

# 플라이애쉬를 혼입한 고강도콘크리트의 개발에 관한 기초적 연구(제 I 보)

## A Fundamental Study on the Development of High Strength Concrete Containing Fly Ash (part I)

○金 銀 曉\*    金 武 漢\*\*  
Kim, Jin Man    Kim, Moo Han

### ABSTRACT

While there are many researches in high-strength concrete recently, average strength required is the level of 400 kg/cm<sup>2</sup> 28 days compressive strength yet. For the effective using of high strength concrete, high strength concrete of 600 to 800 kg/cm<sup>2</sup> 28 days compressive strength must be accepted. But in this high strength concrete, due to much cement content, there are the problems of high hydration heat, high viscosity and economical efficiency. To solve these problems, it is suggested the method that replace some of cement content as flyash up-to-dately.

Therefore, the aim of this study is to develop high strength concrete of 800 kg/cm<sup>2</sup> 28 days compressive strength containing fly ash. This paper is the part I that analyze the testing results of fresh concrete in various aspects.

### 1. 序論

最近에 이르러 國內에서도 高強度콘크리트에 관한 研究가 활성화 되고 있고 그 시공레도 新增하고 있으나 調合強度는 아직까지 400 kg/cm<sup>2</sup>의 수준으로서 선진국에 비하면 낮은 수준이다. 高強度콘크리트를 사용함으로써 얻을 수 있는 잇점을 효율적으로 이용하기 위해서는 좀더 높은 強度領域의 콘크리트를 채용할 필요가 있다. 현재 실험실에서는 600~800 kg/cm<sup>2</sup> 범위의 콘크리트를 특별한 製造方法을 사용하지 않고도 제조할 수 있으나 과도한 단위시멘트량으로 인한 經濟性의 저하, 높은 점성 및 水和熱의 상승등의 문제점이 있어 實用化에는 어려움이 있다.

한편 양질의 플라이애쉬를 콘크리트에 이용할 경우 시공성 향상, 수화열 저감, 장기강도의 증진, 내구성 향상 등의 효과를 보이므로 고강도콘크리트의 단점을 보완하기 위한 방안으로서 플라이애쉬의 사용이 제안되고 있다.<sup>1)2)</sup>

그러므로 본연구는 압축강도 800 kg/cm<sup>2</sup> 범위의 플라이애쉬를 혼입한 高強度콘크리트를 개발하여 施工性 및 工學的 特性을 플레인콘크리트와 비교분

석함으로써 플라이애쉬를 혼입한 高強度콘크리트의 實用化를 위한 기초 자료를 제시하기 위한 것이며 본보는 제I보로서 아직 끝지않은 콘크리트의 試驗結果를 比較檢討한 것이다.

표 1. 실험요인 및 수준

요 인		수 준					
W/C(°/wt)		25			30		
FA대체율(°/wt)		0	10	20	0	10	20
SP계 첨가율(°/wt)		1.2	1.4	2.0	0.8	1.0	1.2
		1.4	1.6	3.0			
목표슬럼프(cm)		21±2					
조골재크기(mm)		15					
아직 끝지 않은 콘크리트 시험		다짐계수, 공기량, 비빔운동 단위용적중량					
경 시	속정항목	슬럼프, 플로우					
변 화	속정시간	비빔직후, 15, 30, 45, 60, 90, 120(분)					
경 화 콘 크 리 트	속정항목	압축강도, 동탄성계수, 초음파속도 단위용적중량, 반발도, 정탄성계수* 동력변형도곡선*(제명4주간 속정)					
시 험	제 명	1, 4, 8, 12(주)					

