

철근배근이 복잡한 구조물에 타설하기 쉬운 초유동 레미콘 특성

Properties of Superplasticized Ready Mixed Concrete for Heavily Reinforced Concrete Structures

조일호*
Cho. Il-Ho

신무섭**
Shin. Moo-Seop

백일환***
Baek. Il-Whan

이건갑****
Lee. Geon-Gab

Abstract

This research which lays emphasis on ready mixed concrete standard 25-210~240kgf/cm² shows the influence caused by the ratio of ingredients of superplasticized concrete, and the flowing and strength development of mortar and concrete according to the ratio of ingredients.

This research shows that flowability, compactability, and segregation resistivity are the best condition under the following ratio of ingredients: fly ash 30%, unit binders 490~510kg/m³, unit weight of water 184~194kg/m³, fine aggregate ratio 49~51%, and superplasticizer 1.1~1.5%.

Following this ratio of ingredients, the reinforced concrete structures to need design strength 25-210~240kgf/cm² can apply to complicated constructions

1. 머리말

최근 국내에서도 다짐을 하지 않고도 형틀 구석구석 까지 충전할 수 있는 초유동 콘크리트 연구개발이 활발하다. 이 콘크리트의 출현에 의해 다짐작업의 불량에 의한 구조물의 품질저하 해소와 시공의 합리화 등 콘크리트 시공 자체를 흔드는 듯한 새로운 바람이 일고 있다. 그런데 가장 중요한 “초유동 콘크리트”란 무엇인가 하는점이 확실히 정립되어 있다고 볼 수 없다. 예를들면 슬럼프플로우는 어느 정도의 값이 적절한지? 약간의 진동을 준 콘크리트도 “초유동”의 일종인지? 등, 이와같이 불명확한 점도

* 정회원, 동양시멘트(주) 고객지원부 대리

** 동양시멘트(주) 고객지원부장

*** 동양시멘트(주) 고객지원부 차장

**** 동양시멘트(주) 고객지원부 과장

있지만, 초유동 콘크리트에 관해서는 이미 콘크리트학회, 건축학회에서도 분과위원회가 마련되고 있으며, 국책과제로도 수행되고 시공예도 있다. 그 점에서 생각하면 국내의 경우도 초유동 콘크리트는 연구소 및 학교 중심으로 위치를 구축해가고 있다고 생각된다. 또한, 초유동 콘크리트에 관해서는 이미 많은 문헌과 단행본이 있으며, 그 조합 및 배합에 관해서도 많이 소개되고 있다. 본 연구에서는 보통시멘트 쪽에서 운송비용이 가장 저렴한 보령화력발전소산 산업부산물인 플라이애쉬를 혼합재로 사용하여 무모한 원재료 입수나 실험 등을 피하고 현재 가장 많이 출하되고 있는 설계기준강도 25-210 ~ 240kgf/cm²의 효율적인 초유동 레미콘으로서 충분한 유동성을 가지면서 분리저항성이 높고, 보통 콘크리트에서는 타설이 곤란한 부재에도 타설이 가능한 성능을 가지며 경화후의 내구성에도 양호한 품질을 유지하며 보통 콘크리트의 출하에도 지장이 없도록 경제성에 중점을 두어, 굳지않은 상태를 중심으로 다가올 고성능화, 고기능화 콘크리트 공사에 대비하고자 하였다.

2. 실험의 개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

초유동 콘크리트에 사용되는 시멘트는 중용열 시멘트, 고벨라이트계 시멘트, 입도조정 시멘트 등이 있으나, 당사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 시멘트의 품질을 표 1에 나타내었다.

표 1 시멘트의 품질

(unit : wt%)

구성화합물(wt %)									비중	비표면적(cm ² /g)
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. Loss		
21.19	3.03	5.18	61.94	3.03	2.28	0.06	1.01	0.91	3.14	3,354

(2) 혼화제

실험에 사용한 화학혼화제는 나프탈렌설포산염을 주성분으로한 Mighty 150의 표준형 고성능감수제이며 그 물성은 표 2와 같다.

표 2 화학혼화제의 물성

시료명	물성	주성분	비중	고형분 (%)	pH	색상
고성능감수제		나프탈렌설포산염	1.19	42.53	9.1	흑갈색액체

(3) 배합수 : 상수도수 사용

(4) 골재

현재 당 사업소에서 사용중인 굵은골재 및 잔골재는 레미콘 제조에 사용되는 것으로 잔골재만 표면을 보정하여 실험에 사용하였다.

