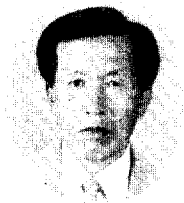


고유동콘크리트의 메카니즘을 중심으로한 현상과 전망

Development and State of Super Workable Concrete with Emphasis on Mechanism of Self Compactness



윤 상 대*

〈필자주〉

콘크리트에 대한 품질문제가 사회적 문제점으로 대두되고 있다. 단순한 현상문제가 아니라 중장기적으로는 사회간접자본의 공용성, 환경, 에너지, 폐기물 처리, 국가자신속적, 재정투자 등 장래 국운을 결정하는 요인이 된다.

콘크리트 품질문제는 콘크리트 재조기술 뿐만 아니라 계획, 설계, 시공관리는 물론 건설관리제도에 이르기까지 다양하게 관계된다. 그중에서도 사회적 여건변화에 따른 시공성이 특히 문제이다. 고유동콘크리트는 한아디로 이들 제반 문제점을 종합적으로 해결할 수 있는 것으로 그 메카니즘은 상당히 복잡하고 공학적으로 규명하여야 할 사항이기 때문에 비교적 잘 정리된 *セメント・コンクリート No.579(1995.4)*에 株式会社 小野田(株) *セメント・コンクリート研究所* 名和重雄씨가 발표한 *高流動コンクリートの現狀と展望*을 본인의 지식을 가미하여 콘크리트기술 발전에 도움이 되었으면 하는 마음으로 번역 소개한다.

1. 서 론

최근 사회적 여건의 급속한 변화에 따른 사회간접시설의 확충, 구조물의 대형화, 건설노동력의 부족, 노령화, 3D현상 등에 따른 기계화 시공(레디믹스트 콘크리트에 의한 폼프카 시공)이 되고 콘크리트재료의 저품질화등 콘크리트품질이 사회적으로 문제되고 있다. 이러한 상황에서 제문제점을 종합적으로 해결하기 위한 방법으로 다짐작업을 하지 않아도 기푸집의 구성구석까지 충전되는 고유동콘크리트가 개발되었다. 이 콘크리트의 출현에 의해 다짐작업의 잘잘못에 의한 구조물 품질 저하의 해소나 시공의 합리화 등 콘크리트시공의 기본이 흔들리는 신풍이 일어나게 되었다.

그런데 고유동콘크리트는 어떤 어떤 것이 반드시 필요한가는 확실하지 않다. 또한 그 배합설계에 대한 기본개념도 확실하지 못한 상태에서 일반적으로 아지테이터 트럭에서 배출 폼프카 시공성 다짐작업의 간편성등을 위하여 막연하게 시중에 상품화되어 있는 유동화제를 사용함으로써 품질 저하의 원인이 되기도 한다. 예를 들면 슬럼프후

* 정회원, 농어촌진흥공사 농공기술연구소 수석연구원

로는 얼마쯤의 값이 적절한가 약간이라도 진동을 가하는 콘크리트도 고유동콘크리트인가등.

이와 같이 불명확한 것도 있으나 고유동콘크리트에 대하여는 일본에서는 이미 콘크리트공학협회에서 2회의 심포지엄이 개최되고 건축학회 및 토목학회에서도 연구소위원회가 구성되어 있다. 시공 예도 50건을 넘고 있다. 이 점을 고려하면 고유동콘크리트는 사회적으로 확고하게 지위를 급속하게 구축하고 있다.

고유동콘크리트에 대하여는 상당히 많은 문헌이 있다. 그 재료 및 배합설계는 많은 것이 관계된다. 여기에서는 시멘트 측면으로부터 본 고유동콘크리트의 메카니즘에 대하여 기술하고 굳지 않은 콘크리트 성상과 재료 및 배합설계를 중심으로 고유동콘크리트의 현상을 개관하고 앞으로의 전망에 대하여 기술한다.

2. 콘크리트구조와 유동성

고유동콘크리트의 메카니즘에 대하여 기술하기 전에 먼저 콘크리트구조와 유동성의 관련에 대하여 검토해 본다. 굳지않은 콘크리트를 육안으로 관찰하여 보면 굵은 골재를 모르타가 싸고 있다. 다음으로 모르타를 확대경으로 관찰하면 잔골재의 둘레에 시멘트풀이 부착되어 있는 것이 인정된다. 여기서 시멘트풀 부분을 현미경으로 관찰하여 보면 시멘트입자가 수중에서 응집, 분산되어 있는 것이 인정된다. 이것에 의해 콘크리트 그 측정 스케일(scale)에 의하여 요소의 내용은 변하고 물, 시멘트풀 및 모르타로 되어있는 가소성의 매체에 시멘트, 잔골재 및 굵은골재가 분산되어 있는 상태라고 말할 수 있다.

분산되어있는 입자의 크기를 비교하면 그림 1과 같다. 콘크리트를 구성하는 입자의 입도가 광범위하게 관계되어 있는 것에 놀라게 된다.

그런데 입자는 그 크기에 의하여 물을 가할 때 유동성이 다르게 된다. 크게 분류하면 분체와 입체로 나누어진다. 전자는 밀가루와 같이 물과 혼합하면 끈적끈적한 유체가 된다. 후자는 모래와 같이 물과 혼합하여도 분리되어 액체상으로 되지 않고 흐름이 없다. 이것은 입자에 작용되는 부착

력(분자간 힘, 수분에 의한 모세관 힘, 정전력 등)과 중력의 균형에 의하여 결정되어 약 50~100 μ m 주변을 경계로 나누어진다.

그림 1의 보통콘크리트중 분체는 시멘트이다. 시멘트량이 증가하면 콘크리트도 분체에 가까운 점성이 있는 유체로 되는 것이 예상된다. 따라서 고유동콘크리트와 같이 다짐을 하지 않아도 거푸집 내에 타설되면 유동성을 높이기 위하여는 당연히 콘크리트중의 분체량이 보통콘크리트보다도 많게 되는 것이 예상된다.

