고유동콘크리트의 개념과 품질평가방법

오 상 균 (동의대학교 건축공학과 교수, 공학박사)

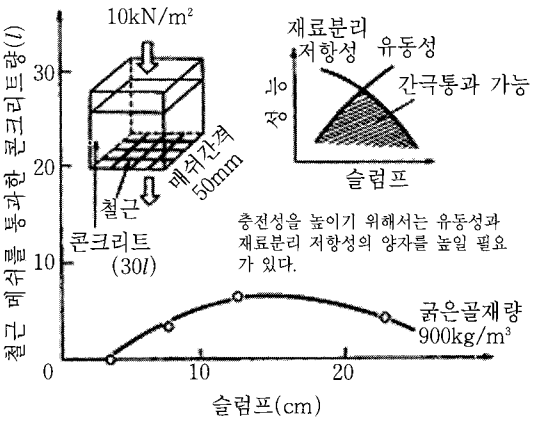
1. 서 론

고유동콘크리트란 다짐작업을 하지 않거나 거의 하지 않고도 철근이 배근되어진 거푸집속을 자기 스스로 흘러 밀실하게 충전되어지는 높은 유동성(자기충전성)과 스스로 철근이나 거푸집 사이를 통과할 수 있는 능력(간극통과성)을 가지며 또한 유동중에 과도한 재료분리를 일으키지 않고 필요로 하는 균질성을 확보할 수 있는 콘크리트를 말한다. 고유동콘크리트는 일반적으로 시멘트 혹은 시멘트와 광물질 분말인 혼화재를 다량 사용하며 고성능 AE감수제를 다량 첨가하여 단위수량을 줄이고 필요에 따라 분리저감제(증점제 등)를 적당량 첨가함으로써 굳지 않은 상태에서의 재료분리 저항성을 부여하고 슬럼프 23～27cm, 슬럼프 플로우가 50～70cm 정도이다. 또한 철근이나 거푸집 사이를 빠져나가는 간극통과성을 부여하기 위하여 굵은 골재량을 보통콘크리트 보다도 상당히 적게 한 것이다.

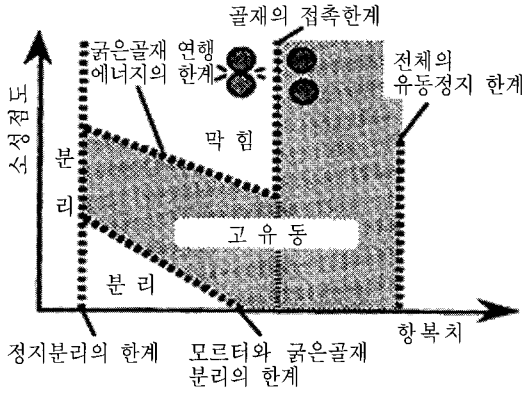
고유동콘크리트는 위에서 설명한 것처럼 기본적으로 자기충전성을 가지기 위해서 원칙적으로 콘크리트를 진동할 필요가 없고 콘크리트를 부어넣는 것만으로 작업이 간단히 완료된다. 따라서 콘크리트 공사를 대폭 생력화, 공기단축이 가능하며 또한 부어넣기 작업시의 결함도 생기지 않는다. 뿐만 아니라, 대규모 구조물의 콘크리트 부어넣기가 용이하며 금후 필요로 하는 콘크리트 공사의 기계화, 로봇화에도 대응할 수 있으리라 기대되어지므로 21세기 국내외 건설시장의 중요한 요소기술로서 자리매김할 것으로 사료되는 고유동콘크리트에 관하여, 본 보고에서는 그 개념과 성질 및 평가방법을 정리해 보기로 한다.

