

유동화제 첨가시기에 따른 콘크리트의 특성에 관한 實驗的 研究

A Study of the Characteristics of the High-flowable Concrete according to the change of charge-time of superplasticize

권 춘 안 * 전 현 규 **

Kwon, Chun-Ahn Jeon, Hyun-Kyu

Abstract

In order to analyze liquidity change according to increasing the charge of superplasticizer, we inputted charges by dividing into six steps, 0% through 1.25%; at the same time, to observe liquidity change according to the change of charge-time, we carried out the experiment applying 30-minute intervals, i.e. at beginning of mixing, 30, 60 and 90 minutes. The results are below.

- 1) According to increasing the charge of superplasticizer, the liquidity of concrete was enhanced, however, when inputted 1.25%, a little segregation was occurred, which allowed us to make a conclusion that concrete performance would be deteriorated due to this segregation.
- 2) When we inputted 1.25% of superplasticizer, steady liquidity features were shown regardless of the charge-time of concrete, which allowed us to make a conclusion that this input would be the best for liquidity performance considering only liquidity features.
- 3) After analyzing the dynamical features of liquid concrete, the result showed that there was not significant effect on revelation of compressive strength. We concluded from this result that there was no influence on the stripping-time of a mold form.
- 4) When we charge superplasticizer in concrete more than 1%, we, in advance, should clearly judge the concrete performance required during constructing in site, as it were, the compressive strength or liquidity etc.; furthermore, we had better decide a charge and input-time of superplasticizer to meet the required performance.

키워드 : 유동화제, 고유동콘크리트, superplasticizer, high-flowable concrete,

1. 서 론

건설환경의 급격한 변화와 건설시장의 개방에 따른 국내 건설분야의 경쟁력 및 기술력 강화의 필요성과 부실공사의 발생 및 건설생산의 인력부족 현상 등으로 인하여 콘크리트 분야에도 고품질에 관한 연구가 요구되고 있으며, 콘크리트의 성능 개선을 통하여 콘크리트 구조물의 신뢰성 향상, 시공의 합리화, 시공환경 등에 대처하기 위한 방안의 일환으로 작업성을 향상시킨 콘크리트에 대하여 꾸준한 연구가 이루어지고 있다.

이러한 연구는 주로 유동화콘크리트와 고유동 콘크리트를 대상으로 하며, 전자는 미리 비벼놓은 비교적 된비빔의 콘크리트에 유동화제를 후첨가하여 유동성을 일시적으로 증대시켜 슬럼프플로우 51~60cm가 되도록 제조한 콘크리트이며, 후자는 일정시간동안 슬럼프플로우의 변화가 거의 없이 장시간 유동성을 확보하며, 재료분리를 억제하기 위하여 혼화제의 혼입 및 결합재의 사용량 증대 등을 통해 시멘트 페이스트의 점성을 확보하고 혼화제는 결합재와 동시에 투입하거나 시간차를 두고 첨가하여 슬럼프플로우 60cm 이상이 되도록 제조

한 콘크리트로 정의할 수 있다. 국내에서도 유동화콘크리트 및 고유동콘크리트의 유동성과 작업성 유지능력, 사용재료에 대한 기초 물성 및 역학적 특성에 대한 다양한 연구가 수행되어 그 사용 가능성이 입증되고 있으나, 고유동 콘크리트의 실용화를 위하여 유동화제 첨가시기에 따른 유동화 콘크리트에 대한 기초 연구는 매우 미흡한 실정이다. 또한 여전히 건축생산현장에서는 콘크리트의 시공연도와 폼프작업성을 개선하기 위하여 단위수량만을 증가시키므로써 굳지않은 콘크리트에서 재료분리에 따른 블리딩 발생을 초래하고, 레이턴스나 콜드조인트가 증가함과 동시에 경화 후 콘크리트의 건조수축에 의한 균열이 증대함으로써 내부적으로 콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키는 큰 원인이 되고 있다.

따라서 본 연구는 고품질, 고성능콘크리트를 제조 공급하여 철근콘크리트 구조물의 시공성을 향상시키기 위한 방안으로서, 유동화 콘크리트에 대한 기초 이론을 분석하고, 유동화제 투입시기에 따른 유동성능과 그 품질성능을 규명함으로써 고유동 콘크리트의 품질과 신뢰성을 확보하는 데 그 목적이 있다.

* 시립인천전문대학 건축공학과 외래교수, 공학박사

** 시립인천전문대학 건축공학과 교수, 공학박사

2. 유동화 콘크리트의 이론적 연구

2.1 유동화 콘크리트의 개요

유동화 콘크리트란 일반적인 방법으로 제조된 된비빔·중간비빔 콘크리트에 분산성이 우수한 고성능감수제(Superplasticizer)를 첨가함으로써 콘크리트의 유동성을 일시적으로 증가시켜, 단위수량이 적으면서도 양호한 시공성을 가지도록 한 콘크리트를 말한다. 이러한 목적으로 사용되는 고성능감수제를 유동화제라고 하며, 유동화제를 첨가하기 전의 된비빔·중간비빔 콘크리트를 베이스 콘크리트(Base Concrete)라 한다.

고성능감수제란 종래의 일반적인 콘크리트용 화학혼화제(AE제, 감수제, AE감수제)와 화학구조가 다르며, 시멘트 입자에 대한 고분산성을 가지고 있다. 또한 다량으로 사용하여도 감수제에 비하여 응결지연작용, 공기연행작용 등이 비교적 적으며, 이러한 고분산성과 다량 사용이 가능하다는 특성 때문에 감수효과가 크다. 더욱이 후첨가에 의한 감수효율의 상승과 함께 유동화 콘크리트를 효과적으로 제조할 수 있다.