실제로 일본 동경대학의 岡村(Okamura)교수가 최초로 개발한 고유동콘크리트 「high performance concrete」는 그림 2에 도시한 것과 같이 분체량이 보통콘크리트보다도 많은 결과로 되어있다.

쿠미에서도 「high performance concrete」란 용어가 사용되는 것이 처음이다. P. C Aitcin등의 그룹은 1990년에 「les betons a hautes performance(고품질콘크리트)」란 책을 출판하였다. 고강도콘크리트로부터 여기에 역학적 특성 및 내구성이 높은 것을 특징으로 하는 콘크리트가 되어 있으므로 시공성에 대하여는 종래의 콘크리트 이하로 되지 않는 노력을 기울이도록 되어있다. 다른 말로 표현하면 시공의 영향을 받지 않는 신뢰성 높은 고품질을 얻는 것이 출발점으로 다짐이 필요 없는 것을 첫째의 목표로 개발한 것이다. 경화후의 내구성이나 강도는 종래 기술을 종합시키는 것에 의해 용이하게 달성시키는 입장으므로 정확하게 정반대의 고려방법이다.

이상의 것들로부터 고유동콘크리트는 분체량이 증가하면 용이하게 되는 것이란 감이 든다. 그러나 예를들면 콘크리트의 건조수축은 5~10 $\times 10^{-4}$ 정도인데 대하여 모르타는 약 15 $\times 10^{-4}$ 정도 시멘트풀에서는 50 $\times 10^{-4}$ 정도로 된다.

콘크리트중 골재량은 저감시키면 균열이 발생하는 것이 된다.

따라서 단지 분체량을 증가시키므로 고유동을 얻게 하면 양호한 경화상태가 얻어지지 않는다.

그림 2에 도시한 high performance concrete에서도 콘크리트중 골재는 그 체적의 약60%를 차지하고 있다. 다음절에서 기술하는 것과 같이 입

체의 골재를 어떻게 분체인 시멘트와 같이 거동시키는가 고유동콘크리트를 제조하는 요점이다.

분체량을 단지 시멘트만으로 증가시키면 경화열에 의한 여러 가지 장애가 발생하므로 최근에는 혼화재료로 슬래그미분말, 석회석미분말이나 2성분계, 3성분계 시멘트도 개발중에 있다.

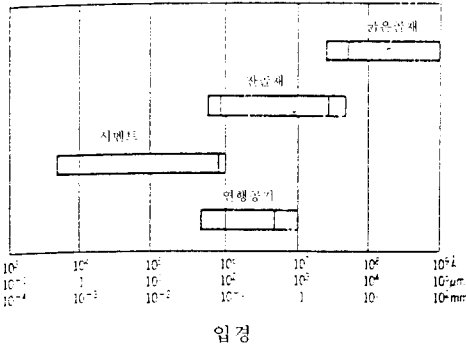


그림 1 콘크리트중 분산입자 치수

종래 AE 콘크리트 W/C=0.5 · 슬럼프 17cm
고성능 콘크리트 W/(C+BS+F)=0.3 슬럼프 후로 57cm 수중분리성 콘크리트 W/C=0.5 슬럼프 후로 45cm

A : 모래, W : 물, S : 잔골재, G : 굵은골재
C : 보통포틀랜드시멘트, BS : 고로슬래그미분말
F : 플라이애쉬

High performance concrete는 종래 콘크리트에 비하여 분체량이 많고 굵은 골재량이 적고 수중분리성콘크리트에 비하면 분체량이 많고 단위수량이 적고 고성능 감수제 사용에 의한 불결합재비가 극단적으로 적다.

그림 2 High performance concrete 배합조정

또한 단위분체량을 증가시켜도 콘크리트의 고품질특성을 발휘하면서 고유동성을 발휘하려면 고성능감수제의 사용이 필수적이고 경우에 따라서는 증점제등의 혼화제를 사용하는등 그 배합설계에서는 목표설계 기준강도 목표내구성 목표시공성등과 계획설계 내용에 따라서 배합설계에서는 고도의 전문지식이 요구된다.

3. 고유동화 메카니즘

3.1 레오로지(rheology)로부터 본 고유동화

고유동콘크리트는 다짐을 하지 않고 거푸집 내에 타설하기 위하여는 먼저 자중으로도 흐르는 유동성을 높이는 것이 필요하다.

굳지않은 콘크리트는 그림 3에 도시한 것과 같이 빙엄(bingham)의 레오로지 거동에 유사한 성질을 나타낸다. 고유동콘크리트의 자중으로도 유동하기 위하여는 그림에 도시한 유동곡선 A의 항복치가 적게 하여야 한다.