표 3 사용골재의 시험결과

종 류	항 목	비 중	조 립 율 (F.M.)	잔 입 자 (%)	단 위 용 중 (kg/m ³)	실 적 율 (%)
	쇄석 25mm	2.60	6.47	0.46	1,536	59.0
	자 연 석	2.60	6.61	0.50	1,618	62.4
	하 천 사	2.68	2.59	1.20	1,520	58.7

(5) 혼화재

현재, 초유동 콘크리트에 사용되는 혼화재는 고로슬라그 미분말, 석회석 미분말, 실리카흙 및 플라이애쉬가 실내실험 및 시공예가 많지만 국내에서 입수가가능하고 물류비용이 저렴한 유연탄 플라이애쉬(보령화력발전소산)를 사용하였으며 그 품질은 표 4 및 그림 1과 같다.

표 4 플라이애쉬의 품질

(unit : wt%)

구성화합물(wt %)									비 중	비표면적(cm ² /g)
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. Loss		
43.76	4.02	29.79	8.74	2.50	0.34	0.34	0.63	5.09	2.22	2,816

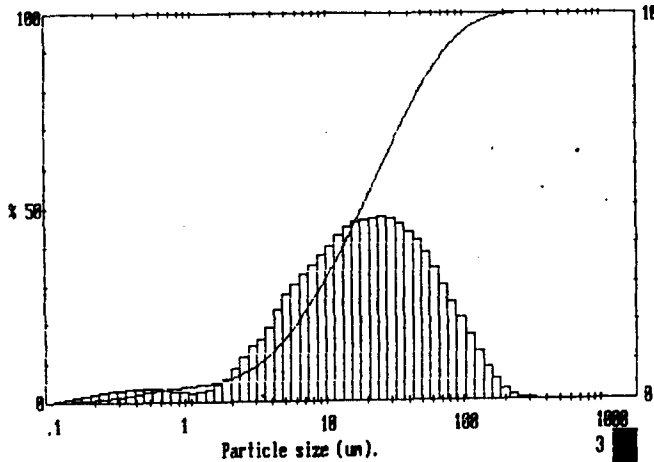


그림 1 플라이애쉬의 입도분포

2.2 수화발열 특성

시멘트와 플라이애쉬 혼합비에 따른 발열특성을 그림 2에 나타내었다. 그림 2는 시멘트를 플라이애쉬로 일정량 치환한 결합재의 실험한 결과로서 플라이애쉬 치환율에 따라 시멘트의 수화발열량이 떨어지는 것을 알 수 있다.

3. 몰탈실험

3.1 실험계획 및 방법

표 5는 시멘트와 플라이애쉬를 결합재로 사용한 몰탈의 유동성을 파악하기 위하여 각 결합재의 혼합비율을 변화시키고 결합재량에 따른 고성능감수제 첨가량은 약 2%를 넘지않는 범위에서 배합하는 것이 적당한 것으로 알려져 있어 초유동 콘크리트 제조시 몰결합재비 상태에서 고성능감수제의 사용량을 2% 이내로 제한하였다. 유동성의 확인은 미니슬럼프(사진 1 참조)를 사용하여 측정하였다.

3.2 몰탈배합 및 유동성 실험

몰탈은 표 6에서 보듯이 결합재와 주문진 표준사를 플라이애쉬 혼합율, 결합재율, 결합재량 및 잔골

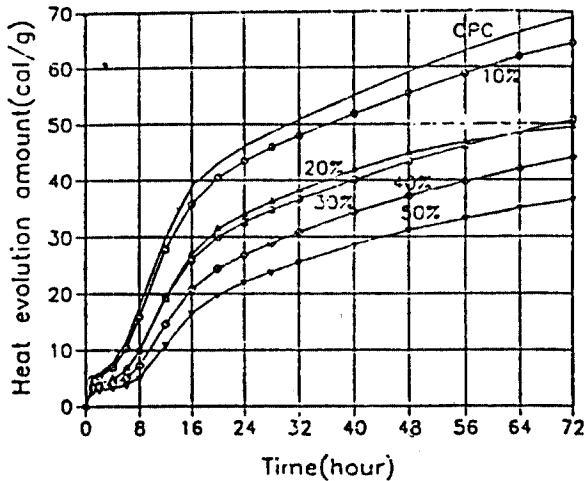


그림 2 플라이애쉬의 치환율에 따른 결합재의 수화발열량



사진 1 미니슬럼프를 이용한 유동성 측정장치

표 5 몰탈배합비

물결합재비(%)	플라이애쉬 치환율(%)				
	0	10	20	30	40
32	○	○	○	◎	○
35	○	○	○	◎	○
38	○	○	○	◎	○
41	◎	◎	◎	◎	◎

