 사용하기 위해서 충분한 내구성을 가져야 하며 고강도콘크리트에서 굵은 골재의 최대치수는 19~25mm가 적당하다.

## 5) 물

모난 모래(angular sand)를 사용한 고성능콘크리트의 최소수량은 약 148kg/m<sup>3</sup>이 적당하고, 깨끗하고 둥근 모래를 사용한 경우의 고강도 배합을 위한 최소수량은 131kg/m<sup>3</sup>이 적당하다.

표1은 시공된 사업의 배합과 강도에 대한 예를 나타내었다.

## 5. 제조 및 양생

고성능콘크리트의 품질은 배합, 타설, 양생에 크게 좌우된다. 이러한 요소들의 관계를 잘 조절해야 원하는 고성능콘크리트의 특성을 확보할 수 있다. 이를 위하여 먼저 유동성과 워커빌리티의 특성을 잘 파악하여야 한다. 굳지 않은 고성능콘크리트의 유동성(reology)은 양생된 고성능콘크리트의 최적배합비율과 제조에 영향을 주고 워커빌리티는 콘크리트의 기계적 성질과 내구성에 관련되어 타설을 용이하게 해준다. 고성능콘크리트가 최적의 배합구성을 이루기 위해서는 균일한 배합을 위한 배합장치와 과정이 필요하다. 고성능콘크리트의 batch와 배합기준은 plant와 운반 수단 및 생산사의 품질관리의 보증까지도 포함하게 된다.

고성능콘크리트는 물시멘트비가 낮고 침투성이 적기 때문에 내부의 수분의 이동이 통제되어 콘크리트 내부의 수화작용을 방해하기 때문에 고성능콘크리트의 양생은 수화작용의 완료를 고려한 습윤양생이 필요하다. 실리카흄을 사용한 콘크리트는 똑같은 물시멘트비하에서 보통콘크리트보다 조기건조에 의해 강도손실을 받기 쉽고, premature drying과 같은 양생조건에 매우 민감하다. Slip form을 사용하는 포장에서는 브리딩이 없는 콘크리트를 사용하는 경우 수분손실을 줄이기 위

한 양생제 등을 즉시 사용하여야 하고, 타설 후 콘크리트의 온도는 모포 등으로 차단하여 조절해야 한다. 고성능콘크리트는 블리딩이 거의 없기 때문에 습기증발을 막지 않으면 표면건조균열이 발생될 수 있으므로 fogging이나 증발지연제를 사용하여야 한다.

**표 1. 시공된 사업의 강도와 배합비의 예**

PROJECT	DATE	OBJECT	CONCRETE COMPOSITION PER (M3)				STRENGTH (MPa)				QUANTI- TIES PRO- DUCED (M3)
			CEMENT (KG)	SILICA FUME (KG)	WATER/ CEMENT	SLUMP (CM)	28 DAYS		90 DAYS		
							AVER- AGE	COM- PRES- SIVE	AVER- AGE	COM- PRES- SIVE	
PLM A 86	1984	DEVELOPMENT OF EQUIPMENT	CPA HP 400	25	0.47	5	75	70	/	/	70
GREAT ARCH LA DEFENSE	1985	LOWER DECK (WORKA- BILITY-STRENGTH)	CPA HP 425	/	0.39	20·25	60	55	67	62	15000
	1989	UPPER DECK (D1110· PUMPABILITY)	425	30	0.40	22·25	65	60	73	68	15000
RE ISLAND BRIDGE	1987	SEGMENT PRECASTING	CPA 55 400	30	0.40	15	68	60	/	/	35000
SYLANS VIADUCT	1986	PRECAST DECK X ELE- MENTS	CPA 55 400	/	0.38	20·25	69	61	/	/	2000
	1988	PARAPET DURABILITY	375	35	0.38	15	75	/	/	/	/
PERTUISET BRIDGE	1988	DECK (B 60)	CPA HP 400	30	0.38	14	75	70	/	/	1000
JOIGNY BRIDGE	1988	DECK (B 60)	CPA HP 450	/	0.36	20	78	68	90	80	1100
HASSAN II MOSQUE (HAROCCO)	1988	MINARET CYCLE DURABILITY OF IMMERSED STRUCTURES	CPJ 45 375	25	0.45	15	37	37	/	/	5000 (W/SILICA FUME) 1000 (W/O SILI- CA FUME)
		1989	STRENGTHENING OF FOUNDATIONS·SUPER- STRUCIURES	CPA HP 425	30	0.39	23	96	92	105	100
KWUNG TONG BY PASS	1990	SEGMENT PRECASTING	OPC (BS 12)	/	0.38	18	70	65	/	/	12000(PLA- NED:65000)