그림 4는 콘크리트의 단위수량을 증감한 때 유동곡선을 나타낸 것으로 그림에 나타낸 직선군이

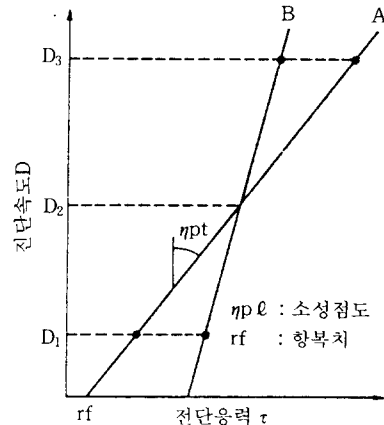


그림 3 굳지않은 콘크리트 유동곡선

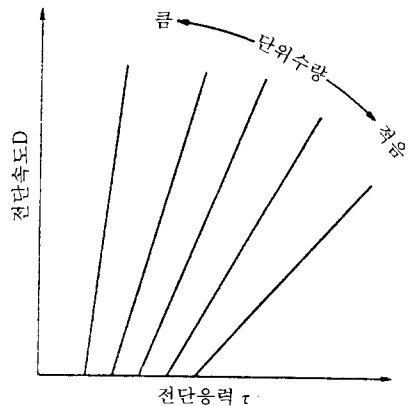


그림 4 굳지않은 콘크리트 유동곡선

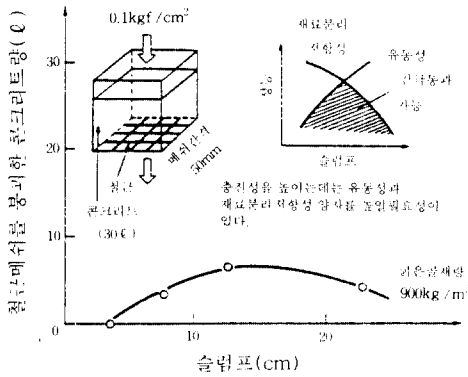


그림 5 슬립프와 충전성 관계

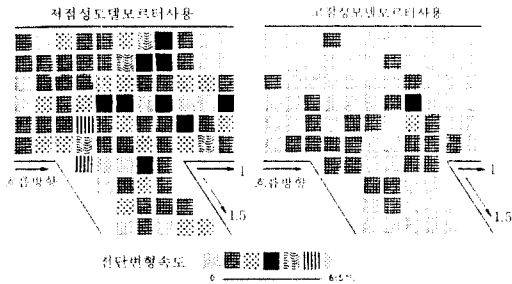


그림 6 유동분기부에 있어서 굵은골재상의 전단분포

저점성 모르타르를 사용하면 전단변형이 국소적으로 크게 되어 높은 점성 모델 모르타르를 사용하면 전단변형이 균일하게 분포한다.

얼어져 단위수량이 증가하면 항복치를 저하한다. 한편 콘크리트를 다짐하지 않으므로 거푸집 내에 타설하기 위하여는 지금 기술하는 높은 유동성 이외에 철근이 배근되어 있는 부위의 유동단면에서도 콘크리트가 유동하여야 한다. 그림 5는 콘크리트의 단위수량을 변화시킬 때 슬립프와 철근 통과량의 관계를 도시한 것이다. 그림에 의해 단위수

량을 증대시킨 콘크리트의 항복치를 저감(슬립프를 증대)하는 데에는 철근통과량은 개선되지 않는 것이 이해된다.

일본의 '橋本'은 가시화된 모델 콘크리트를 사용하여 콘크리트의 유동성을 조사하였다. 콘크리트는 과밀철근 부위에 유동단면이 변화하는 부분에서는 모르타르와 굵은골재의 변형속도가 불균일하게 되어 굵은골재끼리 접촉하여 아치를 형성하기 때문에 콘크리트가 유동하지 않게 된다. 따라서 고유동콘크리트를 제조하는데에는 모르타르와 굵은골재의 재료분리를 억제시키는 것이 필수조건이다.

일본의 小澤은 모르타르의 점성을 증가시키면 굵은골재 표면에 모르타르가 부착하여 그림 6에 도시한 것과 같이 굵은골재끼리 접촉마찰을 저감하여 모르타르와 굵은골재가 일체로 되어 유동하기 때문에 굵은골재의 집적, 분리가 방해되어 콘크리트의 유동성, 충전성이 향상하는 것을 제시하였다. 고유동콘크리트에 증점제나 고성능감수제를 사용하는 이유이다.

표 1에 배합이 다른 3종류의 고유동콘크리트 중 시멘트풀의 레오로지성상을 도시하였다. 이것에 의하면 어느 고유동콘크리트중의 시멘트풀(케이스 1~3)도 항복치는 보통콘크리트중 시멘트풀(케이스 4)에 비하여 적고 소성점도는 크게 되는 것이 이해된다. 한편 표 1에 표시한 것과 같이 콘크리트 배합은 전혀 다른 연구자에 의하여 개발된 것에도 관계없이 소성점도는 450~650CPS의 범위에 든다.

따라서 콘크리트 고유동화는 단지 항복치를 감소시키는 것만이 아니고 소성점성도도 조절하여 양자의 균형에 의하여 얻어지는 것으로 이해된다.

표 1 콘크리트 배합과 시멘트풀의 레오로지성수

배합	W/C (%)	잔골재율 (%)	슬립프후로 (슬립프) (cm)	단위량(kg / m³)							AE 감수제 (C'×%)	고성능 감수제 (C'×%)	증점제 (W×%)	시멘트풀의 레오로지성수	
				W	C'				S	G				항복응력 (dyn / cm²)	소성점도 (cps)
					C	Slag	SD	F							
CASE1	55.0	46.5	60±5	170	161	148	209	0	753	901	-	0.85(2.7)	-	10.4	465.4
CASE2	50.0	44.9	60±5	154	154	154※	0	197	753	963	-	0.80(2.5)	0.0039	8.1	641.0
CASE3	54.4	48.7	60±5	169	307	0	0	0	872	951	0.775	3.0(9.5)	0.30	12.6	469.2
CASE4	55.0	46.3	(8.0)	165	300	C	0	0	844	1002	0.25	-	-	85.0	62.0

(주) C' : 미분말량, ※비표면적 6000cm²/g사용, ()내 숫자는(C'×Vol%)를 나타냄.

