

유동화 콘크리트에 관한 고찰

김 화 중

(경북대학교 건축공학과 부교수)

1. 서 론

1. 1 배경

구조용 콘크리트에 있어 가장 중요한 두가지 요소는 강도(strength)와 작업성(workability)이다. 강도는 콘크리트가 구조체를 이루면서 하중을 지지할 수 있는 능력의 척도로서, 여러가지 요인에 기인하고 있으나 물-시멘트비와 가장 밀접한 관계를 갖고 있다. 그러나 낮은 물-시멘트비는 강도를 증진시키거나 콘크리트의 작업성을 악화시킴으로써 실제 시공에 여러가지 문제점을 야기시킨다. 이와 같이 서로 이율배반적인 관계에 있는 강도와 작업성을 모두 확보하는 방안으로서 유동화 콘크리트의 사용이 제시되었다. 즉, 유동화 콘크리트란 이미 비벼진 낮은 물-시멘트비의 콘크리트에 시멘트 입자를 분산시키는 성능이 높은 혼화제를 첨가하여 유동성을 높인 콘크리트이다.

유동화 콘크리트는 1970년대 초 서독에서 된 비빔 콘크리트의 작업성을 개선시킬 목적으로 개발되어 1970년대 초, 중반에 제조 및 시공에 관한 지침이 작성되었고, 최근에는 고강도 콘크리트의 개발과 우수한 혼화제의 제조에 힘입어 유럽, 미국 및 일본에서 활발히 연구되어 실제

시공에 사용되고 있는데 유동화 콘크리트의 필요성과 현장적용이 가능했던 요인들을 다음의 몇가지 점에서 고찰할 수 있다.

① 제조공장에서 만들어진 콘크리트를 현장까지 콘크리트 차로 운반하는 데에는 1시간 또는 경우에 따라서 그 이상의 시간이 소요된다. 시간이 지남에 따라서 굳기 시작하는 콘크리트는 작업성이 떨어지기 때문에 현장 도착시 필요한 작업성을 얻기 위하여 재래의 공법에서는 물을 추가하여 되비빔을 하였는데 이때에는 강도의 저하가 필연적으로 발생하게 된다. 따라서 강도를 저하시키지 않으면서 소요의 작업성을 얻기 위해서는 물 대신에 적정량의 유동화제를 혼입하여 되비빔은 유동화 콘크리트공법이 필요하게 되었다.

② 콘크리트 펌프는 콘크리트의 효율적인 시공면에서 획기적인 장비이나 콘크리트 펌프의 압송능력에는 한계가 있어 압송부하를 줄이기 위해서는 높은 작업성의 콘크리트 사용이 요구된다. 그러나 종래의 공법에 의한 작업성이 좋은 콘크리트는 물-시멘트비가 일반적으로 60%를 넘어 품질이 떨어지기 때문에 콘크리트 펌프의 사용에서도 콘크리트 작업성과 품질의 이율배반성이 상존하여 콘크리트의 유동화가 전개되어야 한다.

③ 고강도 콘크리트는 좋은 품질의 시멘트 및 골재의 사용과 함께 낮은 물-시멘트비가 요구된다. 50%를 넘는 물-시멘트비로는 350kg/cm²이상의 강도를 얻기 힘들고 40%이하의 물-시멘트비로는 적업성이 낮아 특히 고강도가 요구되는 기둥의 콘크리트 치기에는 거푸집의 길이가 길고 공간이 좁아 거푸집 채움에 문제가 생긴다. 이러한 고강도 콘크리트의 시공에는 시멘트 입자를 분산시켜 거푸집과의 마찰을 줄이면서 유동성을 높이는 콘크리트의 유동화가 요구되고 있다.

④ 교량의 교각이나 항만의 도크 또는 콘크리트 댐과 같은 매스(mass)콘크리트에서는, 시멘트의 수화작용에 의하여 발생하는 수화열 때문에 균열 등의 손상을 입는 경우가 많다. 매스콘크리트의 수화열을 줄이기 위해서는 단위시멘트량을 줄여야 하며, 단위 시멘트량을 줄이는 것은 주어진 물-시멘트에서 단위수량을 줄이는 것을 의미하기 때문에 콘크리트의 작업성이 악화된다. 따라서 매스 콘크리트에서도 유동화 콘크리트는 수화발열량의 억제에 매우 효율적인 공법이 된다.

위에서 고찰한 바와 같이 유동화 콘크리트는 콘크리트의 작업성, 강도증진 및 수화열 억제의 면에서 매우 효율이 높아 최근의 시공에서는 콘크리트의 유동화에 대한 필요성이 점점 더 증가하고 있다.

1. 2 국외 현황

시멘트의 입자를 분산시킬 수 있는 고유동화제는 이미 1964년경 서독과 일본에서 상업용으로 개발되었으며 영국과 미국에서는 각각 1972년과 1976년에 도입되었다.

1970년대 초 독일에서는 고강도 콘크리트나 감수 콘크리트 제조시 적절량의 고유동화제를 사용하면 응결지연작용이나 공기의 과잉연행작용 등 콘크리트에 유해한 영향을 끼치지 않고 같은 단위수량을 사용한 콘크리트에 비하여 작업성을 크게 증가시킬 수 있는 점에 착안하여

1971년 된비빔 콘크리트의 작업성 개선을 목적으로 유동화 콘크리트가 본격적으로 고안되었으며, 1974년에는 서독 철근콘크리트 협의회 위원회에 의하여 유동화 콘크리트의 제조와 시공에 관한 지침이 작성되었다.

서독은 유동화 콘크리트의 실용화와 보급에서 가장 앞서 유동화 콘크리트의 점유비율이 1970년대 말에는 전체 콘크리트의 50%를 차지하였으며 이러한 비율은 특히 고강도 콘크리트에 두드러져 500kg/cm²이상의 고강도 콘크리트에서는 거의 90%이상이 유동화 콘크리트로 제조되고 있는 실정이다.

1. 3 국내 현황

유동화 콘크리트에 대한 국내 현황은 연구, 시공, 표준작성면에서 모두 현재로서는 특기할 만한 것이 없는 실정이다. 고유동화제는 1970년대 후반부터 주로 서독과 일본에서 수입되어 시공에 일부 사용되었으나 근년에는 국내, 국외 요업학회에서 이 분야에 대한 연구가 체계적으로 이루어지고 있고 일부는 제품으로 개발되어 국내에서 제조하여 시판되고 있다. 그러나 아직도 많은 양을 수입에 의존하고 있어 유동화 콘크리트를 위한 고유동화제의 국내개발 및 보급이 더욱 요구되고 있다.

