

# 高強度流動化 콘크리트의 施工性 및 工學的 特性에 미치는 비빔方法에 관한 基礎的 研究

## A Fundamental Study on the Mixing Method to Workability and Engineering Properties of High Strength Flowing Concrete

○ 崔 鎮 成\*    李 相 洙\*    金 振 晚\*\*    南 相 顯\*\*    金 武 漢\*\*\*  
 Choi, Jin Sung    Lee, Sang Su    Kim, Jin Man    Nam, Sang Ill    Kim, Moo Han

### ABSTRACT

This is the study on the feature of mixing method of high strength flowing concrete using the superplasticizing agent which is used to aim considerable reduction effect of water contents in the same level of consistency and workability.

It is the aim of this study to compare workability and engineering properties of high strength flowing concrete according to mixing order of materials and the addition time and method of superplasticizing agent.

### 1. 序論

高性能減水劑를 사용하여 單位水量을 저감시킴으로써 콘크리트의 品質向上과 施工性의 改善을 목적으로 한 高強度流動化 콘크리트가 선진제외국에서는 다각적으로 研究檢討되어 실용화되고 있다.

그러나 과다한 단위시멘트량의 사용으로 인한 經濟性的의 低下, 높은 점성 및 水和熱의 上昇등의 問題點과 高性能減水劑의 사용으로 인해 시간의 경과와 더불어 콘시스턴시의 저하 즉 슬럼프로스(Slump Loss)가 현저하고 過多使用時 凝結遲延이 발생되어 壓縮強度等 工學的 特性에 惡影響으로 使用範圍 및 施工法이 한정되고 있으며 제외국의 많은 연구자에 의해 그 해결책이 검토되어 遲延劑의 병용, 高性能減水劑의 後添加 分割 添加등이 提案되고 있으며 이에 대한 研究結果와 施工例가 보고되고 있다.<sup>1)2)3)</sup>

이에 本研究는 高強度流動化 콘크리트의 製造를 위한 一連의 研究로서 高強度流動化 콘크리트의 비빔방법의 影響에 관하여 考察한 것으로서 高性能減水劑의 添加時期 및 方法, 材料投入順序等의 實驗要因 및 水準을 設定하여 아직궁지않은 콘크리트에서의 施工性과 作業性 및 硬化콘크리트의 壓縮強度를 實驗 實證의 으로 比較 分析하고 檢討하여 가장 적합한 비빔방법을 알아보고자 한다.

### 2. 實驗概要 및 方法

#### 2.1 實驗概要

高強度流動化 콘크리트의 施工性 및 工學的 特性에 미치는 비빔방법의 影響에 관한 本研究의 實驗要因 및 水準은 표1과 같이 물결합재비 0.25에서 플라이애쉬 代替率 0, 10%를 채택하여 1차슬럼프의 경우 5~8cm, 2차슬럼프의 경우 18~21cm의 목표슬럼프를 얻고자 하였으며 콘크리트의 材料投入順序 및 비빔방법은 표2와 같다.

표 1. 실험요인 및 수준

要 因		水 準
물결합재비(w/(C+FA))		0.25
조골재크기 (mm)		25
FA대체율 (%)		0                      10
목 표 슬럼프 (cm)	1 차	5~8
	2 차	18~21
아직궁지않은 콘크리트시험		슬럼프
경화콘크리트 시험	측정항목	압축강도
	재령(日)	7

#### 2.2 使用材料

本 實驗에 사용된 시멘트는 國內 S社의 普通포틀랜드시멘트로서 그 物理的 性質은 표3과 같고 플라이애쉬의 化學的 組成 및 物性は 표4, 高性能減水劑의 物

