



고성능 콘크리트의 설계와 시공

고성능 콘크리트의 개념 및 배합설계 Concept and Mix Proportion of High-Performance Concrete



김 화 중*



정 재 동**

<편집자 주>

최근의 콘크리트 품질관리 분야에 관한 많은 문헌이 제기되고 있다. 이는 콘크리트를 기계적 성능향상에 주안점을 두고 시공적인 면에서 근대화한 것이 의미라 사료된다.

따라서, 이 두 가지 면을 만족시킬 수 있는 방법과 필요성이 전세계적으로 요구되어 동시에 고성능 콘크리트의 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 실현장에서도 적용되고 있다. 그러나, 국내의 경우, 아직 연구와 초기 단계로서 학계의 연구자에 의해서 실험실 수준에서 진행되고 있다. 우리도 빠른 시일 내에 이에 대한 연구의 진척이 기대되며, 많은 시공 현장에서 적용될 날이 오기를 기대한다.

그러한 면에서 이번의 목적은 고성능콘크리트 연구에 직접 관계하고 있는 국내, 국외 연구자에게 집필을 의뢰한 것으로써 좋은 참고자료가 되기를 바란다.

또한 바쁜시간 쉼에도 불구하고 주신 필자들과 감사의 인사를 드린다.

(편집주간: 김복희 건축공학과 김복희 교수)

1. 서 론

최근 건설관련 분야에서는 품질문제, 부실시공 등의 많은 문제점으로 인하여 콘크리트의 고품질화, 고성능화의 필요성 인식과 함께 고강도콘크리트, 유동화콘크리트, 고유동콘크리트, 초유동콘크리트, 다짐불요콘크리트 및 고성능콘크리트 등의 많은 콘크리트관련 용어가 유행하고 있다.

우선 국내에 있어서 고강도콘크리트는 80년대 후반부터 대학, 연구소, 건설회사 등을 중심으로 연구개발이 시작되어 90년대 초반부터는 시험적용과 함께 최근에는 본격적인 실용화가 시작되어 연구개발분야 뿐만 아니라 건설현장이나 레미콘 제조업체에 이르기까지 고강도콘크리트는 이미 국내에서도 낯설지 않은 단어로 자리를 잡았다고 볼 수 있다.

한편 92-93년경부터는 '고성능콘크리트'라는 용어와 함께 앞서 열거한 많은 새롭고 애매한 개념의 콘크리트가 등장하여 많은 건설인들의 주목을 끌고 있다.

본고에서는 이러한 국내 건설분야에 있어서의

* 정희원, 경북대 건축공학과 교수

** 정희원, 대구대 건축공학과 교수

용어 혹은 개념상의 혼돈된 상태에 있어서 '고성능콘크리트'의 한국적 정의와 그 필요성을 검토할 시점에 온 것으로 판단되어 고성능콘크리트의 개념과 필요성, 제조방법 및 향후 전망등을 검토하는 것을 목적으로 한다.

2. 고성능콘크리트의 정의

고성능콘크리트란 고강도성, 고내구성 그리고 고시공성의 3박자를 갖춘 콘크리트로 정의할 수 있으나 이러한 성능들을 동시에 만족시키기는 쉽지 않다. 그러므로 접근방법에 있어서 미국, 유럽 및 캐나다 등지의 구미에서는 물시멘트비 40%이하의 고내구성을 갖는 고강도 달성에 의하여 콘크리트의 미세구조를 치밀화시키고 이에 따라 고내구성을 달성하려는 방향으로 고성능콘크리트에 관한 정의가 이루어지고 있다. 일본에서는 4~5년 전부터 작업성에 초점을 맞춘 다짐이 필요없는 초유동 콘크리트로서 강도와 내구성을 확보하려는 연구가 시작되어 양쪽 모두 상당수의 토목 및 건축현장에 적용되고 있으나 국내에서는 최근에야 고성능콘크리트에 대한 개발이 시작되고 있다.

2.1 북미·유럽에서의 고성능콘크리트

1989년 11월, P.C. Aitcin와 2인은 ACI 심포지엄에서 고강도이면서 높은 염해저항성이라는 고성능을 가진 콘크리트에 High Performance Concrete라는 용어를 사용하였다. 1990년 5월 ACI주최 고강도콘크리트 심포지엄에서는 경화 콘크리트로서 고성능을 가진다는 의미로 고성능콘크리트(High Performance Concrete)라는 용어가 사용되었다. 또한 1990년, P.C. Aitcin 등은 "Les Betons and Hautes Performances"(고성능인 콘크리트)라는 책에서 고성능콘크리트(High Performance Concrete)는 역학적특성 및 내구성이 고성능인 콘크리트를 나타내고 있으며 시공성면에서는 종래의 콘크리트이하가 되지 않도록 노력한다고 정리하고 있다. 1991년,SHRP(Strategic Highway Research Program)의 보고서에서는 고성능콘크리트를 강도와 내구성면에서 물시멘트

비 최대 0.35이하, 내구성지수 최소 80%이상이고 압축강도는 재령 4시간이내 21MPa, 재령 24시간 이내 34MPa 및 재령 28일에 69MPa의 성능을 갖는 콘크리트라고 정의하고 있다.

