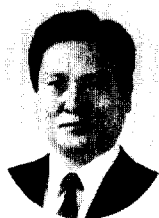




고성능 콘크리트의 개발 및 실용화 연구 Recent Study on the Development and Application of High Performance Concrete



박 칠 림*



권 영 호**

1. 머리말

1.1 연구배경

국내 건설분야의 기술력을 선진국과 비교하여 볼 때, 시공분야에서는 어느 정도의 경쟁력을 갖추었다고 볼 수 있지만 설계·재료·신공법·감리와 같은 분야에서는 아직 국제경쟁력을 확보하고 있지 못한 상태이다. 특히, 건설재료분야에서 비교적 많은 비중을 차지하고 있는 콘크리트의 기술수준은 고성능 측면에서 비교해 볼 때, 매우 낮은 단계에 머물러 있다.

먼저 선진국의 고성능 콘크리트 기술현상을 살펴보면, 미국, 유럽, 호주 등에서는 콘크리트 강도 측면에서 $1,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 고강도 콘크리트가 실용화되고 있으며, 일본에서는 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도의 강도수준에서 다짐작업을 하지 않아도 시공성을 확보할 수 있는 '高流動 콘크리트'가 개발되어 고내구성을 확보하는 단계에 이르렀다.

국내에서는 '88년 과거치 특정과제를 시초로 고

강도 콘크리트에 대한 연구가 여러 기관에서 기초 및 응용연구가 수차례에 걸쳐 수행되어 왔으나, 기업의 기술연구소를 중심으로 건축현장에 타설한 몇가지 사례^(1,2,3)가 있을 뿐 아직도 범용화 단계에는 이르지 못하고 있다. 또한 최근에 들어 고성능 콘크리트(High Performance Concrete)에 관한 연구가 문헌^(4,5,6)에 소개되면서 이에 대한 관심이 높아지기 시작하였다.

따라서 외국에서 분류하고 있는 고성능 콘크리트의 개념에 대한 이해를 통해 국내에서의 명확한 개념설정 및 개발목표, 그리고 활용방안에 대한 정리가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 실용화(압축 강도 $500\sim 700\text{kg}/\text{cm}^2$ 급) 연구성과⁽⁷⁾ 및 고강도 콘크리트 시공지침(안)⁽⁸⁾, 전문가 시스템 개발⁽⁹⁾ 등의 경험과 협동연구기관의 기술력 및 최신설비를 토대로 고성능 콘크리트의 개념정의와 접근방법을 정리하고, 이에 따른 연구의 접근단계, 방향·실용화 방안에 대한 연구성과를 정리하고자 한다.

* 정회원, (주)대우 건설기술연구소 소장, 공박

** 정회원, (주)대우 건설기술연구소 주임연구원

1.2 고성능 콘크리트의 정의

고성능 콘크리트라는 용어는 1989년 11월에 개최된 ACI 심포지엄에서 캐나다의 Aitcin그룹이 최초로 사용하였으며,⁽¹⁰⁾ 또한 1990년 5월 ACI와 NIST그룹이 고성능 콘크리트 워크샵⁽¹¹⁾에서 범위를 정의하였다. 한편, 일본에서는 1986년 2월 시멘트협회가 주최한 콘크리트 강습회에서 동경대 오카무라(岡村 甫)교수가 제창하였으며,⁽¹²⁾ 1989년 1월 Chiang Mai에서 개최된 EASEC 심포지엄에서 처음 용어를 사용하였다.⁽¹³⁾

그러나 각국의 고성능 콘크리트에 대한 개념이 동일한 것은 아니다. 즉, 일본의 경우 超流動性 콘크리트 개념이 강조되며, 미국, 캐나다 및 유럽을 비롯한 구미의 개념은 고강도·고내구성 콘크리트 개념이 강조되고 있다. 따라서 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 개념을 고강도·초유동·고내구성을 동시에 만족하는 것으로 정의하였으며,⁽¹⁴⁾ 각국의 정의와 본 연구의 정의를 나타내면 Table 1과 같다.

Table 1 고성능 콘크리트의 정의

구분	미국, 유럽 등	일본	본 연구	비고
강도 (kg/cm ²)	-재령 28일 ≥ 700 -재령 1일 ≥ 350 -재령 4hr ≥ 200	-재령 1일 ≥ 100 -재령 28일 ≥ 300	-재령 1일 ≥ 100 -재령 28일 : 300~700	-강도범위
유동성	-W/(C+P) ≤ 35% -우수한 워커빌리티 -레오로지적 접근	-다짐작업 불필요 -충전성, 균질성 실현 -Slump Flow 65±2cm	-다짐작업 불필요 -충전성, 균질성 실현 -Slump Flow 60±5cm	-다짐여부
내구성	-내구성지수 ≥ 80% (300 사이클후)	-탄산화, 염분침투방지 -동결융해 저항성 -장기 내구성 향상	-탄산화, 염분침투방지 -동결융해 저항성 -장기 내구성 향상	-유사개념
재료	-시멘트 재료 개선 -실리카흄 사용	-중용열 시멘트 -슬래그 사용	-보통 시멘트(1종) -플라이애쉬, 슬래그, 실리카흄 사용	-Rheology 개념

본 연구는 콘크리트의 결합재로 국내의 화력 및 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말 및 실리카 흄을 사용하여 콘크리트의

성능개선은 물론 산업부산물을 건설산업에 재활용함으로써, 관련산업의 합리화 및 경제성, 환경보존을 도모하고자 한다.