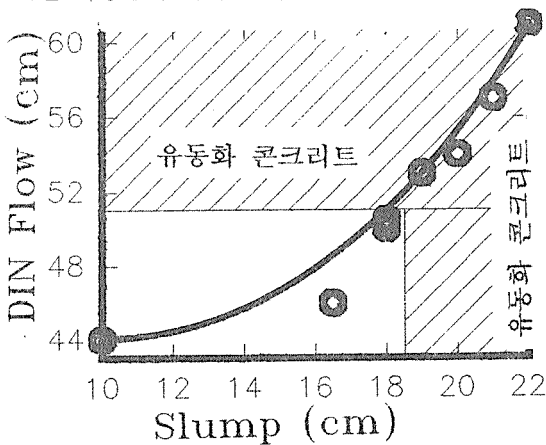
전반적으로 유동화 콘크리트의 사용에 대한 이점을 살리기 위해서는 고유동화제의 제조, 유동화 콘크리트 특성의 연구 및 실험, 실험결과와 작업성을 고려한 사용지침의 작성 및 이에 따른 시공분야의 활동 등이 보조를 이루어야 하며 이러한 관점에서 이 분야에 대한 유기적인 관계유지와 연구 및 시공의 활성화가 요구된다.

2. 유동화 콘크리트에 관한 기본 고찰

2. 1 유동화 콘크리트의 정의

일반적으로 '유동화 콘크리트'라는 명칭은 현

재에 토목·건축분야에서 많이 통용이 되고 있으며, 유동화 콘크리트라는 단어는 일본 건축학회의 유동화 콘크리트지침에 의하면 “미리 비벼 놓은 비교적 된 비빔 콘크리트에 유동화제를 첨가하여 유동성을 일시적으로 증대시킨 콘크리트” 라고 정의하고 있다. 그리고, 유동화 콘크리트의 규격에 대해서는 각국이 나름대로 규정하고 있으며, 서독의 유동화 콘크리트 지침안에 의하면 유동화 콘크리트(fliessbeton)는 consistency가 K₂ 영역(DIN flow 값 40cm 이하)의 위쪽으로부터 K₃영역(DIN flow 값 41~50cm)아래쪽에 속하는 콘크리트(슬럼프값 약 5~10cm의 콘크리트)를 콘크리트 믹스 차에 의해 수송한 후, 타설 직전 고유동화제를 첨가하여 1~5분간 비벼 DIN flow 값 51~60cm(슬럼프값 18~22cm에 해당)까지 유동화시킨 콘크리트로서 플라스틱하고 유동이 용이하며 골재분리에 대한 저항성이 커야 한다고 규정하고 있다.



〈그림 1〉 슬럼프 및 DIN Flow에 의한 유동화 콘크리트의 정의

영국의 시멘트 콘크리트 협회의 보고서에 의하면, 유동화 콘크리트는 고유동화제를 혼합하여 제조된 슬럼프값 20cm 이상, compacting factor가 0.98, DIN flow 값 51~62cm의 범위에서 현저한 블리딩 현상 및 분리, 응결지연 및 과도한 공기연행이 없는 콘크리트로 정의하고 있다. 또한 영국에서는 단위수량을 크게 줄인 콘크리트,

즉 감수 콘크리트(water-reduced concrete)와 유동화 콘크리트(flowing concrete)를 구별하고 있으며, 보통 슬럼프값 8~15cm의 콘크리트가 고유동화제를 첨가한 후 슬럼프값 18~23cm의 콘크리트로 될때 유동화 콘크리트라고 대개 규정하고 있다.

2. 2 유동화 콘크리트의 유동화 특성

일반적으로 유동화 콘크리트의 슬럼프 감소 정도는 베이스 콘크리트의 슬럼프값에 크게 좌우된다. 그러나 적절한 혼화제를 선택하여 사용하게 되면 이러한 성질을 어느 정도 개선할 수 있게 된다.

이에 대한 유동화 콘크리트의 특성을 표로 정리하면 [표-1]과 같다.

[표-1] 유동화 콘크리트의 특성

항 목	유동화 콘크리트
요구성능	유동성
slump치	15~18cm
실험항목	slump 시험
사용혼화제	AE감수제
점 성	시멘트 페이스트의 점성이 낮아 재료분리가 일어나기 쉽다.
혼화제투입방식	후첨가 방식
Slump치의 경시 변화	Slump치의 경시변화가 매우 크다.
Bleeding 현상	Bleeding현상이 발생한다.
결합재	포틀랜드 시멘트
배합성분	-

2. 3 고유동화제

2. 3. 1 종류

고유동화제의 종류는 일반적으로 크게 다음과 같이 3종류로 분류된다.

1) sulfonated melamine formaldehyde

condensates
 2) sulfonated naphthalene formaldehyde condensates
 3) modified lignosulfonates
 멜라민 계통의 고유동화제는 독일에서 개발되었으며 대표적인 제품으로 Melment L10이 있다. 이 제품은 1,100kg/m³인 20% 농도의 수용

액 상태로 보통 사용하며, 색상은 거의 투명하고 염화물 함량은 약 0.005% 정도이다.

나프탈린 계통은 고유동화제는 일본에서 연구, 개발되었는데, 가장 유명한 제품으로는 일본산인 Mighty 150이 있으며, 미국산으로는 Lomar D, Sikament 등이 있다. Mighty 150의 색상은 짙은 갈색으로 비중이 1,200kg/m³인

〈표 2〉 국내산 유동화제의 종류, 주성분 및 첨가량

(a) 유동화제(표준형)

상 품 명	주 성 분	성 질	제작회사 시판회사
LIGNAL-SP	NAPHTHALENE	비중 : 1.18±0.02 상태 : 액체 PH : 7	(주) 대주상사
HINOL-FI	NAPHTHALENE	비중 : 1.18±0.02 상태 : 액체 PH : 7-10	삼용유화공업
RHEOBUILD D100	NAPHTHALENE	비중 : 1.20 상태 : 액체 PH : 7.7±0.5	코리아마스터빌더스
MIGHTY FD100	나프탈렌 포르말린 특수계면 활성제	비중 : 1.19-1.2 상태 : 액체 PH : 9-11	동양마이티 상사
SIKAMENT	나프탈렌 포름알데히드축합물	비중 : 1.18±0.02 상태 : 액체 PH : 9-1.0	이건설업 (주)
PHOENIX HIGH CONC	NAPHTHALENE	비중 : 1.18±0.02 상태 : 액체 PH : 8.8-0.5	진용화학
SR-SM	NAPHTHALENE	비중 : 1.25±0.02 상태 : 액체 PH : 8-10	안암기업(주)
DARACEM	NAPHTHALENE	비중 : 1.165 상태 : 액체 PH : 8-10	한국그레이스
CONPLAST 337	SULPHONATED NAPHTHALENE	비중 : 1.195 상태 : 액체 PH : 6.5	한국세이코(주)
MARBOS SUPER-1	멜란트계	비중 : 1.212 상태 : 액상 PH : 9.0	대동마보스

