Pre-mixed 및 Non-premixed cement가 콘크리트의 물성에 미치는 영향에 관한 연구

김달중* · 배준영 · 권인표 · 조성현 · 노현승 · 김정환
<한일시멘트 중앙연구소>

1. 서 론

최근 들어 특수한 목적과 용도에 적합한 콘크리트에 대한 시장의 수요가 꾸준히 증가하여, 고성능 콘크리트를 Design하기에 용이한 pre-mixed 형태의 혼합시멘트에 대한 연구 역시 활발히 진행 중인 상황이다.

한편, pre-mixed cement를 이용하여 콘크리트를 제조하면, 혼합시간 단축, 품질안정화, 품질성능 향상 등의 장점이 있다고 알려지고 있으나 아직까지 이에 대한 검토는 미흡한 실정이다. 특히, pre-mixed 시멘트를 이용하여 콘크리트를 제조하기 위해서는 반드시 혼합시멘트의 균질성을 확보하여야 하나 이에 대한 명확한 평가방법이 제시되어 있지 않아, 혼합시멘트를 이용한 콘크리트의 평가 역시 용이치 않은 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 균질성이 확보된 pre-mixed cement를 제조한 후 이를 이용하여 콘크리트의 배합실험을 실시하여 기존의 방식(non-premixed)과 콘크리트의 물성을 비교 검토함으로써, 향후 pre-mixed cement를 이용한 콘크리트 배합설계시 기초자료를 제시코자 한다.

2. 실험

2.1 실험계획

고속믹서로 pre-mixing하여 제조한 플라이애시 혼합시멘트와 pre-mixing 없이 플라이애시와 시멘트를 개별 계량하여 콘크리트를 제조하였을 때, 콘크리트의 경화전후 기초특성에 대한 고찰을 위하여 Table. 1 과 같이 실험을 실시하였다. 본 실험에 사용된 pre-mixed cement는 M-tec사 혼합기를 이용하여 각각 60초, 90초, 120초, 150초 간 혼합한 후 각각의 샘플을 10개씩 채취하여 비중을 측정하고, 이를 실험실적 분체전용 혼합기에서 5분 이상 충분히 pre-mixing한 샘플과 비교하여 혼합시멘트의 균질성을 먼저 확인한 후 콘크리트 배합실험에 적용하였으며, 콘크리트 배합실험은 Lab 및 Batcher Plant(이하 BP)에서 단계적으로 실시하였고 슬럼프, 공기량, 압축강도를 측정하였다. 압축강도의 경우 각 재령별로 Lab 실험에서 8개씩, BP 실험에서 11개씩 측정하여 식 1) ~ 3)을 이용하여 각각 평균, 표준편차, 변동계수를 구하여 품질성능을 평가하였다.

1) 평균(m) = $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$

2) 표준편차(σ) = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - m)^2}{n}}$

3) 변동계수(Cv, %) = $\frac{\sigma}{m} \times 100$

2.2 사용재료 및 pre-mixed cement 제조

본 실험에 사용된 결합재는 국내 H사의 1종 보통포틀랜드 시멘트와 S화력의 플라이애시 및 이를 고속믹서로 각각 80:20 및 60:40으로 혼합하여 제조한 FA20%, FA40% PMC 를 사용하였다. 굵은 골재는 조립율 7.06, 흡수율 0.4 %인

Table 1. 실험계획 및 인자

구분	W/B (%)	S/a (%)	Air (%)	단위재료량(kg/㎥) W	B	S	G	AD (Bx%)	단계	실험항목 Slump (cm)	공기량 (%)	압축강도 (Mpa)
I	48.9	49.5	4.0	174	356 FA20% PMC*	852	889	0.90	Lab	직후	직후	재령별 8개
II					FA20% NPC*							
III					FA40% PMC	841	878		BP	직후	직후	재령별11개
IV					FA40% NPC					30분	30분	재령별11개