2. 고유동콘크리트의 개념

콘크리트가 자기충전성을 가지기 위해서는 높은 유동성과 적절한 재료분리 저항성이 필요하다. 이를 위해서는 레올로지 특성인 소성점도를 확보하면서 항복치를 작게 해야 한다. 보통콘크리트에서는 단위수량을 증대시킴으로써 항복치를 저감, 즉 슬럼프를 크게 하면 소성점도도 감소하여 재료분리를 일으킨다. 그 때문에 〈그림-1〉에 나타내는 것과 같이 간극통과성은 유동성이 커지면 오히려 떨어지게 되는 것이다. 그러므로, 고유동콘크리트의 출현 이전에는 유동성과 재료분리 저항성은 상반되는 특성이라고 생각되어져 왔던 것이다. 이러한 생각을 바꾼 것이 고유동콘크리트이며, 그 기본 개념은 증점제나 다량의 혼화재를 이용함으로써 모르터 혹은 페이스트의 점성을 높여 재료분리를 방지하면서 고성능 AE감수제의 높은 분산효과에 의해 고유동성을 확보하는 것에 있다. 또한 고성능 AE감수제의 높은 분산효과를 보다 유효하게 발휘하기 위해서는 보통포틀랜드시멘트 뿐만 아니라, 고벨리트계 시멘트나 중용열시멘트를 이용하는 예도 증가하고 있다. 이러한 시멘트는 C_4A나 C_4AF가 적기 때문에 고성능 AE감수



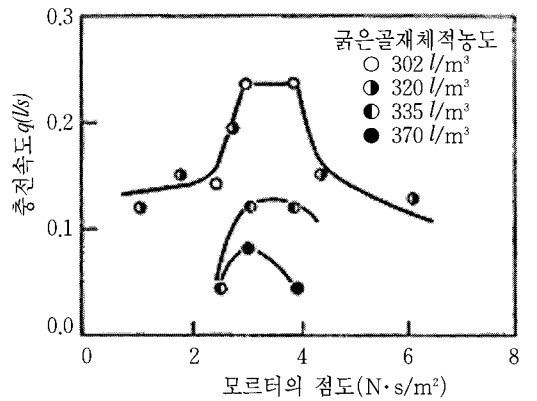
〈그림-1〉 슬럼프와 충전성의 관계



〈그림-3〉 간극통과성에 미치는 모르터의 레올로지 특성의 영향

제가 다량 흡착되지 않고 시멘트의 주요 구성화합물인 C_3S나 C_2S에 흡착하는 양이 증가하기 때문에 혼화제의 분산효과가 발휘되기 쉬워진다. 즉, 중용열 시멘트나 고벨리트계 시멘트는 고성능 AE감수제의 분산효과를 유효하게 발휘시켜 적당한 소성점도가 얻어질 수 있는 저물시멘트비에서도 항복치를 낮출 수 있기 때문에 고유동콘크리트에는 적절한 재료라고 할 수 있다.

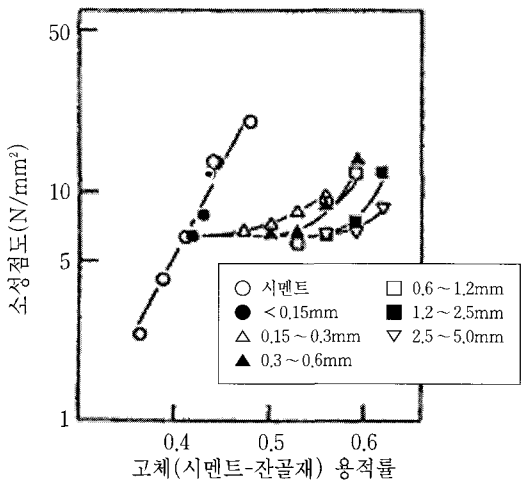
〈그림-2〉는 모르터의 점도와 철근간을 통과시킨 콘크리트의 충전성과의 관계를 나타낸다. 그림에서 충전속도는 충전성능을 표시하며 점도는 소성점도에 해당한다. 콘크리트의 충전성이 모르터의 소성점