\* 正會員, 忠南大 大學院

\*\* 正會員, 忠南大 教授, 工博

## 2. 實驗計劃 및 方法

### 2.1 實驗要因 및 水準

플라이애쉬를 혼입한 高强度콘크리트의 개발을 위한 本研究의 실험요인 및 수준은 표1과 같이 물 시멘트비는 25,30(%), 플라이애쉬의 혼입율 0, 10, 20(%)의 조건을 설정하여 각각 高性能減水劑(이하 SP제라 약기함)를 첨가하여 목표 슬럼프 21±2의 콘크리트를 製造한 후 각 조건에 따른 施工性 및 工學的 特性을 상호비교하기 위하여 아직 굳지않은 콘크리트에서 다짐계수, 공기량, 비빔온도, 단위용

적중량의 測定 및 슬럼프, 플로우의 經時變化의 측정을 행하고 경화콘크리트에서는 壓縮強度, 動彈性係數, 超音波速度, 反撥度, 單位容積重量을 材齢 1, 4, 8, 12(주)에서 측정하고 靜彈性係數 및 應力-變形度曲線의 측정을 제령 4주에만 실시하였다.

### 2.2 使用材料

본실험에서 사용한 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트로서 그 物理的性狀은 표2와 같고 플라이애쉬의 化學적 조성 및 물성은 표3, SP.제의 물리적 성질은 표4와 같고 골재의 물리적 성질 및

표 2. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)		용결도 (h:m)		안정성	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
		초결	종결	초결	종결		3일	7일	28일
보통포틀랜드 시멘트	3.15	3,254	4:50	7:05	양호	183	250	350	

표 3. 플라이애쉬의 化學적 조성 및 물성

化學적 조성								강도	비중
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	기타		
71.90	17.50	2.42	1.77	0.48	0.69	1.01	0.66	2.48	2.1

표 4. 고성능감수제의 물리적 성질

SP제 종류	유형	색상	주 성분	특성	pH	비중
RH-716	액상	흑색	synthetic polymers	무	-	1.10

표 6. 콘크리트의 조합

W/C (%)	FA. 혼입율 (°wt)	SP.제 첨가율 (°wt)	슬럼프 (cm)	잔 골재율 (°vl)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	절대용적 (l/m <sup>3</sup> )				중량 (kg/m <sup>3</sup> )			
						시멘트	플라이애쉬	모래	자갈	시멘트	플라이애쉬	모래	자갈
						25	0	1.2 1.4	21 ±2	35.0	175	222	0
10	1.4 1.6	200	33	629	70								
20	2.0 3.0	178	67	559	140								
30	0	0.8	38.5	180	180	190	0	239	381	599	0	621	998
10	1.0	171				29	539			60			
20	1.2	152				57	479			120			

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	조립율 (F.M)	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	비고
강모래	5	3.08	2.60	1.15	58.8	1.57	심천산
중자갈	15	6.61	2.62	1.07	58.8	1.49	미사리산

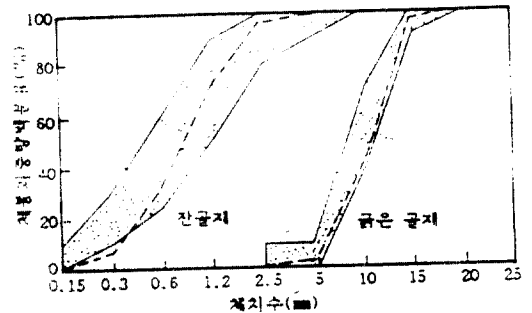


그림 1. 골재의 입도곡선

입도곡선은 표5 및 그림1과 같다.

2.3 콘크리트의 調合, 供試體 製作 및 各種 試驗方法

본실험에서 사용한 콘크리트의 調合은 단위시멘트량을 W/C가 25%인 경우 700 kg/m<sup>3</sup>, W/C가 30%인 경우 600 kg/m<sup>3</sup>의 수준의 no-slump 콘크리트에 SP.제를 첨가하여 몇차례의 시험비빔을 행한 후 표 6과 같이 결정하였으며 SP.제의 添加率 및 플라이

애쉬의 混入率은 시멘트에 대한 重量百分率로 하였다.

