

분리저항형 유동화제 개발 및 이를 이용한 준고유동 콘크리트의 개발

전 충 근((주)선ENG 기술연구소, 공박)

한 천 구(청주대학교 교수, 공박)

오 선 교((주)선 ENG 대표이사, 공박)

김 기 철((주)예건 E&C, 공박)

1. 개 요

건축물의 구조재료로서 가장 널리 쓰이는 콘크리트의 경우에도 역시 신기술·신공법에 의한 합리화가 요구되어져, 전세계적으로 고성능 및 고유동 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

국내의 경우도 경화상태에서의 압축강도는 범용인 일반강도 영역이지만, 굳지않은 상태에서 유동성, 재료분리 저항성 및 충전성이 양호한 고유동 콘크리트에 대하여 많은 연구가 1990년대에 활발히 진행되어 상당한 발전이 있었으며, 일부 현장에 적용한 예도 있다.

그런데, 고유동 콘크리트를 실무에 활용할 경우는 품질향상 및 공기단축 등의 장점이 있는 반면, 품질관리에 높은 기술력이 요구되어지고, 시공정밀도 및 비 경제성 등 일부 문제점을 갖고 있다. 이로 인하여 고유동 콘크리트는 현재 일부공사를 제외하고는 일반적인 보편화가 이루어지지 않고 있다.

이러한 고유동 콘크리트의 난점을 해결하기 위한 방법으로는 고유동 콘크리트보다는 유동성을 작게 하여 경미한 다짐으로 형틀에 양호한 충전이 가능하고, 낮은 비용 및 현 보유설비로 제조가 가능한 준고유동 콘크리트의 개발이라고 할 수 있다.

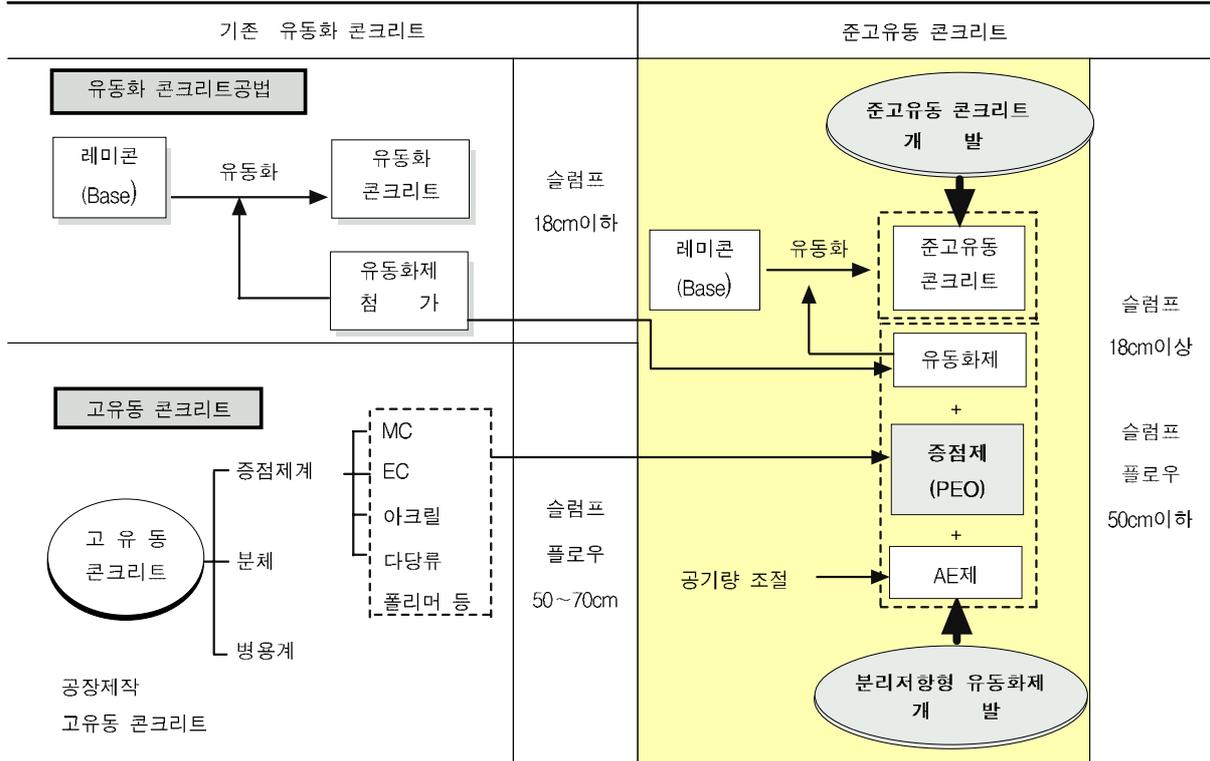
법의 도입으로 가능할 수 있는데, 유동화 콘크리트 공법이 경제성면에서 유리한 것으로 분석된다. 단, 유동화 콘크리트 공법의 도입은 유동화 후의 재료분리 방지를 위하여 잔골재율 증가 등 배합조정이 필요한데, 이는 레미콘 생산자와 시공자간에 충분한 협조가 이루어져야 하는 등 번잡함이 있어, 배합수정 없이 품질확보가 가능한 분리저항형 유동화제 의한 준고유동 콘크리트공법의 도입이 요구되어진다.