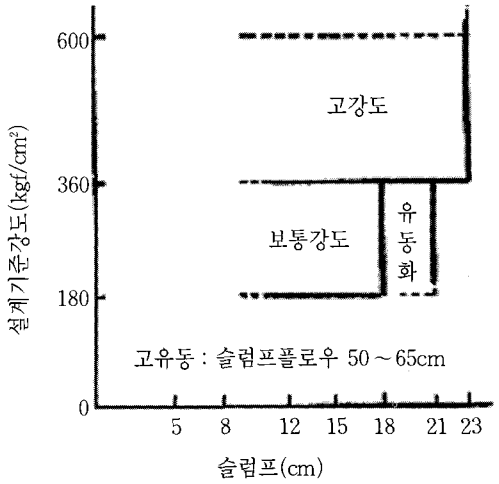
〈그림-2〉 모르터의 점도와 충전성의 관계

도에 의해 지배되는 적당한 소성점도가 존재하는 것을 알 수 있다. 즉, 소성점도가 낮은 경우에는 굵은골재와 모르터의 재료분리를 일으켜 굵은골재가 서로 마찰하므로 간극이 막히기 쉬워지며 그 때문에 충전성은 저하된다. 모르터의 소성점도가 어느 이상 높아지면 간극에서도 굵은골재는 모르터와 분리되지 않고 유동하기 때문에 충전성이 증대된다. 그러나, 소성점도가 너무 높아지면 다시 간극이 막히게 된다. 한편 콘크리트의 간극통과성에 미치는 모르터의 레올로지 특성의 영향을 정성적으로 〈그림-3〉과 같이 나타낼 수 있다.

모르터의 소성점도는 일반적으로 잔골재를 증가시키면 커진다. 〈그림-4〉는 물시멘트비 45%의 보통 페이스트에 단일 입경의 잔골재를 혼합한 경우, 잔골재의 입경이 모르터의 소성점도에 미치는 영향을, 고체(시멘트+잔골재)용적비와 소성점도의 관계로써 나타낸 것이다. 그림에서 나타내는 것과 같이 0.15mm 이상의 잔골재는 시멘트 및 0.15mm 이하의 잔골재 미분에 비해 용저증가에 따른 소성점도의 증가경향이 다르다. 즉 잔골재의 0.15mm 이하의 미립분은 용적증가에 따라 소성점도의 증가율이 시멘트만일 경우와 거의 같고 시멘트와 같은 분체로서 역할을 하고 있다. 그러나, 0.15mm 이상의 잔골재는 용적증가가 모르터의 소성점도 상승에는 선형



〈그림-4〉 고체용적율과 소성점도의 관계에 미치는 입자경의 영향



〈그림-5〉 일본건축학회 표준시방서에 따른 유동성과 설계기준강도의 관계

적이지 않다. 즉 굵은골재와 같은 입상체로서 거동하는 것이다.

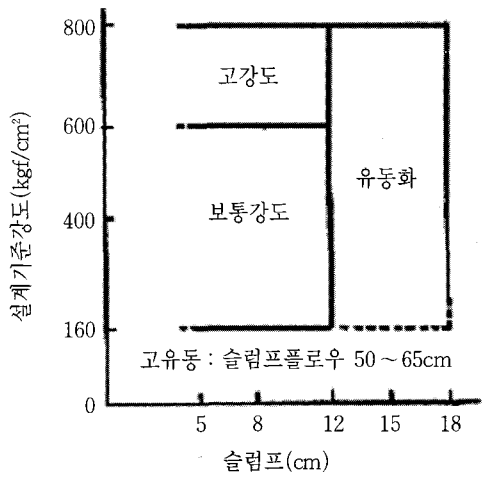
그러므로, 모르터의 소성점도를 효과적으로 증가시키기 위해서는 분체량의 증가가 필요하다 할 수 있다. 또, 이러한 사실로부터 모르터 중의 잔골재량을 증가시키는 것은 반드시 콘크리트의 재료분리를 억제한다고도 말할 수 없을 것이다.

3. 고유동콘크리트의 개발

1980년대 후반, 설계기준강도가 420~480kgf/cm²의 고강도콘크리트를 이용한 25~30층의 고층 RC조 건축물이 건설되어 종래의 철근콘크리트조의 이미지를 새롭게 했다. 그 배경으로는 압축강도가 500~600kgf/cm², 슬럼프가 18~21cm² 정도로 시공성이 좋은 고강도콘크리트의 제조 및 시공기술의 개발을 들 수 있다.