콘크리트의 비빔은 流動性을 증진시키기 위하여 시멘트, 모래, 플라이애쉬를 투입하여 10초간 건비빔하고 굵은골재를 투입하여 다시 20초간 건비빔한 후 수량을 투입하여 3분비빔(1분비빔→1분휴지→2분비빔)하고 SP.제를 첨가하여 2분간 제비빔하는 방법을 채택하였다.<sup>3)</sup>

표 7. 아직 굳지않은 콘크리트의 시험결과

W/C (°/wt)		25						30		
FA의 혼입율 (°/wt)		0		10		20		0	10	20
SP.제 첨가율 (°/wt)		1.2	1.4	1.4	1.6	2.0	3.0	0.8	1.0	1.2
공기량 (%)		1.80	1.55	1.35	1.03	0.90	1.08	1.62	1.98	1.00
비빔 온도 (°C)		26	24	26	24	24	26	26	26	26
단위용적중량 (kg/l)		2.38	2.42	2.40	2.41	2.39	2.36	2.39	2.37	2.36
다짐계수 (CF)		0.96	0.99	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
슬럼프	직 후	11.6	21.0	18.3	23.3	23.0	26.0	15.7	21.5	23.9
	15분	6.7	15.4	8.3	21.1	23.0	25.2	5.3	18.0	22.4
프경치	30분	3.6	14.5	5.7	15.7	21.5	23.9	4.5	14.5	20.3
	45분	1.8	6.4	2.8	14.4	21.0	23.8	4.5	14.5	20.3
의변화	60분	1.3	5.9	1.8	10.1	19.4	23.2	2.9	8.9	16.4
	90분	0.6	4.7	1.5	8.0	17.0	23.0	2.4	5.4	10.2
(cm)	120분	0.3	2.0	1.3	7.0	12.9	23.0	1.5	3.8	7.3
플로우	직 후	40.8 (60.6)	49.5 (94.9)	40.0 (57.5)	50.8 (100.0)	52.5 (106.7)	63.0 (148.0)	46.3 (82.3)	55.8 (119.7)	57.0 (124.4)
	15분	38.3 (50.8)	42.3 (66.5)	39.3 (54.7)	45.5 (79.1)	47.3 (86.2)	61.5 (142.1)	40.8 (60.6)	43.0 (69.3)	56.3 (121.7)
우경치	30분	37.3 (46.8)	40.5 (59.5)	36.8 (44.9)	42.3 (66.5)	47.5 (87.0)	62.0 (144.1)	38.5 (51.6)	43.0 (69.3)	51.0 (100.8)
	45분	36.5 (43.7)	39.3 (54.7)	36.8 (44.9)	41.8 (64.6)	47.0 (85.0)	58.3 (129.5)	35.5 (39.8)	41.8 (64.6)	46.3 (82.3)
의변화	60분	35.3 (40.0)	37.3 (46.9)	34.0 (33.9)	42.8 (68.5)	46.5 (83.0)	56.3 (121.7)	36.0 (41.7)	39.5 (55.5)	43.3 (70.5)
	90분	30.8 (21.3)	36.0 (41.7)	33.5 (31.9)	37.8 (48.8)	45.8 (80.3)	54.8 (115.8)	35.3 (39.0)	38.8 (52.8)	40.8 (60.6)
(cm)	120분	30.5 (20.1)	34.0 (33.9)	33.0 (29.9)	35.8 (40.9)	43.3 (70.5)	53.0 (108.7)	33.5 (31.9)	35.3 (39.0)	37.8 (48.8)

( )은 ASTM 플로우치이며 단위는 %임.

