

# 레미콘 공장에서의 고성능 콘크리트 제조

박 기 청

(동양중앙연구소 2차제품연구실 실장)

노 재 호

(동양중앙연구소 2차제품연구실 선임연구원)

## 1. 첫머리에

최근 국내에서는 서구 및 일본의 고성능 콘크리트(High Performance Concrete)가 그 의미가 혼용되어져 사용되고 있다. 미국, 유럽 및 캐나다 등지에서는 콘크리트의 미세구조를 치밀화시켜 고강도, 고내구성을 달성하는 방향으로, 그리고 일본에서는 작업성에 초점을 맞춘 다짐이 필요 없는 고유동 콘크리트로 강도와 내구성을 확보하려는 방향으로 고성능 콘크리트 연구가 진행되어 양쪽 모두 실제로 상당수의 건설현장에 적용되고 있다.

이중 일본에서 약 4~5년 전에 개발된 고유동 고성능 콘크리트는 타설시 다짐을 하지 않고도 복잡하게 철근이 배근된 거푸집 구석구석까지 스스로 채울 수 있으며, 이는 콘크리트 타설시의 제반 문제점을 제거하여 콘크리트 구조물에 높은 강도와 내구성을 부여하고 시공시의 인력과 경비를 절감하고자 하는 발상에서 출발한 것이다.

고성능 콘크리트는 일률적으로 그 물성을 정의할 수 있는 것이 아니라 사용 목적 및 요구

성능에 따라 달리 정의하는 것이 바람직하다고 판단된다. 岡村은 다음 특성으로 자신이 개발한 고성능 콘크리트를 정의하고 있다<sup>[1]</sup>.

- (1) 경화 전, 유동성과 재료분리저항성 등이 우수하여 다짐이 필요 없고
- (2) 타설 후, 경화 및 건조수축, 수화열에 대한 균열저항성이 우수하여 초기결함이 억제되며
- (3) 경화 후, 치밀한 미세구조를 가지므로 강도 및 내구성이 우수한 콘크리트

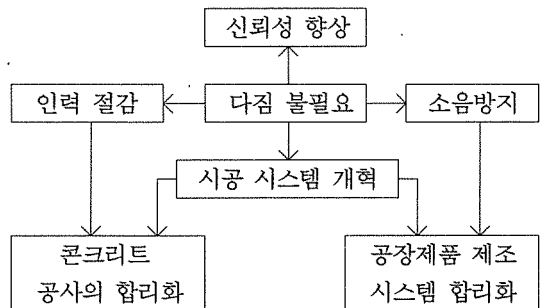


그림 1. 고성능 콘크리트의 효과

표 1. 시공법 차이에 따른 시공일수, 작업원수 비교

시공법	공사종류	비계	철근	거푸집	콘크리트	합 계
		공사	공사	공사	공사	
시공일수 (일)	재래식 시공	0.9	3.1	4.5	6.0	14.5일 (100%)
	재래구조+HPC	0.9	3.1	4.5	6.0	14.5일 (100%)
	재래구조+매설형거푸집+HPC	0.9	3.1	3.5	6.0	13.5일 (93%)
	강구조+매설형거푸집+HPC	1.0	3.4	3.5	6.0	13.9일 (96%)
	샌드위치구조+HPC	1.0	3.7	6.0		11.7일 (81%)
작업원수 (인)	재래식 시공	5.4	21.7	27.0	7.0	61.1인 (100%)
	재래구조+HPC	5.4	21.7	27.0	2.0	56.1인 (92%)
	재래구조+매설형거푸집+HPC	5.4	21.7	21.0	2.0	50.1인 (82%)
	강구조+매설형거푸집+HPC	6.0	18.1	21.0	2.0	47.1인 (77%)
	샌드위치구조+HPC	6.0	21.2	2.0		29.2인 (48%)

고성능 콘크리트의 사용은 콘크리트 구조물의 신뢰성을 향상시키고, 타설시의 인력절감, 다짐작업에 따른 소음문제의 해소, 타설작업의 신속진행, 시공 시스템의 해석 등으로 콘크리트 공사의 합리화와 근대화를 가능하게 한다. 또한 고성능 콘크리트를 프리캐스트 콘크리트 공장제품에 적용할 경우, 별도의 다짐설비와 인력을 채용하지 않고도 생산성을 증가시킬 수 있다는 등의 잇점도 생각할 수 있다(그림 1 참조).

고성능 콘크리트 사용시의 시공방법에 따른 시공기간과 작업원 수를 재래의 콘크리트와 비교하면 경제성 평가가 가능하다(표 1참조)<sup>[2]</sup>. 고성능 콘크리트는 타설시에 다짐작업 생략이 가능하므로 구조설계와 함께 거푸집, 몰드, 지보공 등의 시공과정 전체의 합리화가 중요하며 이를 통하여 현장의 작업원 수와 시공기간을

1/10~1/2 정도까지 감축할 수 있다.

국내 건설현장에서의 콘크리트 부실시공 방지 및 다가온 건설시장 개방과 건설공사 합리화 등에 대비하기 위해서는 국내 레미콘 공장에서의 고성능 콘크리트 제조기술 확산이 시급하다고 판단된다. 이에 본고에서는 고유동 고성능 콘크리트의 특성 및 배합설계와 사용재료, 물성 측정방법, 제조시 주의사항에 대하여 주로 국내 레미콘 공장에서 고유동 콘크리트를 제조할 경우를 대상으로 하여 기술하기로 한다.

## 2. 고성능 콘크리트의 특성 및 배합설계

고성능 콘크리트의 가장 큰 특징은 유동성, 재료분리저항성, 충전성이 모두 우수하여 타설

시 다짐작업을 하지 않아도 복잡하게 철근이 배근된 거푸집 내에서 구석구석까지 균질하게 충전될 수 있다는 점이다. 그러나 일반적으로 콘크리트의 유동성과 재료분리 저항성은 서로 상반되는 성질이므로(그림 2 참조) 고성능 콘크리트를 제조하기 위한 배합설계의 요점은 유동성과 재료분리 저항성을 어떻게 동시에 높이느냐에 달려있다.