○ 몰탈유동성 실험
◎ 몰탈유동성, 압축강도 실험

표 6 몰탈배합

결합재율(%)	종류(kg/m ³)					
	분체량	FA	W	C	S	SP.
32~41	460~540	0~40	163.2~209.1	322~357	745~856	6.9~7.65

재율의 변동에 따라 결합재량은 540~460kg/m³, 물결합재비 41~32%, 잔골재율 53~46%, 고성능 감수제 1.5%에서 혼합하여 제조하였으며, 몰탈의 혼합에는 혼합용 믹서를 사용하였다. (단, 잔골재율의 변동 실험은 콘크리트 실험에서 몰탈부분만 채취하였음)

3.3 실험결과 및 고찰

몰탈은 표 7 및 그림 3에서 보듯이 플라이애쉬 혼합율이 증가함에 따라서 미니슬럼프 플로우 값은 10~20%의 경우 27~30cm로 거의 일정하게 보이며 30%에서 약 36cm로 가장 크게 나타났다. 이것은 플라이애쉬를 혼합재로 사용하면 유동성을 개선시키는 것으로 보고되고 있으나 국내산 플라이애쉬의 경우 유동성 증대 효과는 그다지 크게 나타나지 않았다. 따라서 몰탈의 플로우는 항복치에 영향을 받으므로 플라이애쉬의 첨가는 몰탈의 항복치와 점성을 모두 증가시켜 유동성이 저하하는 것으로 판단된다. 유동성의 변화는 유변학적 개념을 도입하여 보다 정량적으로 파악되어질 필요가 있다고 본다.

표 7 및 그림 4~6에서는 결합재비율 및 결합재량 증가에 따라 미니슬럼프 플로우 값도 증가하는 경

표 7 각각의 비율에 따른 미니슬럼프 플로우 변화

측정	종류	혼합율(%)					결합재량(kg/m ³)				결합재율(%)				잔골재율(%)			
		0	10	20	30	40	460	490	510	540	32	35	38	41	46	49	51	53
미니슬럼프 플로우(cm)		27	30	30	36	31	10	18	21	31	10	18	20	35	24	24	22	26.5

