

플라이애쉬계 결합재를 사용한 초유동 고성능 콘크리트(I)

Self-Compacting High Performance Concrete
Using Fly Ash as Cementitious Binder

노 재 호

(동양중앙연구소 선임연구원, 건설재료 연구실)

1. 첫머리에

그 동안 콘크리트에 물성을 높이는 방법으로 콘크리트의 압축강도를 개선하여 왔으며 이에 대한 연구는 많은 성과를 거두어 압축강도 1000kgf/cm² 이상의 콘크리트가 실제 구조물에 타설되기도 하였으며 콘크리트 이차제품에서는 그 이상의 강도를 가진 제품도 많이 생산되고 있는 실정이다.

그러나 일반 고강도 콘크리트의 압축강도 증가를 추구하는 과정에서 단위시멘트량의 과다에 의한 수화열의 상승과 콘크리트 점성 증가로 펌프 압송 및 타설이 어려워지는 것 등으로 인하여 콘크리트 제품 및 구조물에 결함이 발생되기도 한다.

일본에서는 1990년대 초부터 고강도를 가지면서도 다짐이 필요 없을 정도의 작업성을 가진 초유동 고성능 콘크리트 관련 연구가 시작되어 이미 많은 성과를 거두었으며 현재는 이러한 초유동 콘크리트의 제조가 실제로 현장에 많이 적용되고 있다.

초유동 콘크리트라는 개념을 처음 도입한 일본 동경대학의 岡村교수는 초유동 콘크리트를 다음 3가지 특성을 모두 가지고 있는 콘크리트로 정의

한다.

(1) 경화전, 유동성과 재료분리저항성 등이 우수하여 다짐이 필요없고 (2) 타설후, 경화·건조 수축 및 수화발열에 의한 균열저항성이 우수하여 초기결함 억제 (3) 경화후, 치밀한 미세구조를 가지므로 내구성 저해요인에 대한 저항능력이 우수

이러한 특성을 가진 초유동 콘크리트가 개발된 배경은 우선 건설환경의 변화라는 사회적 배경과 수중불분리 콘크리트라는 기술적 배경이 밀바탕이 되고 있다.

특히 콘크리트 시공의 대규모화(펌프 시공), 숙련 기능공의 부족 등의 건설환경 변화에 따라 요구되는 콘크리트 공사의 근대화, 합리화 필요성과 함께 콘크리트 구조물의 내구성 향상이라는 과제가 새로운 공법과 콘크리트 재료 기술의 개발을 재촉하였던 것이다.

콘크리트 구조물의 수명 저하의 원인은 재료의 불완전성에서 유래하기보다는 주로 시공의 불완전성에 기인한다는 관점이 초유동 콘크리트 개발의 출발점이다. 즉, 작업원의 기술 수준이나 부재의 형상 및 치수 철근의 배근 상태 등 타설 조건에 영향을 받지 않는 유동성이 높으면서도 재료분리 저항성이 뛰어나고 우수한 채움성을 가진 다짐이 필요 없는 콘크리트가 개발된다면 고품

질, 고내구적인 콘크리트가 가능하다는 것이 기본 개념이다.

시공시 다짐을 할 수 없고 수중에서의 콘크리트 유실방지가 요구되는 특수한 시공 환경을 고려하여 수중 콘크리트가 수중불분리제를 사용하여 점성을 높이고 유동성을 확보하기 위하여 고성능감수제를 사용하는 방법을 기본으로하여 땅 위에서도 다짐을 하지 않고 타설하는 콘크리트를 만든다는 개념에서 초유동 콘크리트가 출발한 것이다. 岡村교수가 처음에 제시한 기본 개념에서 출발한 '다짐이 필요 없는' 초유동 콘크리트에 관한 고성능 콘크리트 연구는 이후 활발하게 이어지게 되어 일본 콘크리트공학 연찬논문보고집의 논문 발표건수도 1989년에 최초 1편의 논문이 발표된 이후, 1992년에는 총 204편 중 20%에 해당하는 46건이 초유동 콘크리트 관련 논문으로 발표되고 초유동 콘크리트 분과가 개설되어져 다량의 논문들이 발표되는 등, 연구 및 적용 실적이 크게 증가하게 되었다.

특히 최근에 있어서는 미국 및 유럽의 연구자들도 고강도, 고내구성 콘크리트를 고성능 콘크리트라고 표현하는 관습에서 벗어나 초유동 콘크리트를 고성능 콘크리트의 한 영역으로 인정하기 시작하여 초유동 고성능 콘크리트에 대한 연구는 일본만이 아닌 세계적으로 범용적인 연구과제가 되기에 이르렀으며 1996년도의 국제 고성능 콘크리트 학회에서는 초유동 콘크리트 관련 분과가 개설되어 세계적으로 여러나라에서 다양한 논문과 연구결과가 보고되기에 이르렀다.

국내의 초유동 콘크리트에 관한 연구는 1993년도에 시작되어 동양시멘트 중앙연구소에서 시멘트, 고로슬래그 미분말(이하, 슬래그로 약기), 플라이애쉬를 사용한 3성분계 초유동 콘크리트 개발에 대한 결과가 국내 최초로 발표되었으며 이후 많은 건설 연구소 및 학교에서 초유동 콘크리트 관련 연구가 비교적 활발히 진행되고 있으며 실시공 결과도 발표되고 있다.