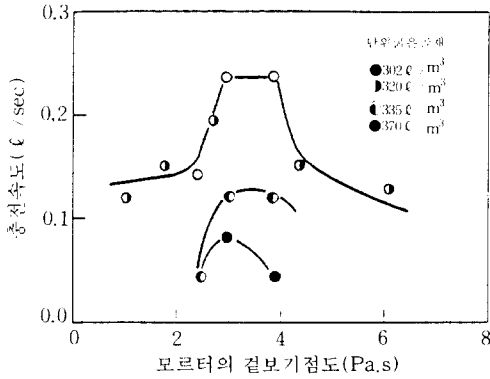


그림 7 모르타의 점도와 충전성의 관계

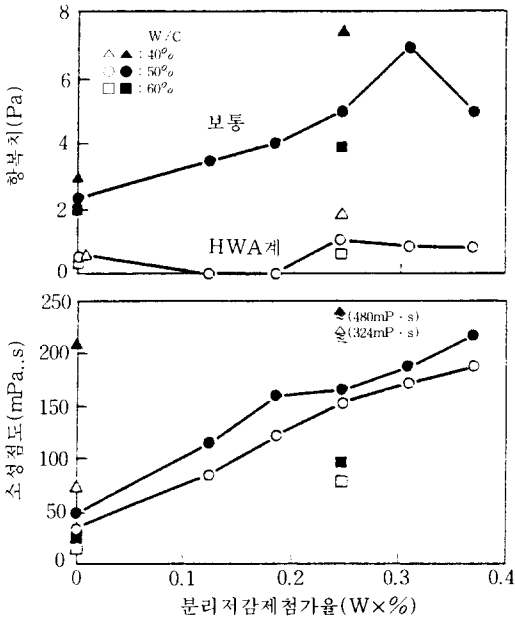


그림 8 시멘트풀의 레올로지점성에 미치는 증점제 첨가량의 영향 [HWA : 고속합 트리아신계 고성능감수제]

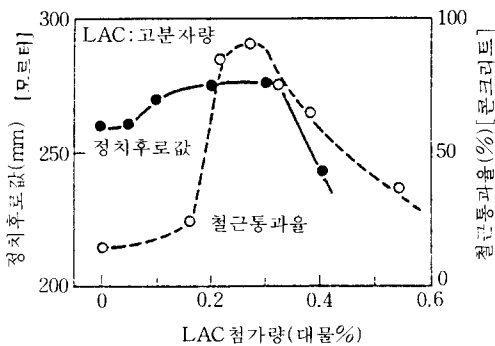


그림 9 증점제 첨가량과 정지후로값 및 철근통과율과 관계 [LAC : 비이온성 새루로스테르계 증점제]

3.2 분체공학으로 본 고유동화

일본의 “名和豊春”(TOYOHARU NAWA)는 시멘트점도보다도 모르타의 점도쪽이 그림 7에 도시한 것과 같이 콘크리트의 충전성과 좋은 상관성을 나타내어 충전성을 최적으로 하는 모르타 점도 범위가 존재하는 것을 구명하였다. 그러나 “井上” 등은 모르타중 잔골재를 증가시켜 모르타의 점도를 중대시켜도 콘크리트의 철근 통과율은 역으로 저하하는 것을 나타내었다. 이와 같이 레올로지정수로 보아서는 설명할 수 없는 현상도 보고되었으나 이것은 앞에서 기술한 분체와 입체의 입장에서부터 잘 설명된다. 그리고 콘크리트 유동성은 입체의 골재가 체각이 이동하는 것에 의해 저해되나 분체와 물로 되는 유체(이하 시멘트풀)가 적절한 점성을 가지면 골재끼리 시멘트풀을 매개로 일체로 이동하기 때문에 눈에 띄게 입체를 분체가 거동시켜 콘크리트를 유동화 시킨다.

잔골재중에는 전질에서 기술한 $100\mu\text{m}(0.1\text{mm})$ 이하의 미립분이 포함되어 있다. 시멘트와 같은 분체로서 역할이 주어지기 때문에 시멘트풀 보다도 모르타점도와 콘크리트의 충전성과의 상관관계가 높은 것이 설명된다.

한편 $100\mu\text{m}(0.1\text{mm})$ 이상의 거친 잔골재는 입체로서 작용한다. 따라서 모르타중 잔골재량을 증가하면 콘크리트중 입체가 증가 콘크리트의 유동성이 저하하는 것이 된다. 이것에 의해 입체골재가 어느 한도이상 존재하면 입체는 분체와 같이 거동하지 않는 것이 암시되어 그림 7에 도시된 콘크리트의 충전성이 모르타점도외에 콘크리트중 굵은 골재량에 의하여도 영향을 받게되는 사실과 일치한다. “岡村” 등은 골재입자 아치현상에 의한 유동폐색은 골재입자 사이의 평균거리가 어느 값 이하에서는 반드시 발생하여 여기에 통과하는 간극이 골재의 평균입경의 10배이하 때에는 골재량에 비례하여 폐색 확률이 증대하는 것을 나타낸다.

따라서 콘크리트의 고유동화는 분체로부터 되는 유체가 적절한 점성을 가지고 입체가 어느 한도 이하로 존재하는 것에 의하여 가능하게 된다. 이것을 말을 바꾸면 고유동콘크리트를 실현하기 위하여는 잔골재의 미립분을 포함한 시멘트풀의 적절한 점도와 굵은 골재량이 중요하게 된다.

표 2 증점제에 의해 점성을 적정화시킨 콘크리트 배합 예

증점제 종류	W/P (%)	s/a (%)	단위수량 (kg/m³)	분량	단위수량	혼화제 (C×wt%)	증점제 (g/m³)	슬럼프 후로 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm²)		참고 문헌 번호
				(kg/m³)	(kg/m³)					7일	28일	
세루로스계	52.9	50.0	185	350	873	고축합트리아신계	바이온성세 무환계500	64.0	4.5±1	241	358	19
세루로스계 (기본)(후첨가)	60.0	51.3	165	275	911	AE감수제0.25 트리아신계3.0	세루로스계 500	슬럼프12.5	4.9	144	195	45
아크릴계	50.0	51.9	174	348	878	나프타린계	아크릴계	65±5	5±1			46
특수수용성 고분자	60.0	50.1	185	308	892	나프타린계+특수수용성 고분자1.50		51.0	3.6	182	304	47,48

(주) C : 시멘트

4. 고유동화 방법

앞에서 설명한 것과 같이 적절한 굵은골재량으로 되면 콘크리트의 고유동화에는 잔골재의 미립분을 포함한 시멘트풀의 점성을 증대시키는 것이 유효한 것으로 이해된다.

그런데 시멘트풀의 점성을 높이는 방법으로는 ①수중불분리성콘크리트와 같은 증점제 분리저감제를 첨가하는 방법 ②미분말을 다량 첨가하는 방법 ③증점제와 미분말을 병용하는 방법 등이 있다.