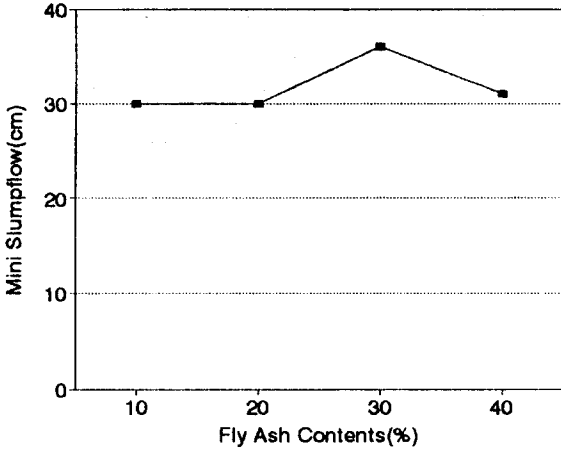


그림 3 플라이애쉬 치환율에 따른 미니슬럼프 플로우 변화

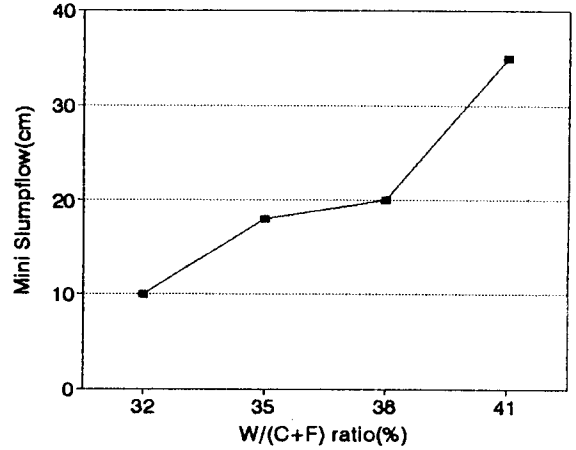


그림 4 물결합재비에 따른 미니슬럼프 플로우 변화

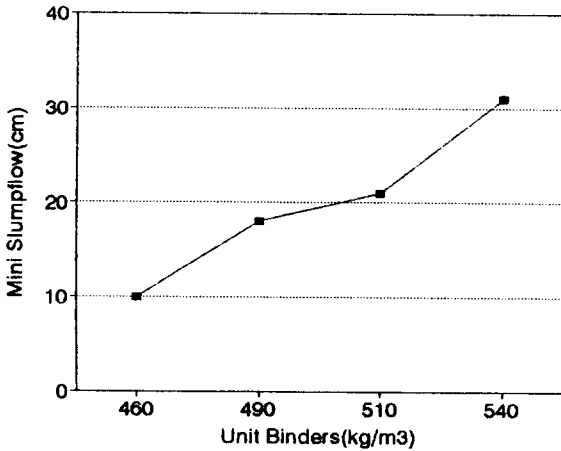


그림 5 결합재량에 따른 미니슬럼프 플로우 변화

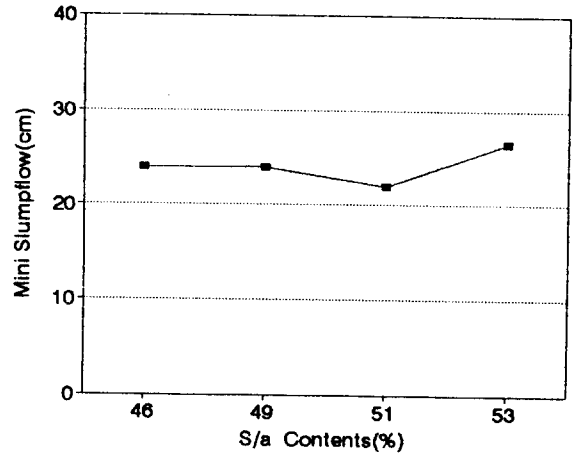


그림 6 잔골재율에 따른 미니슬럼프 플로우 변화

향을 나타내었으며, 잔골재율에 따른 변화는 거의 일정하게 나타났으나 51%에서 약 22cm로 낮게 나타났다. 이것은 페이스트 및 몰탈 부분에 굵은골재의 불규칙한 잔입자 형성으로 변형속도가 불균일하게 되고 불규칙한 잔입자와 잔골재끼리 접촉하여 아치를 형성하기 때문에 몰탈자체의 유동성에 변형이 생기게 된 것으로 본다. 따라서 초유동 콘크리트를 제조하는데는 몰탈과 굵은골재의 재료분리를 억제하는 것이 필요하다고 본다.

4. 콘크리트 실험

4.1 실험개요

기존의 문헌을 참고로 증점제나 특수혼화제, 슬라그미분말 등을 사용하지 않고 구입이 쉽고 비용이 저렴한 플라이애쉬만을 사용, 예비실험을 통하여 물결합재비 변화, 잔골재율 변화, 고성능감수제량 변화 등을 중심으로 배합요인이 고유동 레미콘의 유동성능에 미치는 영향과 경시변화 및 강도특성을 파악하였다.

4.2 혼합방법

가경식 믹서에 시멘트, 플라이애쉬, 잔골재를 투입한 후 30초간 건비빔을 행하고 물, 고성능감수제 투입하여 2분간 교반 후 조골재를 투입 2분간 교반, 그리고 콘크리트를 배출하여 물성측정을 하였다.