1.3 연구목적 및 범위

본 연구는 국내에서 생소한 분야이기 때문에 단계적인 연구방향을 정립하는 것이 매우 중요하며, 초유동·고강도·고내구성을 갖는 '고성능 콘크리트의 개발 및 실용화'를 위한 재료선정, 성능평가 방법, 최적배합설계, 현장실용화 및 품질관리 등을 체계적으로 연구해야 할 필요가 있다. 따라서, 재료분야에서 현장 실용화 연구를 단계별로 수행함으로써, 향후 지속적이고 현장중심의 연구방향을 제시하는 계기가 될 수 있도록 하였으며, 현장 적용에 따른 품질관리 방안 및 수치해석을 통한 유동해석 기법을 확립할 수 있도록 하였다.

2. 고성능 콘크리트의 특성

2.1 고성능 콘크리트의 평가방법

고성능 콘크리트의 개발 및 실용화를 위해서는 그 특성을 객관적이고 정량적으로 평가할 수 있는 시험장치가 필요하다. 현재 고성능 콘크리트의 유동성 및 충전성을 측정할 수 있는 시험장치의 개발은 유동해석과 아울러 당면과제로 대두되고 있으며, 시험법에 관한 제안은 많았지만 표준 시험방법을 규정하거나 기준에 반영하는 것은 아직 마련되어 있지 않다.

따라서, 고성능 콘크리트의 기본배합 및 배합특성을 실험적으로 규명하여 현장 실용화를 위해 필요한 품질성상을 객관적으로 평가할 수 있는 시험방법에 관해 전반적인 경향 및 내용을 서술하고자 한다.

2.1.1 유동성 평가시험

고성능 콘크리트의 유동성은 재료의 변형특성을 나타내는 변형저항성의 의미로 사용되며, 콘크리트를 균질한 Bingham 유체로 가정할 때 항복값 및 소성점도라는 레오로지 정수로 표현할 수 있

다. 유동성 평가시험은 주로 항복값(軟度)의 영향을 받는 슬럼프, 슬럼프 플로우 시험과 항복값 및 소성점도(점성)의 영향을 받는 L형 플로우(속도계측) 시험 및 각종 깔대기 시험 등이 대표적이다. 이밖에 Torque와 회전수의 관계에서 항복값과 소성점도를 측정하는 회전날개형 시험이 있다. 본 연구에서는 슬럼프 플로우, L형 플로우, 깔대기 유하시험으로 유동성을 평가하며, 평가장치는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다.

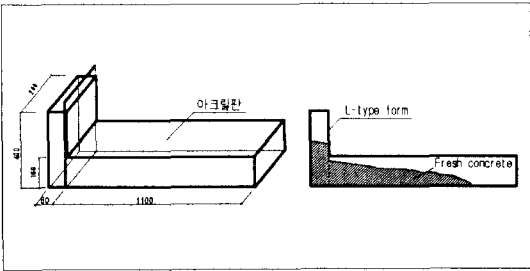


Fig. 1 L형 플로우 시험장치

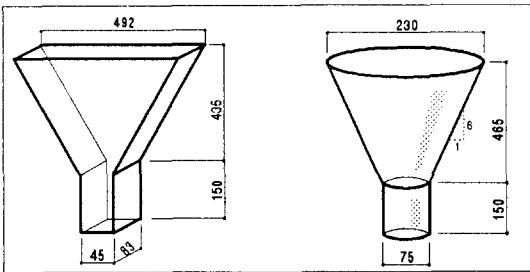


Fig. 2 각종 깔대기 유하시간 시험장치

2.1.2 充塡性 평가시험

고성능 콘크리트의 충전성 시험은 간극통과성을 동시에 평가하는 방안으로 선정하는 것이 바람직하다. 따라서 철근 또는 장애물을 설치한 시험체에 콘크리트를 타설하였을 때, 충전 및 간극통과 성능을 평가할 수 있는 시험장치가 필요하다. 가장 일반적인 장치는 간극통과성 BOX 시험, L플로우 철근통과성 시험, Ring 관입시험, 과밀배근 충전성 시험, 모의부재 충전성 시험 등이 있다.