\* 正會員, 忠南大 大學院(碩士課程)  
 \*\* 正會員, 忠南大 大學院(博士課程)  
 \*\*\* 正會員, 忠南大 敎授·工博

표 2. 콘크리트의 재료투입순서 및 비빔방법

구 분	재료투입방법	SP제 첨가방법	재 료 투 입 순 서
I-1	일괄투입	일괄첨가	G+C+S+W(1분)→1분휴지→2분비빔→1차슬럼프→SP(2분)→Con. →2차슬럼프
I-2		분할첨가	G+C+S+W+SP <sub>1</sub> (1분)→1분휴지→2분비빔→1차슬럼프→SP <sub>2</sub> (2분) →Con.→2차슬럼프
II-1	S+C+G 견비빔	일괄첨가	S+C(10초)→G(20초)→W(1분)→1분휴지→1분30초비빔 →1차슬럼프→SP→2분비빔→Con.→2차슬럼프
II-2		분할첨가	S+C(10초)→G(20초)→W+SP <sub>1</sub> (1분)→1분휴지→1분30초비빔 →1차슬럼프→SP <sub>2</sub> →2분비빔→Con.→2차슬럼프
III-1	견비빔후물탈비빔	일괄첨가	S+C(10초)→W(20초)→G(30초)→1분휴지→2분비빔→1차슬럼프→SP →2분비빔→Con.→2차슬럼프
III-2		분할첨가	S+C(10초)→W+SP <sub>1</sub> (20초)→G(1분)→1분휴지→1분30초비빔 →1차슬럼프→SP <sub>2</sub> →2분비빔→Con.→2차슬럼프
IV-1	G+C+S 견비빔	일괄첨가	G+C+S(30초)→W(30초)→1분휴지→2분비빔→1차슬럼프→SP→2분비빔 →Con.→2차슬럼프
IV-2		분할첨가	G+C+S(30초)→W+SP <sub>1</sub> (1분)→1분휴지→1차슬럼프→SP <sub>2</sub> →2분비빔 →Con.→2차슬럼프
V-1	선물탈비빔	일괄첨가	S+C+W(1분)→SP→1분비빔→20초휴지→1분비빔→G(2분)→1차슬럼프 →Con.→2차슬럼프
V-2		분할첨가	S+C+W(1분)→SP <sub>1</sub> →1분비빔→G(1분)→2분휴지→SP <sub>2</sub> (2분)→1차슬럼프 →Con.→2차슬럼프
VI-1	G+C+FA+S 견비빔	분할첨가	G+C+FA+S(30초)→W+SP <sub>1</sub> (1분)→1분휴지→1분30초비빔→1차슬럼프 →SP <sub>2</sub> (2분)→Con.→2차슬럼프

\* ( )은 비빔시간 (C:시멘트, S:모래, G:자갈, W:물, FA:플라이애쉬)

理的 性質은 표5와 같고 骨材의 物理的 性質 및 粒度 曲線은 표6 및 그림1과 같다.

표 6. 골재의 물리적 성질

구 분	입경 (mm)	조립율 (F·M)	비 중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	비 고
세골재	5	2.98	2.61	1.10	62.5	1.63	남양산
조골재	25	7.38	3.44	0.94	54.4	1.87	팔탄산

표 3. 시멘트의 물리적 성질

시멘트의 종류	비 중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	용결도(h:m)		안정성	압 속 강 도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결		3일	7일	28일
보통포틀랜드 시멘트	3.15	3.254	4:50	7:05	양호	183	250	350

표 4. 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

혼화제의 종류	주 성 분 (%)						비 중
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Mn	
플라이애쉬	71.90	1.77	17.5	2.42	0.48	—	2.1

표 5. 혼화제의 물리적 성질

종 류	유형	색상	주 성 분	특성	pH	비 중
고성능감수제	역상	흑색	synthetic polymers	무	—	1.10

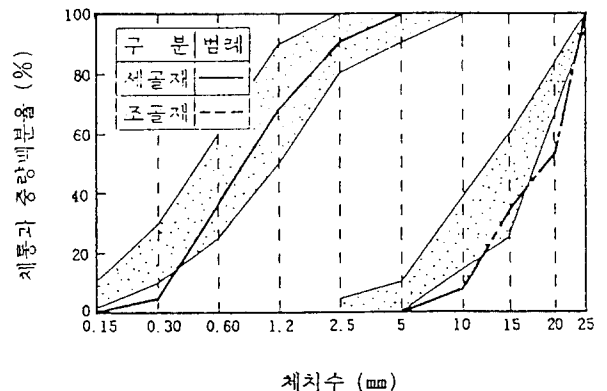


그림 1. 골재의 입도곡선

### 2.3 콘크리트 調査

콘크리트의 조합설계는 일본건축학회 “콘크리트의 조합설계 조합관리 품질관리 지침안 동해설” 및 “유동화콘크리트 시공지침안 동해설”의 참고조합표를 기초로 표7과 같이 결정하였으며 콘크리트의 비빔시간은 표2와 같이 모든 材料投入順序 및 비빔방법 공히 총비빔시간은 5분비빔을 행하였고 플라이애쉬의 代替率은 시멘트에 대한 중량백분율로 하였으며 SP劑 添加率은一括添加時 1.0%, 分割添加時 1次添加 0.4%, 2次添加 0.6%로 投入하였다.