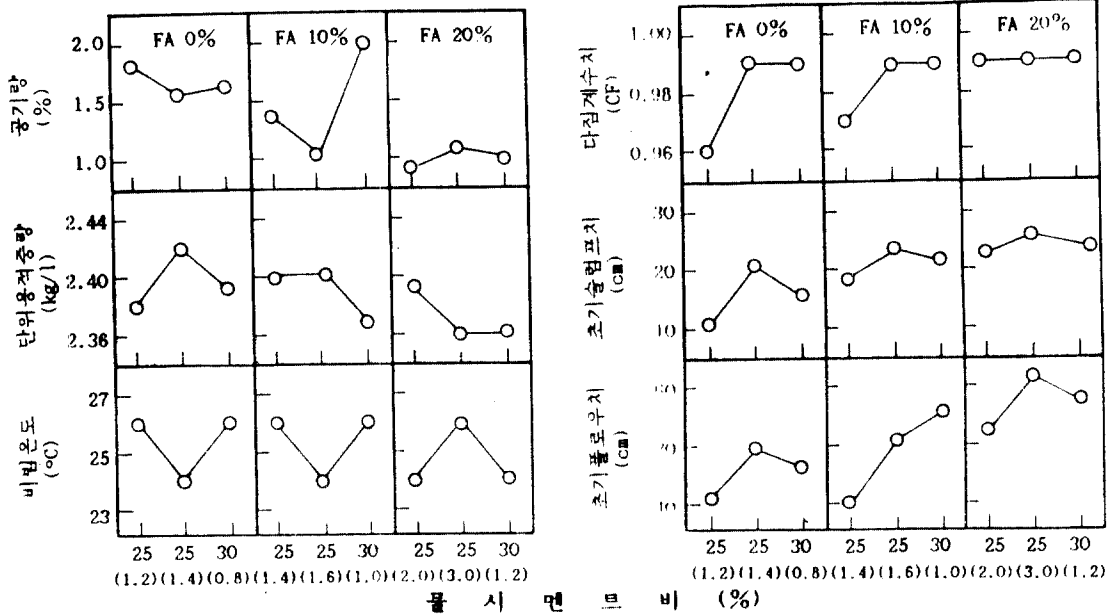


그림 2. 플라이애쉬의 혼입율별 공기량, 단위용적중량, 비빔온도, 다짐계수치, 초기슬럼프치, 초기플로우치의 변화. \* ( )안은 SP제의 첨가율임.

供試體의 製作은 콘크리트의 제조 후 압축강도 및 재물성 시험용  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  실린더 몰드와 반발도 시험용  $\phi 15 \times 30\text{cm}$  실린더 몰드를 KS에 준하여 製作하여  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 水中에서 소정의 재령까지 養生하였으며 또한 아직 굳지 않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 각종시험은 각 규준<sup>4)</sup>에 의하여 실시하였다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1 아직 굳지 않은 콘크리트의 性状 및 檢討

아직 굳지 않은 콘크리트의 試驗結果를 나타낸 표 7 및 플라이애쉬의 混入率別 공기량, 단위용적중량, 비빔온도, 다짐계수치, 초기 슬럼프치, 초기 다짐계수치를 나타낸 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 空氣量은 플라이애쉬의 혼입율 10% (이하 FA 10%), W/C 30%의 경우를 제외하고는 플라이애쉬의 혼입율의 증가에 따라서 감소하는 傾向을 보이고 있어 플라이애쉬를 사용한 高強度콘크리트의 경우 耐久性 향상을 위해서는 AE제를 함께 사용하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

單位容積重量은 플라이애쉬의 혼입율의 증가에 따라서 약간 감소하는 傾向을 보이고 있는데 이는 플라이애쉬가 시멘트 보다 比重이 낮기 때문으로 생각된다.

비빔온도는 플라이애쉬의 혼입율 및 W/C에 관계 없이  $24 \sim 26^\circ\text{C}$ 의 범위로 나타나 水和熱에 미치는 플라이애쉬의 영향을 알아보기 위해서는 좀더 넓은 研究가 필요할 것으로 사료된다.

다짐계수는 초기 슬럼프가 낮은 플라이애쉬의 혼입율 0% (이하 FA 0%), W/C 25%, SP제의 첨가율 1.2%인 콘크리트와 FA 10%, W/C 30%인 콘크리트에서 상대적으로 낮은 수준을 보이나 모든 調査條件에서 공히 0.96 이상의 양호한 다짐성능을 보이고 있다.

