

# 고성능 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구

(제 2보, 초유동 콘크리트의 기초물성)

## Experimental Study on the Development of High-Performance Concrete (Properties of Super-flowing Concrete)

조 일 호\*    한 정 호\*    노 재 호\*    정 재 동\*\*  
Cho, Il Ho    Han, Chung Ho    Noh, Jae Ho    Jaung, Jae Dong

### Abstract

This is a part of a study on the development of High-Performance Concrete; about experimental results from several test methods to estimate workability in fresh concrete and influences of concrete mix design that affects properties of super-flowing concrete.

Super-flowing concrete can be filled in a formwork without any vibration because of its excellent workability of passing narrow space and filling complicated shaped mold. New test methods should be used to estimate the workability and rheology in super-flowing concrete insted of slump test method in conventional concrete.

### 1. 序論

본 연구에서는 고성능 콘크리트를 고강도, 고유동, 고내구성 및 저발열 등의 특성을 갖는 콘크리트로 정의한다. 본 논문은 콘크리트의 고유동성 확보를 위한 배합설계와 유동성능의 정량적 평가에 대한 기초적 연구로서 3성분계 결합체를 사용하여 미분말 첨가효과에 의한 유동성 및 충전성 확보에 중점을 두고 실험을 진행하였으며 부수적으로 고강도, 저발열, 고내구성을 기대하였다.

### 2. 實驗計劃

#### 2.1. 실험재료 (표 1 참조)

본 연구에서는 콘크리트의 강도 및 수화열, 유동성능 등의 개선을 위하여 보통포틀랜드시멘트에 미분말 슬래그와 플라이애쉬를 35:40:20의 비율로 혼합한 3성분계 결합체를 사용하였으며 재료분리 저항성 증가를 위하여 첨가되는 증점제는 사용하지 않았다. 화학혼화제는 주로 나프탈렌계 고성능감수제 표준형을 사용하였으며 시간 경과에 따른 유동성 변화와 응결시간 측정 실험에서는 표준형과

함께 슬럼프로스 저감형 및 고성능AE감수제 표준형도 사용하였다.

표 1. 사용재료

종 류	품 질
시멘트	보통포틀랜드시멘트 (비중 3.15, 불레인값 3,163 cm <sup>2</sup> /g 28일 압축강도 380 kgf/cm <sup>2</sup> )
슬래그	고로 슬래그 미분말 (비중 2.92, 불레인값 약 6,000 cm <sup>2</sup> /g)
플라이 애쉬	보령화력발전소산 유연탄 플라이애쉬 (비중 2.15, 불레인값 2,613 cm <sup>2</sup> /g)
세플제	해사 (비중 2.57, 조립율 3.08, 실적율 63%)
조골제	19mm 쇠석 (비중 2.61, 조립율 6.68, 실적율 58.4%)
화학 혼화제	나프탈렌계 고성능감수제 (3종류 : 표준형, 슬럼프로스 저감형, 고성능AE감수제 표준형)

#### 2.2. 實驗概要

문헌조사를 기초로 배합설계 변화가 콘크리트의 유동성과 충전성에 미치는 영향을 측정하기 위하여 물결합제비(W/B; Water/Binder) 32%, 시멘트:슬래그:플라이애쉬비율(C:S:F)을 변화하고(시멘트 100% 경우도 비교) 단위수량(W)을 150~190kg/m<sup>3</sup>(결합

\* 團體會員, 東洋中央研究所, 主任研究員  
\* 正會員, 同, 2次製品研究室長, 工博

재량 500~585kg/m<sup>3</sup>, 세골재율(S/A) 48~56%, 고성능감수제 첨가율 Bx1~2%로 변화시킨 예비실험을 실시하였다.

예비실험을 통하여 초유동 콘크리트 기준배합을 물결합재비 32%, C:S:F=35:45:20, W=180kg/m<sup>3</sup> (B=562.5 kg/m<sup>3</sup>), S/A=53%, SP=Bx1.2% 로 하고 시리즈별로 표 2 와 같이 각각 단위수량, 세골재율, 고성능감수제 첨가량을 변화시켜 굳지 않은 콘크리트의 유동성과 충전성을 측정하였으며 기준배합 콘크리트에 대하여 시간경과에 따른 슬럼프 플로우 변화 및 응결시간, 압축강도 등을 측정하였다.