4.3 시험항목

균지않은 상태에서 변형성상을 측정하는 슬럼프플로우 목표치는 65 ± 5 cm, O형갈때기에 의한 유하 시간 목표치는 10sec 전후로 하였다. 또한, 육안관찰에 의한 재료분리 유무를 확인하였고, 철근간 및 형틀 등을 통과하는 정도를 나타내는 L형 철근격자 시험장치를 통하여 콘크리트가 흘러간 후의 유동 거리를 측정, 철근 주변부 및 형틀 구석구석 까지 채우는 상태를 나타내는 과밀배근 충전성 시험장치에 의한 유동상황을 육안관찰로 충전성을 확인하였다. 강도특성으로 압축강도 7일, 28일을 측정하고

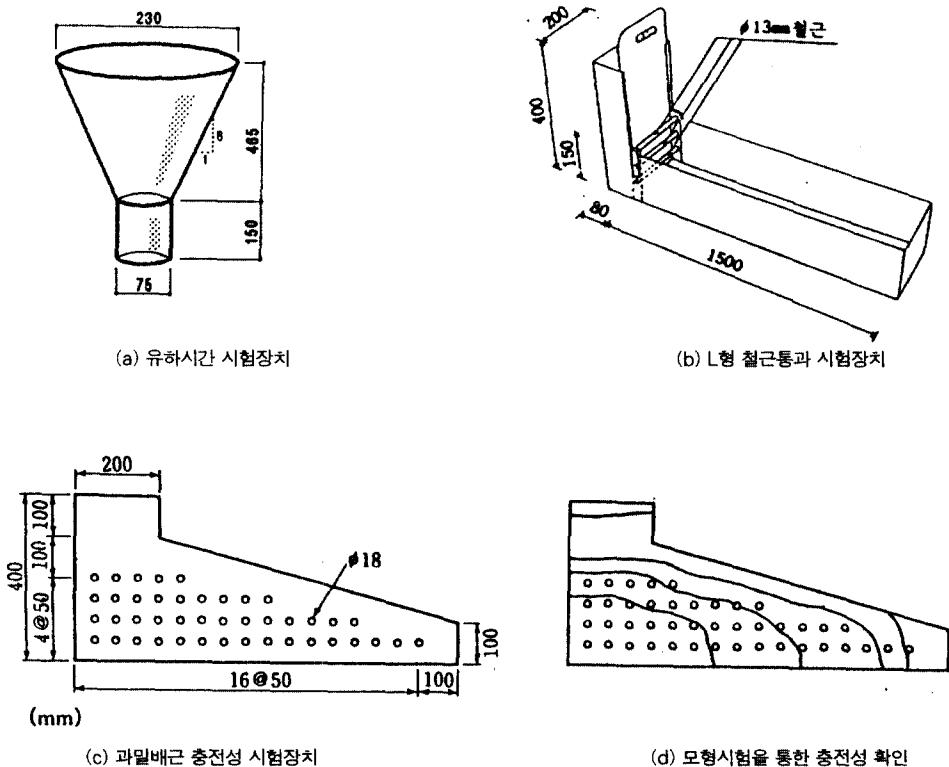


그림 7 초유동 콘크리트의 평가시험기

공시체의 기공분포 상태를 파악하였다.

4.4 콘크리트 배합조건

콘크리트의 배합은 몰탈실험을 기준으로 하여 표 8에서 보는바와 같이 물결합재비 4수준(33~41%)에서 유동성, 분리저항성, 충전성이 양호한 배합을 선택하였다.

표 8 콘크리트 배합범위

W/B (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)				결합재 (%)	SP. (Cxwt%)	목표치			
		W	C	S	G			Slump Flow(cm)	유하시간 (초)	충전 상태	Air (%)
33~41	45~53	161~217	318~380	745~876	751~848	30	1.1~2.0	65±5	10±3	양호	2±1

4.5 실험결과 및 고찰

(1) 물결합재비의 영향(단위수량, 단위결합재량)

그림 8에서 보듯이 단위수량을 증대시켜도 슬럼프플로우는 증가되지 않는 것을 볼 수 있다. 이것은 충전성을 높이기 위해서 유동성과 재료분리 저항성 양자를 높일 필요가 있으며, 다짐없이 형틀내에 타설하기 위해서는 우선 자중으로도 흐를 정도로 유동성, 항복치를 적게할 필요가 있다고 본다. 또한, 분체량과 잔골재율이 일정한 조건하에서 소정의 슬럼프플로우치를 얻기 위해서는 고성능감수제의 사용량은 단위수량의 증대(수분체비의 증대)에 비례하여 감소하고 콘크리트의 점도도 저하하므로, 초유동 콘크리트를 제조하는 데는 몰탈과 굵은골재의 재료분리를 억제하는 것이 필요하다고 판단된다. 또한, 일정한 물결합재비에서 단위결합재량이 증가함에 따라 슬럼프 플로우는 증가하였으며 유하시간도 빠르게 진행되었다. 그러나 단위결합재량이 낮아수록 철근장해부에서 굵은골재끼리의 응집현상이 나타났고 시료가 철근사이를 빠져나오지 못하였다. 따라서 철근과 굵은골재량 사이의 마찰저항을 저감시키고 굵은골재와 몰탈부분이 일체가 되어 유동하기 위해서는 일정량 이상의 490~510kg/m³ 단위결