4.1 증점제에 의한 고유동화

증점제의 첨가에 의해 콘크리트 유동성을 향상시키는 방법은 수중불분리콘크리트 방법의 연장이다. 유동성부여는 고성능AE감수제 및 고성능감수제, 재료분리저항성은 증점제 첨가에 의하여 확보하는 것이다. 표 2에 증점제를 사용한 고유동콘크리트 배합 예를 표시하였다.

이 형태의 고유동콘크리트 특징은 표 2에 표시한 것과 같이 물분체비가 큰 영역에서도 고유동화가 가능하다. 아지테이터트럭을 사용하여 공사현장에서 고유동콘크리트를 제조하는 것으로 되어 있다. 증점제는 세루로스계 및 아크릴계가 사용된다. 세루로스계 증점제는 나프타린계 고성능감수제와 병용하면 겔상의 물질이 생성되어 유동성이 저해되므로 주의할 필요가 있다. 또한 분체에는 보통포틀랜드시멘트나 플라이애쉬를 사용하는 것

이 많다. 최근에는 슬래그미분말이나 석회석분을 사용하는 것이 효과적이라는 연구결과가 있다.

그림 8에 증점제를 첨가한 시멘트풀의 레오로지 정수를 도시하였다. 고성능AE감수제를 첨가하지 않은 계통에서는 항복치 및 소성점도와 함께 증점제 첨가량과 함께 증대하는 것에 대하여 고성능AE감수제나 고성능감수제를 첨가하면 항복치는 현저하게 낮아지므로 소성점도가 증대하여 고유동콘크리트에 적합한 레오로지 성상으로 되는 것을 이해할 수 있다.

그림 9는 철근 매쉬(이형봉강 D16, 망눈간격 50mm)를 통과하는 콘크리트 량에 미치는 증점제 첨가 영향을 나타낸다. 앞에서 기술한 것과 같이 철근사이를 통과할 최적 첨가량과 점도가 존재한다. 한편 이 첨가량은 그림 9에 도시한 것과 같이 정지 후로가 피크(peak)로 되는 첨가량에 일치하여 이것에 의해 증점제 최적첨가량 추정이 가능하다. 기왕의 연구에 의하면 최적첨가량은 0.2~1.0kg/m³ 정도이다. 수중불분리콘크리트 2~3kg/m³에 비하여 적은 양으로 된다.

4.2 분체에 의한 고유동화

시멘트풀중의 분체량을 증가시키면 풀의 항복치 및 소성점도는 지수 함수적으로 증대한다. 한편 고성능AE감수제나 고성능감수제등 유동화제를 첨가하면 시멘트풀의 항복치는 현저히 저하하나 소성점도는 거의 저하하지 않는다. 이 특성을 발생시켜 콘크리트중 분체량을 증대시키는 것에

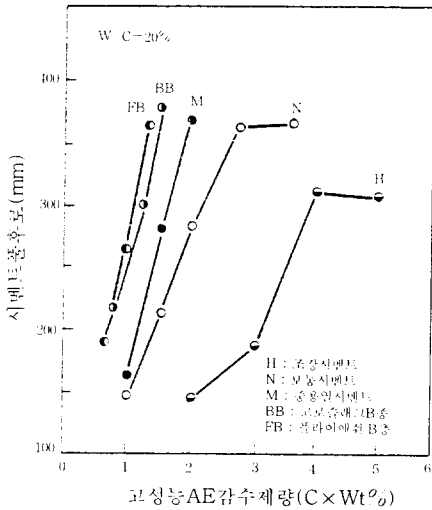


그림 10 시멘트종의 유동성에 미치는 시멘트종류의 영향

의하여 고유동콘크리트를 제조하는 것이 된다.

그러나 어떠한 분체에서도 좋게 나타나는 것은 아니다. 고성능AE감수제나 고성능감수제의 분산 효과에 적합한 성질을 가져야 한다. 원래는 고로슬래그 미분말등 혼화제가 사용되었다. 특히 분체계 고유동콘크리트를 매스콘크리트 구조물의 시공합리화를 목적으로 적용한 경우는 분체량이 많기 때문에 수화열에 의한 온도균열이 발생할 우려가 있기 때문에 플라이애쉬나 석회석미분말을 사용한 예가 많다. 그림 10에 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬에 의한 유동성의 개선효과를 도시하

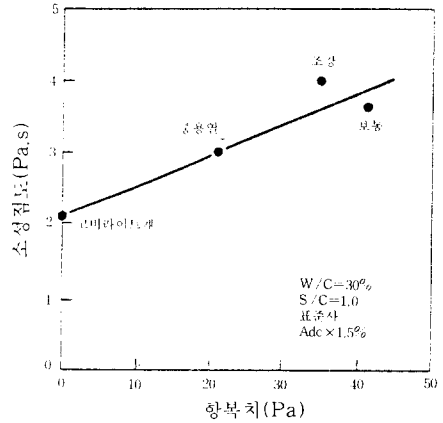


그림 11 크리카 조성이 다른 포틀랜드시멘트를 사용한 모르타의 레오로지정수

표 3 포틀랜드시멘트의 광물조성에

시멘트종류	비 중	비표면적 (cm ² /g)	광물조성(%)			
			C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
보 통	3.16	3040	52	23	9	9
조 강	3.15	4360	65	10	8	8
중 용 열	3.21	3040	43	35	3	12
고비라이트계	3.20	4080	35	46	3	9

였다. 한편 혼화제의 유동성, 충전성에 미치는 영향을 분말도, 입형이 다른 것에 의하여 다르게 된다.