2.2 일본에서의 고성능콘크리트

1989년 1월, Okamura교수는 제2회 EASEC에서 시공정도의 영향을 받지 않고 신뢰성이 높은 콘크리트를 얻기 위하여서는 콘크리트의 다짐불필요를 제일의 목표로 하고 경화후의 내구성 및 강도는 종래의 기술의 조합으로 용이하게 달성할 수 있다는 내용의 고성능콘크리트(High Performance Concrete)관련 제목의 논문을 발표하였다. 이후 일본에서는 대부분의 연구기관, 대형 건설회사가 각 연구기관 마다의 용어의 표현이 조금씩 다르지만(고유동, 초유동, 다짐불요, 고성능 콘크리트등) 상술한 Okamura교수의 고성능콘크리트와 그 성능이 유사한 개념의 콘크리트 개발에 뛰어들었고, 이와 함께 본격 실용화시의 파급효과를 고려하여 거의 동시기에 고성능콘크리트제조를 위한 시멘트의 개발, 혼화제의 개발 등도 시작되었다. 1992년 이후 고성능콘크리트 연구개발 붐과 함께 최근에는 거의 모든 건설회사, 시멘트회사, 레미콘회사에서 기술개발을 완료하고 수요확대와 홍보에 열을 올리고 있다.

2.3 한국적 고성능콘크리트의 정의

상술한 북미와 일본에 있어서의 고성능콘크리트

표 1 국내의 고성능화의 필요성과 그 방안

고성능화의 필요성(문제점)	고성능화 방안
강도불신, 강도부족등의 품질문제, 고층화, 대형화추세	강도의 고성능화
작업성 증진을 위한 가수문제, 이에 따른 강도부족, 균열발생, 물곰보등의 표면결합, 빌딩의 문제, 슬럼프로스의 문제, 3D현상에 의한 전문 시공인력 부족, 기계시공에 따른 유동성증진의 필요 등	시공성능의 고성능화
내구성능의 조기 저하, 동결융해 중성화 염해 알칼리결재반응 건조수축 마모 등에 대한 저항성	내구성능의 고성능화

트에 대한 상이한 정의에서도 나타난 바와 같이 콘크리트의 특성중에서 어느 특성의 고성능화가 필요한가 하는 것은 일률적으로 정의할 수 없고 그 나라 그 지역의 사회환경이나 건설환경을 극복하기 위한 여러가지 필요성에 의해 고성능화의 방향 혹은 정의가 이루어지리라 생각된다.

따라서 국내에서는 국내의 사용환경을 만족시키기 위한 혹은 건설분야가 처해진 문제점들을 해결하기 위해서 요구되는 성능(performance)들을 집약함으로써 고성능화의 정의가 이루어질 것이며 이 부분에 있어서 많은 건설분야 종사자들의 의견을 집약시킬 필요가 있을 것이다.

2.4 콘크리트의 고성능화

고성능콘크리트의 고시공성, 고강도화, 고내구성화의 특성중에서 어느 특성의 고성능화가 필요한가 하는 것은 우리의 건설환경에 있어서 문제점을 살펴보고 그 필요성에 의해 어느 특성을 더욱 발전시키느냐에 있다. 그러므로 각 특성별로의 고성능화에 대하여 살펴보기로 한다.

2.4.1 시공성능의 고성능화

시공성능이 좋은 콘크리트는 높은 유동성을 지니고 콘크리트의 타설작업시 최소한의 다짐만으로도 복잡하게 배근된 거푸집을 구석구석까지 공극을 남기지 않고 균일하게 충전이 되어야 한다.

종래의 콘크리트의 경우 슬럼프값이 낮으면 타설작업이 잘되지 않아 펌프 압송관이 막히거나 다짐작업시 많은 노력이 필요하였다. 반대로 슬럼프값이 높은 경우에는(대략 18cm이상에서) 낙하지점의 중심부에는 굵은골재가 많고 퍼져나간 부분에는 모르타르 부분이 많아지는 골재분리현상이 자주 발생하여 콘크리트 품질문제의 원인이 되기도 하였다.

따라서 시공성능면에서의 고성능화는 콘크리트의 유동성, 재료분리저항성 등의 충전성이 우수하여 콘크리트의 자중만으로도 확실하게 충전이 되고(셀프레벨링성) 타설작업시 최소한의 다짐만으로(적은 인원) 밀실하고 균일한 콘크리트를 얻을 수 있거나 나아가서는 다짐이 전혀 필요없는 콘크

리트가 된다면 시공성능면에서 목적하는 최고 성능이 될 것이다.

2.4.2 강도의 고성능화 (고강도화)

고성능(고유동, 다짐불요)콘크리트의 제조시에는 고성능감수제의 사용으로 유동성을 얻고 단위수량을 가능한한 억제하여 점성을 잃지 않게끔 해야되므로 많은 경우 미분말의 첨가량이 많음에도 불구하고 단위수량은 30%전후(단위수량 170-180kg/m³)의 적은 량을 사용하게 된다. 따라서 고강도의 달성이 용이하게 되고, 부수적으로는 점성을 높이기 위해 사용한 분체 즉 플라이애쉬, 슬래그미분말 등의 활성효과(포졸란반응)와 이에 따른 수산화칼슘의 감소(수화반응시 생성된 수산화칼슘은 수화물로서의 자체강도가 낮아 대량 함유시 고강도발현의 장애가 됨) 그리고 미분말의 충전효과등에 의해 콘크리트의 고강도가 자연스럽게 달성된다. 일에⁽¹⁾로, 물결합재비 32%(결합재량 562.5kg/m³, 단위수량 180kg/m³), 시멘트:슬래그분말:플라이애쉬=35:45:20의 고성능콘크리트 시험배합결과에서 슬럼프플로우값 65cm로 다짐을 전혀하지 않고도 밀실한 충전이 가능하였으며, 단위시멘트량 197 kg/m³ 정도의 작은 양임에도 불구하고 압축강도가 재령 3일, 7일, 28일 각각 260, 445, 674kgf/cm²의 고강도 및 강도조기발현이 얻어졌다. 따라서 고성능(고유동, 다짐불요)콘크리트의 경우 달성할 수 있는 강도범위는 배합조건이나 사용분체의 종류에 따라 달라지지만 실리콘카보네를 사용하지 않고도 압축강도 400~700 kgf/cm²정도는 쉽게 얻을 수 있어 최근의 고강도 콘크리트 요구 추세에는 무난히 대응할 수 있다.