그러나 이러한 평가시험은 간편성, 광범위한 재현성이 있어야 하기 때문에 본 연구에서는 간극통과성 BOX 시험을 통한 높이차로 충전성을 평가

하고 또한 양단의 시료를 채취하여 체가름 시험을 통해 간극통과로 인한 재료의 균질성을 함께 평가하도록 하였다. 또한 시각적인 관찰로 충전성을 평가하기 위해서는 과밀배근 충전성 및 모의부재 충전성 시험으로 성능을 확인하고자 하였다. Fig. 3 및 Fig. 4는 충전성 평가시험 장치이다.

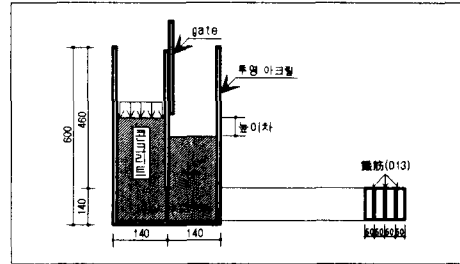


Fig. 3 간극통과성 BOX 시험장치

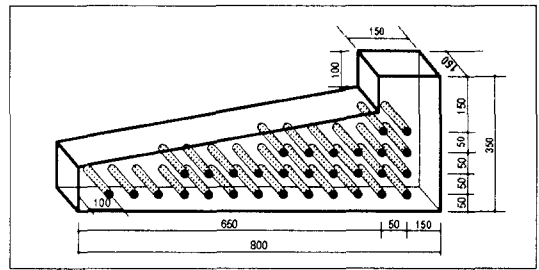


Fig. 4 과밀배근 충전성 시험장치

이 방법은 비교적 간편하기 때문에 고성능 콘크리트의 배합조건을 산정하는데 효과적이다. 또한 압력차로 인한 충전성 검토와 아울러 양편의 콘크리트 시료를 채취하여 모르타르/골재의 체적비를 비교하면 간극통과로 인한 재료의 균질성을 검토할 수 있다.

2.1.3 분리저항성 평가시험

재료분리는 페이스트-잔골재, 모르타르-굵은골재의 분리로 생각되지만, 간극통과성 및 충전성 시험과 같이 모르타르-굵은골재의 분리, 즉 콘크리트를 모르타르와 굵은골재의 두가지 재료로 취급하여 매트릭스 모르타르를 Rheology적으로 파악하는 것이 바람직하다.

분리저항성 시험은 부착성 시험을 통해 거푸집 내의 철근과 판, 압송관의 벽과 콘크리트의 부착성을 파악하는데 응용되며, 고성능 콘크리트를 타설할 때 거푸집내의 유동성과 충전성에 미치는 부착특성의 영향을 검토한다.⁽¹⁵⁾ 또한 콘크리트를 5mm체에 5분간 정치시킨 후에 체를 통과한 모르타르의 중량을 측정하여 분리지표(SI)로 분리저항성을 평가하기도 한다.⁽¹⁶⁾

고성능 콘크리트의 컨시스턴시를 평가하는 시험방법은 이외에 역학적 접근에 의한 이론적 방법, 수치 시뮬레이션에 의한 해석적 방법, 가시화 모델 실험에 의한 방법 등이 있으며, 본 연구에서는 시험장치를 통한 정량적 평가와 시뮬레이션을 통한 수치해석 평가를 다루고자 한다.

2.2 고성능 콘크리트의 재료특성

충진성과 유동성은 고성능 콘크리트에 요구되는 성질중 가장 중요한 특성이며, 이에 대한 각 재료의 영향을 간략히 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2 고성능 콘크리트에서 각 재료의 영향

분류	구성재료	콘크리트내에서의 역할
액체	배합수	· 가장 변형되기 쉬움, 유동성에 기여
	고성능 감수제	· 고체입자의 구속수와 결합력을 변화
고체입자	혼화재	· 배합수 이동의 구속
	잔골재	· 입자간의 맞물림 작용으로 변형저항성
	굵은골재	· 구속수량 및 실적을 시험으로 판정
기체	연행공기	· 구속수량 및 변형저항성 낮춤

이외에도 셀룰로오스계의 수용성 고분자, 폴리아크릴 아마이드계 수용성 고분자, 다당류 폴리마(바이오 폴리마)와 같은 분리저항제가 사용되며, 이는 물/결합재비를 경계로 사용성을 구분하는 것이 바람직할 것이다.

2.3 고성능 콘크리트의 배합설계

고성능 콘크리트의 배합설계는 각 재료의 특성값을 표준시험에 의해 산정한 후 수행하기 때문에 Fig. 5와 같은 개념으로 배합설계를 해야 한다.