## 6. 기계적 성질과 내구성

강도와 내구성은 고성능콘크리트에 있어서 가장 중요한 요소이다. 다른 요소들과 무관하게 강도는 콘크리트결합재의 공극에 의해 가장 크게 영향을 받고 물시멘트비, 양생에도 영향을 받는다. 내구성에서 가장 중요한 요소는 침투성(permeability)이며 침투성이 낮은 콘크리트는 수분의 통과를 억제할 수 있다.

결국 고성능콘크리트는 고품질의 저침투성의 내구적인 콘크리트라 할 수 있는데 보통콘크리트보다 훨씬 낮은 물시멘트비를 가진 고성능콘크리트는 결합재의 강도가 높고 결합재와 골재 사이의 경계면에서의 미세균열도 작다. 고성능콘크리트는 물시멘트비가 낮고 결합재(paste)가 많다는 점에서 고강도콘크리트와 비슷하다.

### 1) 기계적 성질

#### a) 압축강도

##### ① 굵은 골재의 영향

일반적으로 골재의 강도는 결합재의 강도보다 크기 때문에 High Early Strength (HES) 콘크

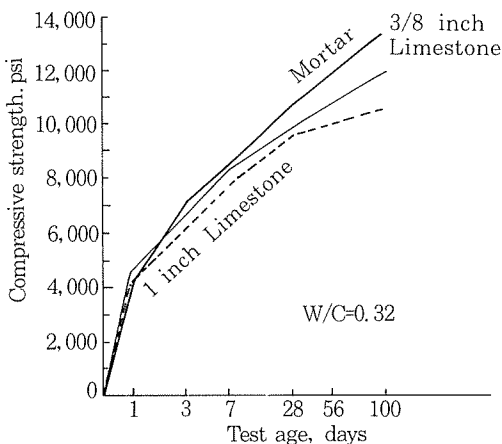


그림 1. 압축강도에 대한 굵은 골재의 영향

리트와 Very Early Strength (VES) 콘크리트에 중요한 인자는 아니고, 다만 초고강도(higher-strength concrete)에 중요한 역할을 한다. 그림 1은 골재의 영향에 대한 압축강도의 영향으로 굵은 골재의 크기가 작을수록 압축강도는 증가한다.

##### ② 결합재의 영향

실리카흙, 플라이애쉬, 슬래그와 같은 시멘트계 재료는 고강도콘크리트에 있어서 효과적인 첨가제이다. 실리카흙과 고성능감수제를 조합하여 사용하면 상당한 강도증진효과가 있다. 그림 2는 실리카흙에 대한 압축강도의 영향을 나타낸 것이다.

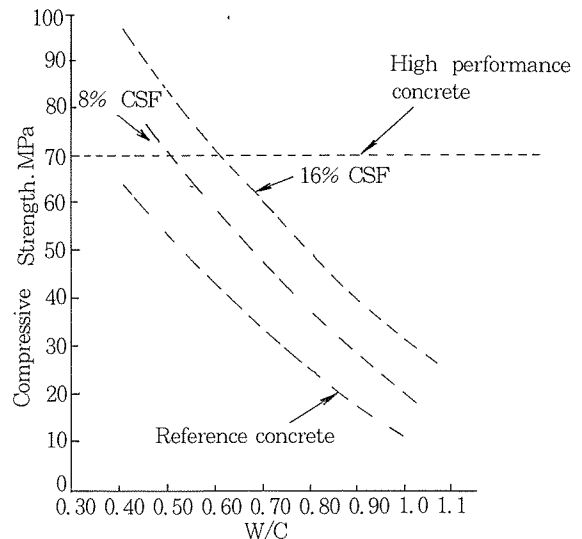


그림 2. 실리카흙에 대한 압축강도의 영향

##### ③ 양생의 영향

양생방법은 강도에 중요한 영향을 끼친다. 고강도콘크리트에 있어서 양생의 중요인자는 계속적인 수화작용을 위하여 적절한 온도와 습도를 유지시키는 것이다.