초기 슬럼프는 플레인콘크리트(플라이애쉬를 혼입하지 않은 콘크리트)에서 W/C 25%, SP제의 첨가율 1.2%인 콘크리트와 W/C 30%인 콘크리트에서 다소 낮은 슬럼프(11~16cm)를 보이나 그 외에는 18cm 이상의 슬럼프를 유지하고 있으며 플라이애쉬 혼입율 20% (이하 FA 20%)인 경우 骨材의 分離 없이  $23 \sim 26\text{cm}$ 의 높은 슬럼프를 보였다. 또한 플라이애쉬 혼입율의 증가에 따라 목포 슬럼프를 얻기 위한 SP제의 양은 약간 증가하는 傾向을 보였다.

초기 플로우치의 傾向은 초기 슬럼프치의 경우와 유사하게 플라이애쉬의 혼입율의 증가에 따라 증가하는 傾向을 보이고 있지만 초기 슬럼프치의 변화보다는 다소 변화의 폭이 큰 것으로 나타났다.

### 3.2 슬럼프치 및 플로우치의 경시변화 분석

플라이애쉬의 혼입율별 슬럼프, 플로우의 經時에 따른 변화를 나타낸 그림3 및 표7에서 알 수 있는 바와 같이 플레인 콘크리트에서 W/C 25%, SP제 첨가율 1.4%인 경우에는 비빔 후 30분 까지 10cm 정도의 슬럼프치를 보였으나 그 외에는 비빔직후 슬럼프프스가 급격히 발생하여 비빔 후 15분 이후에는 5cm 이하의 낮은 값을 보이고 있다.

FA 10%인 경우 슬럼프 10cm의 유지시간은 W/C 25%, SP제의 첨가율 1.4%인 경우 15분, W/C 30%, SP제의 첨가율 1.0%인 경우 45분, W/C 25%, SP제의 첨가율 1.6%인 경우 60분으로 경시에 따른 저하가 플레인콘크리트 보다 작아지고 있음을 알 수 있다.

FA 20%의 경우에는 전술한 바와 같이 초기 슬럼프프가 상당히 높은 수준을 유지하고 있으며 또한 경

시변화에 있어서도 슬럼프프스가 매우 작은 경향을 나타내어 W/C 30%인 경우를 제외하고는 비빔후 120분 까지 10cm 이상의 슬럼프를 보이고 있다. 특히 W/C 25%, SP제의 첨가율 3.0%인 경우는 경시후 120분 까지도 초기 슬럼프와 유사한 수준 보이고 있으나 凝結遲延現狀을 보여 초기강도의 발현이 낮은 것으로 예상되므로 슬럼프프 로스를 방지하기 위한 SP제의 적정 사용량에 관한 좀더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 이와같이 플라이애쉬의 혼입율의 증가에 따라서 경시에 따른 슬럼프프 로스가 작아지는 경향을 보이고 있으므로 플라이애쉬가 유동성 개선을 위하여 유용함을 알 수 있다.

본실험에서 물시멘트비 25~30% 범위의 단위시멘트량이 많은 高強度콘크리트에서도 SP제의 사용으로 18cm 이상의 슬럼프를 갖는 콘크리트의 제조가 가능하였으나 이러한 고강도콘크리트는 슬럼프