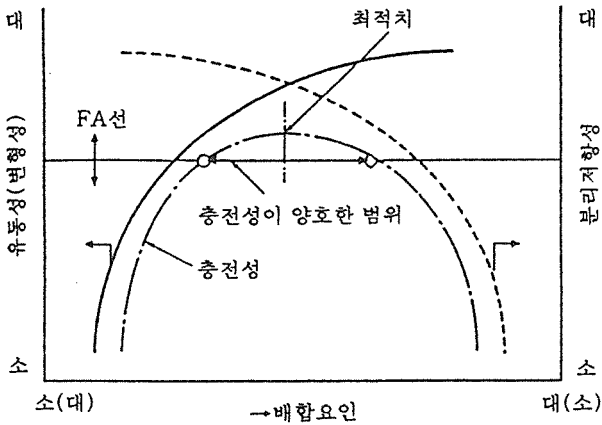


그림 2. 배합요인과 유동성 및 분리저항성의 관계<sup>[3]</sup>

따라서 콘크리트의 유동성을 향상시키기 위해 고성능(AE)감수제를 사용하고, 재료분리 저항성을 높이기 위해 미분말 결합재, 혹은 증점제를 사용하여 페이스트(혹은 몰탈) 부분의 점성을 증가시키는 것이 배합설계의 중요한 요점이다. 이렇게 제조된 고성능 콘크리트는 변형성이 매우 뛰어나면서(슬럼프 플로우가 60 ± 10cm 정도, 일반 유동화 콘크리트의 슬럼프 플로우는 40~50cm 정도) 페이스트(혹은 몰탈)부분의 점성이 골재분리를 억제하여 다짐을 하지 않아도 균일한 충전이 가능하게 된다. 동일한 슬럼프 플로우를 얻기 위한 고성능감수제 첨가량은 세골재율과 관계없이 동일한 물결합재비 조건이면 단위수량(단위결합재량) 증가에 따라 약간 감소한다(그림 3 참조).

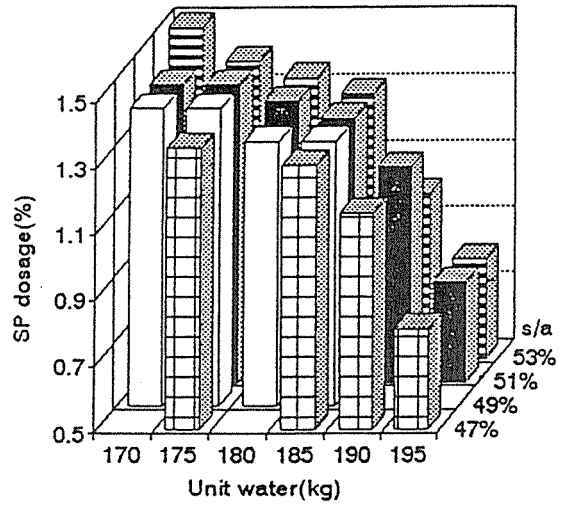


그림 3. 단위수량 및 세골재율 변화에 따른 고성능감수제 첨가율<sup>[4]</sup>

고성능 콘크리트의 제조시 유동성 및 재료분리 저항성 등 굳지 않은 콘크리트의 여러 성상에 영향을 미치는 주요 배합요인을 정리하면 다음 표 2와 같다.

표3은 필자들이 사용하고 있는 고성능 콘크리트의 배합설계 과정이다. 제 4단계에서 콘크리트 물성을 확인하고, 확인된 콘크리트의 물성이 미흡하면 다시 제 3단계의 내용을 실시하여 목표로 하는 콘크리트 물성이 얻어질 때까지 이 과정을 반복한다.

그림 4에 이러한 방법에 의한 미분말 결합재를 사용한 고성능 콘크리트 배합의 일례를 일반 25-210-12 AE 콘크리트와 비교하여 나타내었다. 고성능 콘크리트는 일반 콘크리트와 비교하여 상대적으로 결합재량이 많고 조골재량이 적은 것을 알 수 있다.

표 4는 실제로 고성능의 성질을 갖는 콘크리트라고 소개되었거나 실제 시공된 고성능 콘크리트 배합사례의 일부를 종합한 것으로 사용목적 및 시공환경에 따라 사용재료와 배합설계가 매우 다양함을 알 수 있다.

표 2. 고성능 콘크리트 유동성에 영향을 미치는 사용재료 및 배합요인<sup>[5]</sup>

사용재료 및 배합요인	세 부 요 인
물	물결합재비, 단위수량
결합제 (분체; 시멘트, 혼합제)	입도분포, 형상, 화학성질, 페이스트 용적
골재	형상, 세골재율, 단위조골재 용적
혼화제 (고성능감수제, 증점제)	종류, 첨가량
배합외의 기타 요인	투입순서 및 혼합방법, 혼합시간 혼합속도, 믹서종류, 온도, 외력 (진동)

표 3. 콘크리트 배합설계 과정

순 서	실 시 사 항	세 부 사 항
제 1단계	콘크리트 물성 결정 - 구조물 조건 - 시공조건	(1) 유동성 및 충전성 (2) 압축강도 (3) 기타(공기량, 수화열, 건조수축율 등)
제 2단계	사용재료 결정 - 콘크리트 물성 및 경제성을 고려	(1) 조골재 최대치수 : 배근 조건 고려 (2) 미분말 결합제 종류 : 압축강도 및 수화열 고려 (3) 고성능(AE)감수제 (4) 증점제 사용 여부 및 종류 (5) 팽창제 종류사용여부
제 3단계	배합비 결정	(1) 물결합재비 : 필요 점도 및 유동성을 만족하는가? - 필요시 페이스트 실험 실시 (2) 단위수량(단위결합재량) 및 세골재율 : - 실제 실험 데이터에 근거하여 결정 - 단위조골재량 일정 한계 이하, - 페이스트/조골재 용적비 일정 한계 이상 - 조세골재 실적을 고려 (3) 고성능(AE)감수제 첨가량
제 4단계	콘크리트 확인실험	(1) 충전성 - 슬럼프플로우 : 60~70cm - O형 깔때기시험 : 10초 이하 - 배근박스시험 : 좌우높이차 10cm 이내 - L형 플로우 실험 : 충전성 양호 여부 및 충전속도 측정 (2) 압축강도 (3) 수화열 : 단일온도상승실험 및 유한요소해석