다음은 동양중앙연구소에서 시멘트와 슬래그, 플라이애쉬 슬래그 미분말 등의 결합재 종류 및

비율에 따른 페이스트와 몰탈의 유동 특성 및 강도 발현 특성을 비교, 분석하고 그 결과에 기초하여 콘크리트 실험을 수행함으로써 플라이애쉬를 결합재의 일부로 사용한 초유동 콘크리트를 개발하고 배합비에 따른 굳지 않은 콘크리트의 물성 변화를 측정하고 국내 최초로 현장시공을 실시한 결과를 요약한 것이다.

2. 플라이애쉬계 결합재를 사용한 초유동 콘크리트의 개발

국내외에서 플라이애쉬는 산업부산물로서 품질변동이 심하다는 단점도 불구하고 시멘트의 치환 첨가재로서 콘크리트에 널리 사용하고 있다.

플라이애쉬는 특히 초유동 콘크리트의 제조에 있어서도 중요한 결합재의 하나로 사용이 가능하다. 국내에서는 다른 혼화재료나 증점제 등의 입수가 어렵고 가격도 비싸 초유동 콘크리트의 제조에 가장 용이하고도 저렴한 재료로 사용될 수 있다는 이점이 있다.

이에 본 실험에서 초유동 콘크리트의 제조에 플라이애쉬를 사용할 경우, 플라이애쉬가 초유동 콘크리트 페이스트의 물성에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 페이스트 실험을 실시하고 그 결과를 기초로 초유동 콘크리트를 개발하였다.

2.1. 페이스트 및 몰탈 실험

2.1.1. 실험계획

슬래그와 플라이애쉬를 혼합재로 사용한 3성분계 페이스트의 유동특성을 평가하기 위하여 각 결합재의 혼합비율을 변화시켜 실험을 수행하였으며, 유동특성은 플로우(몰탈 플로우 시험기를 사용하여 측정, 타격은 가하지 않음)와 P형 깔때기(그림 1참조) 유하시간으로 측정하였다.

각 배합의 배합비 상에는 표 1과 같고, 몰시멘트비는 32%, 고성능감수제 첨가량은 1.25%로 예비실험을 통하여 결정하였다.

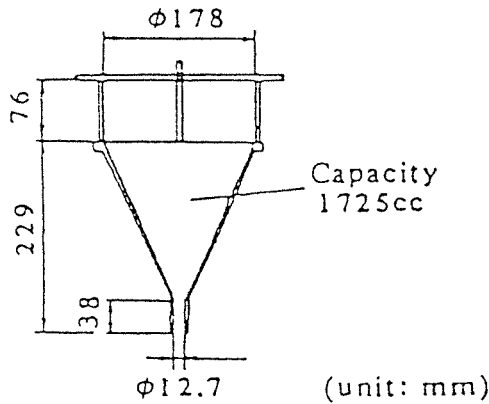


그림 1 P형 깔때기

[표 1] 3성분계 페이스트 배합비

슬래그 혼입율(%)	시멘트 혼입율(%)					
	35	45	55	65	75	85
45	FA20		FA5			
35		FA20	FA10			
25			FA20			
15			FA30	FA20		
5			FA40		FA20	
0			FA50			FA15

플라이애쉬와 시멘트를 결합재로 사용한 2성분계 페이스트의 유동특성은 플라이애쉬 치환율과 물/결합재비를 변화시켜 가면서 평가하였는데, 유동특성은 3성분계 페이스트의 경우와 마찬가지로 플로우와 깔때기 유하시간을 통하여 평가하였다. 각 배합의 배합비는 표 2와 같고, 고성능감수제 첨가량은 플로우값이 250+25mm가 되도록 조절하였다. 또한 플로우를 일정하게 조절된 배합비에 고성능감수제 첨가량을 0.2%씩 증감시킨 배합의 유동특성을 분석하였다. 2성분계 페이스트 배합비 상제는 표 2와 같다. 몰탈은 페이스트와 주문진 표준사를 1:1로 혼합하여 제조하였으며, 페이스트 및 몰탈의 혼합에는 몰탈혼합용 믹서를 사용하였다.

[표 2] 2성분계 페이스트 배합비

물결합재비 (%)	플라이애쉬 치환율(%)				
	0	10	20	30	40
30	○	○	○	◎	○
33	○	○	○	◎	○
36	◎	◎	◎	◎	◎
39	○	○	○	◎	○

○ 페이스트 유동성 실험 실시

◎ 페이스트 유동성 및 몰탈 압축강도 실험 실시

2.1.2 실험재료

실험에 사용된 재료의 물리적 성질은 표 3과 같다. 플라이애쉬는 보령화력발전소산 유연탄 플라이애쉬를 정제한 제품을 사용하였으며, 고성능감수제는 국내에서 시판중인 나프탈린계의 표준형 고성능감수제를 1종류를 사용하였다.