초고강도의 콘크리트(higher concrete)는 물시멘트비가 낮기 때문에 수중양생이 적극 권장된

표 2. 양생기간과 건조기간에 따른 강도비교

Moist cured, days	Drying period, days	Test age, days	Strength attained after drying			
			Strength attained when moist cured until test age			
			Compressive strength		Modulus of rupture	
			Normal strength	High Strength	Normal strength	High Strength
0-7	8-28	28	0.98	0.91	0.83	0.74
0-7	8-28	28	0.94	0.89	0.86	0.74
0-7	8-28	28	0.95	0.88	0.88	0.74
0-28	29-95	95	0.99	0.95	0.97	0.91
0-28	29-95	95	1.01	0.96	0.96	0.93
0-28	29-95	95	0.99	0.96	0.99	0.91

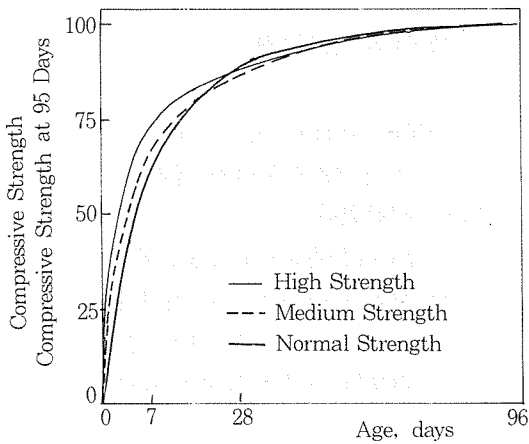


그림 3. 양생기간에 대한 강도별 비교

다. 일반적으로 대기양생보다 습윤양생일 때 강도의 증가가 크다. 표 2는 양생기간과 건조기간에 따른 강도를 비교한 것이고 그림 3은 양생기간에 대한 강도별 비교로서 고강도일수록 초기에 강도가 발현되고 95일경에는 거의 비슷한 값을 보인다.

b) 휨강도 및 파괴계수

휨강도 및 파괴계수는 인장강도의 실질적인 지표이다. 실험 결과 없는 경우 ACI 363에 의한 파괴계수식은  $f_r = k \sqrt{f_c'}$ 와 같고 이때의 압축강도가 3000-12000psi의 범위인 경우 k값은 11.7의

값을 사용하며, 실험에 의한 경험식으로는  $f_r = 2.3(f_c')^{2/3}$ 이 제안되어 있다.

c) 탄성계수

현재 고강도콘크리트에 사용되는 경험식으로는 다음의 2가지가 있다.

ACI committee 363 on HSC :  $E_c = 1 \times 10^6 + 40000 \sqrt{f_c'}$  psi

Cornel University :  $E_c = 33W^{1.5} \sqrt{f_c'}$  psi,  $W = 145$  psf

고강도에 대한 탄성계수의 값과 14000 psi까지의 압축강도에 대한 응력변형률 관계를 보면 고강도콘크리트에서 증가부(ascending part)의 형상은 보통콘크리트보다 급경사이고 선형적이고 최대응력에서의 변형률은 약간 크며 감소부(descending part)의 경사는 매우 급하다.

d) 포아슨비

고강도콘크리트의 포아슨비에 대한 실험자료는 매우 적다. 그림 4는 보통콘크리트와 고강도콘크리트의 축방향, 횡방향변형률을 도시하였는데 고강도콘크리트의 체적팽창(volume dilatance)은 저강도콘크리트보다 적음을 알 수 있다.