2.4.3 내구성능의 고성능화

콘크리트의 내구성능 저하요인으로는 동결융해, 중성화, 염해, 알칼리골재반응, 건조수축, 마모 등이 있다. 이들 중 특히 동결융해, 중성화, 건조수축 등에 의한 내구성능 저하는 국내의 일반적인 환경하에서도 확실하게 진행하고 있어 콘크리트구조물의 장기적인 수명을 좌우하고 있다. 염해, 알칼리골재반응 등에 의한 내구성능 저하는 지역적인 건설환경조건등에 의해 해안에서 가까

운 지역 혹은 특정 골재의 유통지역등지에서 문제화 될 수 있다. 최근 국내에서도 수도권 신도시 건설 당시 골재파동과 바닷모래 사용에 따른 염해의 문제가 사회문제로까지 비화되어 건설불신을 야기하였고, 알칼리골재반응도 국내의 일부지역에서 반응성골재가 발견되었다는 보고가 있어 특별한 대책의 수립이 요구되는 시점에 와 있다.

이러한 내구성능 저하요인들의 대부분 수분이나 공기의 접촉, 침투로 인해 심화된다. 함유수분 혹은 침투수분의 동결에 의해 발생하는 동해, 공기나 우수, 지하수의 침투로 인해 발생하는 중성화현상, 비산염분의 침투, 알칼리골재 반응시의 수분흡수 팽창, 콘크리트 내부수분의 일산에 의한 건조수축과 균열의 발생등의 성능저하기구에서와 같이 수분이나 공기의 이동이 내구성능저하의 직접적인 요인이 되고 있다. 여기에다 기계시공이나 작업성증진을 위한 물시멘트비 증가와 이에따른 재료분리, 블리딩현상의 심화, 다짐불량(충전불량), 불균일한 피복두께등의 시공불량요인도 콘크리트 내구성능을 현저하게 저하시킨다.

따라서 내구성능을 고성능화 시키기 위한 기본은 투기성, 투수성이 낮은 치밀하고 균일한 콘크리트를 만드는 것이다. 작업원의 기술수준이나 부재의 형상, 철근 배근상태 등의 시공조건의 영향을 받지 않기 위하여 유동성이 높으면서 재료분리 저항성이 뛰어나고 우수한 충전성을 가진 콘크리

표 2 고성능콘크리트의 내구성능

분 류	내 구 성 능
동 해	조기강도의 달성으로 초기동결의 위험성이 줄어들고 강도가 높으므로 일반콘크리트에 비해 동결융해저항성이 크다. 그러나 확실한 방지를 위해서는 AE제를 사용하여 공기량을 2% 이상 확보할 필요가 있다.
중성화	조각이 치밀하여 기본적으로는 중성화진행속도가 높으나 배합조건에 따라서는(특히 3성분계의 결합재 사용시) 일반콘크리트와 비슷하다는 보고도 있다.
염 해	조각이 치밀하고 모세관공극이 적으므로 비산염분의 침투에 대한 저항성은 일반콘크리트의 50 - 65% 정도로 높다.
알칼리 골재반응	수분의 흡수, 침투가 적고 콘크리트중의 단위 알칼리량이 적으므로 반응위험성이 낮고, 결합재로 사용하는 플라이애쉬, 슬래그미분말에 의해 반응이 현저하게 억제된다.

트를 사용한다면 치밀하고 균질한 즉, 내구성능의 고성능화가 가능할 것이다.

고성능(고유동, 다짐불요)콘크리트의 내구성능은 아직도 연구가 진행중에 있으나 일반적으로 알려진 내용을 정리해 보면 다음과 같다.

3. 고성능콘크리트의 배합설계

3.1 개요

일반적으로 콘크리트의 유동성과 재료분리저항성(일종의 점성)은 서로 상반되는 성질이므로 고성능콘크리트 제조시에는 종래의 슬럼프시험으로서는 도저히 측정할 수 없을 정도의 높은 유동성(슬럼프값으로 나타내기는 어렵지만 예를 들면 슬럼프값 21 - 28cm정도)과 적당한 분리저항성(점성)을 함께 지닌 충전성이 높은 콘크리트를 만들 수 있는 가에 달려 있다.

따라서 그림 1과 같이 높은 유동성과 적당한 분리저항성의 균형있는 컨트롤이 고성능(고유동, 다짐불요)콘크리트제조에의 관건이 된다.