표 4. 고성능 콘크리트의 배합 사례

Gmax (mm)	W/B (%)	S/A (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	결합재 (kg/m <sup>3</sup> )				고성능(AE)감수제 (kg/m <sup>3</sup> )	증점제 (kg/m <sup>3</sup> )
				Binder			석분		
				C	Slag	Fly-ash			
20	29.9	51	160	156	177	203	—	4.29	—
20	33.5	49.3	183	173	374	—	—	6.56	0.04
25	28	53.5	153	300	246	—	—	10.92	—
20	36	46	180	500				8.4	1.5
20	33.6	50.3	178	169	360	—	—	8.43	0.02
20	30.1	45.5	159	155	171	202	—	5544cc	0.02
25	51.9	48.2	161	310	—	—	—	10850cc	0.75
25	49.2	52.3	160	260	—	200	—	11.9-19	0.02
20	52.9	45.3	175	331	—	—	216	8.2	0.087
25	40	50	170	425(슬래그 시멘트)				C×1.1%	—
25	41	50	170	415(OPC)				C×1.2%	—
20	55	45	239	435	—	—	—	C×1-1.5%	1.8-2.2
20	53.1	55	170	320	—	160	—	B×1.1-1.6%	2-3
20	50	52.3	180	360	—	—	154	C×1.5-2.5%	2-3
20	32.5	48	175	438	—	100	—	10	1
20	35.3	45	170	193	193	96	—	9	1
20	34	45	170	400		100	—	11	0.8
20	30	50	170	567	—	—	—	C×1.25%	—
40	55.8	45	145	260	—	—	150	6.355	—
40	55.8	36	145	260	—	—	150	7.8	—
20	31	45	160	516	—	—	—	C×2-3%	W×0.045%
20	33.9	45.2	165	487	—	—	—	10.2	—
20	32	49.2	167	285		237	—	6.26	—
20	29.9	49.9	159	200	—	—	331	14.5	0.1

공기(4%)	공기(1.5%)	공기(1.5%)
물 (18.5%)	물 (19%)	물(19%)
시멘트 (10.8%)	시멘트 (6.6%)	시멘트 (12.1%)
모래 (30%)	슬래그 (9.2%)	플라이애쉬 (7.6%)
	플라이애쉬 (5.5%)	
자갈 (36.7%)	모래 (29.1%)	모래 (29.9%)
	자갈 (29.1%)	자갈 (29.9%)

25-210-12

3성분계  
HPC

2성분계  
HPC

그림 4. 고성능 콘크리트와 AE 콘크리트 배합비교  
(단위체적당 각 구성재료의 비율)

### 3. 고성능 콘크리트용 재료

고성능 콘크리트제조는 고성능감수제와 증점제를 적정량 혼합하여 제조하는 화학혼화제 첨가방법과 슬래그, 플라이애쉬, 석분 등의 광물질 미분말 혼합제나 개질된 시멘트(고벨라이트 시멘트, 구상화 시멘트, 중용열 시멘트)를 사용하는 방법 등이 있다.

89년 일본 동경대학 岡村 연구실이 발표한 고성능 콘크리트는 보통 콘크리트의 성분 외에 광물질 미분말 슬래그와 플라이애쉬를 사용하였고, 유기 혼화제로 고성능AE감수제와 셀룰

로즈계 증점제를 사용하기도 하였다.

이후 여러 방면의 연구들이 진행되면서 석회석 미분말을 첨가하여 전체 분체량(결합재량)을 증가시킴으로써 조골재간의 응집현상을 방지하거나<sup>[5][6]</sup>, 고성능감수제와 증점제만을 사용하여 다짐이 필요 없는 성상에 촛점을 맞춘 사례도 있다<sup>[7][8]</sup>. 증점제는 셀룰로즈계와 아크릴계 및 다당류 폴리머계가 주종을 이루고 있으며 일본에서는 다당류 폴리머계의 바이오폴리(Biopoly), 아크릴계의 아사노HF, 무기질 폴리머계의 Filamic, 셀룰로즈계의 SFCA 2000 등이 시판되고 있다.

그러나 유기질 증점제만으로 고성능 콘크리트를 실현하는 것은 가격이 비싸고 경화 후의 물성(강도, 내구성)에 있어서 그다지 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

국내에서 현재 시판되고 있는 증점제는 대부분이 메틸 셀룰로즈 계통으로 주로 수중불분리 콘크리트용 혼화제로 사용되고 있다. 그러나 메틸 셀룰로즈계 수중불분리 콘크리트용 증점제는 나프탈렌계 고성능감수제와 적합성에 서로 문제가 있다. 메틸 셀룰로즈계 증점제는 멜라민계 고성능감수제와 함께 사용하여야 하며 고성능감수제 첨가량이 늘어나는 문제점이 있어 고성능 콘크리트용으로는 사용이 부적합하다. 아직 국내에서는 아크릴계 및 기타 제품이 본격적으로 생산되고 있지 않으며 고성능 콘크리트용 증점제로 판매되고 있는 제품은 없다.

일본에서는 시멘트와 슬래그, 플라이애쉬를 혼합한 3성분계, 혹은 2성분계의 다성분계 저발열 혼합시멘트와 고벨라이트 시멘트, 구상화 시멘트 등이 고유동 콘크리트용 결합재로 판매되고 있다.

고벨라이트 시멘트는 시멘트 중간 제조물인 클링커 성분 중에서 벨라이트(belite C<sub>2</sub>S) 성분을 다량 생성시켜 시멘트의 수화열을 저감시키도록 한 것이며 구상화 시멘트는 일반적으로 각이 진 시멘트 입형을 구형으로 만들어 유동성을 가지는데 필요한 단위수량을 저감시키는 것을 목적으로 제조된 시멘트이다.