[표 3] 사용재료의 물리적 성질

종류	물리적 성질
1종 OPC	비중 3.15, 비표면적 3,315cm ² /g, 28일 압축강도 406kg/cm ²
플라이애쉬	비중 2.21, 비표면적 4,201cm ² /g, 강열감량 5.49%
슬래그 미분말	비중 2.92, 비표면적 6,000cm ² /g
몰탈시험용 모래	주문진 표준사
잔골재	해사 세척사, 비중 2.58, 조립율 2.73, 실적율 60.5%
쇄석 굵은골재	최대크기 19mm, 비중 2.61, 조립율 6.82, 실적율 57.8%
고성능감수제	나프탈린계, 고흡분율 40%

2.1.3. 실험결과 및 고찰

일반적으로 슬래그와 플라이애쉬를 콘크리트용 혼합재로 사용하게 되면 작업성이 개선되는 것으로 알려져 있으나, 국내 생산 플라이애쉬의 경우 작업성을 악화시키는 것으로 보고되고 있다.

페이스트에 대한 본 연구의 실험결과도 이와 유사한 현상을 나타내어 그림 2에서 동일한 플라이애쉬 혼입율 및 고성능감수제 첨가량하에서 슬

래그 치환율이 증가함에 따라 플로우가 점진적으로 증가한다.

또한 동일한 시멘트혼입율(55%) 하에서 플라이애쉬 혼입율이 감소할 수록(슬래그 혼입율이 증가할 수록) 플로우값이 급격히 증가하여 플라이애쉬 첨가가 페이스트의 유동성을 감소시킴을 알 수 있다.

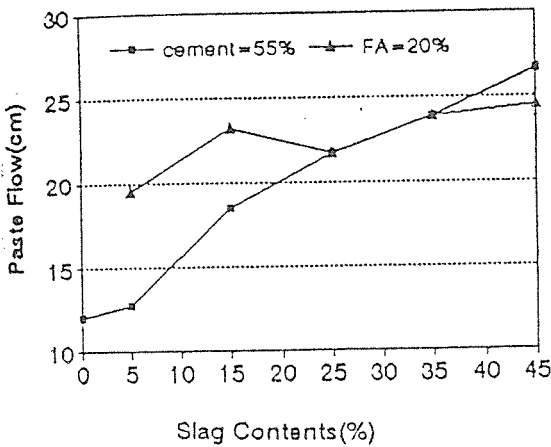


그림 2 슬래그 첨가량에 따른 플로우값 변화

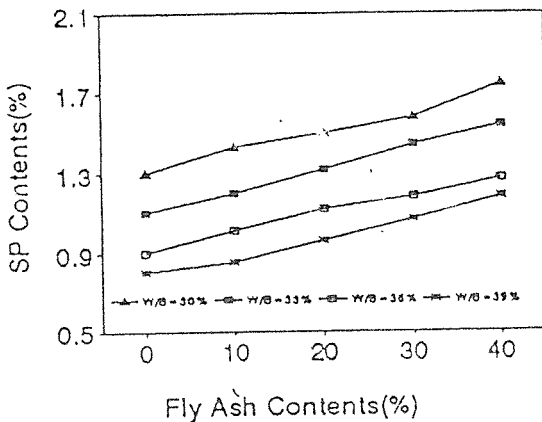


그림 3 플라이애쉬 치환율에 따른 고성능감수제 첨가량 변화

그림 3은 4 종류의 물/시멘트비에 대하여 플라이애쉬 치환율의 변화에 따라 플로우값을 250 ± 25 mm로 조절하기 위하여 첨가된 고성능감수제량을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 플라이애쉬 혼입량이 증가함에 따라 동일 플로우값을 유지하기 위하여 요구되는 고성능감수제량이 증가하고 있다. 이러한 현상은 슬래그와 혼용한 그림2의 경우와 동일하며, 따라서 플라이애쉬를 고성능, 고강도, 콘크리트용 결합재로 사용할 때 고려하여야 할 중요한 요인으로 사료된다.

그림 4는 4종류의 물/시멘트비에 대하여 플로우를 일정하게 하고 플라이애쉬 치환율을 변화시켰을 때의 P형 깔때기 유하시간을 나타내고 있다. 일반적으로 페이스트 또는 콘크리트의 플로우는 항복치에 크게 영향을 받고 각 종 깔대기 유하시간은 점도에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다.⁶⁾ 이와 같은 관점에서 그림 4의 결과를 분석해볼 때 동일한 플로우(항복치)하에서 플라이애쉬 대체량이 증가함에 따라 그리고 물/결합재비가 감소함에 따라, 유하시간(점도)이 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 예비실험을 통하여 개발된 초유동 콘크리트의 페이스트는 플로우 250 ± 25 mm일 때 유하시간이 약 50초 정도로서, 이를 초유동물성을 만족하는 페이스트의 전형적인 특성치로 가정할 때, 그림 4로부터 플라이애쉬 치환율이 10%인 경우 물/결합재비 30% 이하, 20%인 경우는 32~33%, 30%인 경우는 35%~36%, 40%인 경우는 38%~39%를 초유동 콘크리트 물성을 나타내는 물/결합재비로 판단할 수 있다.