표 2. 본 실험 배합설계 내용

항목 Series	W/B (%)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Binder (kg/m <sup>3</sup> )	S/A (%)	SP (Bx%)
W량 변화		150~ 190	469~ 594	53	1.2
S/A 변화	32	180	562.5	45~ 55	1.2
SP량 변화		180	562.5	53	1.0~ 1.8

콘크리트 믹싱순서 및 방법은 다음과 같다.

- (1) 믹서에 결합재, 세골재 투입하고 30초간 건비빔
- (2) 물, 고성능감수제 투입하여 2분간 교반 혼합
- (3) 조골재 투입하고 1분간 교반 혼합
- (4) 콘크리트 배출 및 물성실험 실시

### 2.3. 콘크리트 유동성, 충전성 측정법 및 실험기구

초유동 콘크리트의 작업성 측정은 종래의 슬럼프 측정방법으로는 불충분하여 여러가지 새로운 방법이 제안되어 있으나 아직 통일되어 있지 않다. 본 연구에서는 슬럼프 플로우 실험, O형 깔때기 실험, 박스 충전성 실험 등의 방법을 사용하였으며, O형 깔때기 시험장치와 박스 충전성 시험장치는 위아래로 연결하여 사용하였다.(그림 1 참조)

콘크리트의 유동성은 변형량과 변형속도의 향으로 나타내어지며 이 중에서 콘크리트 항복치와 관계되는 변형량은 슬럼프 플로우로, 점도와 관계되는 변형속도는 O형 깔때기 시험의 유하시간으로,<sup>(1)</sup> 재료분리저항성 등을 포함한 최종적인 충전성은 박스 충전시험장치를 사용하여<sup>(2)</sup> 측정할 수 있음이 보고되어 있다.

- (1) 슬럼프 플로우 실험 : 콘크리트 슬럼프 실험을 실시한 후, 콘크리트 플로우를 측정.

(2) O형 깔때기(O funnel) 실험 : O형 깔때기의 윗면까지 콘크리트 시료를 채운 후, 하부 유출구를 열어 전체 시료가 완전히 낙하하기 까지의 소요시간을 측정.

(3) 박스 충전성 실험 : 철근이 배치된 박스의 간막이를 닫고 한쪽의 윗면까지 콘크리트를 채운 후, 간막이를 열어 반대편 쪽으로 콘크리트가 흘러들어간 후의 밑면에서 부터 높이(충진높이)를 측정.

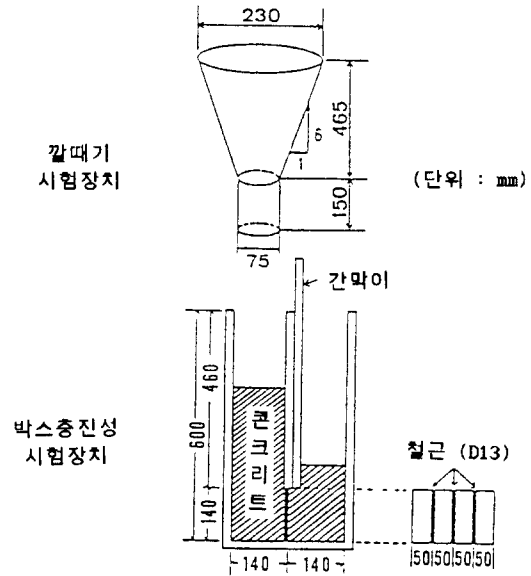


그림 1. 시험장치

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3.1. 단위수량(결합재량) 변화 (그림 2 참조)

결합재 성분, 물결합재비, 세골재율, 고성능감수제량이 일정한 경우, 어느 한계까지 슬럼프 플로우는 단위수량(결합재량) 증가에 비례하나 그 이상이면 슬럼프 플로우는 큰 차이가 없어 일정 유동변형량을 얻기 위한 최소 단위페이스트량이 존재함을 알 수 있다.