따라서, 본 고에서는 실무현장에서 유동화 콘크리트 공법을 도입할 경우에 있어 분리저항형 유동화제를 이용하여 유동성과 점성을 동시에 확보하고, 재료분리를 방지함으로써 전반적인 시공능률향상 및 품질향상을 성취할 수 있는 현장 유동화에 의한 준고유동 콘크리트 공법 및 개발과정을 소개하고자 한다.

2. 준고유동 콘크리트의 공법 개요

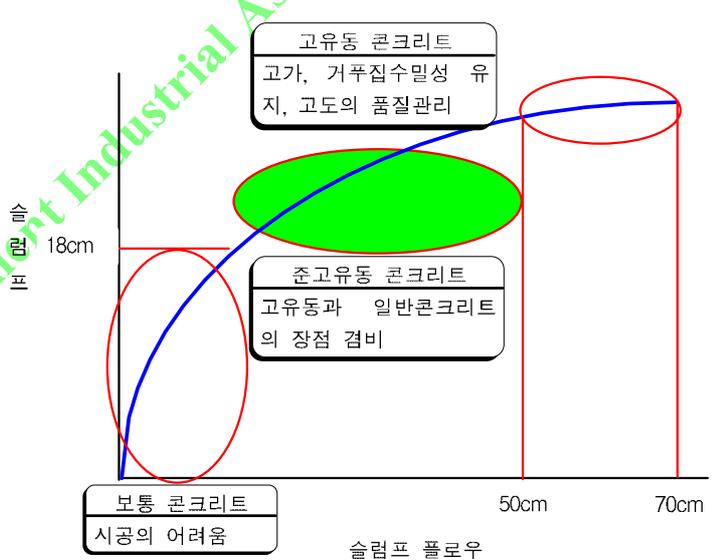
분리저항형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트 공법은 레미콘 배합의 변경 없이 현장에서 분리저항형 유동화제를 투입하여 준고유동 콘크리트를 제조·시공하는 것으로 공법 개요는 <표-1>과 같다. 즉, 기존의 유동화 콘크리트는 유동화 후에 재료분리 발생이

<표-1>. 공법 개요



문제시되었으나, 분리저항형 유동화제는 유동화제 자체에 점성을 부여함으로써 콘크리트의 점성을 증진시켜 재료분리를 방지하고, 유동화후의 공기량 확보를 위한 AE제를 동시에 첨가하여 제조함으로써 전반적인 콘크리트 품질을 향상시킬 수 있다.

또한, 준고유동 콘크리트는 <그림-1>과 같이 슬럼프 18cm 이상, 슬럼프 플로우 50cm 이하로 보통 콘크리트와 고유동 콘크리트의 중간 영역으로 두 가지 콘크리트의



<그림-1> 준고유동 콘크리트

장점을 겸비하여 경미한 다짐만으로도 형틀에 충전 가능한 콘크리트이고, 적은 혼화제량으로도 유동성이 크며 경제성 면에서도 유리한 콘크리트이다.

3. 분리저항형 유동화제의 개발

분리저항형 유동화제 개발의 핵심은 유동화제를 첨가한 콘크리트에 증점제를 첨가하면 점성증대에 의하여 재료분리를 방지할 수 있지만 유동성도 저하할 가능성이 있어, 유동성 및 재료분리 저항성 양자를 동시 확보할 수 있는 유동화제 및 증점제의 적정 첨가량의 결정이 매우 중요한 요인이라고 할 수 있다.

가. 유동화제 종류 및 첨가량(시리즈 1)

<그림-2>는 유동화제, 증점제 및 AE제 사용량에 따른 슬럼프 및 공기량을 나타낸 것이다. 슬럼프는 유동화제 사용량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 단, 일정량 이상의 유동화제 첨가량에서 슬럼프는 유사하거나 감소하는 것으로 나타났고, 공기량은 베이스 콘크리트를 유동화할 경우 유동화제 사용량이 증가할수록 감소하였다.

따라서, 시리즈 2에서 증점제 첨가에 의한 슬럼프 감소를 감안할 경우 시리즈 1에서 유동화제 적정 첨가량은 종류에 따라 각각 다르게 나타났는데, 나프탈린계 유동화제가 1.2%로 가장 많은 양을 사용하여야 하는 것으로 나타났고, 멜라민계는 1.0%, 폴리칼본산계는 0.6%를 사용하여야 하는 것으로 나타났다.