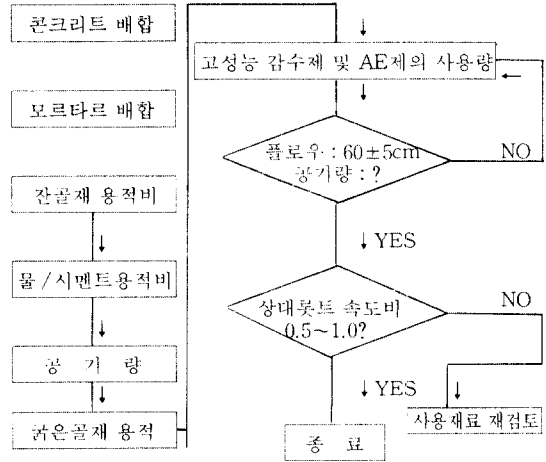


Fig. 5 고성능 콘크리트의 배합설계 단계

콘크리트를 고체와 액상의 재료로 볼 때, 고성능 콘크리트의 컨시스턴시는 골재와 같은 고체입자의 접촉, 마찰 등에 의한 변형저항성 및 고체입자의 간극에 존재하는 액상(시멘트-페이스트)의 성질에 의해 좌우된다. 따라서 고성능 콘크리트는 분체, 골재의 충전률을 높혀 골재입자 사이의 거리를 증가시키는 것이 기본적 매카니즘이기 때문에, 고성능 감수제의 사용 및 분리저항제 또는 단위분체 사용량을 증가시켜 양호한 유동성을 부여함과 동시에 분리저항성을 높힐 수 있으며 시멘트-페이스트에 적절한 점도를 기대할 수 있다.

고성능 콘크리트에 필요한 단위수량을 결정하기 위해서는 콘크리트의 유동성에 기여하지 않는 수량, 즉 고체입자의 구속수량을 산정해야 한다. 여기서 물/시멘트 용적비는 시멘트의 구속수비로 산정하게 되는데, 이때 플로우 및 깔대기 유하시험을 실시한다. 또한 잔골재 용적비(Sr), 굵은골재 용적비(Gv)를 산정하며, 유동성 및 충전성을 확보할 수 있는 범위에서 최적배합을 도출한다.

3. 고성능 콘크리트 개발을 위한 실내실험

실내실험은 고성능 콘크리트의 유동성, 충전성, 간극통과성 실험장치를 사용하여, 제조방법 및 사

용재료에 따른 여러가지 특성을 실험하여 최적배합설계법 개발과 현장적용을 위한 기본 자료를 확보하는데 그 목적이 있다. 따라서 본 연구는 현장에서 다짐작업을 하지 않아도 시공 및 품질관리가 확보되는 콘크리트의 개발을 위해 요구성능을 정량화하고, 이에 따른 기본성능을 Rheology 해석으로 접근시켜 그 특성을 규명하고자 하였다.

또한 현장적용에 앞서 실대구조물에 타설하여 요구되는 성능을 만족하는 지를 검토하여 현장 실용화를 위한 자료로 삼고자 하였다.

3.1 재료특성 시험

플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용한 결합재-페이스트 시험은 KS L 5105에 따른 플로우 시험과 유하시간을 측정하여 비교한다. 페이스트의 플로우 시험은 모르타르 플로우 시험장치를 사용하지 않, 플로우 테이블 대신에 수평 아크릴 글라스판을 사용하며 진동을 가하지 않는다는 것이 다르다. 플로우 시험에서 측정된 플로우값으로 플로우 면적비 및 拘束水比와 변형계수를 산정하였으며, 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 구속수비 산정을 위한 실험결과

종류	구분	물/시멘트		구속수비 (βp)	변형계수 (Ep)	비 고
		용적비	상대플로우 면적비			
보통포틀랜드 시멘트	1.1	1.1	0.32	1.10	0.10	-분말도
	1.2	1.2	0.74			3,031cm ² /g
	1.3	1.3	1.82			-비중 : 3.12
	1.4	1.4	3.20			
고로슬래그 시멘트	1.1	1.1	1.62	0.99	0.07	-분말도
	1.2	1.2	2.88			4,000cm ² /g
	1.3	1.3	4.24			-비중 : 3.07
	1.4	1.4	5.88			
플라이애쉬 치환(30%) -화력발전소	1.1	1.1	0.96	0.98	0.12	-분말도(FA)
	1.2	1.2	1.72			3,300cm ² /g
	1.3	1.3	2.42			-비중 : 2.21
	1.4	1.4	3.41			
플라이애쉬 치환(30%) -열병합	1.1	1.1	0.21	1.08	0.15	-분말도(FA)
	1.2	1.2	0.82			2,740cm ² /g
	1.3	1.3	1.40			-비중 : 2.69
	1.4	1.4	2.24			

여기서 拘束水比가 크다는 것은 유동성에 기여하지 못하는 배합수의 함유량이 높다는 것을 의미

하며, 변형계수가 크다는 것은 동일한 범위의 플로우를 증가시키는데 필요한 단위수량이 크다는 것을 의미하는 것으로 사료된다. 따라서 향후 배합설계 및 요구성능을 얻기 위해 시멘트 종류별에 따른 구속수비 및 변형계수를 반영하는 것이 바람직하다.