단위수량 150kg/m<sup>3</sup> 이하일 때 깔때기시험은 85% 통과 후, 폐쇄현상이 일어났다. 단위수량 160kg/m<sup>3</sup> 이상에서는 단위수량 증가에 따라 콘크리트 점성이 감소하여 유동속도가 빨라지나 그 차이는 작다.

충진높이는 단위수량(결합재량) 증가와 비례하나 단위수량 180kg/m<sup>3</sup> 이상이면 증가율은 낮아진

다. 단위수량 180kg/m<sup>3</sup> 이상에서 충전성이 우월한 초유동 콘크리트 제도가 가능하다고 생각된다.

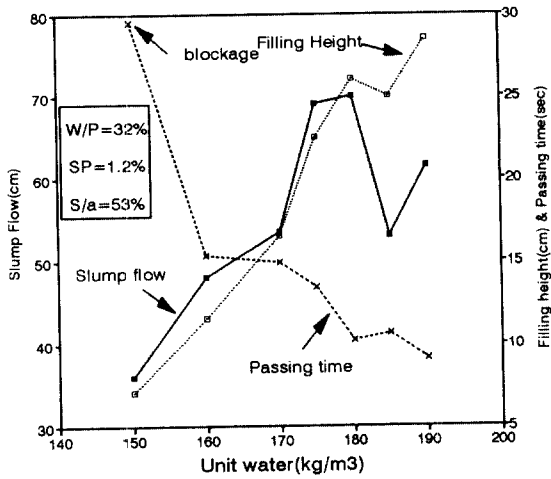


그림 2. 단위수량과 초유동 콘크리트 물성

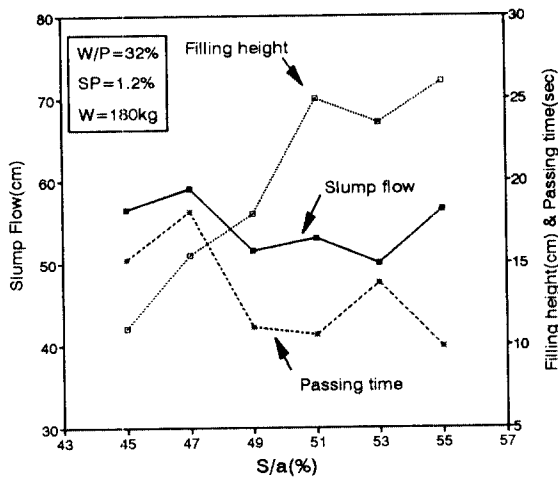


그림 3. 세골재율과 초유동 콘크리트 물성

### 3.2. 세골재율 변화 (그림 3 참조)

결합재 성분, 물결합재비, 단위수량(결합재량), 고성능감수제 첨가량이 일정한 경우, 초유동 콘크리트의 슬럼프 플로우는 세골재율 변화와 일정한 관계를 찾기 힘들며, 유하속도는 세골재율의 증가에 따라 약간씩 감소하는 경향이 있다. 충전성은 세골재율 증가에 비례하여 증가하며 세골재율 51% 이상(조골재량 약 300kg/m<sup>3</sup> 이하)이면 콘크리트의 충전성은 매우 양호하다.

콘크리트 중의 조골재량이 많을 경우 조골재간

의 접촉으로 가교현상을 일으켜 분리저항성, 간극 통과성은 감소한다. 조골재 용적 감소는 슬럼프 플로어나 유하속도에는 큰 영향이 없으나 분리저항성을 증대시켜 충전성을 증가한다고 판단된다.

### 3.3. 고성능감수제 첨가량 변화 (그림 4 참조)

결합재 성분, 물결합재비, 단위수량(결합재량), 세골재율이 일정한 경우, 초유동 콘크리트의 슬럼프 플로우는 고성능감수제 첨가량에 비례하여 증가하나 첨가량이 어느 이상이면 차이가 없다. 유하속도는 고성능감수제 첨가량 증가에 따라 약간씩 빨라지며 충전성이 최대인 고성능감수제 최적 첨가량이 존재한다.