나. 증점제 종류 및 첨가량(시리즈 2)

증점제 사용량의 증가에 따른 슬럼프는 PEO 및 MC 증점제 공히 멜라민계 유동화제를 사용할 경우 증점제량이 증가에 따른 슬럼프 저하가 큰 것으로 나타났고, 나프탈린계 및 폴리칼본산계 유동화제를 사용할 경우는 증점제량이 증가할수록 슬럼프는 미소하나마 증가하는 것으로 나타났다. 또한, PEO 및 MC 증점제의 점성증대 효과는 공히 멜라민계 유동화제를 사용할 경우 우수한 것으로 나타났다. PEO 증점제를 사용한 경우의 공기량은 멜라민계, 나프탈린계 및 폴리칼본산계 유동화제 공히 증점제를 사용하지 않은 유동화 콘크리트의 공기량보다 다소 저하하는 것으로 나타났다.

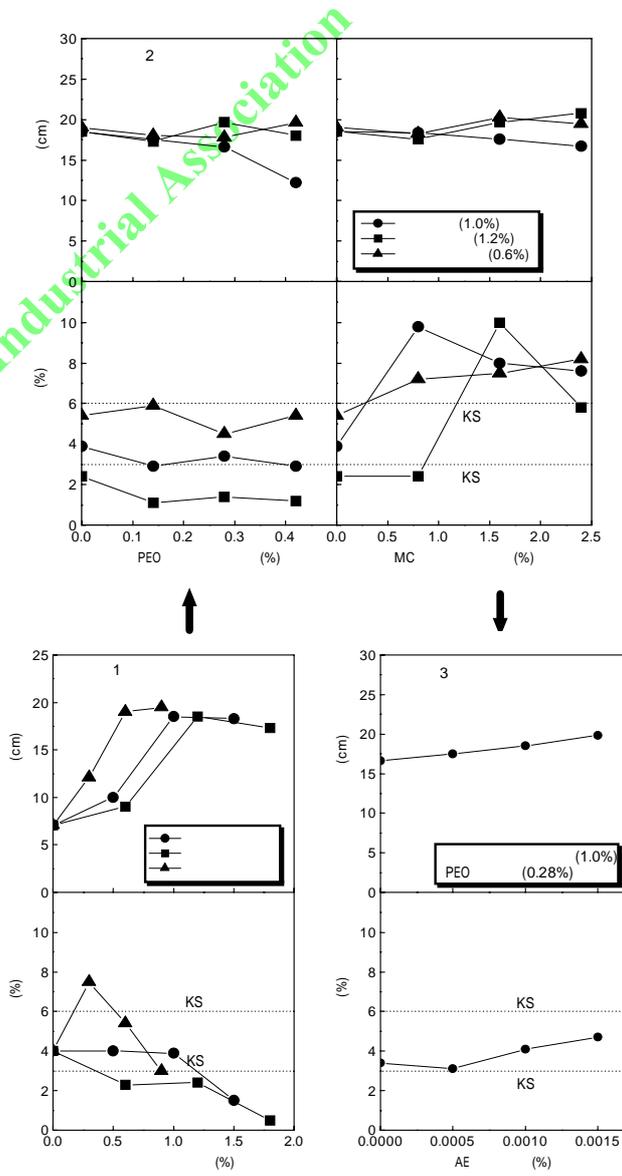
따라서, 재료분리를 방지할 수 있는 증점제의 적정 첨가량은 MC 증점제의 경우 1.6%, PEO 증점제는 0.28%가 적당한 것으로 나타났다.

다. AE제 첨가량(시리즈 3)

AE제 사용에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 AE제 첨가량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 공기량은 AE제 0.001%첨가할 때 베이스 콘크리트의 공기량을 발휘하는 것으로 나타났다.

라. 압축강도

굳지 않은 콘크리트에서 멜라민계 유동화제가 유동성 증대효과 및 첨가량



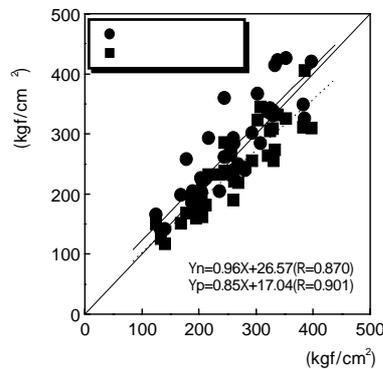
<그림-2> 유동화제 · 증점제 및 AE제 첨가량에 따른 슬럼프 및 공기량

등의 측면에서 비교적 적당한 것으로 나타났으므로, <그림-3>은 멜라민계 유동화제를 사용한 경우의 압축강도에 대한 나프탈린계 및 폴리칼본산계 유동화제를 사용한 경우의 압축강도를 유동화제 사용량 및 재령에 관계없이 산점도로 나타낸 그래프이다.