3성분계 시멘트용으로 사용되는 슬래그는 블레인 비표면적이 약 6,000cm<sup>2</sup>/g 으로 일반 슬래그 시멘트의 슬래그는 블레인값이 약 4,000cm<sup>2</sup>/g 정도에 비하면 고미분말도이므로 전체 결합재 입자의 입도분포를 넓히고 입자 표면의 잉여수량을 감소시켜 콘크리트 유동성에 유리한 영향을 미치는 동시에 슬래그 시멘트의 문제점인 초기강도 저하 해결 및 수화열 저감의 장점도 충분히 살릴 수 있다.<sup>[9]</sup>

국내에서 생산되는 시멘트, 플라이애쉬와 고미분말 슬래그를 혼합한 3성분계 결합재를 사용하여도 다짐이 필요 없으면서 압축강도는 650kgf/cm<sup>2</sup> 이상이고 결합재 중의 시멘트량이 200kg/m<sup>3</sup> 이하인 수화열이 대폭적으로 저감된 고성능 콘크리트를 제조할 수 있다.<sup>[10]</sup>

그러나, 국내에서는 아직 고성능 콘크리트용의 다성분계 혼합시멘트나 구상화 및 고벨라이트 등의 특수 시멘트가 상용적으로 대량으로 생산되지 않고 있으며 블레인 비표면적 6,000cm<sup>2</sup>/g 슬래그 미분말도 제품으로 판매되지 않고 있어 고성능 콘크리트용의 상용적으로 판매되는 특수한 혼합재료를 입수하기는 어렵다. 일부 국내 시멘트 회사에서는 고성능 콘크리트용으로 사용이 가능한 고미분말 슬래그 및 3성분계 시멘트, 고벨라이트 시멘트의 생산을 계획하고 있다.

현재로서 국내에서 증점제를 사용하지 않고 미분말 결합재만으로 고성능 콘크리트를 제조할 경우는 슬래그 시멘트와 화력발전소 및 열병합 발전소에서 부산물로 생산되는 유연탄 플라이애쉬를 이용한 방법이 가장 적용성이 높은 것으로 판단된다.

슬래그 시멘트는 블레인 비표면적인 약 4,000cm<sup>2</sup>/g 인 고로 슬래그를 일반 시멘트에 30% 혹은 40% 치환한 제품이 현재 판매되고 있다. 그러나 슬래그 시멘트는 필요에 따라 시멘트 중의 슬래그 치환량을 임의로 조절할 수 없다는 단점이 있다.

충남 보령화력에서는 발생하는 플라이애쉬를 분급기(Air Separator)로 일차 정제하여 미연

탄소를 제거하여 판매하고 있다. 플라이애쉬를 혼합재로 사용할 경우 콘크리트 강도 및 요구 물성에 따라 치환량을 조절할 수 있으나 기존의 시멘트 사일로와 계량장치 이외에 플라이애쉬 투입용의 설비가 필요하며 부산물인 관계로 그 화학성분 및 비중, 분말도, 입도분포 등의 품질이 불균질하다는 단점이 있다.

고성능 콘크리트의 유동성 확보를 위한 고성능감수제의 사용은 증점제 및 미분말 결합재의 사용 여부에 관계 없이 필수적이다. 고성능감수제는 그 종류에 따라 나프탈렌계 및 멜라민계, 정제리그닌계, 폴리카본산계가 주성분을 이루고 있으나 이중 나프탈렌계와 폴리카본산계가 고성능 콘크리트 제조에 주로 사용되고 있다. 일본에서는 레미콘 제조후 2시간까지 유동성의 저감이 없는 슬럼프손실 저감형의 고성능(AE)감수제가 개발되어 각 혼화제 회사마다 고성능 혹은 고유동 콘크리트용 고성능(AE)감수제로 판매하고 있다.

국내에서 사용되는 고성능감수제는 주로 나프탈렌계로 아직은 그 대부분이 시간 경과에 따른 유동성 저하가 심하여 고성능 콘크리트용으로 사용이 부적합하나 최근에는 일부 회사에서는 고성능 콘크리트에 사용이 가능할 정도로 슬럼프손실을 저감시킨 제품을 자체 개발하거나 수입하여 판매하고 있으며, 폴리카본산계 고성능감수제도 개발되어 판매가 실시되고 있다.

#### 4. 반죽질기의 정량적 평가법

고성능 콘크리트의 반죽질기(consistency, rheological properties)는 유동성, 부착성, 분리저항성, 간극통과성, 충전성 등으로 평가되나 그 정의는 명확하지 않으며 이는 재료가 갖고 있는 성질(재료성질)과 임의의 조건하에서의 성상(관찰성상)으로 구분할 수 있다<sup>[11]</sup>. 또한 이러한 특성들을 평가하기 위해서는 보통 콘크리트에서 주로 사용하는 슬럼프 시험만으로는 고성능 콘크리트의 굳지 않은 성질을 정

확히 측정할 수 없어서 여러가지 새로운 개념과 시험방법들이 도입되고 있다.

한편 이들 성질의 평가치를 물리적 의미의 명확한 값으로 정량적으로 나타내고 이론적으로 해석하는 것을 목적으로 굳지 않은 콘크리트 및 매트릭스 모델에 대하여 물리적 의미가 명확한 유변학적 모델을 설정하여 그 물성치를 측정하는 방향으로 접근을 시도하기도 한다.

표 5. 고성능 콘크리트 평가시험법 일례<sup>[12]</sup>

판정성상	측정항목	시 험 방 법 예
유동성	최종 변형량	슬럼프플로우, L플로우, 박스시험
		콘크리트 플로우
	변형속도	슬럼프플로우, L플로우, O형 및 V형 깔때기 시험 구인상시험, 전단박스시험
부착성	부착력	몰드 강관 부착력시험, 전단박스시험
분리 저항성	골재량	철망체 시험, 배근박스형 시험
		진동 조골재침강시험, 진동철망체시험
간극 통과성	유량,	깔때기 및 배근깔때기 유하시험
	유동속도	배근박스, 배근L플로우시험
충진성	충진상황	장애물 모델 거푸집 시험

고성능 콘크리트의 굳지 않은 상태의 주요 물성을 다음과 같이 분류할 수 있으며, 이러한 성질을 정량적으로 평가하기 위한 시험법은 다음 표 5와 같다.

- (1) 유동성 : 콘크리트 변형성상의 총칭으로 콘크리트 최종변형량과 관계되는 항복치와 유동속도와 관련되는 점도로 나타내어진다.
- (2) 부착성 : 콘크리트가 철근, 몰드에 부착하는 성질로 이들의 경계면에서 미끄러짐이 생기는 최소 전단응력으로 정량화되며 주로 페이스트 항복치에 지배된다.
- (3) 분리저항성 : 구성 재료간의 질량 차이

에 의한 상대이동에 저항하는 콘크리트 성질로서, 유동성과 부착성에 의해 지배된다.