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3.1 아직굳지않은 콘크리트의 性狀

高強度流動化콘크리트의 비빔방법에 따른 施工性 및 工學的 特性에 관한 影響을 알아보기 위한 본실험에서 아직굳지않은 콘크리트의 시험결과는 표8 및 그림2에 나타난 바와같이 아직굳지않은 콘크리트에서의 슬럼프의 경우 SP劑의 添加率에 관하여 살펴보면 1次添加率을 0.4%로 添加하였을때 1차슬럼프는 목표슬럼프인 5~8cm 보다 다소 미흡한 약 3cm미만의 낮은 슬럼프를 보이고 있어 각 비빔방법에 따른 차이를 알아보기가 어려웠으며 목표슬럼프를 위한 1次添加率은 0.5~0.6%의 수준인 것으로 사료된다.

2차슬럼프의 경우 I-1, I-2 및 III-2의 方法을 제외하고는 약 17.5~20.5cm로 목표슬럼프 18~21cm를 만족하므로 I-1, I-2 및 III-2의 方法에서만 1次添加率을 0.5~0.6%로 상향 조정하고 전체 SP劑量을 1%로 할 경우 목표슬럼프인 18~21cm와 일치하는 적정한 슬럼프를 보일 것으로 예상되므로 물시멘트비 0.25(단위시멘트량 700kg/m<sup>3</sup>)의 경우 전체 SP劑의 양은 1.0% 정도가 적정한 수준으로 판단되어진다.

콘크리트의 재료투입순서 및 비빔방법에 있어서의 슬럼프를 비교할 경우 I(일괄투입)과 III(건비빔후 몰탈비빔)의 方法에서는 I-2, III-2의 2차슬럼프 13.5~15cm 정도로서 I-1, III-1의 2차슬럼프 16.1~18.7cm에 비하여 약 3cm 정도의 슬럼프저하를 보였으나 II-1, II-2, IV-1, IV-2, V-1, V-2의 方法에서는 동일한 수준의 流動性을 보이므로 SP劑의 분할첨가시 물결합재비 0.25이하의 낮은 물결합재비에서 발생하는 상당한 과부하를 건비빔 및 선몰탈비빔을 행함으로써 유동성 개선 및 부하량을 현저히 줄일수 있는 II-2, IV-2, V-2의 方法이 보다 유리한 것으로 판단된다.

IV(G+C+S 건비빔), V(선몰탈비빔)의 경우 SP劑의

표 8. 아직굳지않은 콘크리트의 시험결과

구분	재료투입순서	슬럼프 (cm)	
		1차	2차
I-1	G+C+S+W→SP→Con.	1.0	16.1
I-2	G+C+S+W+SP <sub>1</sub> →SP <sub>2</sub> →Con.	2.8	13.5
II-1	S+C→G→W→SP→Con.	1.2	17.5
II-2	S+C→G→W+SP <sub>1</sub> →SP <sub>2</sub> →Con.	3.2	19.2
III-1	S+C→W→G→SP→Con.	0.7	18.7
III-2	S+C→W+SP <sub>1</sub> →G→SP <sub>2</sub> →Con.	3.0	15.0
IV-1	G+C+S→W→SP→Con.	0.5	20.5
IV-2	G+C+S→W+SP <sub>1</sub> →SP <sub>2</sub> →Con.	3.0	19.0
V-1	S+C+W→SP→G→Con.	0.5	19.7
V-2	S+C+W→SP <sub>1</sub> →G→SP <sub>2</sub> →Con.	1.3	20.5
VI-1	G+C+FA+S→W+SP <sub>1</sub> →SP <sub>2</sub> →Con.	0.3	12.3