고성능감수제 첨가량 증가에 따라 유동변형량 및 유동속도는 모두 증가하나 충전성은 어느 한도를 넘으면 감소하며 이는 분리저항성이 감소한 결과로 생각된다.

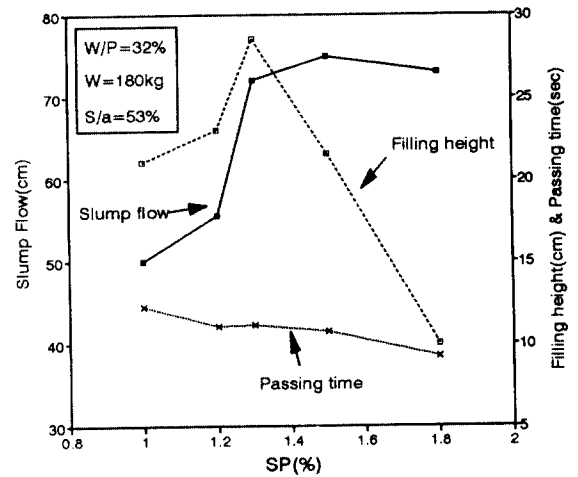


그림 4. 고성능감수제량과 초유동 콘크리트 물성

### 3.4. 종합고찰

#### 3.4.1. 페이스트/조골재 용적비(Vp/Vg)와 초유동 콘크리트 물성 (그림 5 참조)

예비 및 본실험결과에서 C:S:F=35:45:20, W/B 32%, 고성능감수제 첨가율을 1.2%로 하여 S/A 및 W량(결합재량)을 변화한 콘크리트 물성의 종합 측정 결과, Vp/Vg 증가에 따라 슬럼프 플로우는 증가하나 어느 한계를 넘으면 슬럼프 플로우는 큰 차이가 없다.

O형 깔때기 시험에서  $V_p/V_g$  가 약 1.0~1.1% 이하이면 폐쇄현상이 발생하였으나, 1.1 이상이면  $V_p/V_g$  증가에 따라 약간씩 유하속도가 빨라진다.

$V_p/V_g$ 와 충전높이는 거의 직선으로 비례하며 충전성이 우월한(충진높이 약 25cm 이상) 초유동 콘크리트 제조를 위한  $V_p/V_g$ 는 약 1.25~1.3 이상이어야 한다고 판단된다.