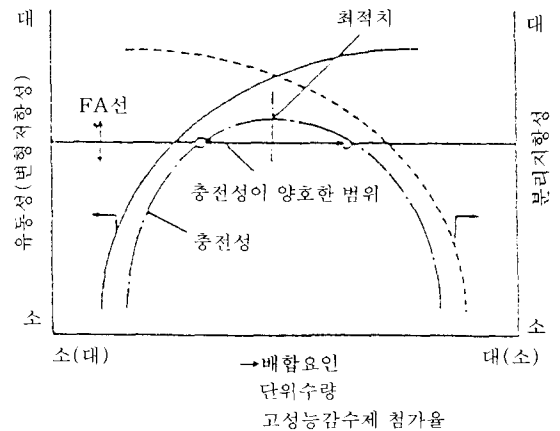


그림 1 배합요인과 유동성 및 분리저항성의 관계

그림 2은 고성능콘크리트의 배합설계 과정의 일례로서 보통포틀랜드시멘트와 슬래그, 플라이애쉬의 3성분계 결합재와 증점제를 배합재료로 함께 사용하고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 고성능콘크리트를 제조하기 위한 주요 배합요인을 단위

수량, 증점제 사용량, 결합재량, 잔골재율 및 고성능AE감수제 사용량등에 대하여 검토하고 있으며 세부적으로는 슬래그나 플라이애쉬의 분말도 등의 물성변화나 굵은골재 잔골재의 입도 및 입형등에도 영향을 받게 된다.

표 3 고성능크리트의 배합 사례

Gmax (mm)	W/P (%)	S/A (%)	W (kg/m ³)	결합재(kg/m ³)			고성능 AE)감수제 (kg/m ³)	증점제 (kg/m ³)
				C	Slag	Flyash		
20	29.9	51	160	156	177	203	4.29	-
20	33.5	49.3	183	173	374	-	6.56	0.04
20	36	46	180	-	500	-	8.4	1.5
25	49.2	52.3	160	260	-	200	11.9-19	0.02
20	52.9	45.3	175	331	-	-	8.2	0.087
20	32.5	48	175	438	-	100	10	1
20	35.3	45	170	193	193	96	9	1
23	34	45	170	-	400	100	11	0.8
40	55.8	36	145	260	-	-	7.8	-
20	33.9	45.2	165	487	-	-	10.2	-

표 2는 실제로 고성능(초유동, 다짐불요)의 성질을 갖는 콘크리트라고 소개되었거나 실제 시공된 배합사례를 종합한 것으로 사용목적 및 시공환경에 따라 사용재료와 배합설계가 매우 다양함을 알 수 있다.

3.2 재료 및 배합요인

3.2.1 고성능화를 위한 재료

1) 분체재료

사용시멘트로써는 보통포틀랜드시멘트를 사용하여도 필요한 물성을 얻을 수 있으나 매스콘크리트제조시 수화열의 증가가 문제시 될 수 있고, 보통포틀랜드시멘트는 성분중의 C₃A의 함유량이 8-9%로 높아 고성능감수제의 성능을 저하시키므로(감수성능저하, 슬럼프로스) 유동성확보를 위해서는 고성능감수제의 첨가량을 늘려야 하는 부담이 있다.

최근 대부분의 일본의 시멘트회사에서는 벨라이트시멘트(Belite Cement, C₃A함유량 2-5%)의 개발을 완료하고 본격 판매를 준비하고 있다(국내에서는 95년 현재 개발중임). 이 벨라이트시멘트가 실용화될 경우 초유동, 고강도, 고내구성, 저발열등의 고성능을 더욱 확실하게 달성할 수 있어 많은 건설관련회사에서 주목하고 있다.

그외의 시멘트로써는 시멘트자체의 유동성능을 높인 구상화시멘트, 입도조절시멘트등도 초유동콘크리트용으로 개발되어 있으나 국내에서는 아직 생산되지 않고 있다.

그리고 결합재로서 시멘트와 함께 플라이애쉬, 슬래그미분말을 사용하며(2종류 사용시 2성분계, 3종류 사용시 3성분계 결합재로 통칭됨) 슬래그는 분말도가 블레인 비표면적 6,000 cm²/g 이상의 미분말을 사용한다.(일반적인 슬래그시멘트에 첨가되는 슬래그의 분말도는 약 4,000cm²/g정도)슬래그 분말도가 6,000 cm²/g 이상이면 콘크리트의 유동특성이 현저하게 달라져 유동성이 비약적으로 증가되고 슬래그시멘트의 문제점인 초기강도저하도 해결이 가능하며 수화열 저감의 장점도 충분히 살릴 수 있다.⁽²⁾

따라서 최근 외국에서는 슬래그의 이러한 특성

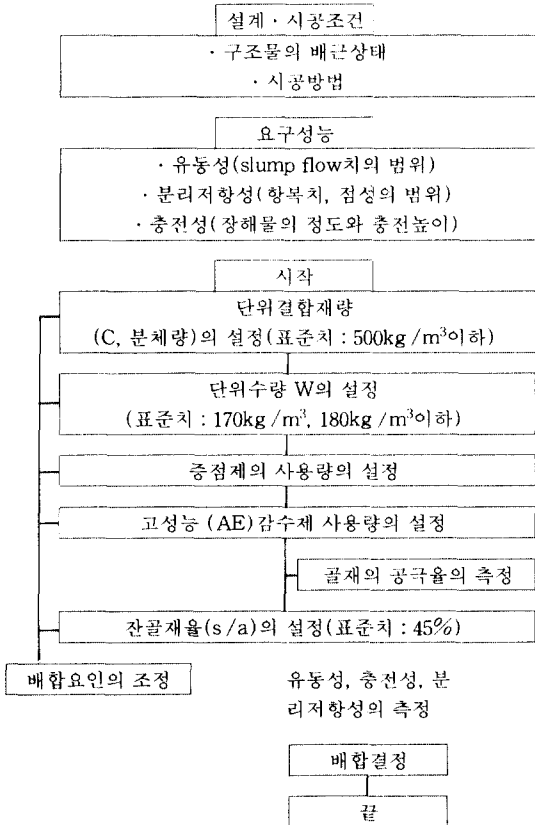


그림 2 고성능콘크리트의 배합설계 과정

에 주목하여 분말도 10,000cm²/g 이상의 초미분말을 경제적으로 얻기 위한 기술개발 경쟁이 치열한 것으로 알려지고 있다.