시멘트는 T사의 보통 포틀랜드 시멘트, S사의 고로시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 해사(세척 후 사용), 굵은골재는 안양석산의 20mm 쇄석을 사용하였다.

또한 고성능 감수제는 나프탈렌계를 중심으로 약 10 종류의 특성을 비교·평가하였으며, 이때 UV흡광도, 적외선분광 스펙트럼, SEM을 통한 기기분석과 페이스트-모르타르, 콘크리트 시험을 수행하여 고성능 콘크리트 성능에 적합한 제품을 선정하였다.

3.2 고성능 콘크리트 시험배합

고성능 콘크리트의 성능을 측정하기 위하여 본 실험에서는 슬럼프 플로우를 기본으로 BOX 충전성 시험(좌우 높이차), O형 깔때기 시험(유하시간), L형 플로우 시험을 병행하여 실시하며, 종합적인 성능을 판정하기 위하여 과밀배근 충전성 시험과 실대부재 모델시험을 최종적으로 실시하고자 한다.

3.2.1 배합변수

Table 4 고성능 콘크리트 배합변수 및 목표성능

구분	변수범위	비 고
배합요인		
단위수량 (W : kg / m ³)	170~195(6Cases)	-슬럼프 플로우 60±5cm -깔때기 유하시간 10±5초 -간극통과 BOX 높이차 5cm 이하 -목표 기준강도 300kg / cm ² 이상 -충전성 평가 양호
잔골재율 (S / a : %)	43~53(6Cases)	
고성능 감수제 첨가량 [(C+FA) × %]	0.8~1.5	
잔골재 용적비 (Sr)	45 ± 5%	
굵은골재 용적비 (Gv)	50 ± 5%	
굵은골재량 (ℓ / m ³)	280~340(13Cases)	

배합변수 및 측정항목의 목표값은 Table 4와 같다.

3.2.2 배합실험 결과분석

고성능 콘크리트의 배합조건에 따른 성능을 각각의 평가장치로 측정하여 배합조건이 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성에 미치는 영향을 파악하였다. 고성능 콘크리트의 슬럼프 플로우, O형 깔대기 유하시간, 간극통과성 BOX 높이차를 고려할 때, 굵은골재의 용적비(Gv)는 50% 범위이며, 단위용적은 $300 \pm 15 \text{ l} / \text{m}^3$ 범위에서 존재하였다. (17)

또한 유하시간은 페이스트의 용적비에 영향을 크게 받는다, 즉, 페이스트의 용적이 증가함에 따라 O형 깔대기 시험장치를 통과하는 유하시간은 상대적으로 빨라지는데, 이는 콘크리트내의 골재간 마찰과 응집현상을 페이스트의 농도 및 체적으로 조절할 수 있다는 것을 나타내는 것이다. 또한 굵은골재량이 높은 배합의 경우에도 모르타르내의 상대 페이스트 용적 또는 잔골재비(Sr)을 조정하여 유하시간을 조절할 수 있다.

과밀배근 충전성 시험 및 O형 깔대기 유하시간을 만족하는 페이스트/굵은골재 용적비는 1.2 이상의 범위에서 선정하는 것이 바람직하다. 이는 굵은골재에 고성능을 부여할 수 있는 모르타르의 Rheology 특성값(항복값 및 소성점도)의 영향과 임계점을 암시하는 것으로 정량적인 평가가 필요하다.

잔골재율은 53% 범위에서 우수한 충전성을 보였으며 그 이하의 범위에서는 골재의 閉塞現象으로 충전성이 악화되는 것으로 나타났다. (18) 이는 최적 굵은골재 용적비(Gv) 및 잔골재 용적비(Sr)의 영향으로 페이스트의 점성과 레오로지 특성으로 해석해야 할 것이다.

3.3 모의부재 충전성시험

고성능 콘크리트의 성능을 종합적으로 평가하기 위하여 Fig. 6과 같은 모의부재를 제작하여 다짐을 하지않고 유동 및 충전되는 상황을 관찰하였다. 이는 철근배근 및 장애물을 통과하는 성능 외

에 자중에 의한 반대편 충전상황, 부재 위치별 시료를 통한 재료분리 저항성을 평가할 수 있었다.