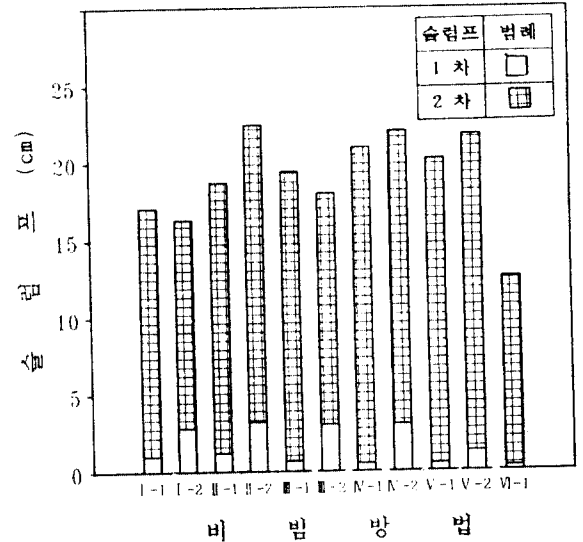


그림 2. 고강도유동화 콘크리트의 재료투입순서 및 SP劑 첨가방법에 따른 슬럼프의 비교

표 7. 콘크리트의 조합

물결합재비 (W/(C+FA))	Flyash 대체율 (%)	목표 슬럼프 (cm)		잔골재율 (°/v1)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	절대용적 (l/m <sup>3</sup> )				단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			
		1차	2차			시멘트	플라이애쉬	모래	자갈	시멘트	플라이애쉬	모래	자갈
0.25	0	5~8	18~21	37.0	175	222	0	219	374	700	0	572	1287
	10					200	33			630	70		

一括添加, 分割添加 공히 2차슬럼프 19~20.5cm로서 施工性에서 유리한 것으로 나타났고 특히 V-2의 方法은 IV-2의 方法에 비해 2차슬럼프가 2cm 정도 상대적으로 높았으므로 아직근지않은 상태에서의 流動性 側面에서 V-2의 方法이 가장 유리한 것으로 판단된다.

플라이애쉬를 代替하였을 경우에는 동일한 SP劑量을 첨가한 동일비빔방법(IV-2)과 비교할때 1차슬럼프는 2.7cm, 2차슬럼프는 6.7cm가 저하하였는데 이와같이 플라이애쉬를 사용함으로써 슬럼프가 저하한것은 시멘트계재료(시멘트, 플라이애쉬)의 비표면적의 증대로 인한 슬럼프손실이 플라이애쉬의 불베어링작용에 의해 얻을수 있는 슬럼프 증진보다 컸기때문에 발생한 것으로 플라이애쉬 사용시 SP제의 첨가량을 증가시켜야 할 것으로 사료된다.

既存의 研究結果<sup>4)</sup>와 비교할때 단위시멘트량 700kg/m<sup>3</sup> 水準에서는 슬럼프 18±2cm의 경우 self leveling효과가 나타났고 슬럼프형성시간이 20초~1분 정도 되었으나 本實驗에서는 슬럼프형성시간은 5~10초이고 self leveling도 크지않았는데 이는 既存의 비빔방법과는 달리 건비빔법을 채택한 것과 實驗調査에 있어서도 粗骨材의 비중이 높고, 細骨材率이 높았기때문으로 사료된다.

### 3.2 硬化콘크리트의 性狀

硬化콘크리트에서의 試驗結果인 표9 및 그림3에 나타난 바와같이 동일한 SP劑 添加率에서 SP제 분할첨가법의 경우 材齡1週 壓縮強度가 531~562kg/cm<sup>2</sup>로서 일괄첨가법의 541~582kg/cm<sup>2</sup> 보다 10~20kg/cm<sup>2</sup> 정도 낮게 發現되는 傾向을 나타내고 있어 分割添加法 보다 일괄첨가법을 채택하는 것이 硬化콘크리트의 工學的 側面에서는 유리하다고 판단되었으나 實用化를 위해서는 보다 심도있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

동일한 비빔방법하에서 단위시멘트량을 플라이애쉬로 대체하였을 경우의 材齡1週 壓縮強度 510kg/cm<sup>2</sup>로서 플레인콘크리트의 材齡1週 壓縮強度 531kg/cm<sup>2</sup> 보다 壓縮強度 20kg/cm<sup>2</sup> 낮게 發現되었는데 이는 플라이애쉬를 대체하였을 경우 初期材齡에서 낮게 發現된다