한편 시멘트뿐만 아니라 고유동콘크리트를 제조하려는 움직임도 있다. 그리고 시멘트성질을 변화시켜 고성능AE감수제, 고성능감수제 등의 혼화제가 가지

표 4 분체에 의해 점성을 적정화시킨 고유동콘크리트의 배합 예

분 체 종 류	W/P (%)	s/a (%)	단위수량 (kg/m ³)	분체량(kg/m ³)				단위공 은과재 (kg/m ³)	고성능감수제 (분체 x wt%)	증집제 (g/m ³)	슬럼프 후로 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)		참고 문헌
				PC	BS	FA	LS						7일	28일	
① 1성분계	30.0	50.0	170	567	-	-	-	842	폴리카본산계	-	61.3	2.1	655	971	49
				(R)	-	-	-								
② 2성분계	33.6	50.3	178	169	-	-	-	823	고성능AE감수제	세루로스계	56.0	2.6	-	522	50
(N)				360	-	-	1.59								
2성분계	34.8	53.0	160	260	200	-	-	785	나프타린계	-	58	-	280	490	51.
플라이애쉬주체				(L)	-	-	150								
2성분계	35.4	36.0	145	260	-	-	-	893	변성리 그린복합물	-	59.1	4.5	-	278	53
				(L)	-	-	150								
석회석미분말 주체	33.3	47.0	165	275	-	-	220	893	나프타린계	-	53.1	2.7	-	420	42
				(BB)	-	-	220								
③ 3성분계	29.9	51.0	160	156	-	-	-	810	폴리카본산계	-	55±5	2.0±1.0	382	546	54
				(N)	177	203	-								

(주) C : 시멘트(N : 보통시멘트, BB고로슬래그 B종, L : 2성분형저발열 시멘트, R : 고비라이트계 시멘트), BS : 고로슬래그미분말, FA : 플라이애쉬, LS : 석회석미분말

는 분산작용을 충분히 발휘시키는 것에 의해 소성 점도가 적정하게 되는 낮은 물시멘트비 영역에서 시멘트풀의 항복치를 저감시킨다.

혼화제는 물과 접촉한 후 먼저 시멘트중 C_3A 나 C_4AF 에 흡착되어 그후 C_3S 와 C_2S 에 흡착되기 때문에 시멘트중 C_3A 및 C_4AF 량이 많으면 시멘트 입자에 혼화제의 흡착이 불균일하게 되어 혼화제 분산작용이 발휘되지 않게 된다. 그림 11에 표 3에 표시한 광물조성이 다른 4종류의 시멘트를 사용하여 포리칼콘산계 고성능AE감수제를 첨가한 모르타의 레오로지정수를 도시하였다. 그림에 의해 항복치는 C_3A+C_4AF 량 순서로 보통>조강>중용열>고비라이트계로 된다. 고비라이트계 시멘트에서는 0(zero)에 가까울때까지 달하는 것이 인정되어 고유동콘크리트용 시멘트로서 중용열 시멘트나 고비라이트계 시멘트가 적당하다고 말할 수 있다. 특히 고비라이트계 시멘트는 수화발열이 적고 고유동콘크리트에서는 적당하다고 생각된다.

표 4에 분체에 의해 점도를 적정화한 고유동콘크리트의 배합 예를 표시하였다. 분체에 의해 점도를 조절한 고유동콘크리트 압축강도는 석회석미분말을 첨가하지 않은 경우에는 $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상의 고강도를 나타낸다. 그러나 석회석미분말을 첨가한 경우에는 석회석미분말량에 의해 강도를 조절시킨다. 보통콘크리트와 같은 강도의 고유동콘크리트가 가능하게 된다.

4.3 분체 및 증점제 병용에 의한 고유동화

앞에서 기술한 증점제나 분체에 의한 고유동콘크리트에서는 잔골재 표면수나 입도(조립율)에 의하여 콘크리트의 유동성이 크게 변동하는 것으로 보고되었다.

이 때문에 분체와 증점제 양쪽의 작용을 이용하여 잔골재의 표면수나 입도(조립율)에 의한 변동을 억제한 고유동콘크리트가 제안되었다. 예로서 그림 12에 잔골재표면수의 영향에 미치는 천연(다당류)고분자계 증점제의 효과를 도시하였다.

표 5에 분체와 증점제를 병용한 고유동콘크리트의 배합을 예시하였다. 증점제로서는 천연(다당류)고분자계를 사용하는 예가 많다.

한편 이들 고유동콘크리트의 균치 않은 상태 및

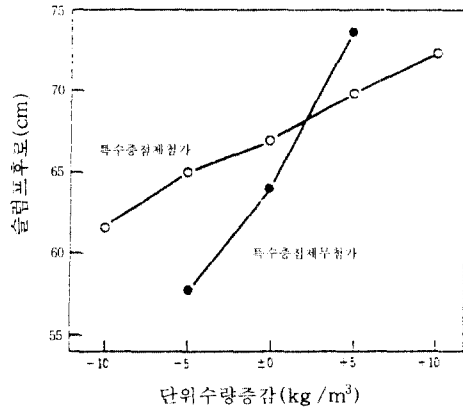


그림 12 단위수량의 증감과 슬럼프후로의 관계

표 5 분체 및 증점제를 병용한 고유동콘크리트 배합 예

W/P (%)	s/a (%)	단위수량 (kg/m^3)	분체량 (kg/m^3)				단위골 은골재 (kg/m^3)	고성능감수제 (분체×wt%)	증점제 (g/m^3)	슬럼프 후로 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm^2)		참고 분헌
			PC	BS	FA	LS						7일	28일	
33.0	45.0	165	150 (N)	150	200	-	-	고성능감수제 1.45	바이오폴리머 1485	61.0	3.6	-	-	55
36.0	46.0	180	400 (BB)	-	100	-	882	고성능감수제 1.68 AE감수제 0.18	다당류폴리머 1500	68.0	3.2	-	458	56
35.3	45.0	170	193 (N)	193	36	-	920	고성능감수제 1.86 AE감수제 0.25	분리저감제 1000	67.4	3.9	320	504	44
32.1	42.8	170	321 (N)	-	-	208	942	나프탈린술폰산계 1.30	수용성폴리사카라이드 200	51.0	4.1	-	457	57
30.0	45.0	165	500 (L)	-	50	-	900	포리칼콘산계 1.96	다당류폴리머 500	66.0	3.6	352	625	58

(주) C : 시멘트(N : 보통시멘트, BB : 고로시멘트 B종, L : 저 발열 보통 포틀랜드시멘트)

BS : 고로슬래그미분말, FA : 플라이애쉬, LS : 석회석미분말

압축강도 이외의 성상에 대하여는 일본콘크리트 공학협회의 초유동 콘크리트 연구위원회 보고서에 상세히 해설되어 있으니 참고하시기 바랍니다.