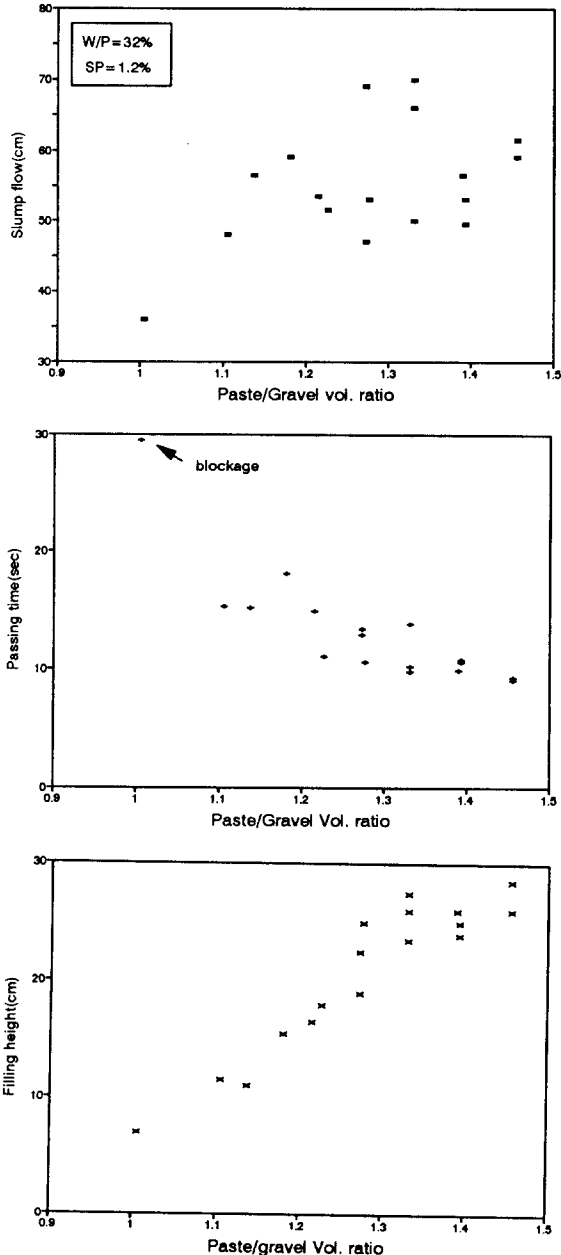


그림 5. 페이스트/조골재 용적비와 초유동 콘크리트 물성

### 3.4.2. SP 첨가율 (그림 6 참조)

예비 및 본실험결과에서 C:S:F=35:45:20, W/B 32%, S/A 53%, W량 180kg/m<sup>3</sup> 로 하여 고성능감수제 첨가율을 1.0~1.8%로 변화한 콘크리트 물성의 종합 측정결과,

- (1) SP 첨가량 증가에 따라 슬럼프 플로우는 증가하나 어느 이상(1.2~1.3%)에서는 거의 일정하다.
- (2) 고성능감수제 첨가량 증가에 따라 유하속도는 약간씩 감소하는 경향을 나타낸다.
- (3) 충전높이가 최대로 되는 고성능감수제 첨가량(본 실험에서는 1.2~1.3%)이 존재한다.
- (4) 동일한 W/B비, W량(B량), S/A일 경우, 슬럼프 플로우가 약 60~70cm 일 때 충전높이는 최대이다.

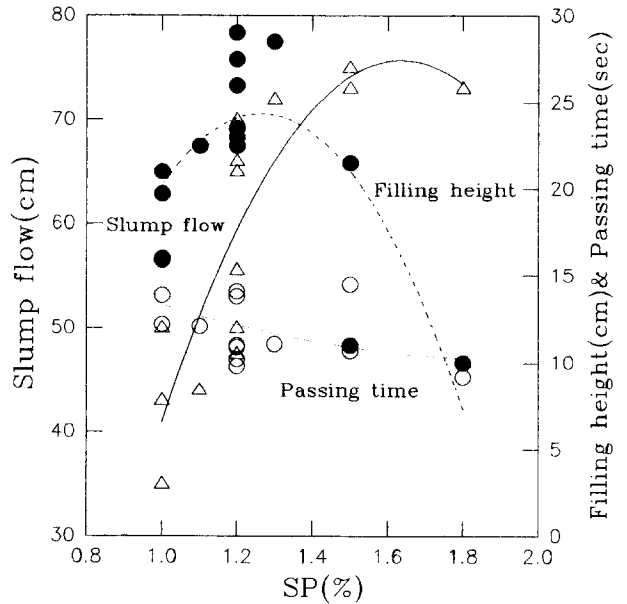


그림 6. SP 첨가율과 초유동 콘크리트 물성

### 3.4.3. 슬럼프 플로우와 유하시간 (그림 7 참조)

예비 및 본실험 결과를 종합하면 콘크리트의 슬럼프 플로우와 유하시간 사이에서는 어떠한 상관성이 보이지 않으므로 콘크리트의 점도(유동속도와 관계)와 항복치(변형량)는 서로 별개의 물성임을 알 수 있다.