물시멘트비를 낮추면 강도는 높아지지만, 된비빔이 되므로 시공성이 저하된다. 굳지 않은 콘크리트가 압송펌프내에서 막히기 쉬워지고 따라서 압송성은 떨어지게 되는 것이다. 그 때문에 공장에서 첨가하던 슬럼프로스 저감형 고성능 AE감수제 등이 개발되어 고강도콘크리트의 현장 부어넣기 기술이 비약적으로 향상되었다. 〈그림-5〉은 일본건축학회 표준시방서(JASS 5)에 있어서 슬럼프치와 설계기준강도와의 관계를 나타내는 것이다.

강도의 범위는 360~600kgf/cm²이며 다짐이 불필요한 고유동콘크리트는 슬럼프플로우를 50~65cm로 하고 있다. 한편, 〈그림-6〉는 일본토목학



〈그림-6〉 일본토목학회 표준시방서에 따른 유동성과 설계기준강도의 관계

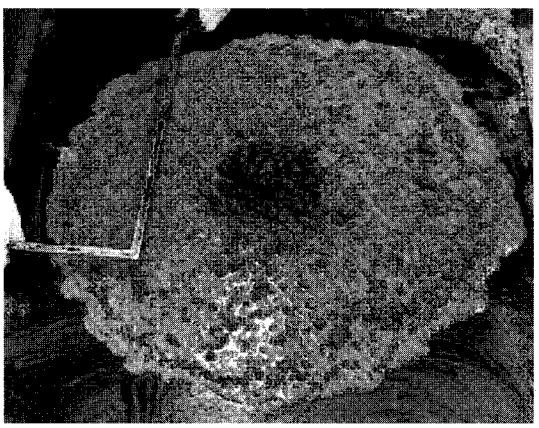
회 표준시방서에 규정하고 있는 것으로 일본에서의 토목구조물에서는 과거로부터 된비빔콘크리트가 채용되어 왔으며 보통강도(600kgf/cm² 이하)와 고강도(600～800kgf/cm²)에서 슬럼프치는 다르지 않고 상한계와 모두 12cm이다. 이것은 건축의 경우와 크게 다른 점이다.

그리고 수중불분리콘크리트로부터 힌트를 얻은 고유동콘크리트를 건축에서와 같이 50～65cm로 하고 있다.

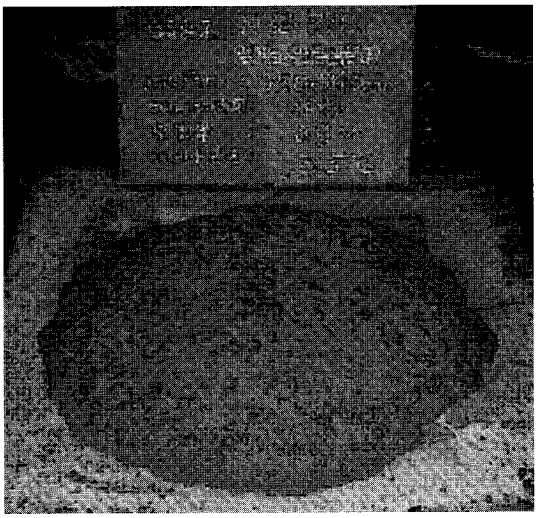
4. 고유동콘크리트의 품질

가. 워커빌리티

고유동콘크리트는 굳지 않은 상태의 유동성을 슬럼프플로우치로 나타내며 50cm 이상 70cm 이하를 목표로 한다. 70cm를 넘으면 압송중이나 부어넣기 중에 재료분리가 생길 가능성이 있으며, 이와 반대로 50cm를 밑돌면 부어넣기시에 충전성에 지장이 생길 가능성이 있다. 굳지 않은 콘크리트의 재료분리 저항성은 슬럼프플로우시험 후의 콘크리트 상태에 따라 〈사진-1〉, 〈사진-2〉과 같이 확인되며, 주로 슬럼프플로우 속도로 표현되어진다. 또한 원통관입시험 등의 신뢰성을 지닌 방법들에 의해 평가할 수 있으나, 아직 확실한 방법이 규정되지 않고 있으며 기본적으로 눈으로 확인한다.