5. 적용 예와 금후의 전망

고유동화 콘크리트는 처음에는 콘크리트구조물의 신뢰성 향상 또는 기능공확보 대책등으로부터 연구가 시작되었으나 그후 효율화나 소음방지등의 요구가 명확해졌고 기계화시공(펌프카)에 따른 작업효율향상 거대구조물의 시공대책등으로부터 급속하게 연구가 진전되어 많은 시공사례가 보고되었다.

여기서는 일본에서 현재까지 적용 예에 대하여 소개하고 전망에 대하여 소개한다.

5.1 고강도콘크리트에의 적용

고유동콘크리트는 분체량이 많아 대개의 경우 필연적으로 고강도로 되는 점이나 재료비가 증대되기 때문에 현재 문제되고 있는 콘크리트품질문제 특히 강도나 내구성문제, 시공성, 신뢰성, 기계화시공, 기능공문제를 동시에 해결할 수 있는 유망한 분야로 고강도콘크리트에 적용된다.

고강도콘크리트에 적용 예로는 토목분야에서는 고강도 지중연속벽, 장대교량 등에 적용이 거론된다. 설계기준강도 800kgf/cm²의 고강도가 달성된 보고가 있다.

인공경량골재를 사용한 경량고강도콘크리트를 사장교에 적용한 예도 보고되었다.

아가가이گی오 대교 앵카레이지에 150,000m³ 콘크리트에 적용하여 1일 1,900m³/일을 시공 가능케 한 예도 있다.

동경가스 LNG 지하저장 탱크의 급속시공에도 적용되어 새로운 시스템이 개발되었다.

이 외에도 약 50여건의 대형 토목건축공사에 고유동콘크리트가 적용되어 고유동 고강도의 실현으로 고강도의 실현 내구성, 시공성, 신뢰성을 확보 합리화 시공시스템이 구축되어 콘크리트의 모든 문제점이 일시에 해결된 것으로 인식된다.

건축에서는 고층구조물에서 강관압입 콘크리트 예가 있다. 콘크리트의 고유동화 고강도화는 기둥

단면을 적게 하여 건축물의 중량을 저감시켜 지진 하중도 낮게 억제되어 초고층화가 가능하기 때문에 콘크리트의 압축강도는 증대하여 최근에는 설계기준강도 600kgf/cm²의 고강도콘크리트가 실용화되었다. 일본 건설성 종합기술개발 프로젝트 「철근 콘크리트 건축물의 초경량, 초고층화 기술 개발(약칭: NEW RC 총프로)」의 관민일체로한 재료 시공검토는 고강도콘크리트의 실용화에 박차를 가하였다.

그러나 고강도콘크리트는 현저하게 점성이 증대되기 때문에 진동다짐이 유효하고 펌프압송이 곤란하게 되는 경향이다. 다짐이 필요없는 고유동 콘크리트의 적용이 유망하게 고려되었다. 고비라이트계 시멘트를 사용한 고유동 고강도콘크리트에서는 종래 고강도보다 낮은 점성을 나타내기 때문에 지상 130m의 높은 곳까지 펌프압송이 가능하였던 예도 있다. 앞으로 고층철근콘크리트구조물에 적용되는 것이 예상된다.

5.2 효율적인 콘크리트에의 적용

현수교 교각 앵카레이지와 같은 대규모적인 구조물의 콘크리트 타설에서는 저발열 고유동콘크리트를 사용 다짐작업을 생략하면 적은 작업원으로 주야 연속타설이 가능하다. 콘크리트타설의 효율화 및 공기의 대폭적인 단축이 가능하게 된다. 아가가이گی오 대교의 대규모적인 앵카레이지에서는 게이트 밸브(gate valve)나 분기관공법을 사용한 다짐이 불필요한 고유동콘크리트의 기계화 시공에 의하였다. 동경가스 지하저장 탱크에서도 분기관밸브시스템을 채택한 바 있다.

5.3 충전하기 어려운 구조물에 적용

5.1 고강도콘크리트에서 기술한 강관압입 콘크리트의 다짐이 어려운 또는 뭍 수 없는 곳에서 콘크리트타설은 고유동콘크리트 특성이 가장 잘 발휘된다. 댐의 횡경괘색에의 적용이나 워터터널의 충전콘크리트에 적용이 검토 시공되는 등 지하구조물이나 칼바트 등 구조물에 적용이 큰 기대가 된다.

또한 사장교 주탑부와 같이 단면이 적고 철골

및 철근이 복잡하게 배치된 구조물도 고유동콘크리트가 적용된다. 기부집 중에서 다짐하기 어려운 협소한 공사 환경개선에도 유효하다. 높이가 높은 벽을 타설하는 LNG탱크에 적용되었다.

5.4 저소음 콘크리트에 적용

콘크리트2차제품에서는 제품의 대형화에 따라 다짐작업에 소음이나 진동에 의한 노동환경의 악화가 문제로 된다. 사각형암거나 터널라이닝의 세그먼트 등에 시험 시공되고 실용화되고 있다.

한편 문제점으로 고성능AE감수제를 다량 첨가하면 응결이 지연되어 현장에서 작업이 어려운점이 지적된 예도 있다. 앞으로는 응결지연을 저감하여 보통시멘트와 같은 작업공정에서 운전되는 고유동콘크리트개발이 바람직하다.

일반적으로 고유동콘크리트나 고강도콘크리트에 대한 재료 배합특성, 시공특성을 정확하게 숙지하고 목표강도, 목표시공성, 목표내구성에 적합한 최적 배합설계가 중요한데 이는 고도의 전문지식이 요구된다.