* PMC : Pre-mixed cement, NPC, Non-premixed cement

Table 2. 사용재료 화학조성

시료 \ 항목	화학조성(%) SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	강열감량 (900℃)	Blaine (㎠/g)
1종 시멘트	20.87	5.29	3.41	61.88	2.45	2.35	2.23	3,470
Fly ash	52.81	31.67	5.21	4.11	1.01	0.57	3.51	3,010
FA20% PMC	27.35	11.55	3.80	48.75	2.15	2.01	2.49	3,360
FA40% PMC	33.42	16.74	4.23	37.58	1.90	1.65	2.74	3,290

25 mm 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 조립율 2.70, 비중 2.62 인 강사를 사용하였다. 혼화제는 국내 H사의 표준형 AE 감수제를 사용하였다.

Pre-mixed cement 를 제조하기 위하여 M-tec社 혼합기를 이용 혼합시간별로 샘플링한 다음 전자비중계로 비중을 측정하고, 이를 실험실내 분체혼합용 고속믹서로 5분간 충분히 혼합한 plain의 비중 값과 비교하여 균질성의 정도를 평가하였다. 본 실험에는 150초 동안 혼합한 pre-mixed cement 를 적용하였다.

2.3 실험방법

Lab 실험시 콘크리트 혼합은 강제식 팬타입

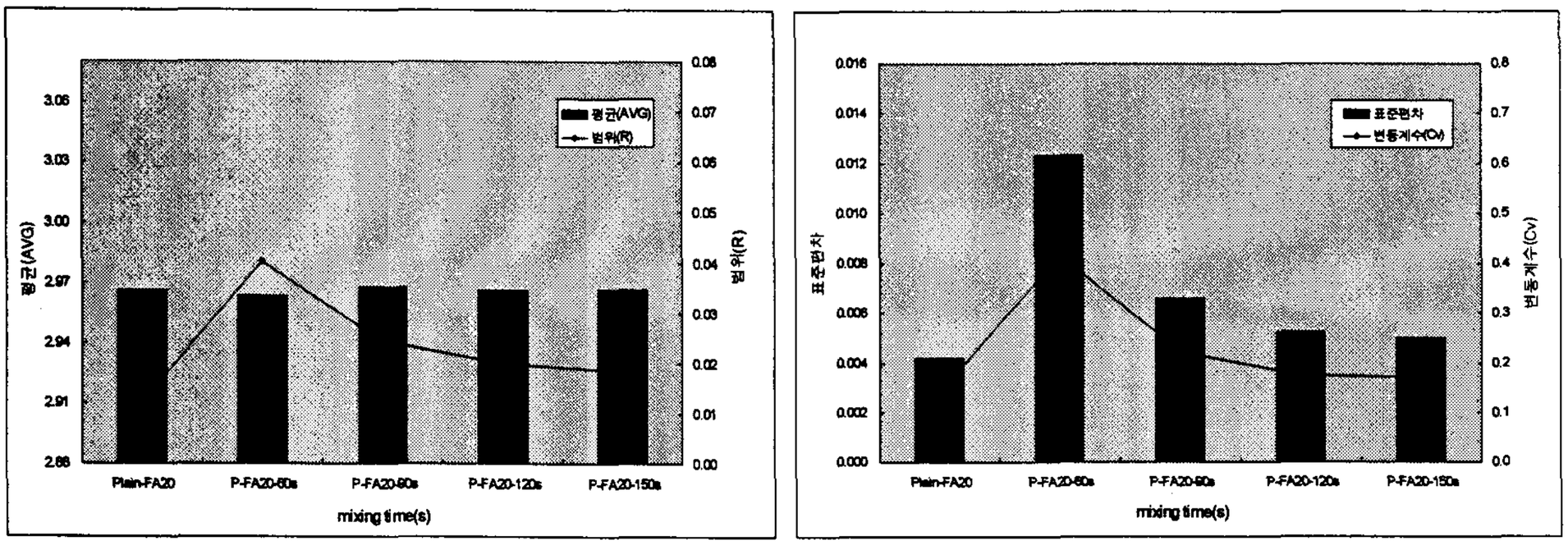


Fig. 1 혼합시간별 pre-mixed cement 비중(평균, 표준편차, 변동계수)