그림 5는 물/결합재비가 36%인 몰탈의 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 3,7일 초기 재령의 압축강도는 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 감소하고 있으나 재령 28일에서는 플라이애쉬 치환율이 40%인 배합을 제외하고는 기준 배합에 비해 동등 이상의 강도를 발현하고 있다. 이와 같은 사실로부터 국내산 플라이애쉬가 ASTM C618-80의 F급 플라이애쉬 임에도 불구하고 강

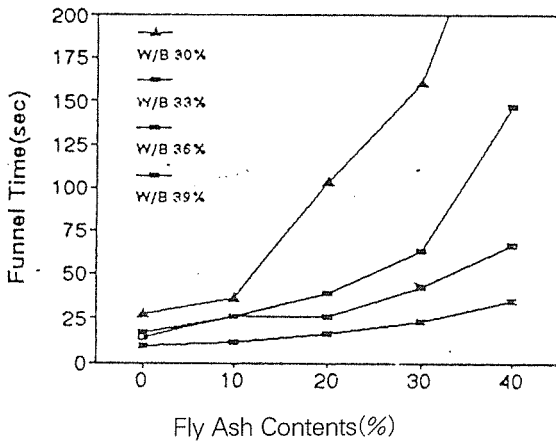


그림 4 플라이애쉬 치환율에 따른 P형 깔때기 유하시간 변화

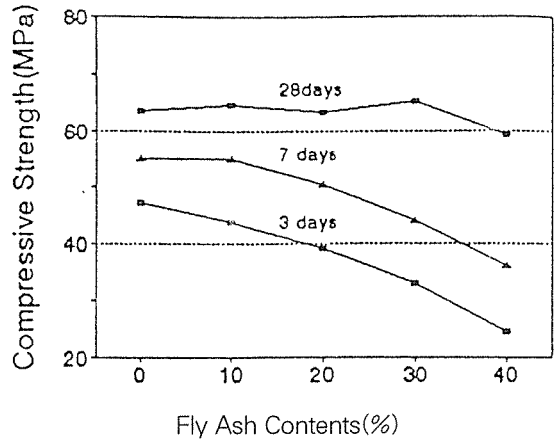


그림 5 플라이애쉬 치환율에 따른 몰탈 압축강도

도발현성이 비교적 뛰어난을 알 수 있다.

2.2 콘크리트 실험

2.2.1 실험계획

콘크리트가 초유동 성능을 발휘하기 위해서는 결합재 체적이 어느 정도 이상이어야 하며, 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서는 단위결합재량이 증가되어야 하는데, 과다한 양의 시멘트 사용은 높은 수화열 발생등의 문제점을 야기시킬 뿐만 아니라 비중이 높아 체적증가의 효과도 떨어진다.

플라이애쉬의 경우, 비중이 낮아 체적 증가의 효과가 클 뿐만 아니라 장기강도의 증진, 수화열 저감 등의 장점이 있으므로 초기강도 발현이 문제가 되지 않는 범위내에서 혼입하여 사용하면 효과가 클 것으로 판단된다.

이와 같은 사실과 페이스트 및 몰탈에 대한 실험 및 결과분석으로부터 얻은 초유동성을 발휘할 수 있는 2성분계 페이스트의 플라이애쉬 치환율과 물/결합재비 관계, 물/결합재비 32~39%범위에서 행한 예비실험 결과들로부터 단위수량 195kg/m³ 물/결합재비 35%, 플라이애쉬 치환율 30%, 잔골재율 53%를 플라이애쉬를 사용한 2

성분계 초유동 콘크리트의 기본 배합비로 일차 선정하였다.

선정된 배합비의 초유동 성능을 검증하기 위하여 고성능감수제 첨가량 및 단위수량, 잔골재율을 변화시켜 실험을 수행하였으며, 배합비 상세는 표 4와 같으며 실험에 사용된 재료의 물리적 성질은 앞의 페이스트, 몰탈 시험에 사용된 것과 동일하다.

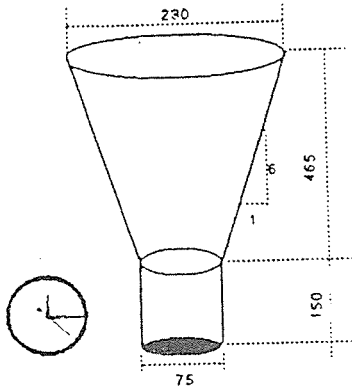
(표 4) 콘크리트 배합비

MIX no.	W/B (%)	S/a (%)	Fly ash (%)	Water (kg/m ³)	Binder (kg/m ³)	S.P. (%)
1	35	53	30	195	557	1.20
2	36	53	30	200	556	1.15
3	35	53	30	195	557	1.10
4	35	53	30	195	557	1.00
5	35	53	30	190	543	1.00
6	35	53	30	185	529	1.00
7	35	53	30	180	514	1.10
8	35	51	30	195	557	1.20
9	35	49	30	195	557	1.20
10	35	47	30	195	557	1.15