2) 혼화제

물분체비가 작은 조건에서 높은 유동성 확보를 위해서는 필요불가결한 것이 고성능AE감수제이다. 이것은 나프탈렌계, 멜라민계, 아나모설핀산계, 폴리칼본산계 등이 있으나 나프탈렌계의 슬럼프로스 저감형의 고성능AE감수제가 주로 사용되고 있으며 최근에는 슬럼프로스 문제를 개선한 폴리칼본산계의 것도 개발되어 그 사용이 시작되고 있다. 또한 각 혼화제 회사마다 고성능 혹은 초유동 콘크리트용 고성능AE감수제라는 이름으로 판매하고 있으나 주로 분체입자의 분산상태를 변화시켜 구속수를 감소시키는 효과와 분체입자 상호간의 접촉 마찰등에 의한 변형 유동저항을 작게하는 효과를 얻고 있다. 그러나 고성능감수제를 사용할 경우에 사용하는 시멘트 혹은 결합재와의 상호 적합성(compatibility)이 문제가 되므로 사용 전 반드시 아래에 대한 사전 검토가 필요하다.

(1) 굳지 않은 콘크리트

- 우수한 유동화성능
- 유동성의 유지능력(공기량, 분리저항성을 함유)
- 적절한 응결시간, 블리딩률
- 양호한 펌프압송성

(2) 경화후 콘크리트

- 역학적성질(압축강도, 휨강도, 인장강도, 탄성계수 등)에 악영향을 미치지 않는 것
- 건조수축, 크리이프에 악영향을 미치지 않는 것
- 내구성(내동해성, 내투수성, 중성화에 대한 저항성, 염분침투저항성)이 우수한 것

3) 분리저감제

분리저감제의 종류는 셀룰로오스계의 수용성고분자, 폴리아크릴 아미드계의 수용성고분자, 발효기술에 의해 제조되는 다당류 폴리마(바이오 폴리마)로 크게 나누어지며 페이스트 모르타르의 점성을 높이고 분리저항성을 높여 유동성, 간극통과성, 충전성을 개선시키며 잔골재의 표면수율의 변동, 골재 입도의 변동에 따른 콘크리트 품질의 변동을

감소시키는 효과나 결합재량을 감소시키는 효과가 있다.

3.2.2 배합요인

1) 물분체비

물분체비의 감소에 따라 유동성이 저하되고 시멘트페이스트의 점도는 증대되며 콘크리트의 유동속도는 감소한다. 단위분체량 및 잔골재율이 일정한 조건에서 소정의 슬럼프플로우를 지는데 필요한 고성능(AE)감수제의 사용량은 단위수량의 증가(물분체비의 증가)에 따라 감소하고 콘크리트의 점도도 저하한다. 또한 분리저감제를 첨가한 고성능콘크리트에는 단위결합재량(분체량)이 큰 쪽이 컨시스턴스가 좋아지며, 분체량을 증가시켜 물분체비를 감소시키면 시멘트페이스트의 점성이 높아지기 때문에 분리저감제의 사용량은 감소하는 경향이 있다.

2) 단위페이스트량

단위분체량의 증가로 인하여 단위페이스트량도 보통콘크리트에 비하여 증가한다. 단위페이스트량이 증가하면 골재사이의 공극을 충전하는 페이스트량이 작아지고 유동성에 기여하는 잉여페이스트량이 증가하여 유동성이 증대된다.

3) 굵은골재 최대치수와 골재의 선정

굵은 골재의 최대치수는 콘크리트의 간극통과성을 고려하여 결정한다. 일반적인 구조물에서는 20mm가 사용되나 대규모 구조물에서 철근간격이 큰 경우는 40mm로 가능하다. 잔골재와 굵은 골재는 보통콘크리트가 사용되는 곳에 사용가능하다.

4) 공기량의 설정

엔트레인드 에어는 단위수량 및 시멘트량을 감하는 효과가 있고 동결 용해작용에 대한 저항성을 높이는 것도 가능하므로 공기량은 콘크리트 용적의 4~7%로 하는 것이 좋다.

<고성능화의 수법>

페이스트의 점성을 높이는 방법으로는 수중불분리콘크리트와 같이 증점제 분리저감제를 첨가하는 방법, 미분말을 다량첨가하는 방법, 증점제와 미분말을 고용하는 방법이 있으나 공통된 재료는 유동성을 높이는 역할을 갖는 고성능(AE)감수

제이며 사용하는 굵은골재, 잔골재도(입도분포, 조립율, 입형등) 유동성증진효과를 최대한 고려하여 선정하여야 한다.