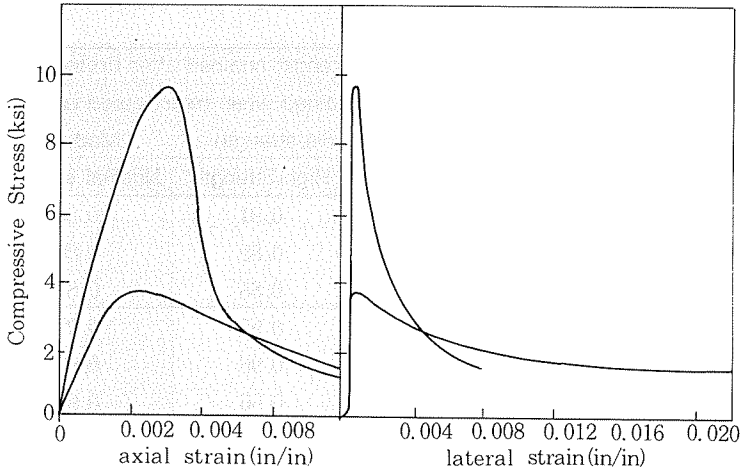


그림 4 N, C와 HSC의 종방향, 횡방향변위와 응력관계

### e) 건조수축

고성능콘크리트의 건조수축은 소성수축, 건조수축, 자생수축(autogenous shrinkage) 3영역에서 보통콘크리트와 다르다. 고성능콘크리트와 같이 결합재가 많은 배합은 보통콘크리트보다 소성수축을 더 받기 쉽다. 고강도콘크리트는 결합재의 양은 많지만 강성의 증가로 인하여 보통콘크리트보다 그다지 크지 않다.

건조수축에 영향을 미치는 인자로는 골재, 물시멘트비, 상대습도, 시멘트성분, 혼화재료 등인

데 혼화제는 건조수축을 증가시키는 경향이 있다. 그림 5는 물시멘트비와 골재의 영향에 대한 관계를 도시하였다.

ACI state-of-the-art-report에 고압축강도콘크리트에 대하여 다음과 같이 정리하고 있다.

(1) 건조수축은 물시멘트비에 영향을 받지 않지만 콘크리트의 체적당 물의 비율에 비례한다.

(2) 고강도콘크리트의 건조수축은 저강도콘크리트의 건조수축과 비슷하다.

(3) 고성능감수제를 함유한 고강도콘크리트의 건조수축은 저강도콘크리트보다 작다.

(4) 고강도콘크리트는 초기의 건조수축율은 비교적 높으나, 180일 건조 후에는 저강도콘크리트와 비슷하다.

### f) 크리이프

Luther와 Hansen은 고강도콘크리트(7350 psi-10,000 psi)에 대한 실험을 통하여 실리카흙콘크리트나 플라이애쉬콘크리트의 크리이프는 크게 다르지 않음을 보여 주었다.

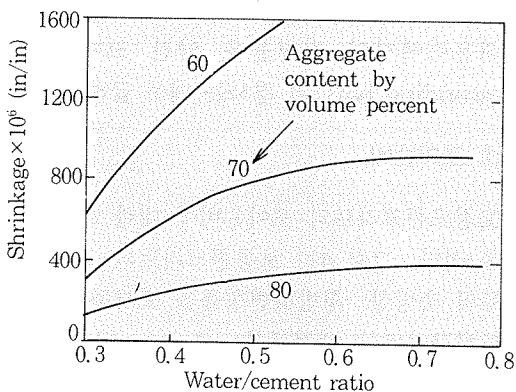


그림 5. 건조수축에 대한 물시멘트비와 골재의 영향



2) 내구성

a) 공극과 침투성(Porosity and Permeability)

① 물시멘트비의 영향

결합재의 공극구조에 가장 중요한 변수로서 물시멘트비가 감소하면 공극의 부피와 크기가 감소하고, 물시멘트비가 낮을수록 콘크리트강도는 증가되고 내부응력에 의하여 발생하는 균열에 대한 저항이 증가되어 콘크리트는 불투수성을 갖게 된다. 그림 6은 Power 등의 실험치로 물시멘트비가 0.4보다 적으면 침투성이 전혀 없음을 보여준다.