Table 3. Pre-mixed cement 물리적 특성

항목 / 시료	응결시간(분)		압축강도(Mpa)		
	초결	종결	3일	7일	28일
FA20% PMC	282	390	19.4	26.3	32.5
FA40% PMC	303	441	15.3	20.8	28.5

믹서를 이용하여 혼합하였으며 재료의 투입순서는 굵은 골재, 잔골재, 결합재 순이며 투입 후 약 30초간 건비빔한 다음 혼합수를 투입하고 90초간 다시 혼합하였다.

BP 실험은 레미콘 공장의 일반제품 제조방법에 준하여 혼합시간을 50초로 하였다. 슬럼프 실험은 KS F 2402의 시험방법을 따랐고 공기량 실험은 KS F 2409에 준하여 실시하였다. 압축강도 시험은 KS F 2403에 따라 공시체를 제작·양생한 후, KS F 2405의 시험 방법에 의해 측정하였다. 경시변화는 레미콘 믹서트럭이 공장에서 현장으로 이동하는 시간을 고려하여 30분간 믹서트럭 내에서 존치한 후 물성 실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Lab 실험결과 (슬럼프, 공기량, 압축강도)

Fig. 2는 결합재 종류에 따른 공기량 및 슬럼프의 변화를 나타낸 것으로 pre-mixed cement를 사용한 콘크리트의 슬럼프가 non-premixed 방식으로 제조한 콘크리트의 경우에 비해 각각 2~2.5 cm 정도 증가하는 결과를 얻었다. 공기량은 큰 차이를 보이지 않았다. Ⅰ과 Ⅲ 및 Ⅱ와 Ⅳ를 비교하면 슬럼프가 각각의 경우 2.5~3.0 cm 정도 감소하였고, 공기량 역시 약 2% 가량 감소하는 결과를 얻었다.

Fig. 3은 결합재 type별 압축강도의 변화추이를 도시한 것으로, 각 재령별로 pre-mixed cement를 사용한 콘크리트의 압축강도가 그렇지 않은 경우에 비해 약 1 Mpa 내외로 근소하게 상회하였다.

Fig. 4의 (a)는 결합재 종류에 따른 재령별 압축강도의 표준편차를 도시한 그래프로 재령에 따라 표준편차가 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며, pre-mixed cement를 사용한 Ⅰ, Ⅲ의 경우가 그렇지 않은 Ⅱ, Ⅳ의 경우에 비해 상대적으로 작은 편차를 보였다. Type별로는

Table 4. 실험결과

Mix.ID		슬럼프 (cm)		공기량 (%)		압축강도(Mpa)																			
						3일				7일				14일				28일				56일			
						직후		30분		직후		30분		직후		30분		직후		30분		직후		30분	
		직후	30분	직후	30분	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
Lab	Ⅰ	18.0	-	4.7	-	13.5	0.31	-	-	22.3	0.57	-	-	26.8	0.65	-	-	32.1	0.69	-	-	38.2	0.84	-	-
	Ⅱ	15.5	-	4.7	-	12.8	0.59	-	-	21.9	0.73	-	-	25.4	0.84	-	-	30.8	1.13	-	-	36.4	1.47	-	-
	Ⅲ	15.0	-	2.8	-	8.9	0.13	-	-	15.6	0.12	-	-	21.2	0.34	-	-	24.6	0.40	-	-	30.8	0.48	-	-
	Ⅳ	13.0	-	2.9	-	9.1	0.24	-	-	15.2	0.42	-	-	20.9	0.58	-	-	24.0	0.42	-	-	29.8	0.54	-	-
B/P	Ⅰ	19.0	16.0	5.1	3.0	-	-	-	-	20.3	0.31	21.4	0.29	24.6	0.48	26.1	0.43	29.9	0.44	31.2	0.40	36.4	0.47	37.9	0.49
	Ⅱ	17.0	15.0	5.2	2.7	-	-	-	-	17.4	0.52	17.9	0.46	21.2	0.55	22.3	0.47	27.1	0.91	27.8	0.70	33.2	0.80	34.4	0.99
	Ⅲ	16.5	15.0	3.3	1.4	-	-	-	-	15.6	0.27	16.6	0.30	19.5	0.19	21.3	0.20	25.8	0.55	27.6	0.51	33.8	0.73	34.8	0.53
	Ⅳ	14.0	12.0	2.5	0.9	-	-	-	-	13.0	0.38	14.1	0.29	17.0	0.52	18.5	0.53	23.7	0.65	25.5	0.49	30.4	0.98	32.6	0.74