① 증점제에 의한 고성능화

증점제를 첨가하여 콘크리트의 유동성을 향상시키는 방법은 수중불분리성콘크리트와 같이 유동성을 위해서는 고성능AE감수제 및 고성능감수제, 재료분리저항성은 증점제의 첨가로 확보하고 있다. 이는 분리저항제에 의한 점성을 높여 고성능(AE)감수제에 의해 유동성을 높인 콘크리트로 분체량은 보통콘크리트와 같거나 다소 많은 정도이다. 그러나 증점제만으로 분리저항성(점성)을 컨트롤하는 것은 경제성뿐만 아니라 경화후 강도, 내구성에 있어서 그다지 바람직하지 못한 것으로 알려지고 있다.

② 분체에 의한 고성능화

페이스트중의 분체량을 증가시키면 페이스트의 항복값과 소성점도는 증가한다. 따라서 분리저항제를 사용하지 않고 분체(시멘트, 고로슬래그미분말, 플라이애쉬, 석회석 등의 미분말)를 비교적 다량으로 혼합하고 고성능(AE)감수제의 사용으로 물분체비를 작게하여 시멘트페이스트, 모르타의 점성을 적절히 높여 유동성과 분리저항성을 높인 콘크리트

③ 분체 및 증점제를 함께 사용한 고성능화

전술한 두가지 방법에 의한 고성능화 수법은 작은 골재의 표면수와 입도(조립률)에 의해 콘크리트의 유동성이 크게 변동한다고 보고되고 있다. 이에 분체와 증점제 양방의 작용을 이용하여 잔골재의 표면수나 입도에 의한 변동을 억제하는 고성능콘크리트가 제안되었다.

4. 고성능콘크리트의 성능평가 방법

고성능콘크리트의 컨시스턴스에 관계되는 성질로서 유동성, 부착성, 분리저항성, 간극통과성, 충전성 등의 5가지 성상이다. 이들은 재료성질(유동성, 분리저항성)과 재료성질에 부가하여 거푸집형상의 복잡함이나 배근등의 조건에 의해 지배되는 성질(부착성, 간극통과성, 충전성)로 구분될 수 있으나⁽³⁾ 아직 그 정의와 정량화방법, 해석등이

명확히 확립되지는 않았으나 이들 성질의 평가값을 물리적 의미의 명확한 값으로 정량적으로 나타내고 이론적으로 해석하는 것을 목적으로 굳지 않은 콘크리트 및 매트릭스 모델에 대하여 물리적 의미가 명확한 레올로지 모델을 설정하여 그 물성값을 측정하는 방향으로 접근을 시도하기도 한다.

<유동화의 매카니즘>

① 레올로지 관점에서의 고성능화

고성능콘크리트는 굳지 않은 콘크리트를 유동학적(流動學的)인 견지에서 취급하는 연구에 의하면 콘크리트의 유동성상은 Newton 점성을 나타내지 않고 어느 크기의 응력이 작용할 때까지는 유동하지 않는 비캄(bingham)체에 가까운 레올로지거동을 나타낸다.

즉, 굳지 않은 콘크리트는 응력이 아주 작은 범위에서는 탄성거동(彈性舉動)을 나타내지만 전단응력이 항복값을 넘게 되면 소성체(塑性體)로서 작은 범위기동하여 유동이 시작된다. 당초 Bingham 모델은 시멘트풀과 같이 고농도의 점성유체에 우선적으로 적용되었으나 회전점도계나 진동식점도계 등 각종 점도계를 사용해 항복(降伏)값과 소성점도(塑性粘度)를 측정하면 굳지 않은 콘크리트의 유동성상도 정량화시킬 수 있다는 착안에서 연구가 시작되었으나 굳지 않은 콘크리트가 매우 불균질하고 불안정한 복합재료이며, 관내 압송이 가능한 유체에 가까운 재료에서 RCC(Roller Compacted Concrete)와 같이 매우 硬性이 있는 재료까지 그 배합에 따라 그 성질의 변화가 현저하다는 특징을 가지고 있기 때문에 굳지 않은 콘크리트의 유동성을 일정한 모델로 표현하는데 있어서는 커다란 장애 요인이 되어 왔다.

간단한 예로 슬럼프시험은 유동학적으로 말하면 항복값을 측정하는 시험이라 할 수 있고 통상 콘크리트타설시 유동성을 좋게 하기 위해서 단위수량을 증가시키거나 유동화제를 첨가하는 것은 콘크리트가 가지고 있는 고유의 항복값을 작용의력보다 작게 하여 다짐작업을 용이하게 할 수 있도록 하는 것이며, 진동기를 사용하여 다짐작업을 한다는 것은 유동학적으로 풀이하면 타설한 콘크리트가 가지고 있는 고유의 항복값보다 더 큰 외

력을 콘크리트에 가해 상대적으로 콘크리트의 항복값을 낮추는 효과를 얻어 자기충전성이 좋도록 만드는 것을 의미한다.

소성점도(塑性粘度)가 큰 콘크리트란 재료분리가 잘 일어나지 않는 콘크리트를 의미하는데 이러한 소성점도를 크게하는 방법으로는 시멘트량을 늘리거나 증점제(增粘劑)등을 첨가시키는 방법 등이 있다.

그러나 고성능콘크리트는 고유동성과 고분리저항성등이 요구되므로 낮은 항복값과 어느 정도의 점성을 요구하므로 이 두가지 특성을 효율적으로 증진시키는 방안을 모색하는 것이 중요하다.

② 분체공학 관점에서의 고성능화

모르터중의 작은 골재의 증가로 모르터의 점도를 증가시키고 콘크리트의 철근간극통과율은 역으로 저하되다는 것을 레올로지 정수로서 설명되며 또한 粉體와 粒體의 입장에서 설명하는 것도 있다.