(4) 간극통과성 : 철근 간극 및 거푸집 사이의 콘크리트 통과 용이성을 보는 관찰성상으로 유동성, 부착성, 분리저항성과, 철근 배근 및 거푸집 조건 등에 지배된다.

(5) 충전성 : 고성능 콘크리트가 철근 주변부와 거푸집 구석구석까지 도달하는 성상을 나타내는 관찰성상으로 유동성, 분리저항성, 간극통과성에 의해 지배된다.

그림 5는 필자들의 사용한 고성능 콘크리트 반죽질기 시험장치의 일례이다. 필요한 물성을 가진 고성능 콘크리트의 제조를 위해서는 요구되는 조건에 따라 여러 시험법을 종합하여 사용하는 것이 바람직하다.

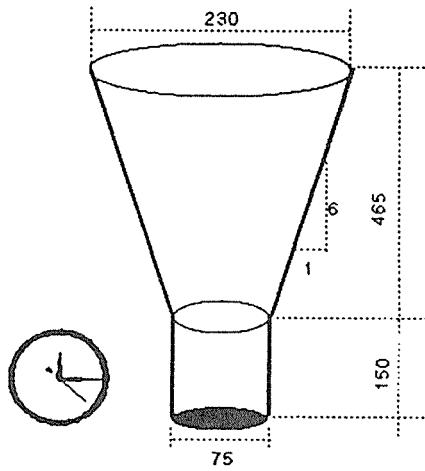
슬럼프콘 시험후 기존의 무너져내린 높이를 측정하는 대신에 퍼진 넓이를 측정하는 슬럼프 플로우 시험은 가장 간단하면서도 널리 사용되는 시험법으로 콘크리트의 유동변형량을 측정하는 방법이다.

깔때기 시험은 콘크리트의 유동속도를 측정하는 시험법으로 유하시간이 적을 수록 콘크리트가 빨리 움직이는 것을 나타내는 시험법이다. 페이스트 점도에 영향을 받으며 슬럼프 플로우가 적절할 경우는 페이스트/조골재 용적비에 의해 좌우된다.

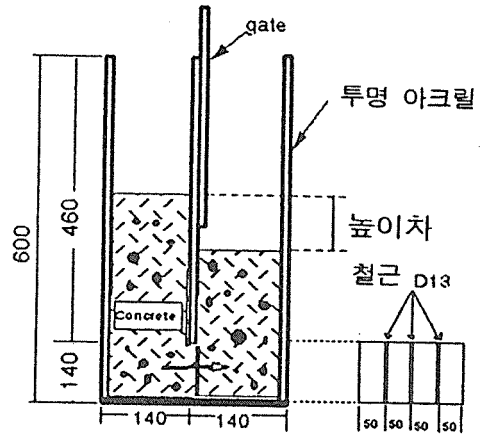
철근 배근 박스시험과 L플로우시험은 콘크리트의 유동변형량성, 유동속도 및 분리저항성, 철근 통과성을 종합한 충전성을 나타내는 방법으로 사용될 수 있다.

슬럼프 플로우는 고성능감수제 첨가량에 가장 큰 영향을 받으며 슬럼프 플로우값이 약 60~70cm일 경우 고성능 콘크리트 제조에 가장 적절하다. 슬럼프 플로우가 약 70cm를 넘으면 콘크리트의 점성이 저하되어 재료분리가 발생되며 슬럼프 플로우가 60cm 이하이면 유동성 저하로 고유동의 물성을 얻기 힘들다.(그림 6 참조)

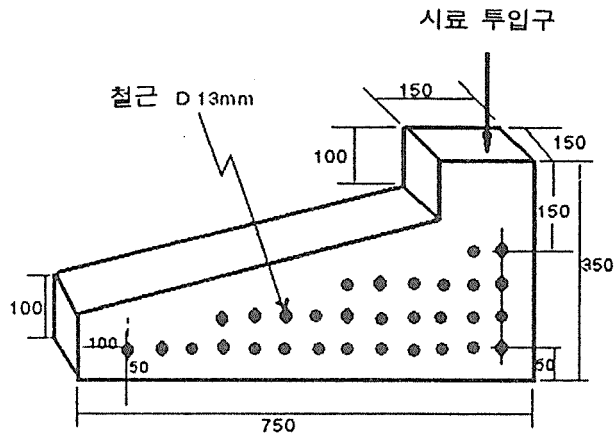




(1) O형 깔때기 시험장치



(2) 박스시험장치



(3) L플로우 시험장치

그림 5. 고성능 콘크리트 물성시험법 일례<sup>(4)</sup>

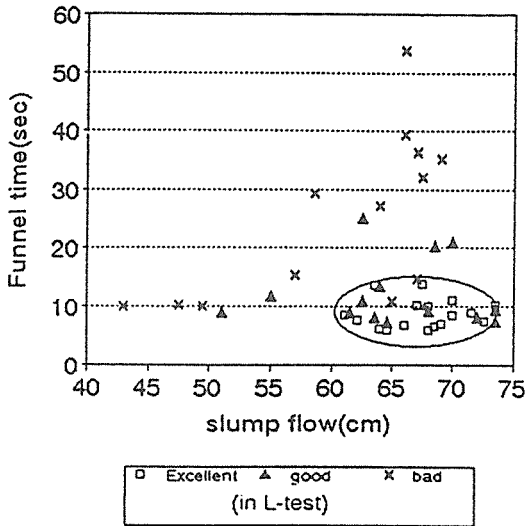


그림 6. 슬럼프 플로우와 고성능 콘크리트 물성<sup>[4]</sup>

## 5. 고성능 레미콘 제조 및 품질관리

### (1) 원재료 선정

고성능 콘크리트용 재료로서는 배합수와 결합재(시멘트 및 미분말 혼합재), 조세골재, 고성능감수제, 증점제 등이 사용된다. 이러한 재료는 제조하고자 하는 고성능 콘크리트의 특성과 각 레미콘 공장의 현황에 따라 정해진다.

현장 사정상 철근배근이 복잡하고 철근간격이 좁은 구조물에 타설되는 콘크리트일 경우일 수록 조골재 최대치수를 작게 할 필요가 있다. 따라서 일반 레미콘에 주로 사용되는 최대치수 25mm의 조골재 대신에 최대치수 20mm의 조골재가 많이 사용된다. 그러나, 이는 필수요건은 아니며 거푸집내의 철근배근이 많지 않거나 부재간격이 넓은 경우는 최대치수 25mm 및 40mm 조골재의 사용도 가능하다.