(b) 유동화제(지연형)

상 품 명	주 성 분	성 질	제작회사 시판회사
LIGNAL-SPR	NAPHTHALENE	비중 : 1.18±0.02 상태 : 액체 PH : 7	(주) 대주상사
RHEOBUILD 716	NAPHTHALENE	비중 : 1.18 상태 : 액체 PH : 7-9.5	코리아마스터빌더스
MIGHTY 150 RX	나프탈렌 포르말린 특수계면 활성제	비중 : 1.18-1.20 상태 : 액체 PH : 8-10	동양마이티 상사
SIKAMENT-R	나프탈렌 포름알데히드축합물	비중 : 1.20±0.02 상태 : 액체 PH : 9.0+1.0	이건설업 (주)
SR-SMR	NAPHTHALENE	비중 : 1.25±0.02 상태 : 액체 PH : 8-10	안암기업(주)
PHOENIX HIGH CONC-R	NAPHTHALENE	비중 : 1.18±0.03 상태 : 액체 PH : 8.5±0.5	진용화학(주)
CONPLAST 423	SULPHONATED NAPHTHALENE	비중 : 1.2 상태 : 액체 PH : 6.3	한국세이코(주)

42%의 수용액 상태로 보통 사용되고 있으며 염화물 함량은 무시할 수 있을 정도이다.

변형 리그닌 설폰산 계통의 고유동화제로 가장 널리 알려진 제품은 캐나다산인 Mulcoplast이다. 이 제품은 비중이 1,100kg/m³인 20%의 수용액 상태로 보통 사용하며 색상은 옅은 갈색이다. 또한 염화물은 전혀 포함하고 있지 않다. 국내 시판되고 있는 유동화제에 대해서는 아래 표-2와 같다.

2. 3. 2 작용형태

일반적으로 고유동화제는 모두 RSO₃⁻ 형태의 유기화합물로 이루어져 있으며, 여기서 R은 고분자로 이루어진 복잡한 유기조직이다.

Cement and Concrete Association의 보고에 따르면, 고유동화제의 작용형태는 다음과 같이 설명된다. “고유동화제는 시멘트 입자에 흡수되어 그것의 음이온적 성질에 의해 시멘트 입자에 음전기를 띄게 하여 상호 반발하게 하는 작용을 하며, 흡수와 분산효과는 원칙적으로 보통의 음이온 plasticizer와 유사하다.” 또는 Daiman & Roy의 연구에 의하면 고유동화제의 감수효과는 주로 시멘트 표면으로의 계면활성제 흡수작용으로 인한 zeta potential의 변화에 기인한다고 한다.

일반적인 고유동화제의 작용형태를 요약하면 다음과 같다.

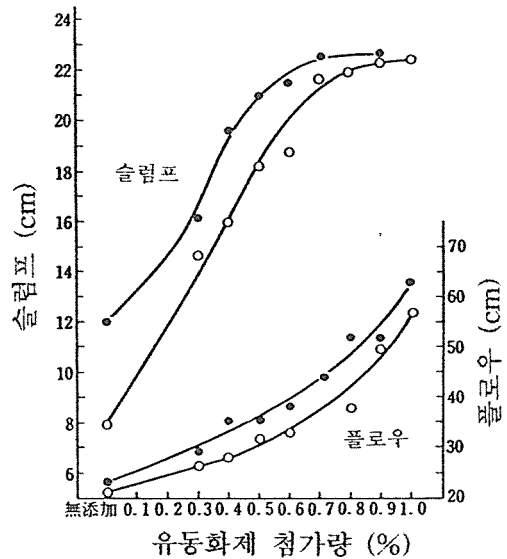
- 1) 물의 표면장력을 저하시켜, 그 결과 시멘트 입자에 대하여 습윤작용을 하여 시멘트 응집체를 없애준다.
- 2) 표면활성작용에 의하여 입자의 표면에 흡착되어 시멘트 입자가 반발하여 분산하도록 한다.
- 3) 시멘트 입자의 표면에 매끄러운 막을 형성하여 slip action에 의해 시멘트풀의 유동성을 증가시킨다.
- 4) 염화물을 전혀 혹은 거의 포함하고 있지 않으므로 강재에 대한 부식성이 없다.
- 5) 비공기연행성이다.

2. 3. 3 유동화 효과

2. 3. 3. 1 첨가량에 따른 효과

일반적으로 베이스 콘크리트에 고유동화제의 첨가량을 증가시키면 슬럼프는 비례적으로 증가한다. 그러나 그림 2에서 보는 바와 같이 슬럼프가 어떤 한계값에 이르게 되면 증가가 둔화되며 23~24cm 정도에서 더 이상 증가하지 않고 수렴한다.

베이스 콘크리트의 슬럼프값보다 8~10cm 정도 증가시키기 위한 대표적인 고유동화제의 첨가량은 시멘트 중량에 대해 멜라민 설폰산염계는 1~2% 정도, 나프탈린 설폰산염계는 0.5~0.7% 정도가 필요하다.



〈그림 2〉 유동화제 첨가량에 따른 슬럼프·플로우 변화

2. 3. 3. 2 첨가시에 따른 효과

유동화 콘크리트의 슬럼프 증가에 대한 첨가 시기의 효과는 베이스 콘크리트가 비벼진 직후부터 60분까지는 큰 차이가 나지 않는다. 또 몇몇 실험결과에 의하면 이러한 경향은 90분까지도 지속되는 것으로 나타나고 있다. 그러나 일단 고유동화제를 첨가하여 비벼진 콘크리트는 시간의 흐름에 따라 슬럼프값의 저하가 현저하

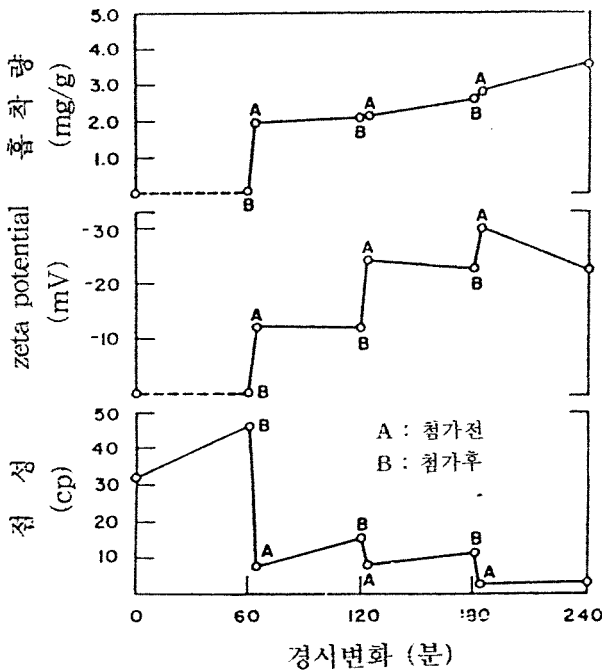
게 일어난다. 이러한 성질을 고려할 때, 유동화 콘크리트 제조시 고유동화제의 첨가시기는 콘크리트 타설 직전이 가장 좋다고 할 수 있겠다. 그러나 서중 콘크리트의 경우 베이스 콘크리트 자체의 슬럼프값 저하가 매우 크므로 이에 대한 주의가 요망된다.