〈사진-1〉 재료분리에 의한 굵은골재의 편재



〈사진-2〉 페이스트 혹은 결합수와 골재의 재료분리

① 콘크리트 중앙부에 굵은골재가 편재하고 있는가

② 콘크리트 주변부에 페이스트나 유리하고 있는 물이 편재하고 있는가

나. 블리딩

굳지 않은 콘크리트의 블리딩량은 KS F 2414(콘크리트의 블리딩 시험방법)에 의해 시험하여 0.3cm³/cm² 이하로 한다.

다. 침강

특히 프리캐스트콘크리트 구조의 접합부나 강관콘크리트의 충전에 이용하는 경우, 침강에 의한 결함이 생기기 쉽다.

굳지 않은 콘크리트의 침강량은 규정되어진 시험방법이 없으나 높이 1m 정도의 거푸집을 시험 제작하여 콘크리트의 부어넣고, 부어넣은 직후의 블리딩이 종료하고 응결이 시작할 때까지의 침강량을 측정

하여 판단하는 방법이 있다.

라. 응결시간

응결시간 측정에는 고유동콘크리트만의 방법이 특별히 없으며 시발 20시간 이내를 목표로 하지만 특별한 시방이 규정되어 있으면 그것에 따른다.

굳지 않은 콘크리트의 응결시간은 시공성에 큰 영향을 미친다. 응결시간이 짧으면 마감작업에 지장이 있으며 길면 공정지연의 원인이 되므로 응결시간은 시공조건이나 시공계획에 맞추어 적절하게 설정할 필요가 있다.

혼화제의 종류나 사용량, 양생온도 등에 의해 조절하기도 하지만 일반적으로 고유동콘크리트는 응결시간이 길어지는 경향이 있으며 특히 겨울철 공사의 콘크리트 부어넣기에 있어서는 충분한 시공계획상의 배려가 요구되어진다.

마. 초기강도

콘크리트의 초기강도는 성형 후에 온도 20℃로 보존한 공시체의 24시간 압축강도로 시험하여 50kgf/cm^2 이상의 강도를 목표로 하지만 특별히 시방이 정해져 있는 경우에는 그에 따른다. 콘크리트의 강도발현은 주로 양생온도에 의해 좌우되며 특히 거푸집 동바리를 조기에 철거하는 공정을 세울 경우나 슬라이딩폼공법을 채용하는 경우 등은 초기강도의 발현이 매우 중요하다. 반대로 장기강도를 중시하여 저발열시멘트 등을 사용할 경우는 상기의 값을 만족하지 않을 수도 있으며 시공계획상의 충분한 검토가 필요하다.

바. 수화열

수화열 상승은 콘크리트의 균열을 가져오므로 콘크리트구조체에 악영향을 미치지 않는 범위로 관리할 필요가 있다. 콘크리트의 수화열에 의한 온도상승을 좌우하는 요인은 시멘트의 종류나 배합, 부재의 크기, 환경조건 등 다양하나 주로 시멘트의 성분조성, 분말도, 단위시멘트(결합재)량 등을 들 수 있다. 온도상승 추정치가 과대해질 경우에는

- 저발열량의 시멘트를 선택한다.
- AE감수제·고성능 AE감수제 지연형을 사용한다.
- 단위시멘트(결합재)량을 되도록 적게 한다.
- 단위수량·잔골재율을 되도록 작게 한다.
- 강도관리 재령을 길게 한다.

등의 방법이 있다.

사. 압축강도

표준양생한 콘크리트의 28일 압축강도는 250kgf/cm^2 이상으로 하고, 구조체콘크리트의 압축강도가 설계기준강도를 상회할 필요가 있다.

아. 영계수

고유동콘크리트에서는 단위굵은골재량이 적고 혼화재를 이용하므로 영계수가 작아지는 단점이 있다. 그 때문에 영계수는 표준양생한 재령 28일에 있어서 200,000kgf/cm^2 이상, 또는 동일 골재를 이용한 비교용 콘크리트에 대해서 90% 이상으로 한다.