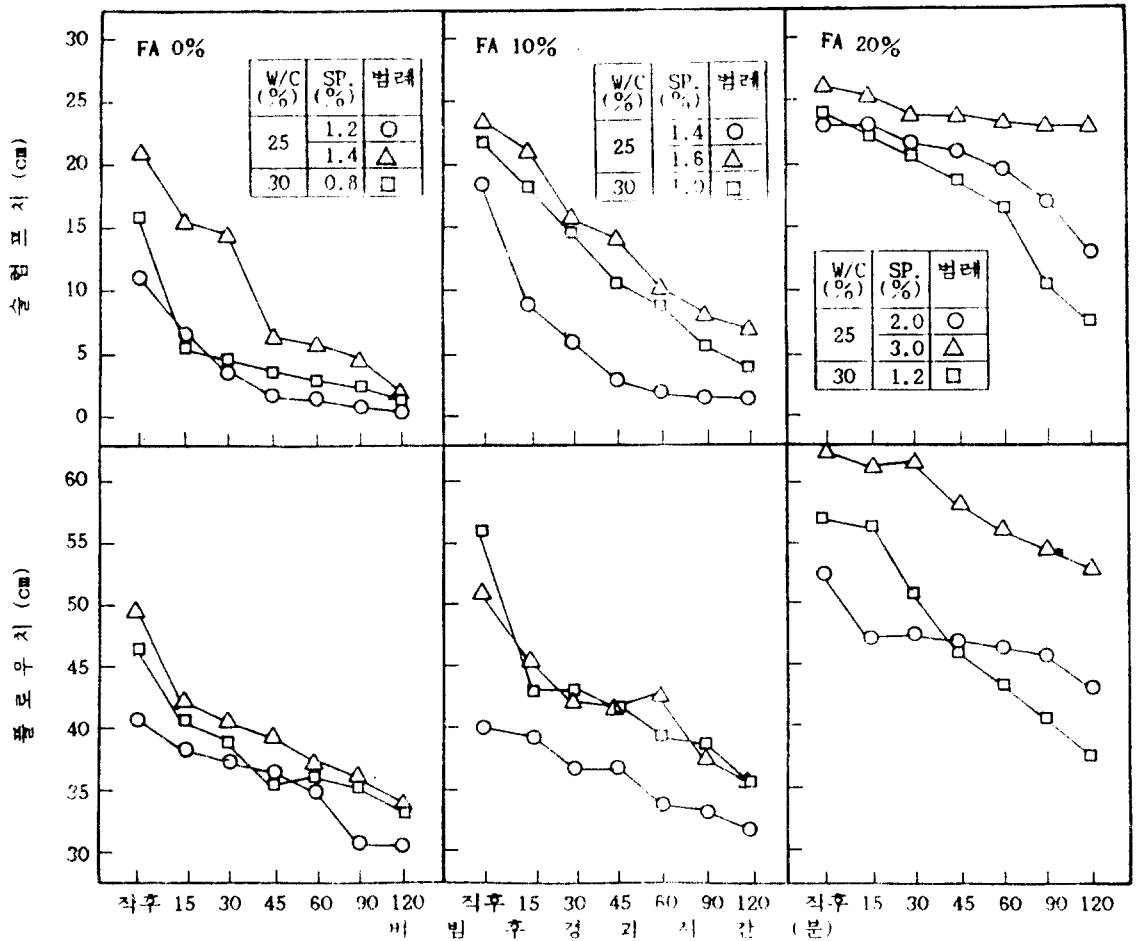


그림 3. 플라이애쉬의 혼입율별 슬럼프 및 플로우의 경시변화

가 보통콘크리트에서 양호하다고 판단되는 정도로 유지되더라도 점성 높기 때문에 워커빌리티는 보통 콘크리트에 비하여 저하하게 되므로 이의 해결을 위한 다양한 측면에서의 연구가 이루어져야 할 것으로 생각되며 또한 高強度콘크리트의 現場適用을 위해서는 여기에 적합한 기계 개발에 관한 연구도 병행되어야 할 것으로 사료된다<sup>3)</sup>.

플로우치의 경시변화는 표7 및 그림4에서 볼 수 있는 바와 같이 슬럼프와 유사하게 플라이애쉬의 혼입율의 증가에 따라서 초기 플로우치는 높고 경시에 따른 저하율은 작아지는 경향을 보이고 있다.