2. 3. 4 슬럼프 감소에 영향을 주는 인자

2. 3. 4. 1 고유동화제의 재첨가

유동화 콘크리트의 시간에 따른 급격한 슬럼프 감소현상을 해결하기 위해 고유동화제 재첨가 방법을 사용할 수 있다. 일반적으로 고유동화제를 재첨가하면 수시간 동안 높은 슬럼프 값을 유지할 수 있다.

그러나 2번 이상의 재첨가는 보통 바람직한 방법이 못되는데, 그 이유는 2번 이상 고유동화제를 재첨가하게 되면 콘크리트의 반죽질기 (consistency)는 유지되어도 작업성은 감소하기 때문이다.

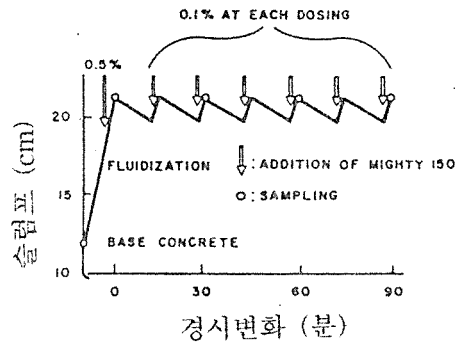


(그림 3) 고유동화제를 재첨가했을 때의 유동특성

그림-3은 나프탈린계 고유동화제를 반복적으로 재첨가한 시멘트풀의 유동특성을 나타낸 것인데, 매 첨가시마다 흡착량과 zeta potential은 증가하는 반면에 점성은 감소하고 있다.

그림에서 알 수 있듯이 굳어진 시멘트 입자를 재분산시키려면 이전의 첨가시보다 더높은 zeta potential을 필요로 한다.

그림-4는 초기 첨가량의 20%를 계속 재첨가하여 콘크리트가 슬럼프값 200mm 정도를 유지하도록 했을 때의 슬럼프 경시변화를 나타내고 있다.



(그림 4) 고유동화제의 반복첨가

2. 3. 4. 2 플라이애쉬 첨가

Ryan & Munn은 콘크리트중의 시멘트 일부 또는 전부를 동일한 부피의 플라이애쉬와 교체하여 유동화 콘크리트의 유동특성이 콘크리트 배합성분의 물리적 또는 화학적 변화에 의해 영향을 받는지에 대해서 연구하였다.

연구결과에 의하면, 시간에 따른 슬럼프 감소는 시멘트와 플라이애쉬를 혼합해서 사용할 때는 혼합비율에 관계없이 그다지 큰 영향을 받지 않는다고 한다. 그러나 시멘트 전부를 플라이애쉬로 교체했을 때는, 고유동화제의 첨가에 따른 초기 슬럼프 증가현상은 다른 배합들과 유사하나 슬럼프 감소정도는 100% 시멘트인 배합 및 시멘트와 플라이애쉬 혼합배합에 비하여 크게 감소하였다.

Ryan & Munn은 이와같은 사실에 근거하

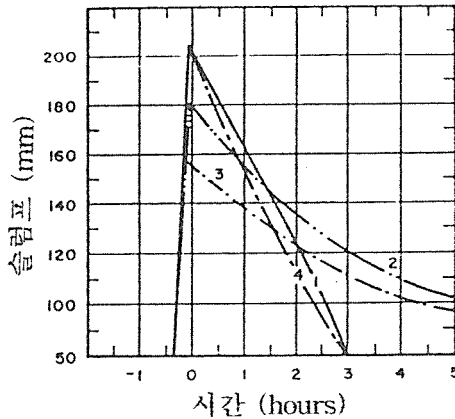
여 고유동화제의 초기 유동화 효과는 물리적 특성에 의한 효과이나, 그후에는 시멘트(또는 석회)와 고유동화제 사이의 화학적 상호작용에 의하여 유동화 콘크리트의 유동특성을 나타낸다고 결론지었다.

2. 3. 4. 3 시멘트의 황산염(SO₃) 함유량

Khalil & Ward는 고유동화제를 사용한 콘크리트의 황산염 함유량에 따른 슬럼프 감소효과를 연구하였다.

이 연구에 의하면 상온과 고온에서 슬럼프 감소를 최소화하는 최적 SO₃ 함유량의 범위가 존재한다. 한 예를 들어, 40℃의 온도에서 개량된 비빔은 비빔후 60분까지 슬럼프값의 감소가 상대적으로 적은 반면에, 일반적인 비빔은 비빔수 30분부터 슬럼프값이 급격히 감소하였다.

또한 최적황산염량에서는 콘크리트의 단기 및 장기 압축강도가 약12%정도 증가하였다.

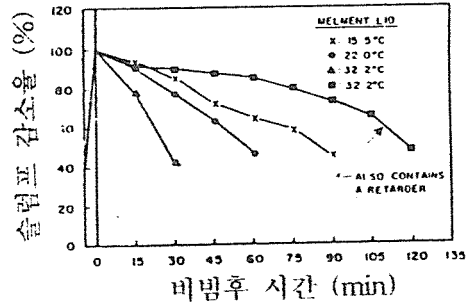


MIX NO.	CEMENT INCLUDED	ADMIX. INCLUDED	INITIAL SLUMP
1	100%	YES	80mm
2	NIL	YES	80mm
3	NIL	NO	155mm
4	40%	YES	80mm

〈그림 5〉 플라이애쉬를 사용한 유동화 콘크리트의 슬럼프 감소율

2. 3. 4. 4 온 도

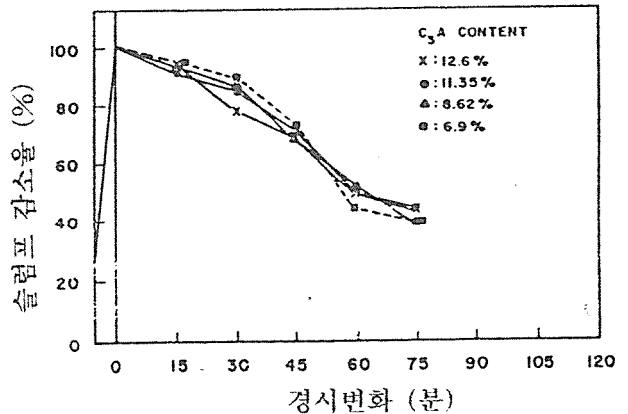
그림-6은 온도에 따른 콘크리트 슬럼프 감소를 도시한 것인데 콘크리트의 온도가 15.5℃에서 32.2℃로 증가됨에 따라 슬럼프 감소율이 급격히 증가하고 있다. 또한 32.2℃에서의 유동화 콘크리트는 비빔후 30분후 이전에 슬럼프 값이 초기 슬럼프 값의 50%이하로 떨어지고 있다.