유동화 콘크리트를 개발한 주목적은 콘크리트의 시공성 개선에 있으며, 유동화콘크리트를 사용함으로써 대폭적인 성력화 및 경비절감이 되며, 콘크리트 펌프공법에 의해 타설할 경우 타설시간은 1/3, 인력은 1/2로 절감할 수 있다고 결과보고가 있다. 묽은비빔 콘크리트에 대한 유동화 콘크리트의 적용은 2가지 방법이 있다. 첫번째는 유동화 콘크리트의 물시멘트비(w/c)를 일반적인 묽은비빔 콘크리트와 동일하게 하는 방법이다(즉, 강도를 일정하게 한다). 두번째는 유동화 콘크리트의 단위시멘트량을 묽은비빔 콘크리트와 동일하게 한다(즉, w/c를 감소시킨다).

후자의 방법은 고성능감수제의 특성을 콘크리트의 품질 개선에 크게 반영하여 강도를 대폭적으로 증진시키는 것이다.

2.2 유동화제의 성질

1) 감수효과

유동화제의 주성분인 고성능감수제는 종래의 일반적인 콘크리트용 화학혼화제(AE제, AE감수제, 감수제)와는 화학적으로 다르다. 고성능감수제는 종래의 감수제와 비교하여 물의 표면에 있어서 활성은 적으나 시멘트 입자에 대한 흡착성이 크고 또 분산성도 크기 때문에 콘크리트에 대한 감수성이 우수하다. 일반적인 AE감수제의 감수율은 10~15%정도인데 비하여 20~30%의 감수율을 나타낸다.

2) 공기연행성

어떤 종류의 고성능감수제도 공기연행성은 거의 없으며, 첨가량의 증가에 의한 공기량의 증가도 적다. 고강도 콘크리트에서는 연행공기에 의한 강도저하의 비율이 크기 때문에 고성능 감수제를 많이 사용한다.

3) 응결지연용

일반적으로 고성능감수제는 유기물질이므로 시멘트의 응결경화반응에 대한 지연작용은 매우 적다. 표준 첨가량의 10배 정도까지 과잉첨가 하더라도 과도한 응결지연 및 경화불량이 생기지 않는다.

4) 강재에 대한 부식성

고성능감수제는 비염소성이므로 철근부식에 유해한 염류가 포함되어 있지 않고 강재에 대한 부식성이 전혀 없으므로 철근콘크리트, 프리스트레스트 콘크리트 구조물에도 널리 이용되고 있다. 현재 고성능감수제의 이러한 특성을 살려 유동화제로서 기능을 부여하기 위해 다각도로 검토하고 있다.

5) 베이스 콘크리트용 혼화제와의 관계

시중에 판매되고 있는 콘크리트용 화학혼화제를 사용하여 감수한 베이스 콘크리트를 유동화제로 유동화시킨 콘크리트 전체의 물성은 표준형 유동화제를 사용하였다면 크게 영향을 받지 않는다.

2.3. 유동화제의 작용

1) 고성능감수제의 작용 메카니즘

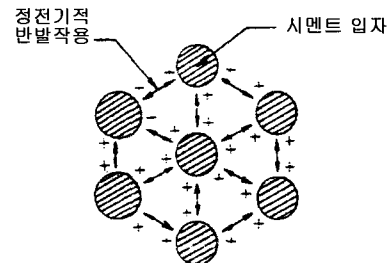


그림 1. 고성능 감수제의 분산작용

베이스 콘크리트에 유동화제를 첨가하면 콘크리트의 유동성이 현저하게 개선된다. 이러한 이유는 유동화제가 시멘트 입자에 흡착하여 그림 1과 같이 시멘트 입자에 정전기적 반발력이 발생하여 시멘트 입자를 분산시켜 시멘트 페이스트의 유동성을 향상시키기 때문이다.

2) 후첨가 효과

후첨가 효과는 고성능감수제 뿐만 아니라 대부분의 감수제에서도 나타나는 현상이다. 사용량은 일반적인 사용방법과 비교해서 50~80%로서 동일한 유동성을 얻을 수 있다.

후첨가 효과는 시멘트 입자가 물과 접촉한 직후 초기에 생성되는 시멘트 수화물과 감수제의 상호작용에 관계가 있다. 시멘트 및 시멘트를 구성하는 광물과 나프탈렌계 고성능감수제의 흡착거동을 측정할 결과 C3S와 C2S는 일반적인 방법 및 후첨가 방법에서도 거의 흡착량이 변하지 않는 것으로 나타났다.

3) 콘시스턴시의 경시변화

유동화 콘크리트는 동일 슬럼프의 일반 콘크리트와 비교하여 슬럼프 손실이 크다. 슬럼프 손실의 메카니즘은 막연히 화학적인 시멘트의 수화반응에 의한 응결로 생각하고 있다. 슬럼프 손실을 적게 하기 위해서는 시멘트 속에 최적의 SO3량 C3A함량을 조절해야 한다는 보고가 있다.

4) 반복첨가

반복첨가 방법은 슬럼프 저하를 방지하는 방법으로서 제안되고 있다. 반복첨가의 경우, 시간경과에 따라 제에타 전위가 저하되고 약간의 고성능감수제를 첨가할 때마다 제에타 전위가 크게 상승하며 시멘트 입자가 재분산하는 것으로 보고되고 있다.

그러나 공기량의 안전성, 기포직경의 분포 등에도 영향이 있으므로 동결융해 저항성을 저하시킬 위험이 있다. 따라서 재첨가 및 반복첨가는 동결융해를 받는 경우 주의가 요망된다.