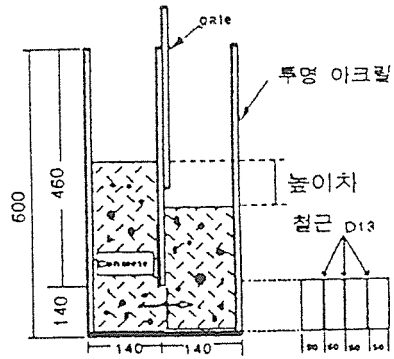
유동성능 평가를 위하여 슬럼프 플로우, O형 깔때기 실험, 박스 채움성 실험을 실시하였고, 아

올리 철근 과밀 배근을 모사한 L형 채움성 실험 장치를 사용하여 채움성을 종합적으로 평가하였다(그림 6참조). L형 채움성 실험에 의한 채움성

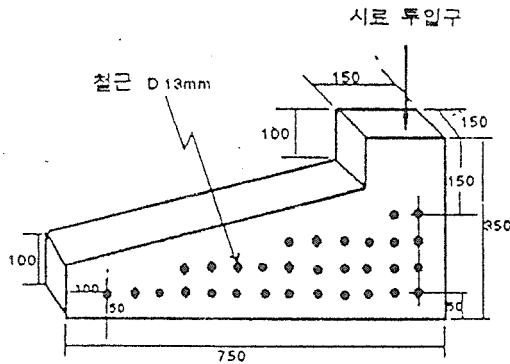
능 판단은 충전속도 및 최종 충전상태를 기준으로 육안관찰에 의해 우수, 양호, 보통, 불량 4 수준으로 구분하였다.



(a) O형 깔때기 시험



(b) 박스 채움성 시험



(c) L형 채움성 시험

그림 6 유동성능 평가 실험장치

2.2.3. 실험결과 및 고찰

개발된 배합에 대하여 4가지 실험방법을 통하여 유동성능을 정량적, 정성적으로 평가한 결과, 기준배합을 비롯한 각 배합들은 우수한 자기채움 능력을 발휘하여 초유동 콘크리트용 증점제 등 특수 혼화제나, 슬래그 미분말 등의 사용없이 플

라이애쉬의 사용만으로도 초유동 콘크리트 제조가 가능함을 보였다. 기준배합에 대하여 단위수량 및 잔골재율을 변화시켜 가면서 유동성능을 분석해 본 결과, 초유동 성능을 나타낼 수 있는 단위수량 및 잔골재율의 하한치가 존재하였는데, 단위수량은 약 $180\text{kg}/\text{m}^3$, 잔골재율은 47% 부

근에서 그 값이 존재하였다. (표 5참조)

[표 5] 유동성능 평가 실험 결과

MIX no.	슬럼프 플로우 (cm)	깔대기 유하시간 (cm)	박스 높이차 (cm)	L 플로우
1	73.5	9.5	2.0	양호
2	69.0	7.0	2.0	우수
3	68.5	6.5	0.6	우수
4	64.5	6.0	2.0	우수
5	62.0	7.8	2.5	양호
6	64.0	6.2	5.5	양호
7	61.5	8.9	5.0	보통
8	61.0	8.6	4.0	양호
9	71.5	9.0	4.0	양호
10	72.0	8.1	1.5	불량

2.3 실험 결론

본 연구의 결과, 증점제나 슬래그 미분말 등을 사용하지 않고 혼합재로 플라이애쉬만을 사용한 2성분계 초유동 콘크리트의 제조에 성공하였으며, 페이스트, 몰탈, 콘크리트 실험 및 결과분석을 통하여 얻은 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 슬래그 미분말의 경우 페이스트의 유동성을 증대시키는 효과가 있으나, 플라이애쉬는 페이스트의 유동성을 떨어뜨리고 점성을 증가시킨다.

(2) 동일한 플로우를 유지시키기 위한 고성능 감수제의 첨가량은 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 증가한다. 또한, 동일한 플로우일 경우 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 깔대기 유하시간이 증가한다.

(3) 본 연구의 범위내에서는 플라이애쉬 치환율 30%의 경우, 물/결합재비 35~36%에서 가장 우수한 초유동성을 발휘하는 것으로 판단된다.

(4) 개발된 배합이 초유동성을 나타내기 위한 단위수량 및 잔골재율의 하한치는 각각 180kg/m³, 47%정도로 판단된다.

3. 초유동 콘크리트 유동성능에 미치는 배합요인 영향

3.1. 실험계획

배합요인이 초유동 콘크리트의 유동성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 단위수량, 잔골재율, 고성능감수제 첨가율을 조정한 경우의 유동 특성 변화를 측정하였다.

예비실험을 통하여 물결합재비 및 플라이애쉬 첨가율은 각각 $W/(C+FA)=35\%$, $C:FA=7:3$ (중량비)으로 고정하였다. 고성능 감수제 슬럼프 플로우가 $65\pm 5\text{cm}$ 가 되도록 첨가율을 조정하였다. 배합요인별 조정범위는 표 6에 간략히 나타내었다.