〈그림 6〉 온도변화에 따른 슬럼프 경시변화

2. 3. 4. 5 시멘트의 C₃A 함유량

일반적으로 C₃A의 양이 많은 시멘트 (C₃A > 9.0%)로 만들어진 콘크리트는 슬럼프 감소율이 높은 반면, C₃A의 양이 적은 시멘트(C₃A > 5.0%)로 만들어진 콘크리트는 시간에 따른 슬럼프 감소율이 상대적으로 낮다. 그러나 Perenchio 등의 연구에 따르면, C₃A의 양이 적은 시멘트를 사용하더라도 슬럼프 감소율이 낮아진다는 보장이 없다고 한다.



〈그림 7〉 슬럼프 감소에 있어서의 C₃A효과

Mailvaganam의 연구에 의하면, 5종 시멘트($C_3A=2.6\%$)로 만들어진 콘크리트의 슬럼프 감소율이 6.9~12.6%의 C_3A 를 포함하고 있는 1종 시멘트로 만들어진 콘크리트의 슬럼프 감소율 보다 조금 낮다고 한다.

3. 유동화 콘크리트의 배합

유동화 콘크리트는 이미 비벼진 베이스 콘크리트에 고유동화제를 첨가하여 유동성을 높인 콘크리트이므로 유동화 콘크리트의 배합은 베이스 콘크리트의 배합에 고유동화제의 첨가량을 포함한다. 유동화 콘크리트의 배합에서 소요강도와 내구성은 일반 콘크리트와 같은 기준으로 결정되어야 하며, 소요 작업성(workability)은 베이스 콘크리트의 작업성에 첨가되는 고유동화제의 양에 의하여 조절되도록 배합이 결정되어야 한다. 베이스 콘크리트의 배합에 관계되는 요인들에 대하여 검토하면 다음과 같다.

3. 1 시멘트

유동화 콘크리트에 있어서도 물-시멘트비와 강도와의 관계는 보통 콘크리트와 같으므로, 강도와 슬럼프값이 동일한 일반 콘크리트에 비하여 유동화 콘크리트에서는 단위수량을 얼마간 줄일 수 있고 이에 따라 단위시멘트량을 줄일 수 있다. 영국 시멘트 콘크리트 협회의 보고서에 의하면, 단위시멘트량에 대한 잔골재의 비율은 단위시멘트량이 $270\text{kg}/\text{m}^3$ 이하의 경우는 35%를 유지하도록 하고 있다. 소정의 강도를 얻기 위한 유동화 콘크리트의 물-시멘트비는 고유동화제가 콘크리트의 강도에 별로 영향을 끼치지 않기 때문에 베이스 콘크리트 물-시멘트비와 강도와의 관계에서 정할 수 있다.

3. 2 골재

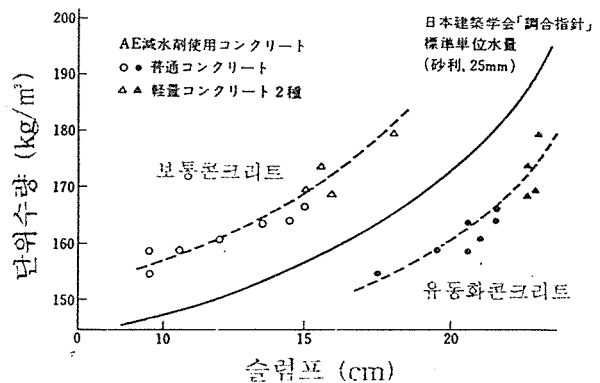
유동화 콘크리트는 슬럼프값이 같은 일반 콘

크리트에 비하여 물-시멘트비가 동일하더라도 시멘트풀의 양은 적고 시멘트풀 자체의 유동성이 크기 때문에 골재분리를 방지하기 위하여 베이스 콘크리트의 잔골재율을 일반 콘크리트의 경우보다 크게 하고 굵은골재의 양을 줄여야 한다. 영국 시멘트 콘크리트 협회의 보고서에 의하면 슬럼프값 7.5cm를 기준으로 한 베이스 콘크리트의 배합에서 일반 콘크리트의 경우보다 잔골재율을 4~5%정도 증가시키고 입도가 고르지 않은 굵은골재는 사용치 말도록 권유하고 있다.

또한 잔골재에 포함된 미립분에 대해서는 위의 보고서에는, 굵은골재의 최대치수가 40mm의 경우 시멘트와 잔골재를 합한 가운데, 0.3mm체를 통과하는 미립분의 양이 적어도 $400\text{kg}/\text{m}^3$, 굵은골재의 최대치수가 20mm의 경우에는 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 이 필요한 것으로 보고되고 있다.

3. 3 단위수량

유동화 콘크리트용 베이스 콘크리트의 배합에 사용되는 단위수량은 잔골재율의 증가 때문에 일반 콘크리트의 경우보다 다소 크다. 그러나 고유동화제를 사용하는 경우에는 콘크리트의 작업성이 크게 개선되기 때문에 일반의 묽은 비빔 콘크리트보다 단위수량을 8~12%정도 적게 하더라도 같은 슬럼프값을 유지할 수 있다.



〈그림 8〉 유동화 콘크리트의 단위수량

3. 4 작업성

보통의 경우 베이스 콘크리트의 슬럼프값이 8cm 일때 유동화 콘크리트의 슬럼프값은 15~18cm 정도이며, 베이스 콘크리트의 슬럼프값이 12~15cm 일때 유동화 콘크리트의 슬럼프값은 21cm 정도이다. 일반적으로 고유동화제가 너무 많이 첨가하거나 베이스 콘크리트의 슬럼프값이 너무 큰 경우에는 굽은골재가 분리될 가능성이 있어 일반의 묽은 비빔 콘크리트보다 곰보 등이 발생하기 쉽다. 따라서 고유동화제의 첨가량 결정은 버림 콘크리트 치기 등을 할 때 시험시공을 하여 실제 시공조건에서 결정하는 것이 바람직하다.