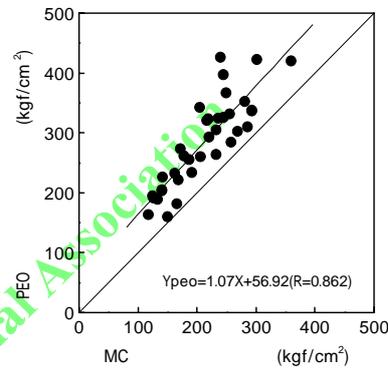
멜라민계 유동화제를 사용한 경우의 콘크리트 압축강도는 나프탈린계 유동화제를 사용한 경우보다 평균 6% 정도 작게 나타났고, 폴리칼본산계 유동화제를 사용하였을 경우보다는 평균 16% 정도 크게 나타났는데, 이는 공기량 차이에 기인된 결과로 분석된다.

<그림-4>는 증점제 종류에 따른 압축강도를 비교하기 위하여 증점제 사용량 및 유동화제 종류 및 재령에 관계없이 산점도로 나타낸 것이다.

증점제 종류에 따른 콘크리트 압축강도는 PEO 증점제를 사용한 경우가 MC 증점제를 사용한 경우보다 재령에 관계없이 평균 약 34% 정도 큰 것으로 나타났는데, 이는 비교적 공기량이 적은 것에 기인한 것으로 사료된다.



<그림-3> 멜라민계 유동화제의 압축강도에 대한 나프탈린계 및 폴리칼본산계 유동화제의 압축강도



<그림-4> MC 증점제와 PEO 증점제의 압축강도 비교

마. 경제성 분석

<그림-5>는 유동화제 및 증점제 종류별 1kg당 단가를 비교한 막대그래프이고, <그림-6>은 슬럼프 10cm를 증대시킬 경우의 유동화제 종류별 적정 사용량에 대한 1m³당 단가를 증점제 종류별로 구분하여 나타낸 것이다.

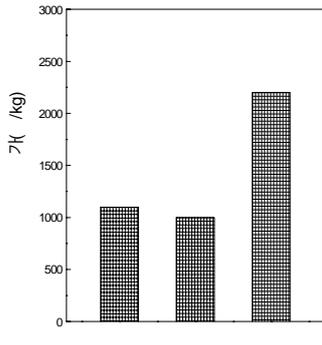
유동화제의 1kg당 단가는 나프탈린계가 가장 저렴하고, 폴리칼본산계가 가장 고가이며, 증점제의 단가는 PEO가 MC보다 월등히 고가이다.

유동화제와 증점제의 적정 사용량에 따른 단가는 나프탈린계 유동화제를 사용하고, PEO 증점제를 사용할 경우 가장 저렴하고, 폴리칼본산계 유동화제에 MC 증점제를 사용하는 경우가 가장 비싼데, 이는 MC의 경우 분말을 이용하였고, PEO는 물과 희석하여 사용하기 때문으로 원재료의 1kg당 단가는 PEO가 비싸지만, 실제 유동화에 사용되는 가격은 PEO가 저렴하다.

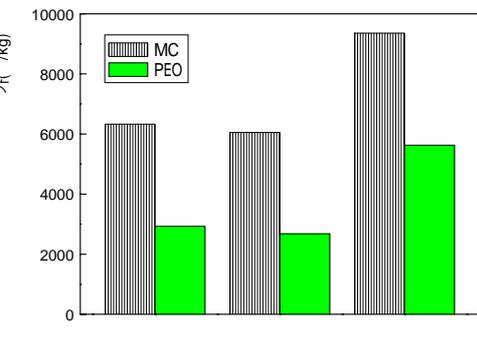
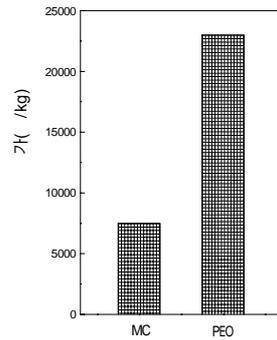
이상의 결과를 종합하면 준고유동 콘크리트의 제조에 이용할 분리저항형 유동화제의 조합은 먼저, 멜라민계 유동화제의 경우는 나프탈린계보다 약간 고가지만 점성 확보, 공기량 안정성 및 증점제와의 상승효과 측면에서 유리하고, 증점제의 경우는 PEO가 MC보다 가격 및 공기량 안정성이 양호하여 유리하다.

따라서, 일반 조건인 베이스 콘크리트의 유동성을 향상시킬 수 있으면서 재료분리방지가 가능하고, 공기량도 안정하며, 경제성도 성취할 수 있는 분리저항형 유동화제의 조합은 1m³당 첨가량과 경제성을 검토할 경우 멜라민계 유동화제, PEO 증점제

및 AE제를 일정비율로 혼합하여 첨가하는 것이 가장 효과적이다. 개발한 분리저항형 유동화제의 물리적 성질은 다음 <표-2>와 같다.