2.4 유동화 콘크리트의 성질

유동화 콘크리트의 유동성은 일시적인 것이며, 시간경과에 따른 슬럼프 손실이 크기 때문에 60~90분 정도면 거의 베이스 콘크리트에 가까운 슬럼프가 된다. 그래서 유동화 콘크리트의 품질(굳은 콘크리트의 성질)은 된비빔 콘크리트와 같지만, 굳지 않는 콘크리트의 성질은 묽은비빔 콘크리트와는 다르다.

유동화 콘크리트의 경우는 굳지 않는 콘크리트 및 굳은 콘크리트에 대해 기본적인 성질을 잘 파악해 둘 필요가 있다. 유동화 콘크리트의 성질은 유동화제의 종류 및 첨가량, 콘크리트의 재료 및 배합, 시공조건 등에 의해 크게 차이가 생긴다.

1) 굳지않은 콘크리트의 성질

(1) 워커빌리티(Workability)

유동화 콘크리트는 일반적으로 동일 슬럼프의 묽은비빔 콘크리트와 거의 같은 워커빌리티를 가지고 있다. 그러나 슬럼프는 같지만 묽은비빔 콘크리트와 비교하여 단위수량이 적고 시멘트 페이스트량에 대한 골재가 많으며 시멘트 페이스트 자체의 유동성이 대단히 크다. 따라서 콘크리트의 운반, 이동, 타설 등 취급방법 면에서 묽은 비빔 콘크리트와는 약간의 차이가 있다. 특히 유동화제를 과잉첨가하거나 베이스 콘크리트의 슬럼프가 너무 커서 유동성이 과다한 경우에는 묽은골재의 분리가 생기기 쉽고, 묽은 비빔 콘크리트의 경우보다도 곰보 등이 생길 우려가 있다.

(2) 슬럼프 경시변화

된비빔 콘크리트를 베이스 콘크리트로 한 유동화 콘크리트는 묽은비빔 콘크리트에 비해 경과시간에 따른 슬럼프 손실이 크다. 이러한 이유는 콘크리트의 단위수량이 원래부터 작다는 것과 유동화제의 시멘트 입자 분산효과가 경시적으로 저하되기 때문이다. 유동화 콘크리트의 슬럼프 경시변화에 영향을 미치는 요인은 ①콘크리트의 배합, ②사용재료, ③온도, ④유동화제의 첨가시기, ⑤믹서의 종류, ⑥기타와 같다.

(3) 공기량

유동화제의 대부분은 그 주성분이 비공기연행성이기 때문에 유동화한 후의 공기량은 시멘트의 분산, 슬럼프의 증대, 유동화를 위한 교반 등에 의해 감소하는 경향이 있다. 최근의 유동화제는 유동화한 후 공기량 변화를 적게 되도록 조정하고 있지만 일반적으로 약간 감소하는 경향이 있다.

(4) 블리딩

유동화 콘크리트의 블리딩량은 베이스 콘크리트와 거의 변함이 없지만 동일 슬럼프의 경우 보통 콘크리트보다 적으나 지연형 유동화제의 경우는 약간 크다. 또한 잔골재중에 0.15mm 이하의 미립분이 적을 때에는 대폭적으로 증가하는 경우가 있으므로 주의하여야 한다.

(5) 응결

유동화 콘크리트의 응결시간은 표준형 유동화제를 사용하면 지연작용에 의한 영향이 거의 없으나, 10℃의 경우는 시멘트의 종류에 따라 크게 지연되는 경우가 있기 때문에 주의가 필요하다. 또 유동화제의 제조회사에 따라 약간 지연되는 경향도 있다.

지연형 유동화제의 경우는 응결시간이 표준형과 비교하여 3~6시간 차이가 있으므로 약 재령 강도가 베이스 콘크리트보다 적기 때문에 거푸집을 초기에 탈형할 때에는 주의하여야 한다.

(6) 펌프 압송성

일반적으로 유동화 콘크리트에서도 그 베이스 콘크리트의 슬럼프를 증가시키면 피스톤 전면압은 감소하지만, 동일 슬럼프의 유동화 콘크리트에서도 그 베이스 콘크리트의 슬럼프에 의해 피스톤 전면압에 차이가 생긴다. 슬럼프 12cm의 된비빔 콘크리트를 유동화하여 슬럼프 15~21cm로 하면 피스톤 전면압은 25~35% 감소한다. 즉, 동일 슬럼프의 유동화 콘크리트는 묽은 비빔콘크리트보다 압력손실이 적다.

(7) 재료분리에 대한 저항성

유동화 콘크리트의 재료분리에 대한 저항성은 유동화제의 첨가량 및 배합이 적절하면 AE콘크리트와 거의 같다. 또, 시멘트 입자의 분산과 감수효과에 의해 경화후 수밀성도 높아진다. 그러나 유동화제를 과잉첨가하면 비균질성이 증가된다.

2) 굳은 콘크리트의 성질

유동화 콘크리트의 굳은콘크리트 성질은 대개 된비빔 콘크리트의 성질과 같다. 따라서 동일 슬럼프의 묽은비빔 콘크리트의 경우와 비교하면 굳은콘크리트의 성질은 여러 가지 면에서 개선된 것이라 할 수 있다.

(1) 압축강도

유동화 콘크리트의 압축강도는 베이스 콘크리트와 거의 같으며, 재령 3년까지의 결과에 대해서도 거의 같다는 보고가 있다.

(2) 휨강도 및 인장강도

유동화 콘크리트의 휨강도는 베이스 콘크리트와 거의 동일하다. 압축강도에 대한 휨강도의 비는 1/7~1/8 정도로 유동화에 의한 영향을 거의 받지 않는다.