[표 6] 배합요인별 조정 범위

배합요인	조정범위	고정배합요인
단위수량(kg/m ³)	170-195	$W/(C+FA)=35\%$ $C:FA=7:3$ slump flow = $65\pm 5\text{cm}$
잔골재율(%)	43-53	
고성능감수제 [C+FA×%]	0.8-1.5	

유동특성의 평가를 위하여 슬럼프 플로우, 박스 채움성 시험(좌우 높이차), O형 깔때기 시험(시료 낙하시간)을 실시하였고, 아울러 철근 과밀 배근을 모사한 L형 채움성 시험장치를 사용하여 각 배합의 채움성을 종합적으로 판단하였다. (그림 6 참조)

L형 채움성 시험에 의한 채움성능의 판단은 충전속도 및 최종 충전상태를 기준으로 육안관찰에 의한 우수(excellent), 양호(good), 불량(bad)의 3수준으로 구분하였다.

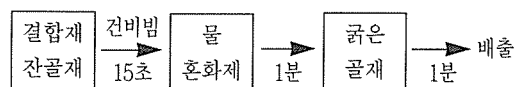


그림 7 콘크리트 혼합 순서

재료는 1회 40리터를 비빔항으로 하여 강제식 팬 믹서(용량 100리터)를 사용하여 그림 7와 같

은 순서로 혼합하고 배출 즉시 각 평가시험을 실시하였으며 실험에 사용된 재료는 앞장의 초유동 콘크리트 개발실험에 사용한 것과 같은 재료이다.

3.2 실험결과 및 고찰

3.2.1. 단위 조골재량의 영향

그림 8에 단위 조골재 용적 변화에 따른 박스 채움성 시험결과를 나타내었다. 박스 채움성 시험에 의한 좌우 높이차(단차)는 조골재 절대량의 영향을 크게 용적이 늘어날 수록 채움성이 급격히 저하하는 한계점이 (한계 조골재 용적 Vglim 리터 부근) 존재하였다.

또한 한계 조골재 용적(Vglim) 이하에서 박스 시험 결과가 5cm 이하인 값을 나타내는 배합들 중에서도 L형 채움성 시험(이하 L-test)에서는 조골재량이 적을 수록 보다 우수한 충전능력을 나타내었다.

따라서 철근이 과밀 배근되어 있는 부재나 복잡한 형상의 거푸집에 콘크리트가 타설되는 경우에 양호한 충전능력을 발휘하기 위해서는 콘크리트중의 조골재 용적을 일정 한도 이하로 줄임으로써 콘크리트의 유동과정에서 발생하는 조골재간 응집이나 맞물림 현상을 저감시킬 수 있을 것

으로 예상된다.

그림 9에 조골재량 변화에 대한 O형 깔때기 시험결과를 나타내었다. 박스 시험의 Vglim이상에서 결과의 편차가 심하게 나타나고 있는데 이와 같은 결과는 O형 깔때기에 의한 낙하시간이 조골재량 뿐만 아니라 몰탈의 레올로지 변화와도 관련이 있기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 몰탈의 레올로지 변화는 박스 시험에 의한 최종 높이차만으로 평가하기 힘들고 깔때기 시험이나 L-test의한 비교를 통하여 배합간의 상대적인 평가가 가능할 것으로 사료된다.

본 실험에 사용한 L-test는 박스 시험에 비하여 상대적으로 정상적인 평가방법임에도 불구하고 철근배근 조건은 더 가혹한 조건이기 때문에 조골재량 및 몰탈의 레올로지 차이에 의한 채움 성능의 우열이 더 잘 나타나는 것으로 판단된다.

3.2.2. 페이스트/조골재 용적비의 영향

그림 10에 나타난 바와 같이 O형 깔때기 시험에 의한 시료의 소요 낙하시간은 조골재에 대한 페이스트 용적비(이하Vp/Vg)와 큰 상관성을 갖고 있음을 알 수 있다. 단위 조골재량이 많은 배합일지라도 상대적으로 페이스트량이 많은 배합은 유하시간이 짧게 나타났다.

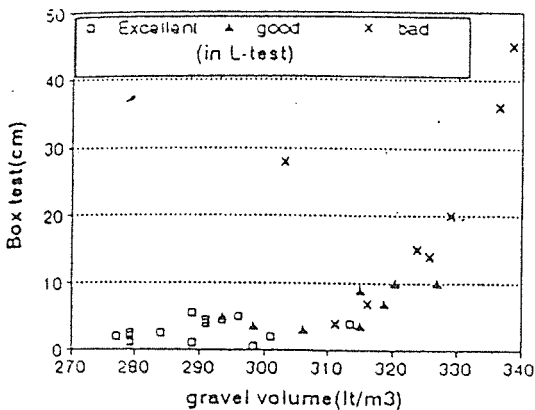


그림 8 조골재량 변화에 따르는 채움성능

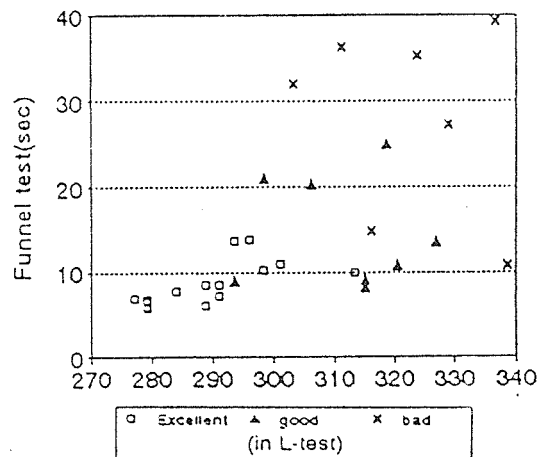


그림 9 조골재량 변화에 따르는 낙하시간

즉, 잔골재율(S/A)을 줄여서 조골재량이 늘어난 배합의 경우 몰탈중의 상대 페이스트 용적을 증가시킴으로써 낙하시간을 줄일수 있다.(그림 11참조)