<그림-5> 유동화제 및 증점제의 1kg당 단가



<그림-6> 유동화제 및 증점제의 적정 사용량에 대한 1m³당 단가

<표-2> 개발한 분리저항형 유동화제의 물리적 성질

혼화제 종류	주성분	색상 및 형태	비중(20℃)	pH
분리저항형 유동화제	복합형	연황색 액체	1.08±0.02	7.0±1.0

4. 분리저항형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트의 모의부재 적용 특성

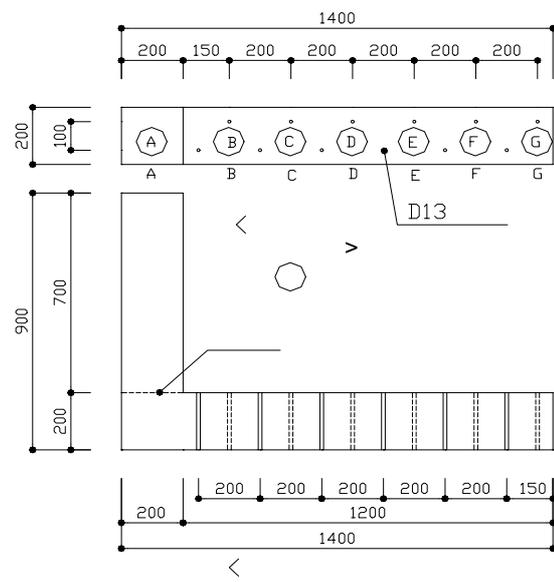
실무 조건하에서 개발한 분리저항형 유동화제를 이용하여 베이스 콘크리트를 유동화하는 공법을 실제 구조체에 도입할 경우, 재료분리현상 및 충전불량 등의 문제점이 발생할 수도 있어 이에 대한 검토가 필요하다.

따라서, 일반 조건하에서 베이스 콘크리트를 제조하고 개발한 분리저항형 유동화제를 이용하여 유동화 공법으로 준고유동 콘크리트를 제조하여 굳지않은 콘크리트, 경화 콘크리트의 특성 및 모의부재 충전성을 비교·분석함으로써 분리저항형 유동화제를 이용한 유동화 콘크리트 공법의 현장적용성을 검토하였다. L형 모의부재의 충전성 실험을 위한 시험체 제작도는 <그림-7>과 같다.

가. 배합특성

<그림-8>은 베이스 콘크리트에 사용한 AE감수제 및 유동화 콘크리트에 사용한 분리저항형 유동화제의 첨가율을 W/C별로 나타낸 그래프이다. 먼저, 베이스 콘크리트의 제조에 있어서 W/C 50%가 W/C 40%보다 적은 양의 AE 감수제가 첨가된 것으로 나타났다.

준고유동 콘크리트의 경우는 베이스 콘크리트와 달리 단위시멘트량 차이에 따른 유



<그림-7> L-type 모의부재 제작도

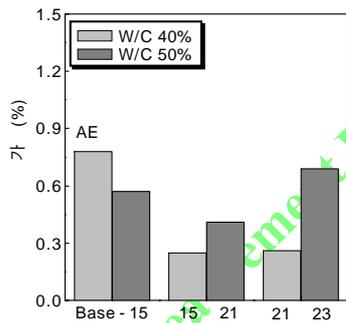
동화제 첨가량 및 점성으로 인하여 W/C 40%가 W/C 50%보다 분리저항형 유동화제의 첨가율이 적은 것으로 나타났다.

나. 유동성

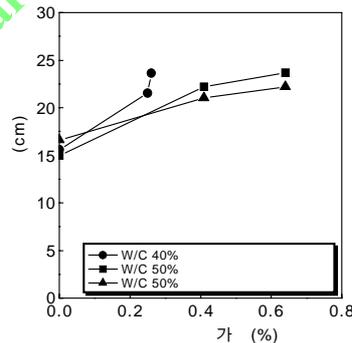
<그림-9> 및 10은 유동화제 첨가율에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우치를 W/C 및 유동화제 종류별로 나타낸 것이다. 전반적으로 슬럼프 및 슬럼프 플로우치는 유동화제 첨가율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 단, W/C 50%에 있어서 슬럼프치는 분리저항형 유동화제를 첨가할 때 같은 양의 일반유동화제를 첨가하는 경우보다 크게 나타났다. 또한, 슬럼프 15cm인 베이스 콘크리트를 준고유동 콘크리트 범위인 슬럼프치 21cm 및 23cm로 유동화하는 경우 슬럼프 플로우치는 35~55cm 정도로 유동성이 양호하게 나타났다.