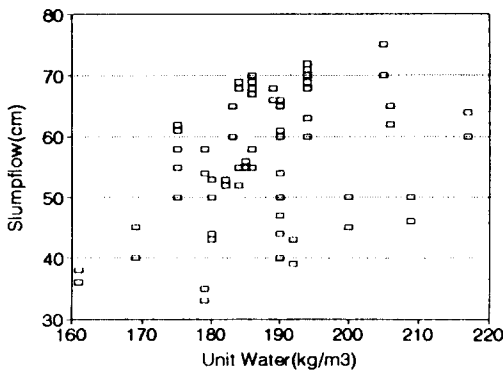


그림 8 단위수량과 슬럼프플로우의 관계

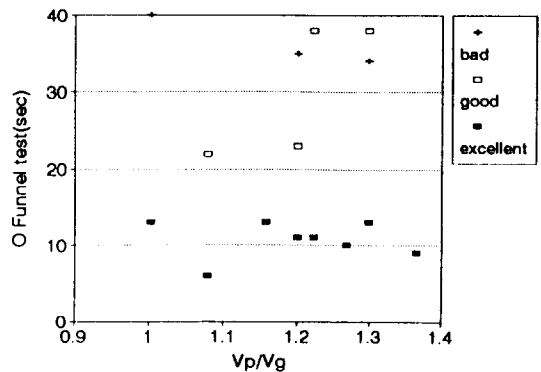


그림 9 단위스페이스트/굵은골재용적비와 유하시간과의 관계

합재량이 필요하다고 판단된다.

(2) 단위페이스트/굵은골재 용적비의 영향

그림 9에서 보듯이 유하시간은 굵은골재에 대한 페이스트 용적비와 상관성이 있는 것으로 나타나 단위 굵은골재량이 많은 배합일지라도 상대적으로 페이스트량이 많은 배합은 유하시간이 짧게 나타남을 알 수 있다. 따라서 단순히 페이스트량이 증가하는 것만으로 고유동을 얻으려고 하면 양호한 경화 성상을 얻을 수 없으리라 본다. 본 시험에서 초유동 콘크리트의 단위페이스트량은 보통콘크리트와 비교하여 증가하는데 있으므로 초유동 콘크리트에 요구되는 콘시턴시를 얻기 위해서는 양호한 충전성을 나타내면서 유하시간이 비교적 빠른 13초미만 범위로 단위페이스트/굵은골재용적비가 1.2~1.3사이에서 단위페이스트량을 확보할 필요가 있다고 본다.

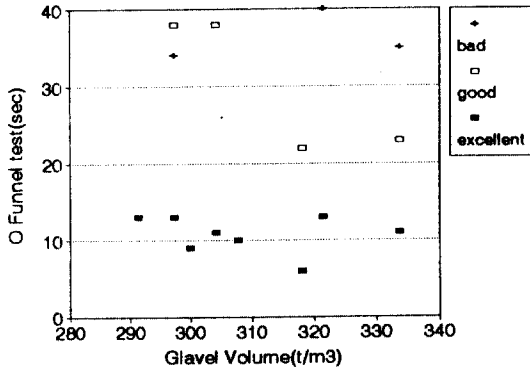


그림 10 굵은골재용적비와 유하시간과의 관계

(3) 단위 굵은골재량의 영향

그림 10에서 보듯이 굵은골재용적이 증가함에 따라 낙하시간이 저하하는 것을 볼 수 있다. 이것은 굵은골재량 뿐만 아니라 굵은골재간의 표면에 필요량의 몰탈입자에 작용하고 있는 부착력(분자간력, 수분에 의한 모관력 등)과 레올로지(소성점도) 변화에도 관련이 있는 것으로 판단된다. 그림 7(d)에서 보듯이 철근배근이 과밀한 부분이나 복잡한 형상의 거꾸집 등에 콘크리트를 타설할 경우 양호한 충전성을 나타내기 위해서는 콘크리트중의 굵은골재용적을 조절하므로써 콘크리트의 유동과정에서 발생하는 굵은골재간의 맞물림 현상, 충돌, 마찰에 의한 유동저항성 등을 감소시킬 수 있을 것으로 판단