고유동 콘크리트의 결합재량(분체량) 및 고성능감수제 첨가량은 골재의 입형 및 입도가 불량함에 따라 증가되는 경향이 많다. 따라서

가능한 입형이 모나지 않고 편석이 적은 골재가 고성능콘크리트 제조에 적합하며 입도분포 역시 규정된 규격을 만족하는 것이 바람직하다. 골재의 단위용적중량실험을 실시하여 실적을 계산하면 이러한 입형 및 입도분포 상태를 동시에 파악하는 한가지 방법이 될 수 있다. 실적이 높은 골재일 수록 고성능 콘크리트 제조용으로 적합하다고 할 수 있다.

결합재는 고성능 콘크리트의 목표성능에 따라 선정되기도 하나 공장설비와 수급가능성, 경제성 등을 고려하여 선택되어야 한다.

고성능 콘크리트는 결합재량이 많은 것이 보통이므로 일반 시멘트를 사용할 경우, 수화발열량 증가에 따른 문제점이 발생하기 쉬우므로 저발열 성분의 결합재가 필요하게 되며 이를 위하여는 슬래그나 플라이애쉬가 치환되기도 한다. 결합재 자체의 수화열을 저감시키기 위하여 중용열 시멘트가 사용되기도 하며 고벨라이트 시멘트가 사용되기도 한다.

고성능 콘크리트용 재료의 선정은 콘크리트의 물성과 사용 용이성, 경제성 등을 동시에 고려하여 실시되어야 한다. 특히 국내의 경우, 실제로 사용 가능한 재료는 현재로서는 슬래그 시멘트와 플라이애쉬이다. 각 공장에서 플라이애쉬 투입이 가능한 결합재용 사일로 및 투입 시설이 마련되어 있는 경우는 플라이애쉬를 사용할 수 있으나 그렇지 않은 경우는 슬래그 시멘트를 사용하여야 한다. 그러나, 기존의 레미콘과 고성능 레미콘을 동시에 함께 생산하는 경우는 슬래그 시멘트를 사용하면 기존의 레미콘 배합을 슬래그 시멘트를 사용하는 것으로 배합비를 변경하여야 한다.

석회석 미분말을 사용하는 방법도 가능하나, 이 역시 아직 고성능 콘크리트용 미분말 결합재로 판매되고 있는 것은 아니나 저장도의 고성능 콘크리트 제조를 위하여는 좋은 방법이다. 국내의 석회석 골재를 생산하는 공장에서는 석회석 미분말이 산업부산물로 처리해야될 폐기물이므로 부근의 레미콘 공장에서 이를 사용하여 고성능 레미콘을 제조한다면 기술적 및 경제적으로 바람직하다고 하겠다.

아직 국내에서는 고성능 콘크리트 제조용의 증점제가 생산되지 않으며 외국에서 수입한다고 하여도 가격이 비싸므로 증점제를 사용하는 고성능 레미콘의 제조는 경제성면에서도 적절하지 못하다. 그러나, 미분말 결합재를 사용하면서 증점제를 소량으로 사용하면 품질변동을 줄일 수 있어 고성능 콘크리트 제조시 증점제를 부가적으로 소량 첨가하는 방법은 권장되고 있다.

## (2) 교반

콘크리트 제조시 재료의 투입 및 교반순서에 따라 콘크리트의 반죽질기, 작업성 및 압축강도 등의 경화 후 물성에는 많은 차이가 발생한다. 특히 결합재와 화학혼화재의 투입은 동일한 첨가량에서도 콘크리트의 작업성에 매우 큰 영향을 미치며 고성능감수제의 경우는 그 효과를 발휘하는데 상대적으로 충분히 긴 시간이 요구된다.

일본의 경우, 교반기 자체를 이단으로 설계하여 상부의 교반기에서 결합재와 배합수, 고성능감수제를 미리 교반(pre mixing)하고 비빔된 페이스트를 아래의 교반기로 배출하여 골재와 재교반하여 레미콘을 연속적으로 제조하는 교반기가 고성능 콘크리트용 교반기로 사용되고 있기도 하다.

국내에서는 고강도 콘크리트 제조시에 고성능감수제와 배합수를 두 번으로 나누어 첨가하는 등의 교반 순서와 시간을 변화시키는 실험이 발표되고 있다. 실제로 이러한 방법으로 고성능감수제의 첨가량을 저감시키거나 슬럼프손실을 저감시키는 것이 어느 정도 가능하다. 그러나 일반 레미콘 공장서 원재료의 투입은 자동으로 거의 동시에 투입되도록 되어 있으며 공장의 공정과 생산성 등을 감안한다면 투입순서 및 시간을 임의로 조절하기는 어려우므로 실제로 적용하기에는 무리한 방법이라고 생각된다.

물론 고성능 콘크리트의 제조에 있어 고성능감수제가 효능을 발휘할 충분한 시간 동안 교

반을 실시하는 것은 필수적이다. 그러나, 각 공장마다 보유한 교반기의 성능이 다르므로 그 교반 시간은 균일하지 않다. 적절한 교반시간을 파악하기 위하여는 판넬에서 원재료가 완전히 투입된 후 교반기에 가해지는 부하를 간접적으로 나타내는 전류계의 눈금을 관찰하여 전류계의 눈금이 안정되는 시간을 측정하여 그때 까지는 교반시간으로 하는 것도 한가지 방법이다.

## (3) 골재 표면수 변동

골재의 표면수 변동은 레미콘의 작업성과 압축강도에 모두 영향을 미치므로 이를 최소화하거나 이에 의한 영향을 가능한 줄여야만 한다. 일본의 경우 세골재 표면수 안정을 위한 세골재 표면수 안정기(sand stabilizer)를 세골재 야적장과 세골재 사일로 사이에 설치하여 세골재에 인위적으로 살수하고 이를 원심력 회전에 의해 탈수하여 골재의 표면수를 일정하게 안정시키는 방법을 사용하고 있다.

혹은 세골재 표면수 측정기를 이용하여 교반기 내에 유입되는 세골재의 표면수를 측정하여 그에 따라 투입되는 배합수의 양을 증감시키는 방법이 이용되기도 한다. 특히 국내의 많은 레미콘 공장이 골재 사일로가 없는 점을 고려하면 이의 사용도 고려할 만하다.