분체와 물은 적절한 점성을 가지고 있고 잔 골재중에는 Fresh 콘크리트중에서 시멘트 등의 분체와 같은 거동을 나타내는 $100\mu\text{m}(0.1\text{mm})$ 이하의 미분체를 함유하고 있다. 이러한 微粉부분이 많은 잔골재를 이용하는 경우에는 그 영향을 고려해서 배합설계를 할 필요가 있다. 특히 0.06mm 정도 이하의 미립의 잔골재는 배합설계상 오히려 粉體라고 생각하는것이 적당하므로 이것을 미립잔골재(微粒細骨材)라고 정의하고 일반의 잔골재와 구별한다. 한편 0.15mm 이상의 입자는 분체와의 상호작용도 거의 없고 잔골재라고 부르는 것이며 그 이하의 입경의 것과 구별하기 위하여 조립잔골재(組立細骨材)라고 정의한다. 미립과 조립의 중간에 있는 $0.06\sim 0.15\text{mm}$ 의 잔골재 입자는 양자의 중간의 성질을 가지며 분체와의 상호작용을 고려할 필요가 있다. 이것은 세립잔골재(細粒細骨材)라고 정의한다. 그러나 범용 HPC의 배합설계상 편의적으로 세립잔골재를 조립잔골재와 같이 다루어도 좋다. 또한 세립굵은골재가 많은 경우에는 그 양의 관리가 중요하며 그 양이 변화하는 경우에는 배합의 변경을 검토할 필요가 있다. 잔골재 용적의 대소는 고성능콘크리트의 충전 특성에 미치는 영향이 아주 크고 그 값을 너무 크게하면 충

전성 레벨이 좋은 것을 얻을 수 없다. 한편 이 값을 적게 하면 시멘트량과 수량의 증가를 초래하며 경화후의 콘크리트의 특성이 나빠진다.

따라서 고성능콘크리트를 실현하는데는 잔골재의 미립분을 함유한 페이스트의 적절한 점도와 굵은골재의 양이 중요하다.

4.1 변형저항성

유동성(변형저항성)은 고성능 콘크리트의 Fresh 상태에서의 변형성상의 총칭으로 레올로지정수(항복값 및 점도)로 정량화 되어지는 재료적 성질로 軟度(항복값에 관계되는 슬럼프나 슬럼프플로우로 표현)와 粘度(소성점도에 관계되고 유동속도에 영향을 미친다.)의 2성질로 표현된다.

4.2 부착성

부착성은 고성능콘크리트가 굵은골재, 철근, 거푸집 등에 부착되는 성상이고 이는 콘크리트와 부착물과의 경계면에서 미끄러짐이 생기는 최소 전단응력으로 정량화되어지는 재료 성질이다.

4.3 분리저항성

콘크리트의 재료분리저항성은 주로 굵은골재와 모르터의 분리와 블리딩에 관한 것으로 굵은골재와 모르터의 재료 분리에 대한 저항성을 정량적으로 파악하고자 하는 시도는 이전부터 행해지고 있고 특히 고성능콘크리트에 관한 연구가 활발하면서 근년에는 각종의 시험법이 실시되고 있다.

4.4 간극통과성

철근 주변부나 거푸집 사이 등의 간극을 통과할 때의 통과 차이를 나타내는 관찰성상으로 유동성, 부착성, 분리저항성이나 철근의 배근조건, 거푸집 조건 등에 의해서 지배되는 성질이다.

4.5 충전성

콘크리트의 자중에 의해서 형틀내의 모서리까

지 충전되는 성능을 나타내는 것으로서 고성능콘크리트에 요구되는 품질 중에서도 매우 중요한 항목이다. 즉 철근이 밀실히 배근된 상황에 콘크리트를 타설하는 경우 낮은 슬럼프의 일반 콘크리트로는 유동성의 부족 때문에 충전하는 것이 어렵고 단위수량을 증가시킨 높은 슬럼프의 유동성만을 가진 콘크리트로도 콘크리트 점성의 부족으로 모르타와 굵은 골재의 재료분리가 발생하여 철근 등의 장애물에 의해서 굵은 골재 입자가 골재끼리의 아칭(arching)현상에 의해 폐쇄되므로 충전성을 향상시키기가 어렵다.

5. 고성능콘크리트의 시공

초유동 콘크리트의 사용은 콘크리트 구조물의 신뢰성을 향상시키고, 타설시의 인력절감, 다짐작업에 따른 소음문제의 해소, 타설작업의 신속 진행, 시공 시스템의 해석 등으로 콘크리트 공사의 합리화와 근대화를 가능하게 한다.(그림 5 참조) 그러나 초유동 콘크리트의 시공에는 거푸집 설계, 타설 전의 검사, 펌프 압송, 콘크리트 타설 등에서 일반 콘크리트와의 차이점을 고려한 계획, 감리가 필요하다.

다음은 초유동 콘크리트의 제조 및 시공 관련 주의사항이다.⁽⁴⁾

(1) 제조 : 초유동 콘크리트는 특수혼화제를 사용하여야 하고 표면수 변동 및 온도, 사용재료의 약간의 성분 변화 등에 따라 성능이 크게 바뀌므로 엄격한 품질관리가 요구되며 특수재료를 사용하는 경우에는 사일로 및 계량시설의 증설이 필요

한 경우가 있다. 결합재량 증가로 오랜 믹싱시간이 필요하며 콘크리트 점성이 높아 믹서기 등의 세척에 시간을 요한다.