(3) 정탄성계수

유동화 콘크리트의 정탄성계수는 베이스 콘크리트와 거의

동등하다. 유동화 콘크리트의 압축강도와 정탄성계수의 관계는 콘크리트와 비슷한 방법으로 압축강도로부터 정탄성계수를 추정할 수 있다.

(4) 건조수축

유동화 콘크리트의 건조수축은 베이스 콘크리트와 거의 같으나, 뭍은비빔 콘크리트보다는 10~15% 정도 작다.

(5) 압축 크리프

유동화 콘크리트의 압축 크리프는 재하재령 30일까지는 베이스 콘크리트와 거의 같다. 재하재령이 50일을 넘으면 베이스 콘크리트보다 조금 크지만 거의 같다.

(6) 내구성

유동화 콘크리트의 60분까지의 표면흡수량은 베이스 콘크리트의 약 80%이며, 투수성은 베이스 콘크리트와 거의 같다. 내화학약품성은 내수성으로 추정하며, 유동화 콘크리트의 내화학약품성은 베이스 콘크리트와 거의 같다고 생각된다. 내마모성은 베이스 콘크리트와 뭍은비빔 콘크리트의 중간정도이며, 내열성은 뭍은비빔 콘크리트보다 약간 우수하다.

(7) 동결융해저항성

유동화 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 AB콘크리트와 거의 같다. 일반적으로 동결융해에 대한 저항성을 증대시키기 위해서는 적절한 공기포의 존재가 유효하며, 유동화 콘크리트도 비슷하게 적절한 공기포가 있으면 동결융해에 대한 저항은 양호하다고 할 수 있다.

(8) 수화열

유동화 콘크리트의 단열온도상승은 동일 물시멘트비, 동일 슬럼프의 뭍은비빔 콘크리트와 비교하여 단위시멘트량이 적기 때문에 분명히 낮아진다. 그러나 베이스 콘크리트에 대해서도 거의 같다고 하는 보고와 시멘트 분산에 의한 효율이 향상되기 때문에 베이스 콘크리트보다 약간 높다는 보고도 있다.

3. 실험

3.1 사용재료

1) 시멘트

본 실험에서는 KS L 5201에 규정된 S사 제품인 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	응결		안정도 (%)	압축강도(kgf/cm ²)		
		초결(분)	종결(분)		3일	7일	28일
3.15	3,235	293	384	0.09	202	273	361

표 2. 시멘트의 화학적 성분

성분	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Free CaO	강열감량
합량 (%)	61.3	21.1	5.2	2.8	4.00	2.40	0.60	2.00

2) 골재

본 실험에 사용한 잔골재는 강모래와 해사를 세척한 세척사를 1:1로 혼합하여 입도조정된 시료를 사용하였으며, 굵은 골재로는 쇄석과 더불어 인공경량골재인 팽창점토를 사용하였다. 실험에 사용한 골재의 물리적 성질은 3과 같다.

표 3. 골재의 물리적 성질

골재	골재최대치수	비중	흡수율 (%)	공극율 (%)	실적율 (%)	조립율 (FM)
잔골재	5mm	2.52	1.59	36.4	63.6	2.68
쇄석	20mm	2.61	1.23	35.5	64.5	6.79

3) 플라이애쉬

본 실험에 사용한 플라이애쉬는 미연소탄소의 함유량이 적고 입형이 구형에 가까운 보령산 플라이애쉬를 사용하였다.

표 4. 유연탄계 플라이애쉬의 특성

화 학 성 분 (unit : wt%)							물리적 성질	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	SO ₃	CaO	Blaine (cm ² /g)	비중
67.8	24.5	5.10	0.45	1.23	0.3	2.15	3,172	2.19

4) 고로슬래그

본 실험에 사용한 고로슬래그는 제철용 고로에서 발생된 포항산 서냉슬래그 파쇄 잔토분으로 No.16번 체로 체가름하여 사용하였다.

표 5. 고로슬래그의 특성

화 학 성 분 (unit : wt%)					물리적 성질	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mg	MnO	CaO	비중	
33.4	14.5	6.0	0.7	41.0	2.6	

5) 유동화제

본 실험에 사용한 유동화제는 T사에서 개발한 유동화제를 사용하였다. 유동화제는 나프탈렌을 원료로 한 제품으로 염화물을 함유하지 않은 제품이다. 콘크리트 배합에서 물의 양을 15~30% 감수시킬 수 있으며, 재료의 분리현상을 줄이고 워커빌리티를 향상시킬 수 있다.

표 6. 유동화제의 물성

유형	색	주성분	독성	pH	비중
액상	암갈색	나프탈렌 설론산염	무독성	7±1	1.20

표 7. 실험인자 및 수준

요인	w/b (%)	단위 결합재량 (kg/m ³)	W (kg/m ³)	S/a (%)	유동화제 투입량(%)	투입시간 (분)
인자	43.94	355	156	41.41	0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25	배합시, 30, 60, 90
수준	1	1	1	1	6	4
기호		N			a, b, c, d, e, f	1, 2, 3, 4

3.2 실험방법

1) 슬럼프 및 슬럼프플로우 측정 시험

슬럼프 시험은 KS F 2402에 따라 시험하였다. 슬럼프플로우 값 측정은 KS F 2402의 규정에 따른 시험기를 사용하였고 유동화 콘크리트의 특성상 다짐은 실시하지 않았다.