이와 같은 결과는 조골재 사이에 존재하는 몰탈의 레올로지 차이에 의한 영향으로 판단되며, 몰탈의 레올로지 성질(항복치, 소성점도)에 따라 양호한 채움성을 나타내는 한계 조골재량(V_g)이나 V_p/V_g 값은 달라질 것으로 예상된다. 따라서 페이스트, 몰탈의 레올로지와 조골재 체적농도와 의 관계를 정량적으로 파악하기 위해서는 보다 물리적인 의미를 가진 레올로지 정수를 도입하여 고찰할 필요가 있을 것으로 판단되며 향후 이에 대한 자세한 검토가 필요하다.

O형 깔때기에 의한 유동특성의 평가는 조골재 절대량 뿐만 아니라 몰탈의 레올로지에 의한 영향까지도 상대적으로 평가할 수 있는 시험법으로 이용할 수 있다고 판단된다.

L-test에 의해 양호한 채움성을 나타내는 배합은 V_p/V_g 가 1.2 이상에서 유하시간이 15초미만인 배합에서 나타났다.

3.2.3. 유동성 평가법과 배합요인

그림 12와 그림 13에 실험 과정에서 슬럼프 플

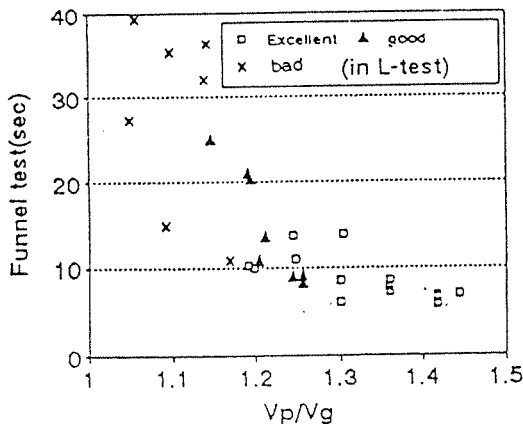


그림 10 페이스트/조골재 용적비와 낙하시간과의 관계

로우가 65 ± 5 cm를 벗어나는 배합을 포함한 전체 시험배합의 결과를 나타내었다.

양호한 채움성을 나타내는 초유동 콘크리트는 O형 깔때기 시험과 박스 시험결과가 각각 15초 이내와 단차 5cm이내인 배합에서 나타났다. 특히 슬럼프 플로우가 60cm 미만인 배합의 경우, V_g 와 V_p/V_g 가 적정 범위에 들어도 유동성 부족에 의해 채움성이 저하되는 현상도 관찰되었다.

또한 슬럼프 플로우 65 ± 5 cm를 얻기 위한 각 배합에서의 고성능 감수제 첨가율은 세골재율과는 상관없이 단위수량(결합재량) 증가에 따라 약간 줄어드는 경향을 나타내었다. (그림 14 참조)

3.2.4. 초유동콘크리트의 배합설계

채움성이 양호함 초유동콘크리트를 제조하기 위해서는 목표하는 물성을 나타내는 최적의 배합 설계가 요구된다. 본 실험의 조건에서 양호한 채움성을 나타내는 초유동 콘크리트를 제조하기 위해서는 박스 시험에 의한 한계 조골재량(V_{glim})을 결정하고 깔때기 시험에 의해 V_p/V_g 를 결정함으로써 최적배합을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 15는 본 실험의 조건에 의해 결정된 한계 조골재량과 V_p/V_g 값을 배합요인과 관련하여 나