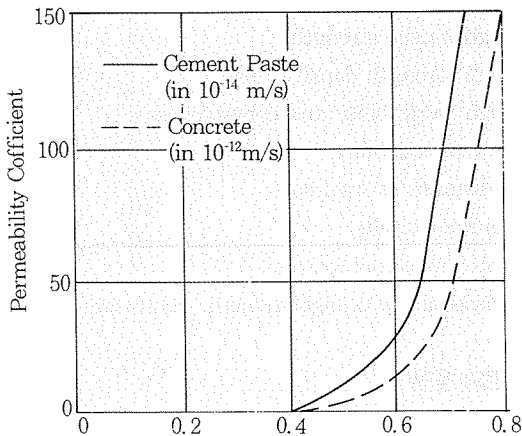


그림 6 물시멘트비와 침투성과의 관계

② 양생의 영향

Senbetta와 Malchow는 습윤양생, 왁스실링, 플라스틱덮개를 사용한 양생법이 대기양생이나 양생제를 사용한 것보다 마모저항과 철근의 부식에 대한 저항성이 우수함을 보여주었다. 양생기간이 줄어들면 강도는 낮아지고 침투성은 증가한다. 표 3은 침투성에 대한 양생의 영향이다.

표3. 시멘트풀(W/C=0.51)의 침투에 대한 양생의 영향

양생시간(일)	1	3	7	14	28	90
침투계수(10 <sup>14</sup> m/s)	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	0.01

③ 혼화재의 영향

혼화재를 사용하면 공극을 감소시키고 공극을 미세하게 만들어 침투성이 감소하고 콘크리트의 내구성이 증가하고 이 때 양생온도가 높으면 수분의 흐름을 감소시킬 수 있다. 매우 작은 입자의 실리카흙을 포함한 결합재는 포졸란반응에 의해 공극의 크기를 작게 할 수 있다.

④ 혼화제의 영향

혼화제도 공극분포에 영향을 주어 시멘트풀의 침투성을 작게 한다. calcium chloride를 사용하면 미세한 공극의 체적을 증가시켜 큰 모세관을 줄이고 결합재의 침투성을 줄여준다. 감수제 또한 침투성을 감소시키는데 낮은 물시멘트비에 사용하여 시멘트입자의 분산을 균일하게 한다.

b) 동결-융해(Freeze-Thaw)

동결융해의 반복하에서 콘크리트의 손상은 내구성의 중요한 문제가 된다. 보통콘크리트의 동결에 대한 저항성은 콘크리트가 건조되었다가 다시 습윤상태로 되는 과정에 의해 영향을 받는 반면에 실리카흙콘크리트는 비교적 영향을 받지 않는다. 연행공기가 보통콘크리트에서는 동결융해에 대하여 효과적이거나 고강도콘크리트에서는 아직 확실치 않다. Piller는 실리카흙을 너무 많이 사용하는 것은 내구성에 좋지 않고 최적사용량은 시멘트 중량의 5%~10%가 적당하다 하였다.

C) 박리(Scaling)

박리는 결빙방지용 소금의 사용에 의해 야기된다. 소금박리에 의해 표면손상을 입은 콘크리트는 거칠게 되고 표면근처의 모르터의 조각이 깨져나가 움푹해지게 된다. 고품질콘크리트조차 결빙방지에 의해 박리가 발생한다. 이러한 콘크리트

# 세미나 1

트의 박리에 대한 저항성은 시멘트 중량의 16% 까지 실리카흙을 첨가함으로써 개선시킬 수 있다.

## d) 마모(Abrasion)

마모저항은 압축강도에 비례하기 때문에 고성능콘크리트는 마모저항에 유리하다.

## 7. HPC의 응용

고성능콘크리트는 종래의 재료와 과정으로는 쉽게 얻을 수 없는 균일성과 의도하는 특성을 갖는 콘크리트로서 시공성, 기계적 특성, 내구성을 개선시킬 수 있다. 표 4는 고성능콘크리트에서 얻을 수 있는 특징이며 이러한 향상된 품질로부터 응용될 수 있는 것들은 표 5에서 보는 바와 같다.