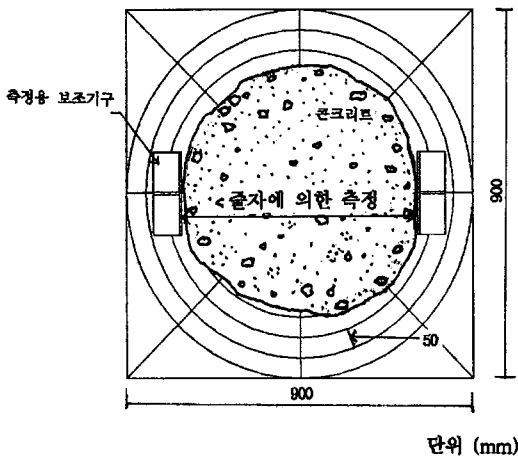


그림 2. 슬럼프플로우 시험장치

2) 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2403에 의거하여 $\phi 10 \times 20$ cm 압축강도 시험용 공시체를 제작하여 KS F 2405의 규정에 따라 압축강도 시험을 실시하였다.

3) 단위용적중량 시험

골재의 단위용적중량 시험은 KS F 2505에 따랐으며, 경화된 콘크리트의 단위용적중량시험은 KS F 2462에 준하여 시험을 실시하였다.

3.3 배합계획

유동화제의 투입량 증대에 따른 콘크리트의 유동성 변화를 분석하기 위하여 유동화제의 투입량을 0%에서 1.25%까지 6단계로 변화시켜 보통강도 콘크리트에 있어서 최적의 투입량을 도출하고자 하였다.

또한 투입시기의 변화에 따른 유동성 변화 추이를 관찰하기 위하여 배합시 및 30분, 60분, 90분 경과시 유동화제를 투입하였다. 실험수준 및 인자는 표 7과 같다.

4. 실험결과 및 고찰

보통강도 유동화 콘크리트의 유동특성 및 역학적 특성에 대한 실험결과는 표 8과 같다.

4.1 슬럼프 및 슬럼프 플로우시험

유동화제를 사용한 콘크리트의 유동특성을 분석하기 위하여 배합직후, 30분, 60분, 90분의 경과 시간별로 유동화제를 첨가하여 슬럼프를 측정함으로써 경과시간에 따른 유동성을 분석하였으며, 유동화제의 첨가량 변화에 따른 유동성의 변화 추이를 관찰하였다. 슬럼프 플로우의 측정이 가능한 배합에서는 투입시간에 따라 측정하여 슬럼프와의 관계를 살펴보았다.

1) 유동화제 첨가량에 따른 유동특성

유동화제를 첨가하지 않은 베이스 콘크리트는 된비빔 콘크리트로 제조하여 유동화제의 첨가량의 변화에 따른 콘크리트의 유동특성을 쉽게 규명할 수 있도록 계획하였다. 이에 따라 제조된 베이스 콘크리트의 슬럼프는 2.0cm로 나타났으며, 유동화제의 첨가량 변화에 따른 유동특성은 다음의 그림 5에 나타난 바와 같다.

유동화제의 첨가량이 증가함에 따라 콘크리트의 유동성은 향상되는 것을 알 수 있으며, 1.25%까지 유동화제를 투입하였을 경우에도 지속적으로 유동성이 증가하는 경향을 나타내었다. 배합시 유동화제를 투입한 경우를 기준으로 유동성능의 증가 추이를 살펴보면 0.25%를 투입한 경우에는 3.5cm, 0.5%를 투입한 경우는 7.0cm, 0.75%를 투입하였을 때는 9.5cm의 슬럼프 증가 현상이 관찰되었다. 유동화제를 1.0%를 투입하였을 때는 무혼입 배합과 비교하여 14cm의 슬럼프 증가가 나타났으며, 1.25%를 첨가한 배합에서는 20cm의 슬럼프 증가가 나타나 본 실험에 사용한 유동화제는 상당한 유동성의 증가를 기대할 수 있을 것으로 분석되었다.

그러나 유동화제를 1.25% 투입하였을 경우에는 약간의 재료분리현상이 나타나 1.25% 이상 유동화제를 투입하는 경우에는 재료분리에 의한 콘크리트의 성능저하가 일어날 것으로 판단되었다.

슬럼프 플로우의 경우는 슬럼프가 낮은 관계로 1%까지의 유동화제 첨가량에서는 슬럼프 플로우를 측정할 수 없었거나 측정할 필요가 없었으며, 첨가량 1.25%의 경우에 있어서 측정이 가능하였다.

표 8. 보통강도 유동화 콘크리트 실험결과

시료번호	w/b (%)	S/a (%)	C	F	S	A	W	유동화제 (%)	투입 시기	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	압축강도 (kgf/cm ²)				단위용적중량 (t/m ³)
												3일	1주	2주	4주	
n-1-1	43.94	41.41	337	18	680	1048	156	0.00	-	2.0	-	246	276	349	388	2.415
n-2-1								0.25	0분	5.5	-	260	298	377	403	
n-2-2									30분	4.5	-					
n-2-3									60분	1.5	-					
n-2-4									90분	1.5	-					
n-3-1								0.50	0분	9.0	-	263	291	346	397	
n-3-2									30분	8.5	-					
n-3-3									60분	3.5	-					
n-3-4									90분	2.0	-					
n-4-1								0.75	0분	11.5	-	257	284	325	376	
n-4-2									30분	12.0	-					
n-4-3									60분	7.5	-					
n-4-4									90분	4.5	-					
n-5-1								1.00	0분	16.0	-	247	284	317	326	
n-5-2									30분	14.0	-					
n-5-3									60분	17.0	-					
n-5-4									90분	8.0	-					
n-6-1								1.25	0분	22.0	47	234	266	302	316	
n-6-2									30분	19.0	43					
n-6-3									60분	19.0	46					
n-6-4									90분	20.0	38					