그러나 대부분의 국내 레미콘 공장에서는 골재용 사일로가 없는 경우가 많아 표면수 변동이 비교적 심한 경우가 많다. 따라서 레미콘 제조전에 반드시 투입되는 세골재를 채취하여 그 표면수를 적외선 수분기 등으로 확인하고 이를 보정하여 알맞은 세골재 표면수율을 적용하여야 하며, 이후 제조 중에도 세골재의 표면수 측정은 계속 실시하여야 한다.

## (4) 기온 및 레미콘 온도

콘크리트의 수화과정은 일종의 발열반응이므로 온도의 영향을 크게 받는다. 따라서 기온 및 원재료의 온도에 따라 레미콘의 온도가 달라질 경우, 레미콘의 물성도 달라지게 된다.

특히 고성능 콘크리트에는 다량의 고성능감수제가 사용되게 되며, 고성능감수제의 성능은 콘크리트의 온도에 따라 달라지므로 실제 레미콘에 적용하기 전에 사전실험을 통하여 콘크리트 온도에 따른 고성능감수제의 성능을 확인할 필요가 있다.

겨울철의 경우, 원재료의 온도가 하강하므로 고성능감수제가 성능을 발휘하기 힘든 경우가 많으므로 이런 경우는 배합수를 가열하여 온수로 하여 레미콘의 온도를 높이는 등의 조치를 취할 필요가 있다. 온수의 온도는 60~70°C 이하로 하여야 한다.

여름철에는 레미콘의 온도가 높을 경우 슬럼프손실이 더욱 심하므로 슬럼프손실 방지 대책이 중요하다. 특히 고성능감수제 종류에 따라서는 콘크리트 온도에 따른 슬럼프 유지 성능이 다른 제품이 많으며, 국내에서 슬럼프손실 저감형으로 판매되고 있는 것 중에서도 실내실험에서는 효과가 있으나 실제로는 그다지 효과가 없는 경우가 많다. 이는 실내에서 실험하는 재료를 상온에서 보관하기 때문에 콘크리트 온도가 20°C 부근으로 하여 실험을 실시하나 약 6월 경 부터 9월 경 까지의 콘크리트 온도는 30°C를 넘는 경우가 많고 여름철의 레미콘 온도는 37°C까지 올라가기도 한다. 따라서 실내에서 실험할 때도 원재료의 온도를 변화시켜 콘크리트 온도를 각 계절의 실제 레미콘 온도로 하여 실험할 필요가 있다.

#### (5) 운반

슬럼프손실 저감형의 고성능감수제를 사용할 경우는 어느 한도의 운반시간 이내에서는 레미콘의 작업성이 유지되나, 그렇지 못 할 경우는 운반시간이 매우 중요하다. 운반시간이 짧은 경우는 레미콘 작업성 유지에 별 문제가 없으나 운반시간이 긴 경우는 별도 대책이 수립되어야 한다. 이를 위하여는 운반 후 유동성이 저하한 만큼 타설전에 고성능감수제를 다시 첨가하여 유동성을 회복시키거나, 운반시간에 따른 유동성 저하를 고려하여 미리 유동성을 높

게 증가시키는 방법을 생각할 수 있다. 물론 적절한 유동성 유지에는 운반시간만이 아닌 레미콘 차량 도착후의 대기시간까지도 고려하여야 한다.

그러나 고성능 콘크리트의 경우는 유동성이 너무 낮은 경우만이 아니라 높은 경우도 문제가 될 수 있으므로 타설 전에 고성능감수제를 후첨가하거나 미리 유동성을 높여 출하시키는 방법은 실제로는 품질관리상 일정하게 적절한 유동성을 유지하기가 매우 어려우므로 고성능 레미콘의 균일한 품질관리가 매우 어렵다.

현장에서 레미콘 차량에 고성능감수제를 첨가하여 유동성을 회복시킬 경우, 레미콘의 최대 운반량을 적재할 경우, 레미콘 차량의 아지테이터 드럼을 고속 교반하여도 고성능감수제가 충분히 혼합되기 어려우므로 운반량을 최대 용량보다 약간 적게(예를 들면 최대용량 7m<sup>3</sup> 차량의 경우는 6~6.5m<sup>3</sup>이 적당함) 하여야 고성능감수제가 균질하게 혼합되어 그 효능을 발휘할 수 있다.

#### (6) 타설전 품질관리

고성능 콘크리트의 작업성 검사는 몇가지 시험법을 통하여 종합적으로 판단하는 것이 적합하다. 특히 구조물에 따라 요구되는 고성능 콘크리트의 물성을 나타내는 배합을 결정할 경우는 이러한 방법이 필수적이다. 그러나 배합이 결정되면 최초 배합결정에 사용된 시험법을 모두 사용하여 콘크리트의 작업성을 확인할 필요는 없으며 슬럼프 플로우 시험 한가지 만을 사용하여도 콘크리트의 충전성을 평가할 수 있다. 고유동의 성질을 가진 콘크리트는 배합비를 변동하지 않는 한 슬럼프 플로우가 적절하다면 만족할 만한 충전성을 발휘한다.

계량시설의 오작동이 일어나지 않는 한 전체 재료는 배합대로 교반기내에 투입되므로, 레미콘 유동성 변동은 세골재 표면수 변동이나 운반시간 차이가 주된 원인이며 이러한 차이는 슬럼프 플로우 시험만으로도 측정할 수 있다.

물론 타설 전에 레미콘을 철근 배근 장애물을 통과하게 하거나 깔때기 시험을 실시하여 작업성을 확인하기도 한다.

고성능 콘크리트는 타설 물량의 일부가 충전성이 나쁘면 전체 콘크리트 구조물의 품질에 악영향을 미칠 수 있으므로 고성능 콘크리트를 채용하여 다짐을 실시하지 않고 시공할 경우는 전체 콘크리트에 대한 품질보증이 필요하다.

#### (7) 펌프 압송 및 타설<sup>[4]</sup>

일반 레미콘에 사용되는 펌프카(pump car)를 이용한 펌프 압송이 가능하다. 고성능 콘크리트는 재료분리가 작고 변형성이 우월하여관이 휘어지는 곳이나 좁아지는 곳에서 폐쇄가 생길 가능성이 적으나 관벽에 적용하는 압력이 커서 마찰저항이 크게 되므로 관내 압력손실이 큰 편이다.