4. 유동화 콘크리트의 제성질

4. 1 굳지 않은 콘크리트의 성질

4. 1. 1 작업성

유동화 콘크리트는 보통방법으로 제조된 묽은 비빔 콘크리트와 유사한 작업성을 보이며, 슬럼프값이 같을 경우 유동화 콘크리트는 보통의 묽은비빔 콘크리트와 비교해서 단위 수량이 적고 시멘트풀의 양에 대한 골재량이 많으며 시멘트 풀 자체의 유동성이 크다.

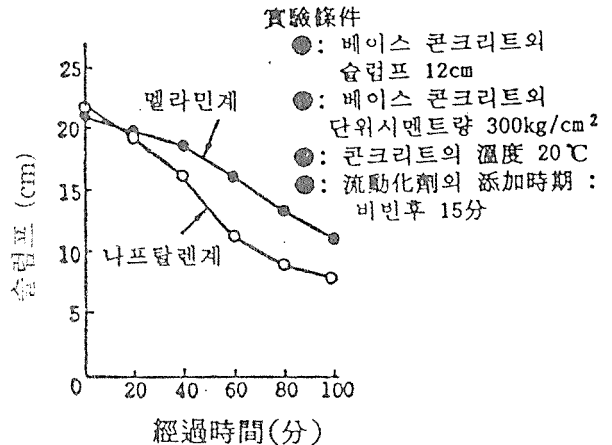
4. 1. 2 슬럼프값의 경시변화

유동화 콘크리트 슬럼프값의 경시변화는 일반 콘크리트의 경우보다 크다. 이는 베이스 콘크리트의 단위수량이 적고 고유동화제의 시멘트 입자에 대한 분산효과가 시간이 흐름에 따라 저하하기 때문이다. 이 경시에 의한 슬럼프 변화는 고성능감수제의 종류 및 첨가량, 고성능감수제의 첨가시기, 콘크리트의 조합조건, 콘크리트의 온도 등에 의해 차이가 있다.

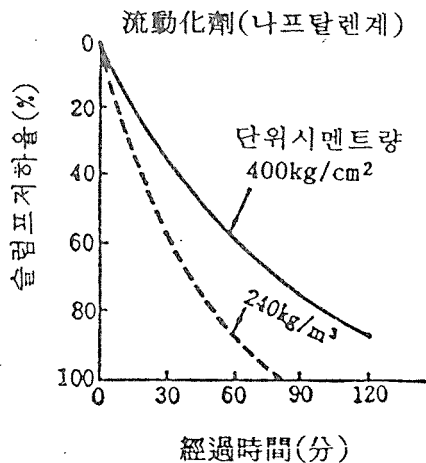
1) 고성능감수제의 종류 및 첨가량에 의한 차

그림-9는 나프탈렌계와 멜라민계의 고성능 감수제를 이용한 유동화 콘크리트에 있어서 슬럼프

프의 경시변화를 측정 한 것이다. 멜라민계와 나프탈렌계의 비교에서는 후자의 쪽이 약간 빠른 경향이 있다. 그림-9의 결과는 표준형의 것이 약간 느리게 할 수 있다. 같은 계통의 고성능감수제라도 품명에 의해 약간은 차이가 있는 듯하다. 또한 고성능감수제의 첨가량이 많아질수록, 즉, 슬럼프의 증대량이 큰 것일수록 경시에 의한 슬럼프저하가 큰 경향이 있다.



〈그림 9〉 슬럼프의 경시변화 (고성능감수제의 종류에 의한 차)

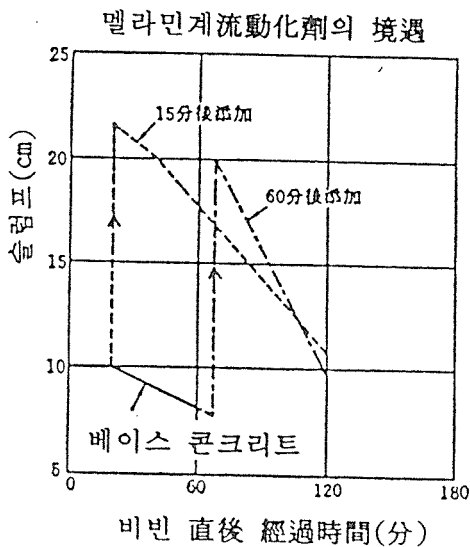
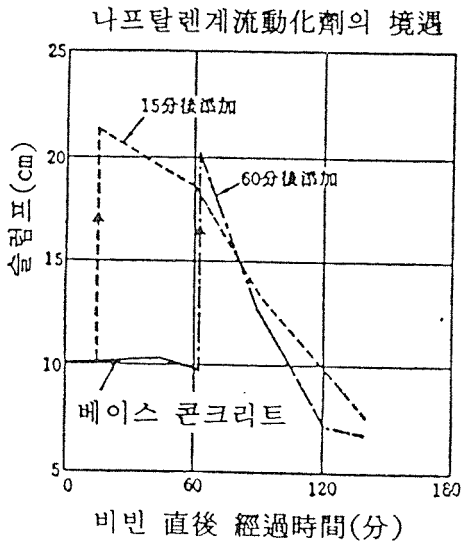


〈그림 10〉 슬럼프의 경시변화 (조합조건에 의한 차)

2) 콘크리트의 조합조건에 의한 차

그림-10은 단위시멘트량이 다른 콘크리트의

슬럼프 경시변화를 비교한 것이다. 비교적 부조합의 콘크리트쪽이 슬럼프저하가 작은 경향이 있다.



〈그림 11〉 슬럼프의 경시변화
(유동화제의 첨가시기에 의한 차)

3) 고성능감수제의 첨가시기에 의한 차

그림-11은 고성능감수제의 첨가시기의 영향을 조사한 실험결과이다. 이것은 유동화제의 첨가시기를 베이스 콘크리트의 혼입 후 15분 및

50분으로 한 경우에 대해서 유동화 콘크리트의 슬럼프 경시변화를 측정 한 것으로 고성능감수제의 첨가시기가 늦을수록 슬럼프의 경시변화는 커지는 경향이 있다.

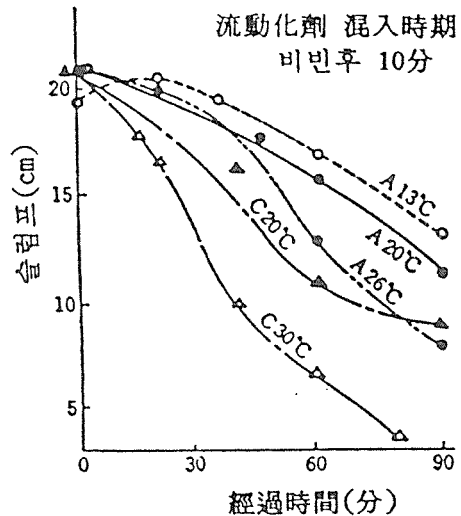
4) 콘크리트의 온도에 의한 차

통상의 콘크리트의 경우와 같이, 콘크리트의 온도가 높을수록 경시에 의한 슬럼프의 저하가 큰 경향이 있다.