주) w/b : 물-분체비(%), S/a : 잔골재율(%), C : 시멘트, F : 플라이애쉬, S : 잔골재, A : 굵은골재, W : 물

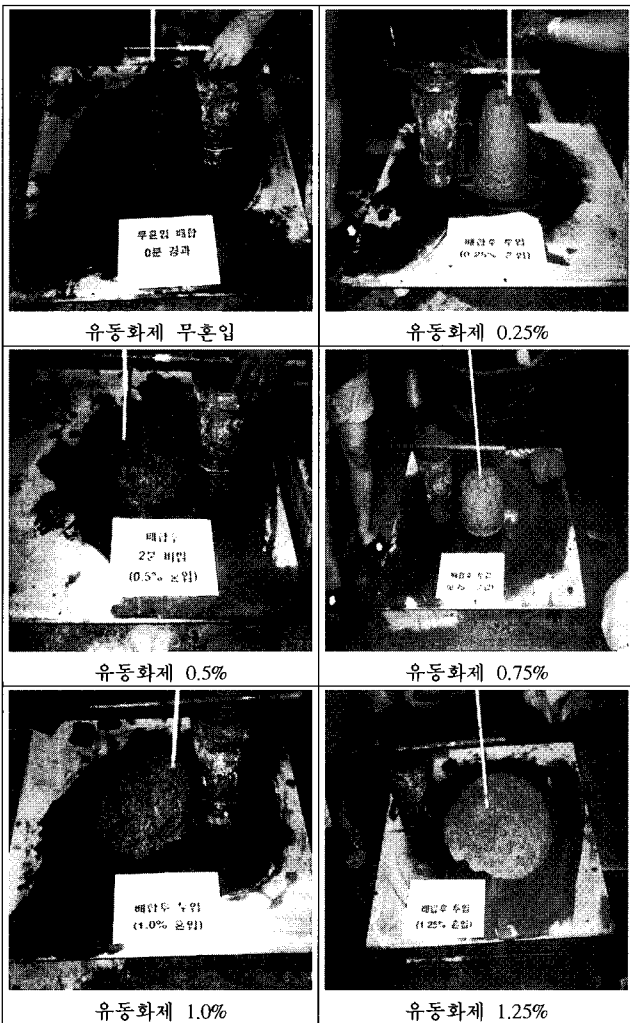


그림 3. 유동화제 첨가량에 따른 슬럼프플로우 시험장면

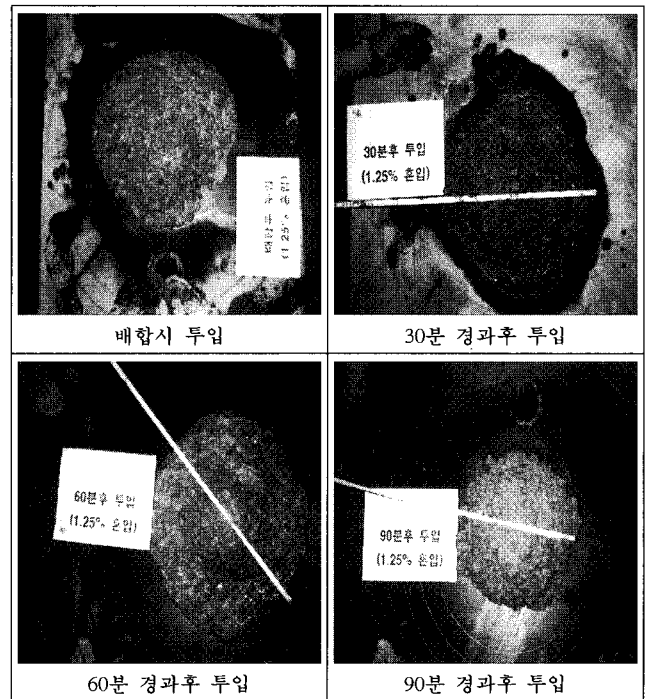


그림 4. 유동화제 투입시기에 따른 유동특성 실험 장면(1.25%)

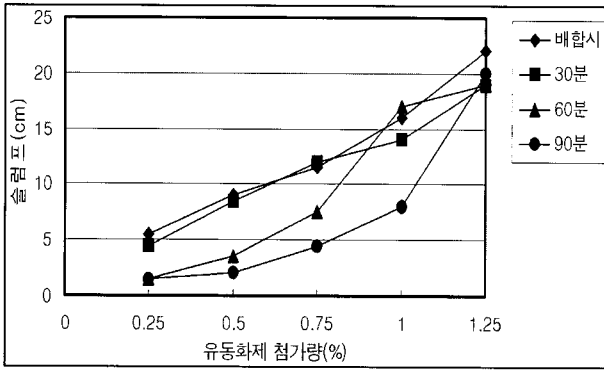


그림 5. 유동화제 첨가량에 따른 유동특성

2) 유동화제 첨가시기에 따른 유동특성

유동화제는 콘크리트의 유동성능을 개선하기 위해 현장에서 투입되는 혼화제이므로 콘크리트가 제조된 후 현장에 도착하는 시간과 작업을 위하여 대기하는 시간을 감안하여 그 성능을 규명할 필요가 있으므로 콘크리트를 제조한 후 유동화제의 첨가시기를 달리하여 유동특성에 대해 실험을 실시하였다. 그 결과 콘크리트 제조후 30분이 지났을 때 유동화제를 첨가할 경우에는 배합시에 첨가하는 경우와 비교하여 유동성능에 변화는 크게 나타나지 않았으나 시간이 경과할수록 프레쉬 콘크리트의 유동성능이 저하되어 유동화제에 의한 유동성능 개선에도 일정한 한계가 있었다. 그러나 유동화제 첨가량 1.25%의 경우에는 콘크리트에 투입하는 시기와 관계없이 일정한 유동특성을 나타내어 유동특성만을 고려할 경우에는 가장 우수한 유동성능을 나타내는 첨가량인 것으로 판단되었다.