다짐인력이 불필요하므로 타설이 빨라진다. 작업시 타설속도가 빠르면 타설 중에 들어간 공기가 빠져나가기 힘들고 압송저항이 크게 되는 등의 문제점을 고려하여 타설속도를 조절하여야 한다. 타설이 연속적으로 이루어지지 않을 경우, 새로운 콘크리트가 미리 타설된 콘크리트를 유동시키려면 많은 압력이 필요하다.

거푸집은 콘크리트의 압력이 액체와 같이 작용하는 것으로 하여 설계하여야 하며 거푸집 설계 및 타설높이 결정은 거푸집에 가해지는 이러한 압력을 고려하여 정할 필요가 있다.

콘크리트 타설시 저면까지의 거리가 5m 정도면 콘크리트를 타설시켜도 재료분리 등이 발생하지 않으나 아래 바닥에 콘크리트가 존재하지 않을 경우는 3m 이내의 높이에서 타설하여야 조골재가 분리하지 않는다.

고성능 콘크리트는 블리딩(bleeding)과 표면의 레이턴스가 거의 없어 종래의 콘크리트 타설면을 워터 제트(water jet) 처리한 것과 같은 효과를 가지며 표면에도 골재가 존재하여 강도가 보존되므로 표면 연약층이 없어 구조물의 내하력 상승 효과를 가져온다. 그러나 블리딩 발생이 적어 상대적으로 표면마무리 작업이

힘들고 작업능률이 떨어진다.

## 6. 맺음말

본고에서는 작업성의 대폭적인 향상에 중점을 둔 고유동 고성능 콘크리트의 특성, 배합설계, 유동성 측정방법과 레미콘 공장에서 이를 제조할 경우의 방법 및 제반 문제점에 대하여 간략히 고찰하였다.

향후 사회 및 건설환경 변화에 따라 건설분야에서도 시공 관련 기능 인력이 감소하고 있어 콘크리트 시공에 있어서도 자동화가 요구되고 있으며 사회적으로 콘크리트의 내구성에 대한 불신이 높아가고 있다. 따라서 이의 해결을 위한 수요자의 요구와 건설현장의 환경변화는 고성능 콘크리트의 개발과 시공을 통한 고유동, 고강도, 고내구성, 저발열을 동시에 만족하는 고품질 콘크리트의 사용을 증대시킬 것으로 예측된다.

현재 일본에서는 건설업에서의 인력절감과 합리화를 위한 고유동 콘크리트 관련연구가 매우 급속도로 진행되고 있으며, 실시공 적용도 매우 활발하게 이루어지고 있어 향후 전체 콘크리트의 약 절반 정도의 시장을 고성능 콘크리트가 대체할 것이라는 예상도 하고 있다. 국내에서는 약 2년 전부터는 고성능 콘크리트에 대한 연구가 학계 및 건설회사의 일부기관에서 시작되었으나 아직 전반적인 인식이 부족하다.

그러나 기술적인 뒷받침만 있다면 국내의 레미콘 공장의 시설로도 충분한 품질관리를 행하면 고성능 레미콘의 안정적인 공급은 가능하다고 판단된다. 특히 그 제조에 필요한 원재료의 선택 및 배합설계에 대한 고려가 적절하다면 원하는 성능을 만족하면서도 가격은 저렴한 고성능 레미콘의 전반적인 보급도 어려운 일은 아니다.

현재 국내 건설현장에서의 콘크리트의 부실 시공은 공장에서 생산된 레미콘 자체의 품질저하만이 문제가 아니라 현장에서의 시공불량도 원인으로 지적되고 있는 만큼 고유동 고성능 콘크리트의 보급은 특히 국내 콘크리트 건설공사에 더욱 필요한 사항이라고 생각된다.

## 〔 参 考 文 献 〕

1. 剛村 甫 ほか, “ハイパフォーマンスコンクリートの開発”, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 699-704, 1989.
2. 岡村 甫, 小澤一雅, “締固め不要の施工”, セメント・コンクリート, No. 548, pp.1-7, 1993.
3. 松岡康訓, “超流動 コンクリート”, コンクリート工學, Vol. 31, No. 3, pp.79-82, 1993. 3.
4. 노재호, 박기칭, 한정호, 백명중, 이보근, “초유동 콘크리트의 유동성능에 미치는 배합요인의 영향”, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol. 6, No. 2, pp. 115-120, 1994.
5. 坂田 昇 ほか, “高流動コンクリートの充填性に関する研究”, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 12, No. 1 pp.301-306, 1990.
6. 渡部 聰 ほか, “二成分系低發熱型高流動コンクリートの基礎物性について”, コンクリート工學年次論文報告集 Vol. 14, No. 1, pp.57-62, 1992.
7. 竹下治之 ほか, “締固め不要なコンクリートに関する基礎的研究”, コンクリート工學論文集, Vol. 1, No. 1, pp. 143-154, 1990. 1.
8. 藤原浩己 ほか, “高流動コンクリートの充填性に関する基礎的研究”, コンクリート工學年次論文報告集 Vol. 14, No. 1, pp. 27-32, 1992.
9. 구자술, 이영진, 김남호, 정재동, “고성능 콘크리트 개발에 관한 실험적연구, 제1보: 고미분말 슬래그 혼합시멘트의 물성”, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol. 5, No. 2, pp. 45-50, 1993.
10. 조일호, 한정호, 노재호, 정재동, “고성능 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구, 제2보: 초유동 콘크리트의 기초물성”, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol. 5, No. 2, pp. 51-56, 1993.
11. 超流動コンクリート研究委員會, “超流動 콘크리트研究委員會報告書(Ⅰ)”, 日本 콘크리트工業協會, 1993.
12. 谷川恭雄 ほか, “高流動コンクリートのレオロジー”, セメント・コンクリート. No. 588, pp. 8-14, 1993.
13. 박연동, 조일호, 권영호, 박칠림, “플라이 애쉬를 사용한 초유동 콘크리트의 개발”, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol. 6, No. 2, pp. 121-126, 1994.
14. 岡村 甫, 小澤一雅, “締固め不要への挑戦 (콘クリート工事の近代化おめざして), セメント・コンクリート, No. 539, pp. 2-9, Jan. 1992. 1.