다. 공기량

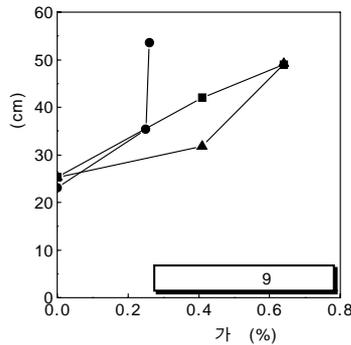
<그림-11>은 공기량을 나타낸 것으로 공기량은 분리저항형 유동화제를 이용할 경우 점성부여 및 첨가물의 공기량 확보 특성으로 W/C 및 첨가율에 따라 큰 변화가 없는 것으로 나타난 반면, 일반유동화제를 첨가할 때에는 점성저하에 기인하여 첨가율이 증가함에 따라 공기량은 급격하게 감소하는 것으로 나타났다.



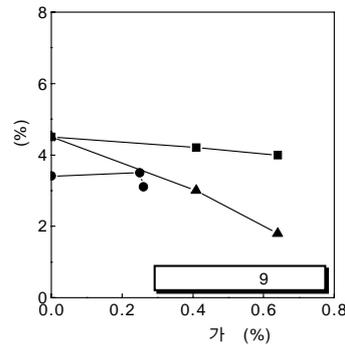
<그림-8> 콘크리트 종류별 혼화제 첨가율



<그림-9> 유동화제 첨가량에 따른 슬럼프



<그림-10> 유동화제 첨가량에 따른 슬럼프 플로우

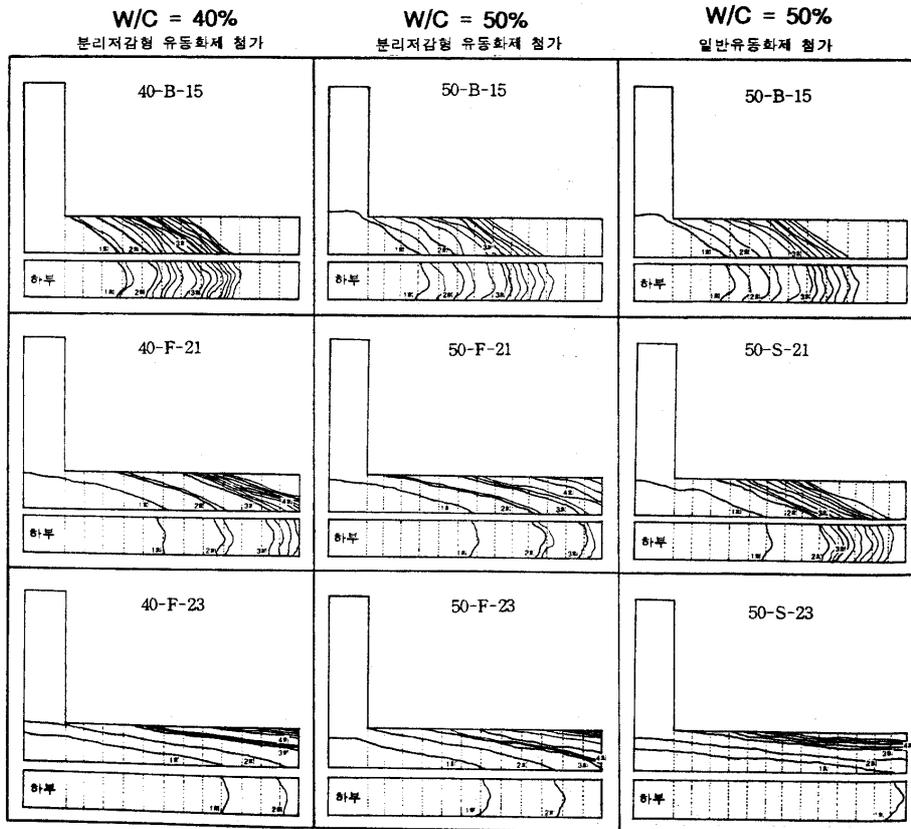


<그림-11> 유동화제 첨가량에 따른 공기량

라. L형 모의부재 충전 특성

<그림-12>는 L형 모의부재에 굳지않은 콘크리트를 부어넣었을 때 유동된 콘크리트의 충전상황을 나타낸 것이다. 베이스 콘크리트는 유동성 부족으로 인하여 L형 모의부재의 끝부분까지 채워지지 않았으나, 준고유동 콘크리트의 경우는 전반적으로 L형 모의부재의

끝부분까지 콘크리트가 충전되었다. 한편 일반유동화제를 사용한 경우는 충전상황이 다소 불량한 것으로 나타났는데, 이는 일반유동화제 사용시 점성이 적고, 재료분리 현상이 나타나 모의부재의 끝부분까지 충전되지 못하는 것으로 분석된다.