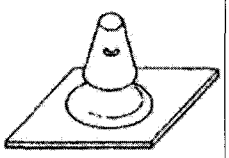
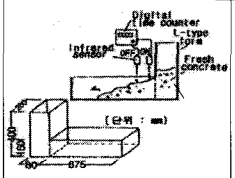
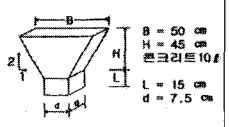
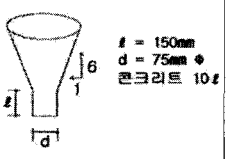
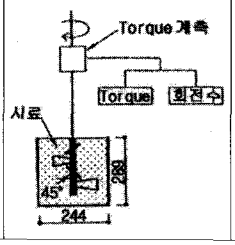
자. 건조수축 · 자기수축

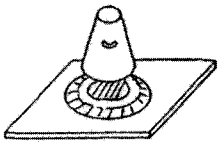
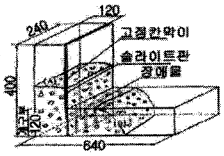
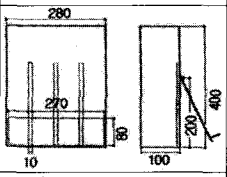
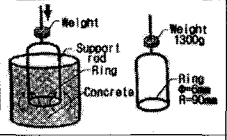
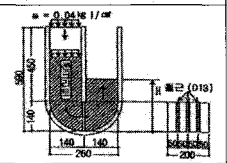
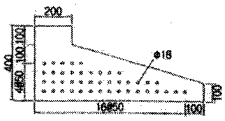
(1) 건조수축

고유동콘크리트는 재료분리 저항성을 높이기 위해서 분체량을 증가시키든지 단위굵은골재량을 적게하는 경향이 있으므로 건조수축은 보통의 콘크리트에 비해 생기기 쉽다. 내구성상 유해한 균열의 발생을 피하지 않으면 안되지만 그를 위해서 건조수축의 표준치는 구조형식이나 입지조건, 부재의 크기 등에 따라 다르므로 일단 목표를 정한다.

즉, 재령 7일까지 표준양생한 공시체를 온도 20±

〈표-1〉 대표적인 컨시스텐시 평가시험방법

특성	시험명	시 험 장 치	현장 적용성
유동성	슬럼프 플로우 시험		간편, 배합시험·현장 관리시험에 적용가능
	L 플로우 시험		비교적간편, 배합시험에 적용가능
	V로트 시험		간편, 배합시험·현장 관리시험에 적용가능
	O로트 시험		간편, 배합시험·현장 관리시험에 적용가능
	회전 날개형 시험		장치가 필요, 배합시험에 적용가능

특성	시험명	시 험 장 치	현장 적용성
분리저항성	슬럼프 플로우 시험		배합시험에 적용가능
	L 플로우 철근통과 시험		배합시험에 적용가능
간극통과성	철근 통과성 시험		질량측정 필요, 배합시험에 적용가능
	링관입 시험		간편, 배합시험·현장 관리시험에 적용가능
	U형 충전성 시험		비교적 간편, 배합시험에 적용가능
충전성	과밀배근 충전성 시험		시료 다량 필요, 배합시험에 적용가능

2℃, 상대습도60±5%의 환경조건에서 건조기간 6개월간 모르터 및 콘크리트의 길이변화 실험을 하여 8×10^{-4} 이하, 또는 동일 골재의 비교용 콘크리트에 대해 110% 이하를 목표로 한다.

(2) 자기수축

분체량이 많은 콘크리트는 경화와 함께 자기수축이 비교적 크고 균열발생 일수가 빨라지는 경향이 있다. 자기수축의 표준적인 시험방법은 아직 규정되어있지 않지만 일본콘크리트학회의 「고유동콘크리트의 자기수축 시험방법」이 자주 이용되어진다.

5. 컨시스텐시 품질평가방법

고유동콘크리트의 컨시스텐시에 관련되는 각종 성질 중 고유동콘크리트에 요구되어지는 본래의 성능으로부터 볼 때 유동성, 분리저항성, 간극통과성 및 충전성이 특히 중요시 되어진다. 〈표-1〉은 고유동콘크리트의 컨시스텐시에 관련된 성질들을 평가하기 위해 지금까지 제안·시행되어진 대표적인 시험방법을 특성의 정의, 시험장치, 현장 적용성 등에 관해 간략하게 정리할 수 있다.