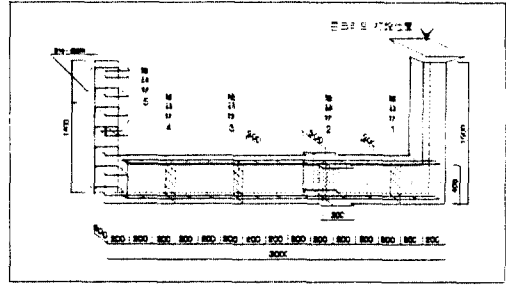


Fig. 6 모의부재 충전성 시험장치

부재타설을 위해 군포 동양레미콘 플랜트에서 고성능 콘크리트를 생산하였으며, 실험실까지의 경시변화, 다짐영향 비교부재 및 수화열 측정을 하였다. 또한 코아시험체를 통해 골재분포도, 압축강도 등을 비교하였다.

실험결과, 모의부재의 유동성, 충전성, 재료분리 저항성은 양호하였으며, 무다짐에 따른 표면 및 내부골재분포의 영향은 거의 없었다. 28일 압축강도는 공시체가 $500 \text{ kg} / \text{cm}^2$, 코아공시체가 $408 \sim 433 \text{ kg} / \text{cm}^2$ 의 고강도 성능을 나타내었다. 수화열의 최고온도는 $62.5 \sim 57.5^\circ \text{C}$ 를 나타내었으며, 이때 외기온은 거의 30°C 정도였다. 이는 플라이애쉬를 30% 치환하였기 때문에 오히려 수화열 저감효과가 있는 것으로 판단되며, 향후 장기특성이 규명되면 실용화에 기여할 것으로 사료된다.

4. 고성능 콘크리트의 현장적용

고성능 콘크리트의 특성 및 평가시험, 최적배합비, 그리고 모의부재 및 다짐영향 등에 대한 연구 결과를 바탕으로 현장에 적용하게 되었다. 적용현장은 전남 동광양시에 건설중인 동양시멘트(주)의 고로시멘트 공장 신축건물 (19) 과 (주)대우 건설기술연구소에서 건설중인 대형구조실험동 반력벽이다.

양 현장의 조건은 레미콘 플랜트에서 30분 정도의 거리에 위치하고 있다는 공통점이 있으나, 각 현장의 재료 및 플랜트 설비가 다르다. 따라서 각

각의 현장에 맞는 예비실험을 거쳐 최적 고성능 콘크리트 배합을 도출하였다.

4.1 현장조건 비교

고성능 콘크리트를 타설할 현장 및 레미콘 플랜트 조건을 비교하면 Table 5와 같다.

Table 5 고성능 콘크리트 적용 현장조건

항목	현장	동광양	연구소	비 고
타설부위	사무실 건물	대형구조실험동	반력벽	매스콘크리트
배근조건	일반 R/C	과밀배근, 관매립	Post tension	
타설높이	2층 건물	약 15m		
타설시기	94년12월(동계)	95년 8월(하계)	양생조건 고려	
B/P 생산조건	Flyash 수동투입	Flyash 자동투입	선퍼시스템 차이	
구조설계강도	210kg/cm ²	350kg/cm ²	구조설계 반영	
거푸집 조건	일반 거푸집	대형 시스템 거푸집	수밀성, 안전성	

현장배합조건은 타설시기 및 매스콘크리트를 고려하여 결합재량을 조정하였으며, 플라이애쉬 치환율(30%) 및 잔골재 용적비, 굵은골재 용적비는 동일하였다.

4.2 고성능 콘크리트 생산 및 운반

고성능 콘크리트의 생산은 일괄투입으로 1배치당 2m³씩 하였으며, 배합시간을 1분으로 하였다. 생산직후에 유동특성 시험을 하였으며, 운반은 예지테이터 1대당 6m³씩 적재하여 적용현장으로 운반하였다. 이때 생산 및 현장타설시 요구되는 고성능 콘크리트의 특성은 Table 6과 같다.

Table 6 고성능 콘크리트의 품질성능

시험항목	시험장치	시험빈도	규 정 값	비 고
유동성	슬럼프 플로우	1회/6m ³	60±5cm	플로우
	O형 깔대기	1회/6m ³	10±5초	유하시각
충전성	BOX 충전성	1회/6m ³	5cm 이하	양단의 높이차
	과밀배근 충전성	1회/6m ³	관 찰	-

4.3 고성능 콘크리트 타설

고성능 콘크리트의 流動勾配 및 유동속도를 고

려하여 타설을 할 때, 타설계획 및 타설높이 등을 정해야 하며, 펌프압송성 및 소음, 그리고 다짐을 하지않는 특성을 비교할 필요가 있다. 유동구배는 5~6m, 낙하고는 1m이하, 펌프 토출량은 28m³/hr, 압송압은 100kg/cm²로 타설속도를 조절하였다. 수평부재는 유동구배로 타설지점을 결정하고 수직부재는 수평부재를 통해 유동되어 충전되도록 하였다.