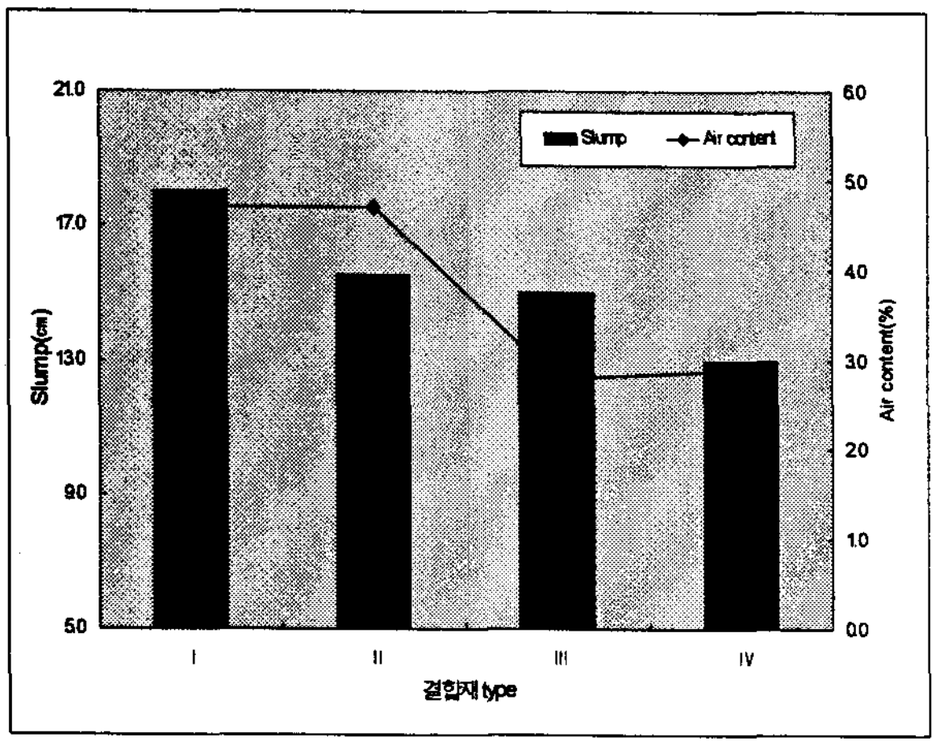


Fig. 2 결합재 type별 공기량 및 슬럼프 변화