된다. 여기서는 유하시간과 충전성이 양호하게 나타난 굵은골재용적 범위는 290~330t/m³ 사이로 나타났다. 따라서 굵은골재간의 거리를 충분히 확보하면서 굵은골재간의 표면에 필요량의 몰탈을 부착

표 9 콘크리트 배합

Water	Cement	Flyash	Sand	Gravel	SP.	비고
194	357	153	777	815	5.6	장자갈 사용

표 10 측정결과

슬립프플로우(cm)	O형갈때기(sec)	L형충전성	L형유동거리(cm)	공기량(%)	압축강도(kgf/cm²)	
					7일	28일
68	9	양호	75	1.2	207	319

표 11 시간경과에 경시변화

구분	최초	20분	40분	80분
슬립프플로우(cm)	69, 70	63, 64	60, 61	59, 60

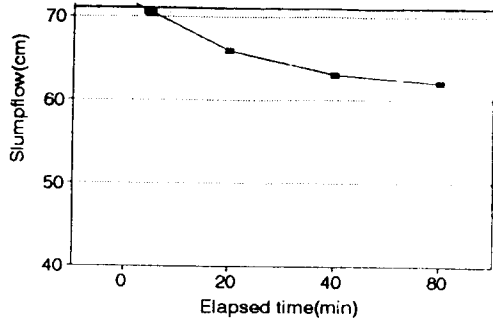


그림 11 초유동 레미콘 슬럼프플로우 경시변화

근과밀배근을 모사한 충전성 시험장치를 사용하여 시간변화에 따른 충전성을 종합적으로 판단하였다.

그림 11에서 보듯이 시간이 경과함에 따라서 슬럼프플로우 로스가 거의 생기지 않는 우수한 결과를 보이고 있어 적어도 레미콘 장거리 운반 80분까지는 실시공에 적용하여도 슬럼프플로우 로스 발생은 문제가 되지 않을 것으로 본다.

4.6 콘크리트 공시체 기공율 측정

(1) 화상처리

콘크리트 공시체($\phi 10 \times 20\text{cm}$)의 기포특성을 측정하는 방법으로 ASTM규정에 Point count법, 수정 Point count법 등이 있지만 시간과 노력이 많이 소모된다는 점에서 최근에 화상분석기를 이용한 화상분석이 많이 이용되고 있다. 본 측정에서는 콘크리트 공시체($\phi 10 \times 20\text{cm}$)를 절단해서 QUANTIMET 520의 화상분석기를 이용한 콘크리트 공시체의 기포특성을 평가하는 것으로 하였다.

(2) 화상분석 결과

측정된 각 항목에서 보통콘크리트 공시체에 대한 초유동 콘크리트 공시체의 기포특성을 살펴보면, 보통콘크리트의 기포특성을 100으로 하면 초유동 콘크리트 공시체 각 항목비율에서는 기포갯수가 45.8, 기포직경은 45.4의 비율을 갖는다는 것을 알 수 있으므로 대략 두 공시체의 기포비율은 1:2 정도의 비율을 가지는 것으로 분석되었다. 실제 48개 화상의 측정면적은 $10900000 \mu\text{m}^2 \times 48$ 이므로 각 공시체에서 측정된 기포면적을 계산하면 초유동 콘크리트 공시체의 기공율 1.32%, 보통 콘크리트 공시체의 기공율은 2.78%와 같은 기공율을 나타내었다. 따라서 화상분석에 의한 기포특성 분석에서 초유동 콘크리트가 보통콘크리트 보다 약 절반의 값을 갖는다는 것이 분석되었다.