타설결과, 자기충전성을 확보할 수 있었으며, 다짐작업을 하지 않고도 과밀배근 및 다짐이 어려운 부재에 타설이 가능하였다. 또한 다짐작업을 위한 인력이 불필요하였고, 타설장소의 소음이 70~85dB 정도로 소음공해도 대폭 줄일 수 있었다.

4.4 고성능 콘크리트의 강도특성 및 항후방항

본 현장적용은 고성능 콘크리트의 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성과 같은 시공성 개선에 초점을 맞춘 것이다. 따라서 이러한 특성을 만족한다면 강도개선은 어렵지 않을 것으로 사료된다. 현장적용 결과로 볼 때, 강도는 400~500kg/cm² 정도이며, 향후 210~700kg/cm² 범위까지 범용화를 위한 연구가 필요하다. 또한 장기특성중 크리프, 건조수축 등의 실험을 통해 규명하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

특히 국내연구의 활성화를 위해 지속적인 연구 및 현장적용을 통해 실용화시키는 노력이 필요하다.

5. 맺음말

아직 국내에서 생소한 분야인 고성능 콘크리트를 단기간에 걸쳐서 개발할 수 있었던 것은 공동 연구를 수행한 (주)대우 건설기술연구소, 동양시멘트(주) 중앙연구소, 한국과학기술원(김진근 교수팀)의 연구경험과 연구에 투입된 연구원들의 노력에 대한 결과로 사료된다. 물론 일본의 경우, 고성능 콘크리트를 개발하는데 많은 시간을 투자하였고, 보다 체계적으로 연구하고 있는 것에 비하면 아직 부족한 사항이 많지만 국내 재료를 사용

하여 실용화할 수 있는 가능성을 확인하였다.

끝으로 현장적용을 통하여 얻을 결과를 다음과 같이 정리하면서 본고를 마무리하고자 한다.

(1) 레미콘 플랜트에서 사용하는 일반재료를 사용하여 유동성, 충전성, 재료분리 저항성을 만족하는 고성능 콘크리트의 생산이 가능하였으며, 향후 설비시스템 확보 및 재료품질·계량오차 등을 최소화할 수 있는 장치 및 이에 대한 대책이 필요하다.

(2) 국내의 산업부산물인 플라이애쉬를 사용하여 400~500kg/cm² 정도의 강도를 갖는 고성능 콘크리트를 생산하여, 전혀 다짐을 하지 않고 현장에 타설할 수 있었으며 품질성능이 우수하다는 것을 확인하였다.

(3) 운반시간에 따른 슬럼프 플로우의 경시변화 결과, 손실되는 값이 매우 낮으며, 소량의 고성능 감수제를 후첨가하여 요구되는 성능을 확보할 수 있었다.

(4) 현장타설에 따른 펌프압송의 소음감소로 건설현장의 공해를 줄일 수 있었으며, 더우기 진동 다짐 작업을 하지 않게 되므로 작업인력 절감뿐만 아니라 진동기의 소음에 따른 공해도 없앨 수 있었다.

(5) 펌프압송에 따른 압력손실은 일반 콘크리트와 유사하였다.

(6) 고성능 콘크리트의 거푸집 설계는 콘크리트를 유체로 가정하여 액압을 반영하여야 하며, 일반 콘크리트에 비해 안전율을 높히는 것이 바람직하다. 그리고 접합부를 밀실하게 하고 코팅합판이나 면에 흡수를 방지하는 거푸집 재료를 사용해야 한다.

(7) 향후 건조수축, 크리프, 부착성능 등과 같은 장기특성 연구가 병행되어야 할 것이며, 이에 대한 결과가 규명될 것으로 사료된다

참 고 문 헌

1. 박철립, 권영호, “건축구조물에 고강도 콘크리트 현장적용-(주)대우 진해현장-”, 한국콘크리트학회지 제5권 4호, 1993. 12, pp. 54~65
2. 신성우외 3인, “사무실 건축물에 플라이애쉬를

사용한 500kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트 시공”, 한국콘크리트학회지 제5권 2호, 1993. 6, pp. 83~93