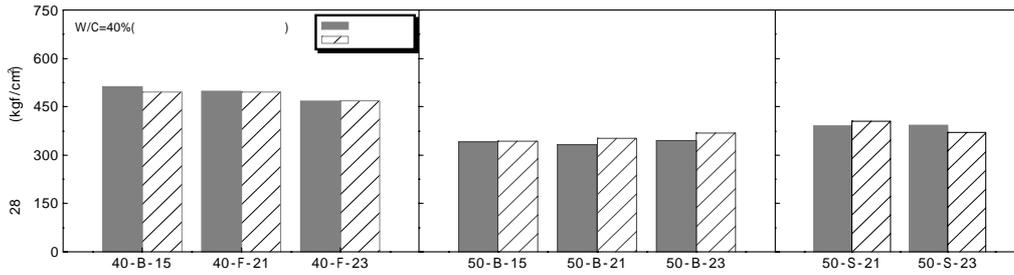
<그림-12> L형 모의부재의 콘크리트 충전상황

마. 압축강도 특성

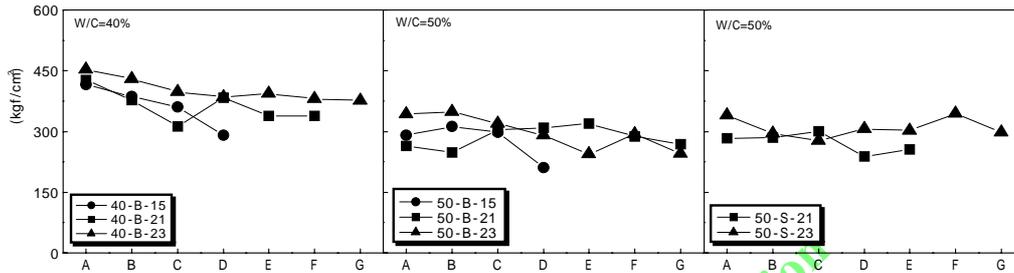
<그림-13>은 콘크리트 종류별 28일 압축강도를 공시체 다짐방법별로 나타낸 그래프이다. 당연한 결과이겠지만 압축강도는 W/C 40%의 경우가 W/C 50%보다 높게 나타났고, 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트간의 강도차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 단, W/C 50%일때 일반유동화제를 사용한 경우는 분리저감형 유동화제를 사용한 경우보다 약간 큰 강도로 나타났는데, 이는 유동화 과정에서 공기량 감소에 기인한 것으로 분석된다. 다짐방법별 압축강도는 각 W/C별 무다짐과 표준다짐에 의한 강도차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

바. 코어압축강도 특성

<그림-14>는 콘크리트 종류별 각 코어채취 위치에서의 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 콘크리트 종류별 표준공시체 압축강도와 비교하면 거의 유사한 값으로 강도차이가 크지 않은 것으로 나타났다. W/C 40% 및 50% 각 위치별 코어압축강도는 콘크리트를 부어넣은 위치에서 멀어질수록 약간 감소하는 것으로 나타났고, W/C별 유동화제 첨가량에 따른 강도는 첨가량이 증가할수록 양호한 것으로 나타났는데, 이는 유동화제 첨가량 증대에 따른 시멘트의 분산 및 유동성 증대에 따른 결과로 분석된다. 유동화제 종류에 따른 코어 압축강도는 거의 유사한 값으로 강도 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.



<그림-13> 콘크리트 종류별 압축강도



<그림-14> 콘크리트 종류별 코어위치에 따른 압축강도

5. 분리저항형 유동화제를 이용한 준고유동 콘크리트의 현장 시공사례

개발한 분리저항형 유동화제를 이용하여 실제 레미콘 회사에서 출하된 일반조건하의 레미콘을 대상으로 실제 구조체에 부어넣기를 실시하고, 유동화 전·후의 균지않은 콘크리트의 특성, 경화 콘크리트의 특성 및 품질을 분석하였다. 현장실험의 대상건물의 공사 개요는 <표-3>과 같고, <그림-15>는 베이스 콘크리트 및 준고유동 콘크리트의 실험결과를 나타낸 그래프이다.

<표-3> 공사개요

공사명	우암 선교관 증축공사
현장위치	충북 청주시 상당구 우암동 126-3번지
건축규모	지하 : 1층, 지상 : 5층, 옥탑 : 1층
구조	철근콘크리트 라멘조
실험대상층(부어넣기량)	3층(256m ³), 4층(262m ³), 5층(264m ³)
실험대상층 및 타설날짜	3층(1999. 3. 16), 4층(1999. 4. 1), 5층(1999. 4. 21)

* 실험대상층은 주로 3층이며, 3층 타설량을 Lot1, 2, 3으로 나누어 실시

가. 유동성

베이스 콘크리트의 슬럼프치는 Lot별로 약간 차이는 있지만, 요구한 슬럼프 범위 15±1 cm를 만족하는 것으로 나타났고, 분리저항형 유동화제를 0.4% 첨가하여 유동화시킨 후의 슬럼프는 유동화 목표치 21cm의 유동성을 발휘하는 것으로 나타났다.

슬럼프 플로우 역시 Lot별로 베이스 콘크리트에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 유동화 후에는 슬럼프치와 같이 Lot 3, Lot 1 및 Lot 2의 순으로 슬럼프 플로우치가 큰 것으로 나타났다.