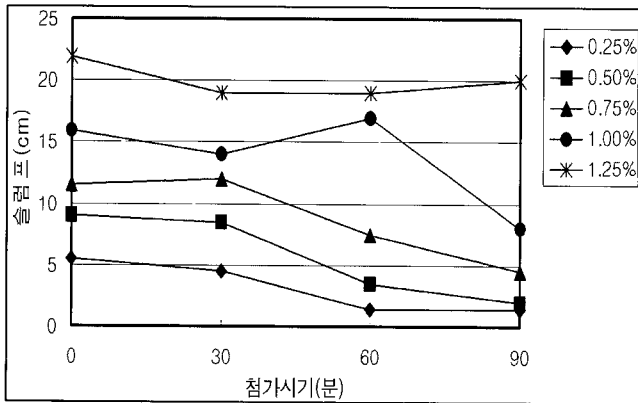


그림 6. 유동화제 첨가시기에 따른 유동특성

4.2. 압축강도시험

유동화제로 T사에서 개발한 유동화제를 사용한 유동화 콘크리트의 역학적 특성을 규명하기 위하여 가장 대표적인 특성인 압축강도에 대하여 평가하였다. 유동화제 혼입율에 따른 압축강도 변화 추이를 관찰하였으며, 유동화제가 강도발현 속도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 재령별 압축강도를 측정하였다.

1) 재령에 따른 압축강도

유동화제를 투입할 경우 유동화제의 성능에 문제가 있는

것은 초기 재령에 있어서 압축강도의 발현이 늦거나 심지어는 경화가 진행되지 않아 거꾸집 제거 시기가 지연되는 등의 문제점을 야기시키기도 한다. 유동화제를 콘크리트에 첨가하여 유동화 콘크리트를 제조하고 그 역학적 특성을 검토한 결과 압축강도 발현에는 커다란 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한 압축강도 발현곡선 역시 일반 콘크리트의 것과 비교해 볼 때 특이한 양상이 관찰되지 않았다. 따라서 유동화제가 압축강도에 유해한 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

3일 재령에 있어서 콘크리트의 압축강도는 234~263kgf/cm²으로 측정되었으며, 4주 강도와 비교할 때 평균적으로 약 68%의 압축강도 발현율을 나타내었다. 따라서 초기 강도의 발현에 아무런 문제가 없었으며, 거꾸집 탈형시기도 일반적인 콘크리트와 동일하게 시행할 수 있을 것으로 나타났다. 1주일 재령에서는 3일 재령과 거의 동일한 양상을 나타내었으며, 강도발현율은 평균적으로 77%로 분석되었다. 그러나 4주 이상의 장기재령으로 가면서 유동화제를 1% 이상 첨가한 배합에서 압축강도의 상대적 저하현상이 나타나 사용시 유의해야 할 것으로 판단되었다.

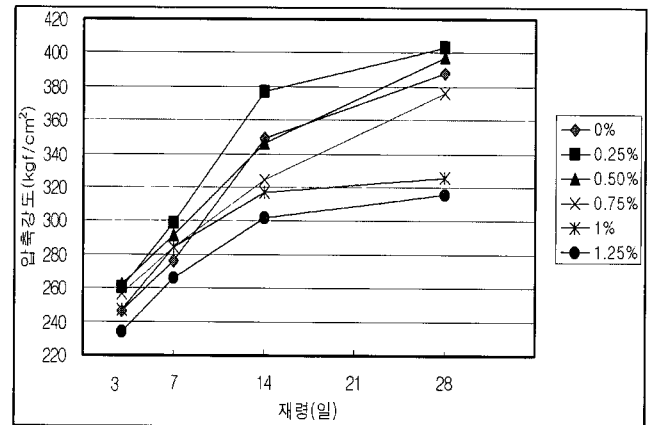


그림 7. 재령에 따른 압축강도

2) 유동화제 첨가량에 따른 압축강도

유동화제의 투입량에 따른 압축강도의 변화추이는 다음의 [그림 8]과 같다. 유동화제를 첨가하지 않은 배합을 기준으로 하여 분석해 볼 때, 유동화제의 투입량이 0.25%인 배합은 전 재령에 있어서 압축강도의 발현이 우수하여 유동화제가 유동성의 개선뿐만 아니라 압축강도의 증진에서도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 4주 강도를 기준으로 할 때, 0.25%를 혼입한 배합에서는 15kgf/cm²의 강도 증진이 이루어져 약 104%의 강도발현율을 나타내는 것으로 측정되었다. 이는 콘크리트의 유동성을 증대시킴으로서 콘크리트의 균질성을 확보하고 균일한 수화반응을 촉진하기 때문인 것으로 판단된다.

유동화제 첨가량 0.5% 역시 무혼입 배합에 비하여 전반적으로 압축강도가 높은 것으로 나타났으며, 0.75%를 투입한 배합에 있어서는 무혼입 배합과 거의 비슷한 압축강도 발현이 이루어졌다. 그러나 1% 이상의 배합에서는 무혼입 배합에 비해 콘크리트의 압축강도가 상대적으로 낮게 나타났다. 따라서 유동화제를 콘크리트에 1% 이상 첨가할 경우에는 현장 시

공시 요구되는 콘크리트에 성능, 즉 콘크리트의 압축강도나 유동성 등에 대한 명확한 판단이 선행되어야 할 것이며, 요구되는 성능에 적합하도록 유동화제의 투입량을 결정해야 할 것으로 사료된다.