(2) 거푸집 설계 : 초유동 콘크리트를 타설하면 거푸집에는 일반 콘크리트 이상의 압력이 가해지므로 재래식으로 거푸집을 설계 보강하면 사고의 위험성이 있으므로 콘크리트 자중이 액체 압력으로 작용하는 것으로 설계하는 것이 바람직하며 거푸집 설계의 안전율을 재래에 비해 상대적으로 크게 설정할 필요가 있다.

(3) 충전성 검사 : 초유동 콘크리트는 타설 전에 실제 다짐이 필요없는가를 검사하여야 하며 타설 물량의 일부가 충전성이 나쁘면 전체 콘크리트 구조물 품질에 악영향을 미칠 수 있으므로 타설 전에 철근배근의 장애물을 통과하게 하거나 슬럼프 플로우 및 깔때기 시험을 실시하여 전체를 확인할 필요가 있다.

(4) 펌프 압송 : 초유동 콘크리트는 재료분리가 작고 변형성이 우월하나 피스톤에 의해 전달되는 축방향 압력이 유체와 같이 축방향으로 전달되어 마찰저항이 커진다. 따라서 관의 변곡부나 좁아지는 곳의 내부에서 폐쇄가 생길 가능성이 작으나 직관부에서의 압송저항은 종래의 콘크리트에 비해 크며 관내 압력손실이 큰 편이다. 종래의 기계를 사용한 펌프 압송이 가능하나 펌프 압송후 슬럼프 플로우값이 변화하는 현상이 발생하기도 한다.

(5) 타설속도 : 다짐 작업이 불필요하므로 타설 인력이 불필요하여 타설속도가 빨라지나 타설 도중에 들어간 공기가 밖으로 빠져나가기 어렵고, 콘크리트 제조속도가 따라가기 힘들고, 압송저항은 비선형적으로 크게 되므로 타설속도를 조절하여야 한다. 타설이 비연속적이거나 중단되었다가 재개될 경우 미리 타설되었던 콘크리트가 오래 방치되면 새로운 콘크리트에 의해 유동시키는데 큰 힘을 필요로 하므로 연속적인 타설이 바람직하다.

(6) 타설높이 : 초유동 콘크리트는 타설높이를 크게 할 수 있으나 거푸집에 작용하는 압력의 증대를 고려하여 거푸집을 설계할 필요가 있다. 낙하높이가 5m 정도면 콘크리트를 낙하시켜도 좋으나 최초 타설시작시에 아래에 콘크리트가 존재하

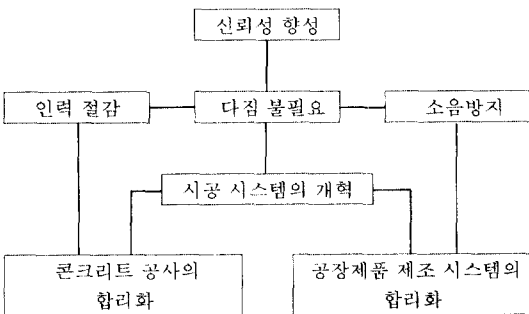


그림 5 초유동 콘크리트의 수반 효과

지 않을 경우에는 3m 정도 이상에서 낙하시키면 조골재가 분리할 가능성이 있으므로 주의해야 한다.

(7) 타설면 처리 : 초유동 콘크리트는 블리딩과 표면의 레이턴스가 거의 없어 종래의 콘크리트 타설면을 워터 제트 처리 실시한 것과 같고, 표면에 곡은골재가 존재하여 강도가 보존되므로 연약층이 없어 구조물의 내하력 상승효과를 가져온다. 그러나 블리딩이 발생이 적으므로 상대적으로 표면 마무리 작업에 있어서는 작업 능률이 떨어질 수 있다.

6. 결 론

본 고에서는 작업성의 대폭적인 향상에 중점을 둔 고성능 콘크리트에 대하여 간략하게 살펴보았다. 현재 일본에서는 건설업에서의 인력절감과 합리화를 위한 초유동 콘크리트 관련연구가 매우 급속도로 진행되고 있으며 실시공 적용도 매우 활발하게 이루어지고 있다. 최근에 국내에서도 학계 및 건설회사의 일부기관에서 이에 대한 연구가 시작되었다.

향후 사회 및 건설환경 변화에 따라 건설분야에

서도 시공 관련 기능 인력이 감소하고 있어 콘크리트 시공에 있어서도 자동화가 요구되고 있으며 사회적으로 콘크리트의 내구성에 대한 불신이 높아가고 있는 만큼 이를 위한 수요자의 요구와 건설현장 변화는 고성능 콘크리트의 개발과 시공을 통한 고유동, 고강도, 고내구성, 저발열을 동시에 만족하는 고성능 콘크리트의 사용을 증대시킬 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

1. 조일호, 한정호, 노재호, 정재능, "고성능 콘크리트 개발에 관한 실험적연구, 제1보: 초유동 콘크리트의 기초물성", 한국 콘크리트학회 논문집, Vol.5, No.2, pp.51-56, 1993.
2. 勝原浩己 ほか, "高流動コンクリートの充填性に関する基礎的研究", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.27-32, 1992.
3. 超流動コンクリート研究委員會, "超流動コンクリート研究委員會報告書(Ⅰ)", 日本コンクリート工業協會, 1993.
4. 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. 