표 4. 고성능콘크리트의 중요특성

Accribute	Abbreviacion
Adhesion to hardened concrete	AD
Abrasion resistance	AR
Corrosion protection	CP
Chemical resistance	CR
Ductility*	DUC
Durability	DUR
Energy absorption (toughness)*	EA
Early strength	ES
High elastic modulus	EM
High compressive strength	CS
High modulus of rupture	MOR
High tensile strength	TS
High strength/density ratio**	S/D
High workability and cohesiveness	WRK
Low permeability	IMP
Resistance to washout	WSH
Volume stability	VS

\* Fiber-reinforced concrete

\*\* Especially with high-strength, lightweight concrete

표 5. 고성능콘크리트의 응용

Application	Existing/New	Needed Attributes
PRIMARY IMPORTANCE		
Buildings		
• Columns	E	WRK, CS, EM, Predictable time-dep. deformations
• Post-tensioned Slabs	N	CS, EM
• Foundations	N	CS
Bridges		
• Decks	E	CP, DUR, AR, S/D
• Long spans	E	EM, S/D
Cold weather construction	N	ES
Chemical & Food processing plants	N	IMP, CR, AR
Fast-track construction		
• Tile-up, recycling formwork, automation, safety	N	WRK, ES, MOR
Hazardous waste containment	N	IMP, DUR
Parking garages	E	CP, DUR
Pavements		
• Fast track construction	E	ES, MOR

Application	Existing/New	Needed Attributes
PRIMARY IMPORTANCE		
• Repair	E	WRK, ES
• Heavy traffic zones	E	AR
Precast/prestressed concrete	N	WRK, CS, MOR, ES, CP, S/D
Repair		
• Emergency	E	WRK, ES, AD
• Underwater	N	WSH
• Longs-term	N	DUR, CS, AD
• Use of fiber concrete	N	EA, AD
Sanitary structures	N	IMP, CR, DUR
Seismic applications	N	EA, WRK
SECONDARY IMPORTANCE		
Military structures	N	EA, TS, CS
New transportation systems		
• High-speed rail, mag-lev	N	VS, CP, CS, EM
Offshore structures		
• Gravity structures	N	CS, TS, EM, DUR
• Floating sutructures	E	CS, TS, EM, DUR, S/D
Security structures	N	EA, TS, CS
Tunnel linings	N	IMP, ES, CS, TS, DUR
SPECULATIVE APPLICATIONS		
Lunar concrete		
Automated construction		WRK

### 8. 맺음말

고성능콘크리트는 콘크리트 단위체적당 경비가 비싸지만 워커빌리티를 개선시키고, 재령초기에 고강도를 확보할 수 있어서 공사비를 감소시킬 수 있다. 또한 기계적 성질을 개선시켜 구조부재

의 크기를 줄일 수 있고 내구성을 증가시켜 사용 수명을 증가시킬 수 있다. 그러나 아직 고성능콘크리트 성과 사용에 대한 시방규정이 확실하지 않다. 앞으로 고성능콘크리트의 폭넓은 사용을 위하여 연구되어야 할 사항은 표 .6과 같은 사항 들이다.

표 6. 고성능콘크리트의 연구될 사항

- Curing of low w/c HPC (and development of recommended practices)
- Explore approaches for enhanced volume stability--control of plastic & drying shrinkage
- Understand fracture processes in HPC (strain capacity, brittleness, crack characteristics)
- Understand needs for minimum reinforcement in high-strength HPC
- Consequences of using higher yield strength steel ( $f_y > 75$  ksi (520 MPa))

## 세미나 1

- Establish applicability of high-strength HPC in seismic design, explore feasibility of fiber-reinforced concrete in beam-column joints
- Develop techniques to facilitate finishing HPC flatwork
- Characterize chemical resistance of HPC
- Develop methods to repair HPC for (inevitable) construction defects
- Develop protective coatings for rebars to which concrete bonds well
- Understand the compatibility of HPC with conventional concrete (in new construction at slab-column joints and in repairs)
- Understand consequences of high compressive strength in applications of HPC for durability--ake advantage of it when possible

일손마다 안전수칙

일터마다 안전관리