4. 1. 3 공기량

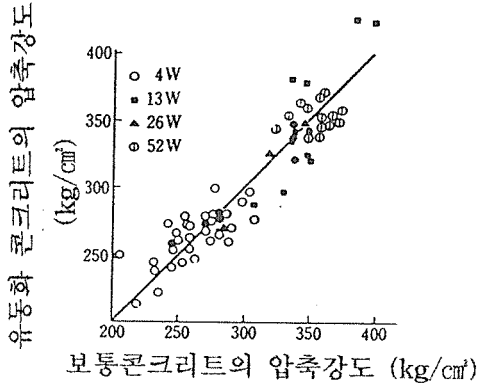
유동화 콘크리트에 사용되는 고유동화제는 비공기연행성이기 때문에 첨가후의 공기량은 시멘트의 분산, 슬럼프의 증대, 된비빔 등에 의하여 감소하는 경향이 있다. 그러나 리그닌 설펜산염계의 고유동화제를 사용한 유동화 콘크리트는 그렇지 않다는 연구도 있다.

통상의 경우, 베이스 콘크리트는 AE콘크리트로 하는 것이 바람직하나 고성능감수제의 첨가 교반에 의한 공기량 변화는 적고, 있어도 1% 정도이다. 공기량 변화의 상황은, 시멘트의 종류, 조합조건, 고성능감수제의 종류, 첨가량, 그 첨가없이 콘크리트의 압축강도에는 거의 영

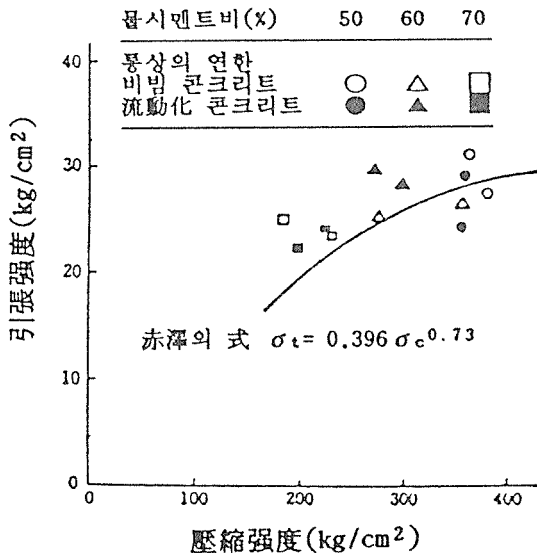


〈그림 12〉 슬럼프의 경시변화
(콘크리트의 온도에 의한 차)

향을 주지 않으며, 공기량이 같다면 첨가전이나 첨가후의 양자사이에는 유의차는 확인되지 않는다. 물 시멘트비가 같은 경우, 유동화 콘크리트의 압축 강도는 통상의 연한 비빔 콘크리트와 거의 같은 정도이다. 특히 고성능감수제의 조강효과에 의해 초기강도가 증진하는 경우가 있다.



〈그림 13〉 유동화제 첨가전·후의 압축강도의 비교



〈그림 14〉 압축강도와 인장강도의 관계

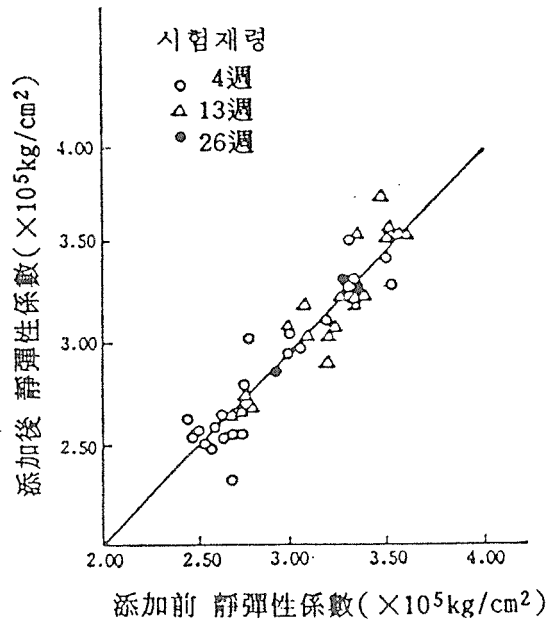
4. 2. 2 인장강도 · 휨강도

아직 충분한 데이터는 없으나 압축강도의 경우와 같이 유동화제의 첨가에 의한 악영향은 거의 없다. 그림-14은 유동화 콘크리트 및 통상의

연한 비빔 콘크리트에 있어서, 28일 재령에 대한 압축강도와 인장강도의 관계를 조사한 것이다. 물 시멘트비에 의한 변동은 보이나 콘크리트의 종류에 의한 차는 거의 보이지 않는다.

4. 2. 3 탄성계수

그림-15은 유동화제 첨가전후의 콘크리트에 대해, 각 재령에 있어서 정탄성계수의 비교를 나타낸 것이다. 이 양자간에는 유의차는 거의 확인되지 않기 때문에 유동화 콘크리트는 통상의 콘크리트와 같이 다루어도 거의 문제는 없다.



〈그림 15〉 유동화제 첨가후의 콘크리트의 정탄성계수

4. 2. 4 부착강도

그림-16은 표준양생 28일 재령에 있어서 압축강도와 부착강도의 관계를 나타낸 것이다. 부착강도는 15cm입방의 공시체에 $\phi 16$ 의 철근을 묻고, ASTM의 방법에 의해 인발시험을 행한 경우의 값이다. 유동화 콘크리트와 통상의 연한 콘크리트와의 차는 없고, 어느 경우도 거의 직선적으로 부착강도가 증가하고 있다. 유동화 콘크리트는 불리당량이 적기 때문에, 실제의 콘크리트에 있어서 부착강도는 보다 강해지게 된다.