4. 맺음말

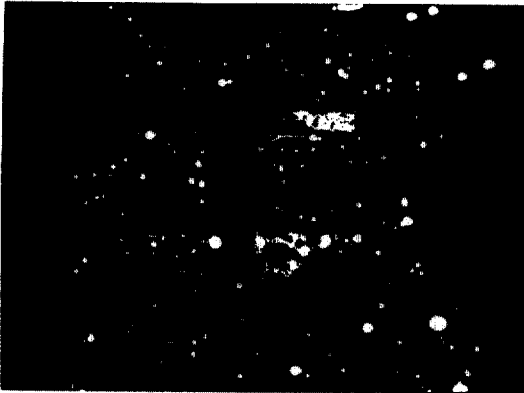
본 실내실험의 결과 증점제나 슬라그미분말 등을 사용하지않고 혼합재로 플라이애쉬만을 사용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 시멘트를 플라이애쉬로 일정량 치환율에 따라 시멘트의 수화발열량이 급격히 저하하였다.

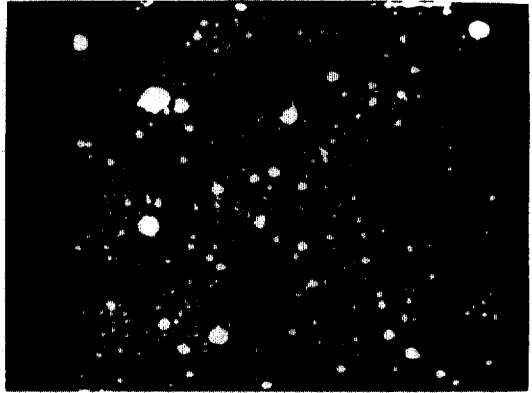
시킬 필요가 있다고 본다. 그러므로 초유동 콘크리트의 경우는 보통콘크리트에 비하여 단위겉은골재량이 작은 경향이 있다.

4.6 고유동 레미콘 경시변화

잔골재는 표면수 3%를 적용하여 실시공에 적합하다고 판단되는 기준배합에 대하여 물결합재비 38%, 잔골재율 49%, SP. 1.1%로 교통체증으로 인한 운반시간의 변화에 따른 영향을 파악하기 위하여 경시변화를 측정하였다. 경시변화의 평가를 위하여 슬럼프플로우, 유하시간을 실시하고 철



(a) 초유동 레미콘 공시체



(b) 보통레미콘 공시체

사진 2 초유동/보통 레미콘 공시체의 분석화상

- 2) 플라이애쉬 혼합율이 증가함에 따라서 미니슬럼프 플로우 값은 10~20%의 경우 27~30cm, 30%에서 약 36cm로 가장 크게 나타났다.
- 3) 초유동 레미콘에 요구되는 배합은 단위결합재량 490~510kg/m³, 유하시간 13초 미만, 단위 페이스트/굵은골재용적비 1.2~1.3, 굵은골재용적 범위는 290~330t/m³이 필요하다.
- 4) 레미콘 장거리 운반 80분까지는 실시공에 적용하여도 슬럼프플로우 로스 발생은 문제가 되지 않을 것으로 본다.
- 5) 기포면적은 고유동 레미콘 공시체의 기공율 1.32%, 보통레미콘 공시체의 기공율은 2.78%로 나타났다.
- 6) 플라이애쉬를 결합재의 일부로 치환하고 강자갈을 사용하면 원재료의 가격상승을 줄이면서 재령 28일 설계기준강도 210~240kgf/cm²을 발현하는 고유동 레미콘을 제조할 수 있다.
- 7) 충전성, 유동성이 양호한 초유동 레미콘의 최적배합은 1차로 미니슬럼프를 사용한 몰탈의 유동성으로 결합재량 범위를 파악하고, 2차로 단위굵은골재량 및 페이스트량의 한계를 기준으로 그 범위를 정할 수 있다.

본 연구는 대전사업소 품질분임조 활동으로 이루어진 결과의 일부입니다. 품질관리실 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 岡村 甫他編, "하이퍼퍼포먼스콘크리트", 技報堂出版, 1993
2. 超流動콘크리트研究委員會報告書(Ⅱ), 日本콘크리트工學協會, 1994
3. 三浦, 近松, 青木, 十河, "콘크리트에關する基礎研究", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol 1. 13-1, 1991 pp.185-190
4. 박연동의 3인, "플라이애쉬를 사용한 2성분계 초유동 콘크리트의 개발" 한국콘크리트학회 논문집 제6권 2호, 1994 pp.121-126