5.5 경관 콘크리트에 적용

최근에는 도시경관 설계면으로부터 건축물의 형상이 복잡해진다. 표면의 미묘한 감촉변화가 중시되고 있다. 고유동콘크리트는 기부집의 미묘한 요철을 재현시켜 복잡한 형상의 콘크리트에서도 양호한 결과가 얻어진다. 따라서 경관설계를 중요시한 콘크리트 구조물에 사용이 기대된다.

6. 결 론

최근 사회적으로 문제되는 콘크리트의 품질, 시공성, 내구성을 동시에 해결할 수 있는 방법과 콘크리트의 고강도화, 고내구성이 지향되는 중에서 콘크리트의 유동성을 대폭 개선한 고강도, 고유동 콘크리트의 연구가 되고있다. 그러나 이들 분야로 되어있는 재료, 배합설계, 제조 및 시공을 포함한 품질관리의 확립이 되어야 한다.

고유동, 고강도콘크리트의 메카니즘은 지금까지 물리적, 역학적 연구시험만으로는 기대하기 어

렵고 콘크리트조직, 구조적인 메카니즘이 화학적으로 구명되어 역학적으로 반영관계를 구명하는 연구체계와 특히 실용화측면에서는 계획설계내역과 시공 관리에 이르기까지 고도의 전문지식을 가진 전문기술자에 의하여 배합설계, 품질관리가 요망된다.

참 고 문 헌

1. 日本コンクリート工學協會編/超流動コンクリート研究委員會報告書(I), 1993, 超流動コンクリート研究委員會報告書(II), 1994
2. 岡村甫, ほ가/ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂, 1993
3. 神保元二/ブルーパフクス 粉體の科學, 講談社, 1990
4. 日本コンクリート工學協會編/コンクリート便賢, 技報堂, 1976
5. 後英太郎/新しいセメントとセメント技術, 誠文堂新光社, 1971
6. F. M. Lea/The Chemistry of Cement and Concrete, Edward Arnold Publishers Ltd., 1970
7. G. H. Tattersall, ほ가/The Rheology of Fresh Concrete, Pitman Advanced Publishing Program, 1983
8. 小澤一雅, ほ가/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.11, No. 1, 1989
9. 橋本親典, ほ가/コンクリート工學, Vol.26, No. 2, 1988
10. Ozawa, K, ほ가/土木學會論文集, No. 408, V-11, 1989
11. 佐野充輝, ほ가/土木學會第46回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1991
12. 名和豊春, ほ가/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
13. 井上和政, ほ가/日本建築學會大會學術講演概要集, 1991
14. 小澤一雅, ほ가/土木學會第42回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1987
15. 在原晴也, ほ가/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.12, No. 1, 1990
在原晴也ほが/土木學會第47回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1992
16. 河井徹/コンクリート工學年次論文報告集, 12, No. 1, 1990

17. 大橋潤一, ほが/コンクリート工學年次論文集, Vol.2, No. 2, 1991
18. 羽木隆, ほが/コンクリート日本建築學會關東支部研究報告集, 1992
19. 山川勉, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
20. K. A.saga ほが/Cement and Concrete Res., Vol.10, No. 2, 1980
21. 絲日谷淑光, ほが/土木學會第47回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1992
22. 有馬勇, ほが/土木學會第47回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1992
23. 三浦津彦, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.13, No. 1, 1991
24. 名和豊春, ほが/セメント・コンクリート論文集, No. 43, 1989
25. 名和豊春, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.15, No. 1, 1993
26. 宇野洋志城, ほが/土木學會第47回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1992
27. 坂本淳, ほが/コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集, 1992
28. 新藤竹文, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
29. 三補律彦, ほが/コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集, 1992
30. 岡龍一郎, ほが/土木學會第48回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1993
31. 坂田昇, ほが/土木學會第48回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1993
32. 坂田昇, ほが/第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, コンクリート工學協會, 1994
33. 河井徹, ほが/セメント・コンクリート, No. 552, 1993
34. 岡本修一, ほが/コンクリート工學論文集, Vol. 4, No. 1, 1993
35. 和美光喜, ほが/コンクリート工學論文集, Vol. 4, No. 1, 1993
36. 萬木正弘, ほが/第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, コンクリート工學協會, 1994
37. 保田雅彦, ほが/セメント・コンクリート, No. 558, 1993
38. 三補律彦, ほが/セメント・コンクリート, No. 558, 1993
39. 村尾剛, ほが/セメント・コンクリート, No. 558, 1993
40. 井手一雄, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.15, No. 1, 1993
41. 松岡康訓, ほが/コンクリート工學, Vol.30, No. 5, 1992
42. 長友良一, ほが/コンクリート工學, Vol.30, No. 9, 1992
43. 丸山武彦, ほが/セメント・コンクリート, No. 558, 1993
44. 早川光敬, ほが/コンクリート工學, Vol.30, No. 5, 1992
早川光敬, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
45. 佐原晴也, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.12, No. 1, 1990
46. 福留和人, ほが/土木學會第45回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1990
47. 筈井芳夫, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
48. 平石信也, ほが/日本建築學會大會學術講演概要集, 1992
49. 依田和久, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.15, No. 1, 1993
50. 中島良光, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.13, No. 1, 1991
51. 小鳩和弘, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
52. 松井淳, ほが/セメント・コンクリート論文集, No. 47, 1993
53. 有馬勇, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
54. 深園喜代一, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.14, No. 1, 1992
55. 新藤竹文, ほが/土木學會第45回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1990
56. 坂本淳, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.13, No. 1, 1991
57. 坂田昇, ほが/コンクリート工學年次論文報告集, Vol.15, No. 1, 1993
58. 大友健, ほが/土木學會第48回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1993
59. 木之下光男, ほが/セメント・コンクリート論文集, No. 47, 1993
60. 阿部道彦/月刊生コンクリート, Vol.24, No. 11, 1993
61. 윤 상대, 배 수호 : 콘크리트용 대체골재 개발에 관한연구 / 농어촌진흥공사, 1994 