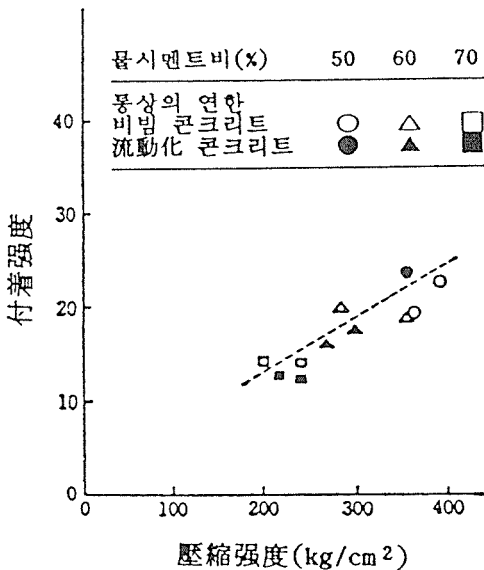
예를 들어, 수평근의 하측에 생기기 쉬운 수극(水隙)이 없다면 부착강도는 분명히 증대하게 된다.

4. 2. 5 건조수축 및 크리이프

일반적으로 콘크리트의 건조수축율은 단위수량에 비례하는 것으로 알려져 있기 때문에 유동화 콘크리트의 건조수축율은 통상의 연한 비빔 콘크리트보다 작을 것이다.

유동화 콘크리트의 경우, 그 베이스 콘크리트의 잔골재율을 조금 크게 하지 않으면 안되기 때문에 통상의 된 비빔 콘크리트의 경우보다 단위수량은 조금 증대하게 된다.

건조수축의 저감도는 시공조건에 의해 차이가 있으나, 유동화 콘크리트의 건조수축율은 통상의 된 비빔 콘크리트보다 10—15%정도 작게 하는 것이 가능하다.



〈그림 16〉 압축강도와 부착강도의 관계

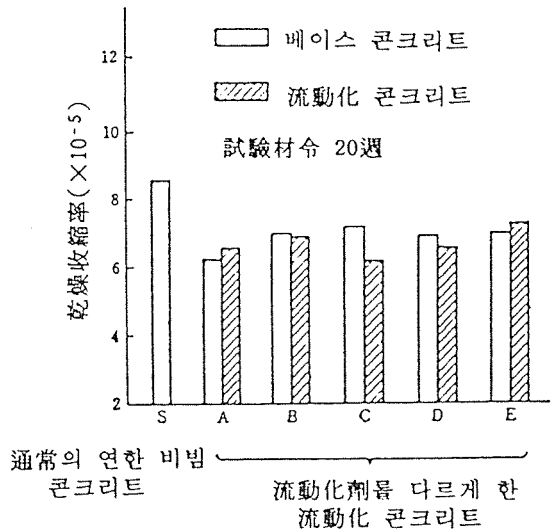
그림-17는 각종의 유동화제를 이용한 유동화 콘크리트에 대해 건조수축율의 비교를 나타낸 것이다. 유동화 콘크리트와 베이스 콘크리트의 비교에서는 작아지는 경우도 있고 커지는 경우도 있으나 어느 경우도 통상의 연한 비빔 콘크

리트와 비교하면, 건조수축율의 저감량은 많은 경우, 재령 28일에 있어서 1.0×10^{-4} 정도이며 콘크리트의 균열저감에는 상당한 효과가 있다.

건조수축에 큰 영향을 주는 요인으로는 단위수량, 시멘트량, 골재비 등이 있는데, 유동화 콘크리트는 단위수량이 묽은비빔 콘크리트에 비하여 적으므로 건조수축도 작다.

일반적으로 고유동화제의 첨가에 따른 건조수축의 변화는 거의 없는 것으로 나타나고 있으나, 몇몇 연구에 의하면 오히려 10~15% 정도 적게 나오는 것으로 나타나고 있다.

유동화 콘크리트의 크리이프는 베이스 콘크리트와 거의 같으나 심한 건조조건하에서는 베이스 콘크리트보다 큰 것으로 나타나고 있어, 높은 응력을 받는 구조물을 설계할 경우에는 이에 대한 고려가 필요하다.

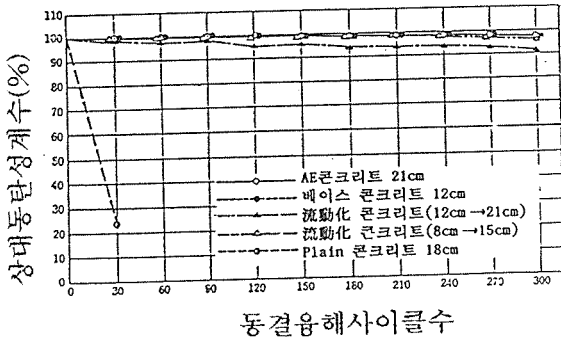


〈그림 17〉 유동화 콘크리트의 건조수축율

4. 2. 6 내구성

유동화 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 묽은비빔 콘크리트와 거의 유사하며 베이스 콘크리트보다 많이 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 따라서 유동화 콘크리트의 내구성 확보를 위해서는 베이스 콘크리트를 AE 콘크리트로 제조하는 것이 좋다. 이 외에 내마모성이나 내열

성은 묽은비빔 콘크리트보다 다소 좋은 결과를 나타낸다고 한다.



〈그림 18〉 동결융해시험결과

4.2.7. 동결융해저항성

일반적으로 베이스 콘크리트를 AE콘크리트 로 하는 것에 의해 콘크리트의 동결융해 저항성은 대폭 개선된다. 유동화 콘크리트의 경우 후 첨가하는 유동화제(고성능감수제)는 본질적으로는 공기연행작용이 없기 때문에 동결융해저항성이 요구되는 경우에는 베이스 콘크리트에 AE제 또는 AE감수제를 사용할 필요가 있다. 유동화(교반)에 의한 공기량을 확보할 필요가 있는 경우에는 시험비빔에 의해 그 변화량을 확인하여 필요에 따라 조정을 행하여야 한다.

유동화 공정에 있어서 일시적으로 전공기량이

유지되어도 기포경의 분포에 변화가 있으면 동결융해작용에 대한 저항성이 달라지게 되며, 지금까지의 보고에서는 그림-18에 나타난 것처럼 통상의 AE콘크리트와 거의 같다.

〈참고문헌〉

1. 문한영, “유동화 콘크리트의 특성에 관한 고찰,” 대한 토목학회지, 제30권 제1호, 1982.2, pp22-33
2. 김무한, 김문한, “고성능감수제를 사용한 콘크리트의 슬럼프로스 및 시공성 향상에 관한 실험적 연구”, 대한 건축학회지 제2권 제2호, 1986.4 pp135-143
3. Dhir, R.k., Yap, A.W.F., “Superplasticized Flowing Concrete: Durability Properties,” Magazine of Concrete Reserch, Vol.36, NO.127, june 1984, pp99-111
4. Banfill, B.F.G, “Workability of Flowing Concrete,” Magazine of Concrete Research, Vol.32, No.110, March 1980, pp17-27
5. 日本建築學會: “流動化 콘크리트施工指針案·同解説”, 1月, 1983