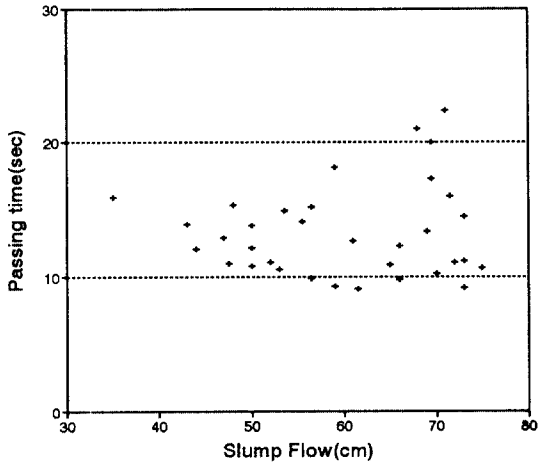


그림 7. 슬럼프 플로우와 유하시간

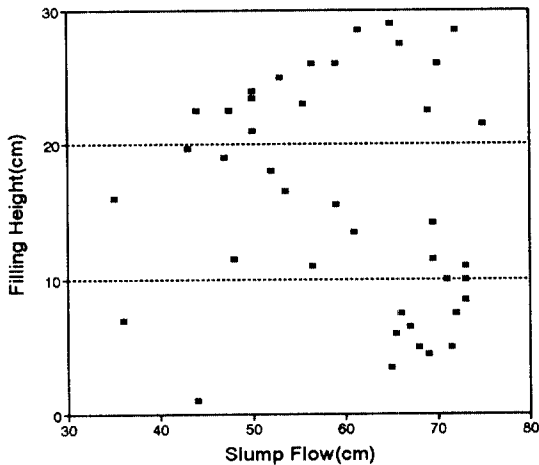


그림 8. 슬럼프 플로우와 충전높이

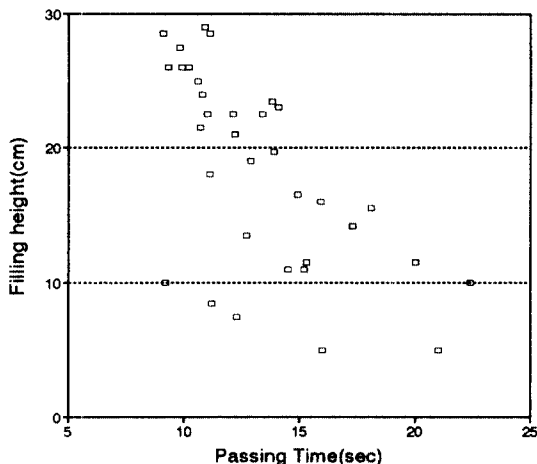


그림 9. 유하시간과 충전높이

### 3.4.4. 슬럼프 플로우와 충전높이 (그림 8 참조)

예비 및 본실험결과를 종합하면 콘크리트 배합 요인에 따라 유동성과 분리저항성이 모두 우수하여 충전성이 좋은 집단과 유동성이 불량하여 충전성이 나쁜 집단, 그리고 유동성이 지나치게 커서 재료 분리저항성이 감소하여 충전성이 저하하는 집단으로 분류할 수 있다.

### 3.4.5. 유하시간과 충전높이 (그림 9 참조)

예비 및 본실험 결과를 종합하면 우수한 충전성을 가진 콘크리트를 제조하기 위하여는 유동속도가 빠를 필요가 있다. 그러나 유동속도가 우수한 콘크리트 중에서도 충전성이 나쁜 경우도 있으므로 유하시간 만으로 콘크리트의 충전성을 판단하기는 매우 어렵다.

### 3.4.6. 기준배합의 변동 (표 3 참조)

기준배합을 반복 실험한 유동성 및 충전성 물성 측정결과에서 시험법 중에 슬럼프 플로우의 변동이 가장 크고 충전높이의 변동이 가장 작다. 슬럼프 플로우 변동이 큰 것은 시험법 자체의 오차발생 가능성이 크고 사용재료의 상태(조세결재의 표면수 등)와 외부조건(기온, 습도 등)에 매우 민감하게 영향을 받기 때문인 것으로 추측된다.

표 3. 기준배합의 변동 (6회 측정 결과)

종류 \ 측정법	플로우 (cm)	유하속도 (초)	충전높이 (cm)
최 소 값	47.5	9.8	22.5
최 대 값	70	14.1	29
평 균	59	11.6	25.3
표준편차	8.5	1.7	2.4

## 3.5. 기 타

### 3.5.1. 시간경과에 따른 슬럼프 플로우 변화 (그림 10 참조)

최초 슬럼프 플로우를 약 60~70cm가 되도록 고성능감수제를 첨가하여(A : 표준형 1.25% 첨가, B : 슬럼프로스 저감형 1.6% 첨가, C : 고성능AE 감수제 표준형 2.5% 첨가)로 실험하여 최초 슬럼프에 대한 시간마다의 슬럼프 플로우 측정결과를 백분율로 표시하였다.