표 9. 경화콘크리트의 시험결과

비빔 방법	재료투입방법	SP제 첨가방법	7일압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )			
			1	2	3	평균
I-1	일괄투입	일괄첨가	599	573	575	582
I-2		분할첨가	553	552	541	549
II-1	S+C+G 건비빔	일괄첨가	575	540	573	563
II-2		분할첨가	540	564	255	552
III-1	건비빔후물탈비빔	일괄첨가	603	568	573	581
III-2		분할첨가	564	577	526	556
IV-1	G+C+S 건비빔	일괄첨가	534	566	522	541
IV-2		분할첨가	522	546	524	531
V-1	선물탈비빔	일괄첨가	581	567	566	571
V-2		분할첨가	553	586	548	562
VI-1	G+C+FA+S건비빔	분할첨가	530	484	516	510

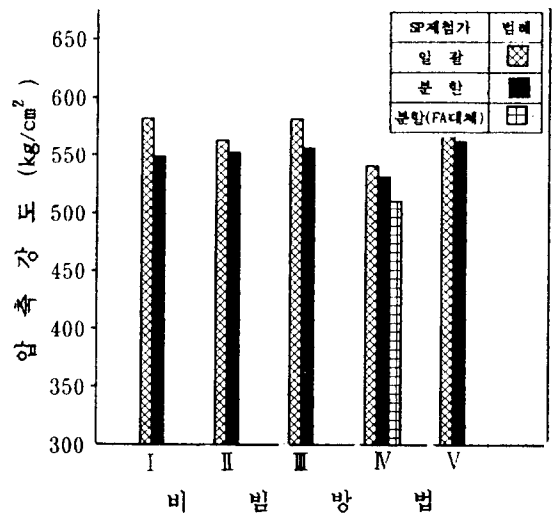


그림 3. 비빔방법에 따른 재령1주 압축강도에 대한 비교

는 既存의 研究報告<sup>4)</sup>와 일치하고 있다.

### 4. 糸吉 論

- 1) 일괄투입(I), 건비빔후 물탈비빔(III)의 方法은 SP劑의 一括添加法이 分割添加法에 비하여 약 3cm 정도 슬럼프증진을 보였으나 II, IV, V의 方法에서는 동일한 수준의 콘시멘트를 보였다.
- 2) SP劑의 1次添加量을 0.4%로 添加하였을때 목표슬럼프에 보다 다소 미흡하여 SP劑의 分割添加時 1次添加量을 0.5~0.6%로 증가시키는 것이 타당할 것으로 사료되며 본 물시멘트비 0.25의 경우 전체 SP劑의 양은 1.0% 정도가 적절한 수준으로 판단된다.
- 3) 플라이애쉬를 代替한 VI-2(G+C+S건비빔, SP제 분할첨가)의 경우 동일한 SP劑量을 첨가한 동일비빔방법(IV-2)에 비하여 1차슬럼프는 2.7cm, 2차슬럼프는 6.7cm가 저하하여 플라이애쉬 대체시 플레인콘크리트에 비하여 SP劑量을 증가시켜야할 것으로 사료된다.
- 4) 동일한 SP劑 添加率에서 재령1주압축강도가 SP劑의 分割添加法의 경우 531~562kg/cm<sup>2</sup>, 일괄첨가법 541~582kg/cm<sup>2</sup> 수준으로 유사한 경향을 나타내고 있다.
- 5) 高強度流動化콘크리트의 유동성 및 강도특성을 고려한 결과 V-2(선물탈비빔)의 SP제 分割添加法이 가장 유리한 것으로 판단되며 아울러 品質管理를 철저히 행하여 콘크리트를 타설하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

### 參 考 文 獻

1. 服部, スランプロスのメカニズム および その 對策, 材料 29권318호, 1980
2. 竹本 外, 新型高性能AE減水劑の構造と特性, セメント・コンクリート 論文集 No. 44, 1990, PP. 222~227
3. Myles A. Murray, Superplasticizers-Water Reducers or Flowing agents, Precedings of International Symposium of Superplasticizers in Concrete, CANMET, Ottawa, Canada, 1978. 5
4. A. M. Neville : Properties of concrete, 3rd Edition, 1981, pp.207-225. 11. Tarun R. Naik and Bruce W. Ramme : High-Strength Concrete