### 3.3 슬럼프와 플로우의 關係

그림4는 슬럼프와 ASTM플로우치의 關係를 나타낸 것이며 ASTM플로우치<sup>5)</sup>는 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\text{ASTM 플로우치} = \frac{\text{플로우치} - 25.4\text{cm}}{25.4\text{cm}} \times 100$$

그림4에서 식 2)와 식 3)은 出光 隆과 高山俊一氏が 日本建築學會<sup>6)</sup>에 보고한 것으로서 高強度콘크리트(식 2))는 보통콘크리트(식 3))에 비하여 동일한 ASTM 플로우치에서 높은 슬럼프치를 보이고 있으며 高強度콘크리트에 관한 本實驗의 결과도 참고한 보통콘크리트의 식에 비하여는 높고 高強度콘크리트에 관한 식과는 ASTM 플로우치 70% 이하에서는 약간 낮은 슬럼프치를 70% 이상에서는 약간 높은 슬럼프치를 보이고 있으나 거의 동등한 수준을 나타내고 있다.

이와같이 高強度콘크리트는 普通콘크리트에 비하여 유동성을 나타내는 지표들의 관계가 다른 경향을 보이므로 고강도콘크리트의 워커빌리티를 判定

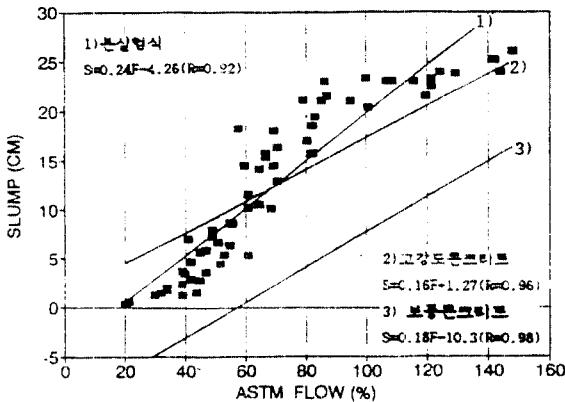


그림4는 슬럼프와 ASTM플로우치의 關係

하기 위해서는 슬럼프치 외에 다른 측정치들을 함께 고려하여야 할 것으로 사료되며 또한 高強度콘크리트에서 정확한 워커빌리티 판정을 위하여 측정치 간의 정확한 관계를 밝히기 위한 연구가 필요할 것으로 사료된다<sup>3)</sup>.

### 4. 결론

플라이애쉬를 혼입한 高強度콘크리트의 개발에 관하여 실험적으로 고찰하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1) W/C 25%의 고강도콘크리트에서 SP계를 사용하여 슬럼프 18cm 이상의 유동성을 갖는 콘크리트의 제조가 가능하였으나 슬럼프 및 플로우치가 보통콘크리트에서 우수하다고 판단되는 수준을 유지하더라도 점성이 높기 때문에 施工性は 저하하는 경향을 보였다.

2) 많은 단위시멘트량을 사용한 본실험에서 시멘트의 일부를 플라이애쉬로 치환한 결과 초기 유동성은 동일한 수준을 유지하였으며 경시에 따른 유동성 손실도 줄일 수 있었다.

3) 高強度콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 높은 슬럼프에서도 골재의 분리가 적고 점성이 크며, 또한 유동성 지표들간의 관계가 다르므로 高強度콘크리트의 施工性を 판정하기 위하여는 슬럼프 외에 다양한 콘시스턴시의 측정치들이 고려되어야 할 것이다.

### 參考文獻

1. K. Ramyar ; The Effect of Fly Ash Inclusion on the Compressive Strength of Flyash Mortar and Concrete, Forth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete (Supplementary Papers), may 1992, pp.139~157.
2. 石井光裕 ; 分級フライアッシュを混入した 高強度コンクリートの 諸特性, 콘크리트 工學年次論文報告集 13-1, 1991, pp.263~268.
3. 高強度콘크리트의 技術의 現狀 ; 日本建築學會 1991, pp.58-66, pp.132-142.
4. 金武漢 ; 構造材料實驗方法論, 학문사, 1990 pp. 213~270.
5. A.M.Neville ; Properties of concrete, 3rd edition, 1981, pp.212~213.