고성능감수제 종류에 따라 슬럼프 유지성능이 다르므로 사용목적에 따라 고성능감수제 종류를 선택하거나 후첨가의 방법이 필요하다.

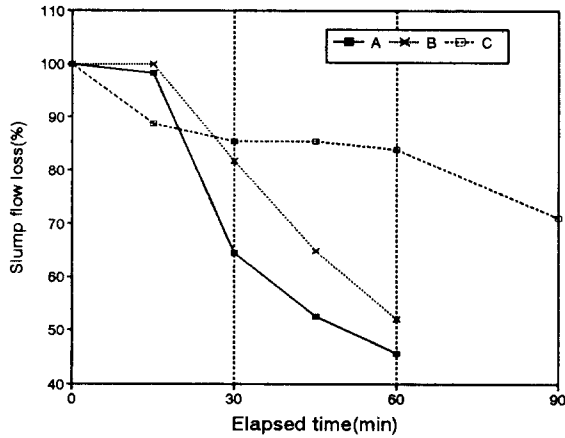


그림 10. 시간 경과에 따른 슬럼프 플로우 변화

### 3.5.2. 응결시간 (표 4 참조)

슬럼프로스 실험결과를 기초로 고성능감수제 첨가량을 결정하여 실험한 초유동 콘크리트의 응결은 고성능감수제 종류에 따라 차이가 크며 고성능AE 감수제 첨가 콘크리트의 응결 지연은 삼성분계 초유동 콘크리트는 사용 혼화제 종류에 따라 응결 지연이 발생할 수 있다는 기존 연구결과와 동일하다.<sup>(3)</sup>

표 4. 응결시간

종류	항목	응결시간(시간:분)	
		초 결	중 결
SP 표준형		8:40	11:30
SP 슬럼프로스 저감형		8:30	11:20
AE SP제 표준형		24:50	28:00

### 3.5.3. 압축강도 (표 6 참조)

표 6. 초유동 콘크리트 압축강도

재령	3일	7일	28일
압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	260	445	674

## 4. 結論

본 연구의 결과 증점제를 사용하지 않은 물결합재비 32%, C:S:F=35:45:20의 삼성분계 초유동 콘크리트 제조가 가능하였으며 실험결과로부터 작업성에 미치는 배합요인의 영향과 평가시험법의 적정성에 관하여 정리하면 다음과 같다.

- (1) 초유동 콘크리트의 제조를 위한 최소 단위결합재량 및 최소 세골재율(본 실험에서는 각각 550kg/m<sup>3</sup> 및 51% 이상)이 존재한다.
- (2) 초유동 콘크리트의 페이스트/조골재 용적비와 유동성, 충전성 간에는 상관관계가 존재한다.
- (3) 초유동 콘크리트의 유동성과 분리저항성을 동시에 만족하기 위한 고성능감수제 최적 첨가량이 존재하며 최적점 이하에서는 유동성 저하로, 최적점 이상에서는 분리저항성 저하로 충전성이 저하한다.
- (4) 초유동 콘크리트의 작업성은 슬럼프 플로우 시험만으로 평가가 곤란하며 유동성, 분리저항성, 간극통과성 등을 종합한 충전성 평가를 위한 새로운 시험법의 개발 및 정립이 필요하다.
- (5) 본 실험에서 사용한 박스 충전성 시험장치는 초유동 콘크리트 충전성의 종합적 평가시험법으로 사용 가능하다고 판단된다.

## 5. 參考文獻

- (1) 三浦律彦 외 3인 : “高速流動コンクリートに関する基礎的研究”, ‘콘크리트工學年次論文報告集’, Vol. 13, No. 1, pp185~190, 1991.
- (2) 藤原浩己 외 3인 : “高流動コンクリートの充填性に関する基礎的研究”, ‘콘크리트工學年次論文報告集’, Vol. 14, No. 1, pp27~32, 1992.
- (3) 十河茂幸 외 3인 : “三成分系低發熱セメントを用いた高流動コンクリートの基礎的性質”, ‘콘크리트工學年次論文報告集’, Vol. 14, No. 1, pp33~38, 1992.