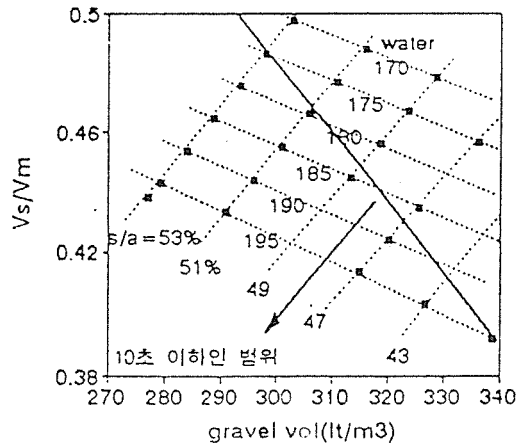


그림 11 배합요인 낙하시간

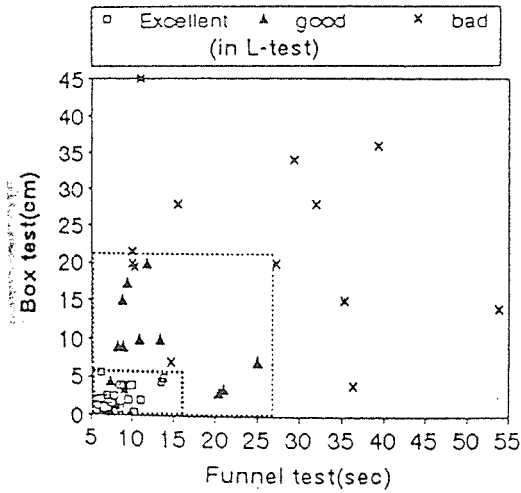


그림 12 초유동 콘크리트의 유동특성 평가결과

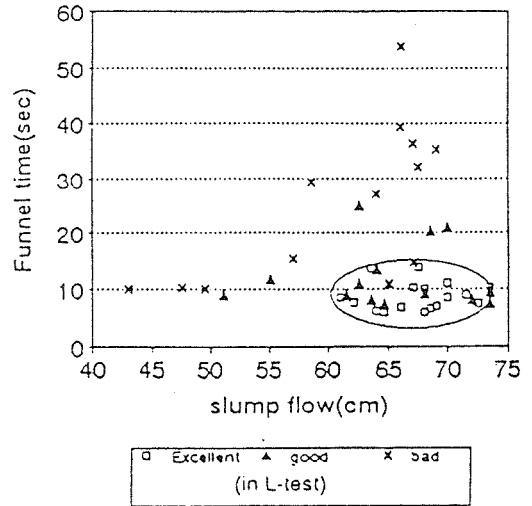


그림 13 초유동 콘크리트의 유동특성 평가결과

타낸 것으로서 그림의 좌상한이 초유동 콘크리트를 제조할 수 있는 최적배합의 범위로 판단된다.

본 연구에서는 물결합재비와 플라이애쉬 첨가율을 고정시킨 조건하에서 나머지 배합요인을 검토하였으나 향후 페이스트 특성에 의한 영향도 함께 검토할 예정이며 각 재료별 특성과도 연결시켜 초유동 콘크리트의 배합설계법을 확립해 나갈

계획에 있다.

3.3 실험결론

(1) 충전능력은 단위 조골재량에 직접적인 영향을 받고, 양호한 채움성을 나타내는 조골재량의 최대치(V_{glim})가 존재한다.

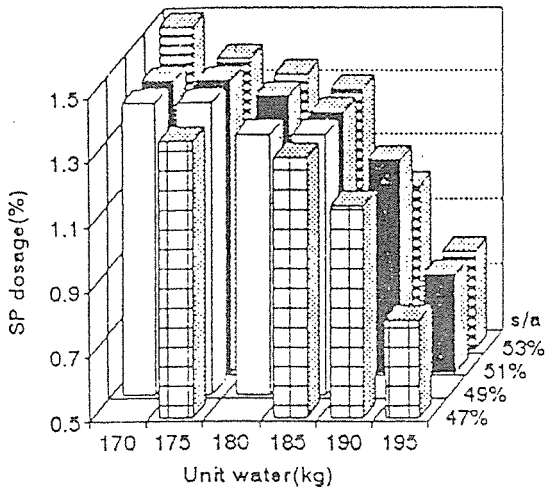


그림 14 단위수량 고성능감수제 첨가율

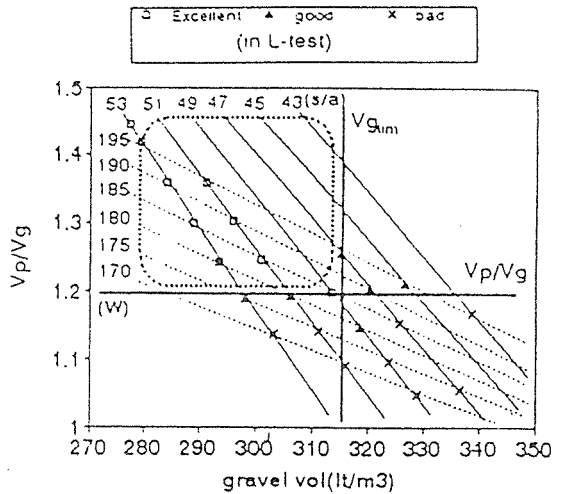


그림 15 초유동 콘크리트의 최적 배합범위

(2) 깔때기 시험은 페이스트/조골재 용적비 (V_p/V_g)에 따라 변동하며 빠른 낙하시간을 나타내기 위해서는 V_p/V_g 가 커야 한다.

(3) 양호한 채움성을 나타내는 한계조골재량과 페이스트/조골재 용적비는 몰탈의 레올로지와 관

련시켜 고찰할 필요가 있다.

(4) 채움성이 양호한 초유동 콘크리트의 최적 배합은 V_{glim} 와, V_p/V_g 의 한계를 이용하여 그 범위를 구할 수 있다. <다음호에 계속>

레미콘 타설시의 유의사항