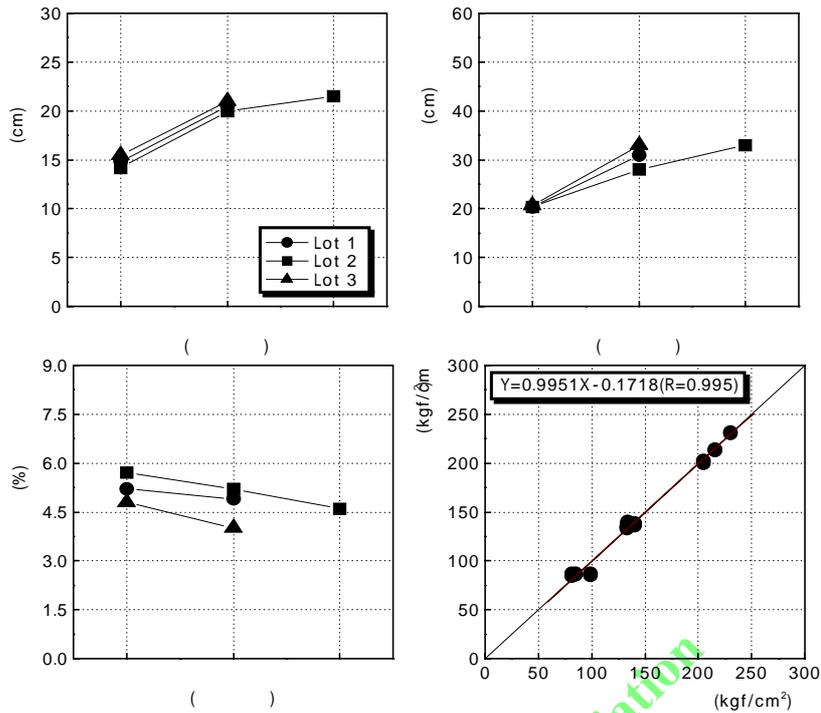


그림 15. 베이스와 준고유동 콘크리트의 특성 비교

나. 공기량

공기량은 Lot별로 Lot 2, Lot 1 및 Lot 3 순으로 크게 나타났는데, 베이스 콘크리트 및 압송전·후 공히 KS 규정인 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하는 것으로 나타났다.

다. 압축강도

압축강도를 베이스 콘크리트와 준고유동 콘크리트의 압송전·후와 관계없이 산점도로 나타낸 결과, 재령에 관계없이 거의 모두 45° 선에 분포되고 있는 것으로 나타나, 베이스 콘크리트와 준고유동 콘크리트의 압축강도는 별 차이 없는 것으로 나타났다.

6. 맺음말

분리저항형 유동화제의 개발 및 이를 이용한 준고유동 콘크리트의 개발에 관하여 고찰하여본 결과는 다음과 같이 요약된다.

가. 분리저항형 유동화제의 개발로써 유동화제 종류별 목표슬럼프 10cm를 증가하기 위한 유동화제 첨가량은 폴리칼본산계가 가장 적고, 멜라민계 및 나프탈렌계 순이었고, 증점제 첨가량은 PEO 증점제가 작은 것으로 나타났고, 유동화제 사용에 따른 압축강도는 나프탈렌계가 가장크고, 멜라민계 및 폴리칼본산계 순이었고, 공기량 차이에 기인하여 PEO 증점제를 사용한 경우가 MC에 비하여 크게 나타났다.

나. 분리저항형 유동화제의 개발은 멜라민계 유동화제와 4/1000로 희석한 PEO 증점제 및 AE제를 1 : 0.3 : 0.001혼합하여 제조할 경우가 혼화제간의 상성효과 및 경제성을 고려할 경우 가장 효과적인 비율로 밝혀졌다.

다. 준고유동 콘크리트의 개발로서 분리저항형 유동화제를 사용하는 경우가 일반 유동

화제를 사용하는 경우에 비하여 유동성, 재료분리 저항성 및 공기량 확보 측면에서 효과적인 것으로 나타났고, 모의 부재 충전특성은 분리저항형 유동화제를 사용한 경우가 점성 증대 및 재료분리 방지 효과에 의하여 일반 유동화제에 비하여 양호한 것으로 분석되었다.

라. 분리저항형 유동화제를 사용한 유동화 콘크리트의 압축강도는 베이스 콘크리트와 유사한 것으로 나타났다.

마. 현장 실험의 경우 준고유동 콘크리트의 제조는 레미콘사의 배치 플랜트를 통하여 베이스 콘크리트를 제조하고, 현장에서 분리저항형 유동화제를 첨가하여 유동화 공법으로 제조하여 부어넣기를 실시하였는데, 전반적으로 굳지않은 콘크리트의 유동성이 우수하고, 공기량은 KS 규정을 만족하였으며, 경화 콘크리트의 압축강도는 베이스 콘크리트와 같게 나타났다.

Korea Cement Industrial Association