3. 권영호, “500~700kg/cm² 고강도 콘크리트의 현장적용과 품질관리”, 한국레미콘공업협회, 레미콘지 제38권, 1994. 1, pp. 53~67
4. 박철립, 강석화, “초유동 콘크리트의 메카니즘”, 한국콘크리트학회지, 제6권 1호, 1994. 2, pp. 32~43
5. 오병환, “내구성 향상을 위한 고성능 콘크리트의 개발과 활용”, 한국콘크리트학회지, 제6권 1호, 1994. 2, pp. 44~51
6. 변근주, “고성능 콘크리트의 연구동향 및 전망”, 한국콘크리트학회지, 제6권 1호, 1994. 2, pp. 2~23
7. (주)대우 기술논문, DEP-A 027-93, “혼화재를 사용한 고강도 콘크리트의 품질개선 연구”, 1993.
8. 박철립, “건설공사 신기술·신공법(Ⅲ)-고강도 콘크리트 시공지침(안)”, 대한건설협회 95-4-기술 3, 1995. 2, pp. 6~44
9. (주)대우 기술논문, DEP-C004-92, “콘크리트 품질관리의 최적화를 위한 전문가시스템의 개발에 관한 연구(I), (II)”, 1992. 3
10. Gagine, R., Pigeon, M. and Aitcin, P. C. “Deicer Salt Scaling Resistance of High Performance Concrete”, Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete, ACI SP-122, 1989. 11
11. Carino, N. J., and Clifton, J. R., “Outline of a National Plan on High Performance Concrete ; Report on the NIST/ACI Workshop, May 16~18, '90” NISTIR 4465, NIST Gaithersburg, Dec. 1990, pp. 62
12. 岡村 甫:新しいコンクリート材料への期待, セメント・コンクリート, No. 475, 1986. 9
13. Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M., Okamura, H., High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures, Proceeding of The Second East Asia-Pacific Conference on Structural E&C, Chiang-Mai, 1989. 1
14. 권영호, 정석창, 백명중, “고성능 콘크리트의 연구동향과 실용화”, 대우건설기술보, 제7권 2호, 통권 제13호, 1994. 11. pp. 58~64

15. 渡邊健治・谷川恭雄・森博嗣・黒川善幸・寺西活司・三井健郎, “高流動コンクリートのフレッシュ時の付着性に關する實驗的研究”, 日本建築學會大會學術講演會梗概集, pp. 25~28, 94.
16. 藤原浩已・下山善秀・富田六限・久保田裕康: 高流動コンクリートの充填性に關する基礎的研究, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, pp. 27~32, 1992. 6
17. 박기청, 백명중, 이보근, 노재호, 한정호, “초유동 콘크리트의 유동성능에 미치는 배합요인의 영향”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표 논문집 제 6권 2호, 1994. 11 pp. 115~120
18. 박칠립, 권영호, 박연동, 조일호, “플라이애쉬를 사용한 2성분계 초유동 콘크리트의 개발”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표 논문집 제6권 2호, 1994. 11 pp. 121~126
19. 권영호, 백명중, 박연동, 노재호, 한정호 외, “고성능 콘크리트의 현장시험 시공”, 한국콘크리트학회, 봄학술발표 논문집 제7권 1호, 1995. 5, pp. 171~176



철근콘크리트 구조설계매뉴얼(신간)

■한국콘크리트학회 편

본서는 극한강도 설계공식에 근거하여 도표와 설계예제를 작성하였으며, 그림을 이용하여 설계를 쉽고 빠르게 할 수 있고 또, 설계과정에서 반복되는 계산을 함축하여 계산과정을 단축시켜 설계실무에 편리하도록 집필되어 있다.

- A4 · 3권/ 총가 37,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,700원 별도부담
- 제1권 : 보 · 브라켓 · 기초의 설계
- 제2권 : 기둥 · 벽체의 설계
- 제3권 : 슬래브의 설계

콘크리트구조물의 비파괴검사 및 안전진단(신간) -제2회 기술강좌 교재 보정판-

■한국콘크리트학회 편

이 책은 건설현장 기술자들이 유용하게 활용할 수 있는 비파괴시험의 관련 원리 및 적용방법에 대한 최신 기술은 물론, 건축·토목공사용 콘크리트구조물의 안전진단 및 유지관리·보수방법과 콘크리트의 내구성 향상과 관련 시험방법에 관한 내용을 이해하기 쉽게 상세히 기술하고 있다.

- B5 · 408면/ 定價 17,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,100원 별도부담

최신 콘크리트공학

■한국콘크리트학회 편

이 책은 콘크리트 기본 구성재료의 특성 및 요건 등을 분석하고, 이들 구성재료를 이용한 배합설계, 굳지 않은 콘크리트의 기본성질, 혼합, 운반 및 타설과정의 특기사항, 양생, 콘크리트의 시험, 품질관리, 내구성 뿐만 아니라 최근에 개발되고 있는 새로운 콘크리트의 제조 및 제반 특성에 이르기까지 포괄적인 내용을 실고 있다.

- B5 · 682면/ 定價 18,000원(회원 10% 할인), 우송시 송료 2,100원 별도부담
- 구입방법 : 상기 서적이 필요하신 분은 학회사무국에서 구입하시기 바라며 직접 오시기 어려운 분은 밑에 기재된 은행계좌로 송금하시면 우송해 드립니다.(송금자명 필히 기재요망)
- 은행계좌 : 한일은행(096-132587-01-501)(예금주 : 한국콘크리트학회)
- 문의처 : 한국콘크리트학회
주소 : 서울시 강남구 역삼동 635-4 한국과학기술회관 신관 807호 전화 : 568-5985~7