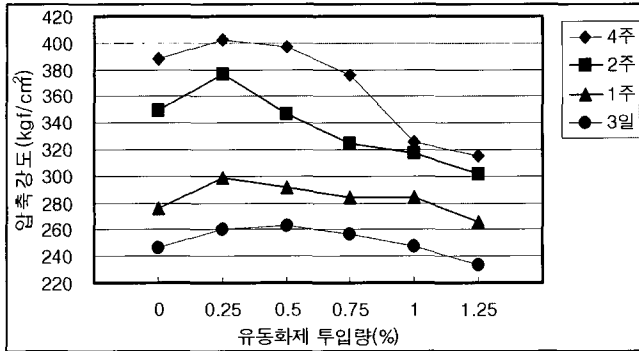


그림 8. 유동화제 투입량에 따른 압축강도

5. 결 론

고품질, 고성능 콘크리트를 제조 공급하여 철근콘크리트 구조물의 시공성을 향상시키기 위한 방안이 현실적으로 요구되고 있다. 이에 따라 유동화 콘크리트에 대한 기초 성능을 확인하고, 유동화제 투입시기에 따른 유동성능과 그 품질성을 규명함으로써 유동화 콘크리트의 품질과 신뢰성을 확보하기 위한 본 실험의 결과 다음과 같은 결론은 도출하였다.

- 1) 유동화제의 첨가량이 증가함에 따라 콘크리트의 유동성능은 향상되는 것을 알 수 있으며, 1.25%까지 유동화제를 투입하였을 경우에도 지속적으로 유동성이 증가하는 경향을 나타냈으나, 유동화제를 1.25% 투입하였을 경우에는 약간의 재료분리현상이 나타나 1.25% 이상 유동화제를 투입하는 경우에는 재료분리에 의한 콘크리트의 성능저하가 일어날 것으로 판단되었다.
- 2) 콘크리트 제조후 30분이 지났을 때 유동화제를 첨가할 경우에는 배합시에 첨가하는 경우와 비교하여 유동성능에 변화는 크게 나타나지 않았으나 시간이 경과할수록 프레스콘크리트의 유동성능이 저하되어 유동화제에 의한 유동성능 개선에도 일정한 한계가 있었다. 그러나 유동화제 첨가량 1.25%의 경우에는 콘크리트에 투입하는 시기와 관계없이 일정한 유동특성을 나타내어 유동특성만을 고려할 경우에는 가장 우수한 유동성능을 나타내는 첨가량인 것으로 판단되었다.
- 3) 유동화 콘크리트의 역학적 특성을 분석한 결과 첨가량이 0.25%일 경우에는 4% 정도의 압축강도 증진효과가 있었으며, 초기 재령에서도 평균 68%의 강도발현율을 나타내어 거푸집 탈형시기에 미치는 영향은 없는 것으로 분석되었다.
- 4) 유동화제를 보통강도 콘크리트에 첨가하여 유동화 콘크리트를 제조하고 그 역학적 특성을 검토한 결과 압축강도 발

현에는 커다란 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한 압축강도 발현곡선 역시 일반 콘크리트의 것과 비교해 볼 때 특이한 양상이 관찰되지 않았다. 따라서 유동화제가 압축강도에 유해한 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

- 5) 유동화제의 투입량에 따른 압축강도는 유동화제의 투입량이 0.25%와 0.5%인 배합은 콘크리트의 유동성을 증대시킴으로서 콘크리트의 균질성을 확보하고 균일한 수화반응을 촉진한 전반적으로 유사하거나 약간 높은 압축강도를 나타냈으나, 1% 이상의 배합에서는 무혼입 배합에 비해 콘크리트의 압축강도가 상대적으로 낮게 나타났다. 따라서 유동화제를 콘크리트에 1% 이상 첨가할 경우에는 현장 시공시 요구되는 콘크리트에 성능, 즉 콘크리트의 압축강도나 유동성 등에 대한 명확한 판단이 선행되어야 할 것이며, 요구되는 성능에 적합하도록 유동화제의 투입량을 결정해야 할 것으로 사료된다.

이상에서의 연구결과를 바탕으로 유동화제의 투입에 따른 강도 특성에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 콘크리트의 타설시점과 관련하여 유동화제 투입시기 및 시기별 투입 후의 슬럼프 경시변화에 대한 다각적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 시립인천대학의 학술 연구비 지원하에 이루어진 연구의 일부로 본 연구실험에 많은 도움을 주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 초유동 콘크리트의 개발 및 실용화 연구, 대우건설기술연구소, 1996. 10
2. 대한토목학회, 유동화 콘크리트 시공지침(안)-동해설, 대한토목학회, 1991. 10
3. 선경건설 부설연구소, 고성능 콘크리트 실용화 기술개발, 선경건설 부설연구소, 1995. 12
4. J.P.H.Frearsen and D.D.Higgins, Effect of Test Procedures on the Assessment of Sulfate Resistance of Slag Cements, Fly Ash, Silica Fume, Slag, and National Pozzolans in Concrete, volume II, ACI, 1995
5. M. D. Cohen and B. Mather, ACI Materials Jour., Vol. 88, No.1, 1991
6. 名和豊春-深谷泰文-鈴木清孝-柳田克己, 高ピライト系ヒメソトを用いた 高流動-高強度コンクリートに関する研究, 콘크리트에工學年次論文報告集, Vol.15, No1, 1993. 6
7. 超流動콘크리트研究委員會, 超流動콘크리트研究委員會報告書(I), 日本콘크리트工學協會, 1993. 5