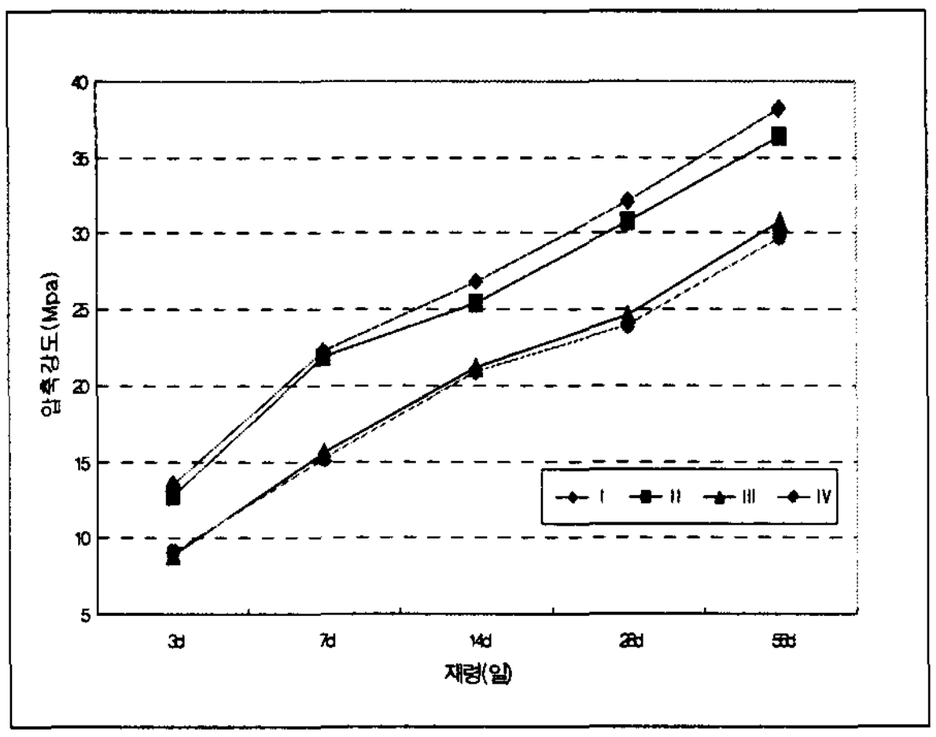
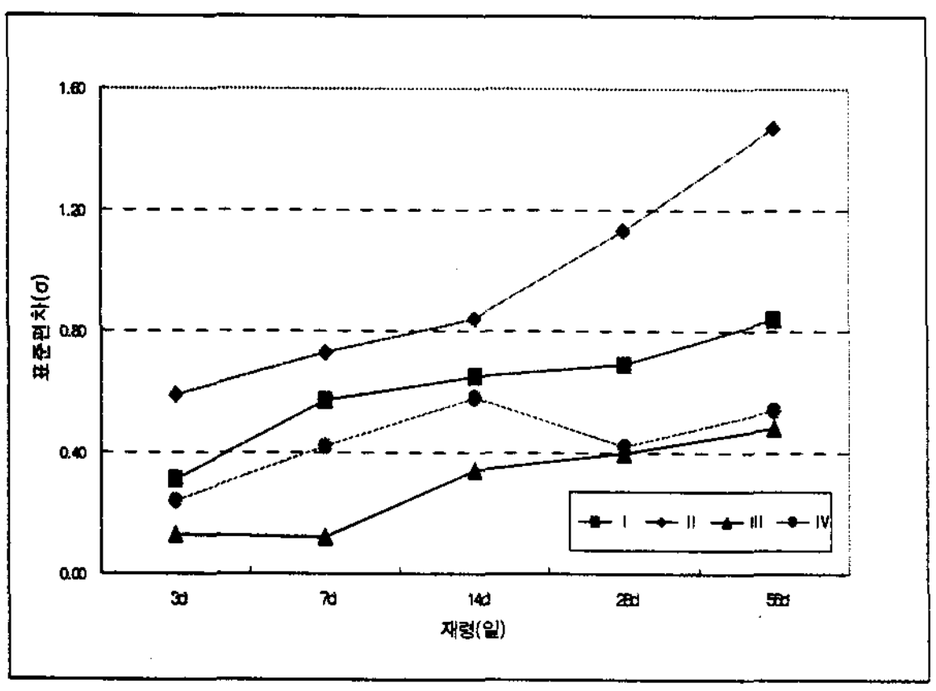
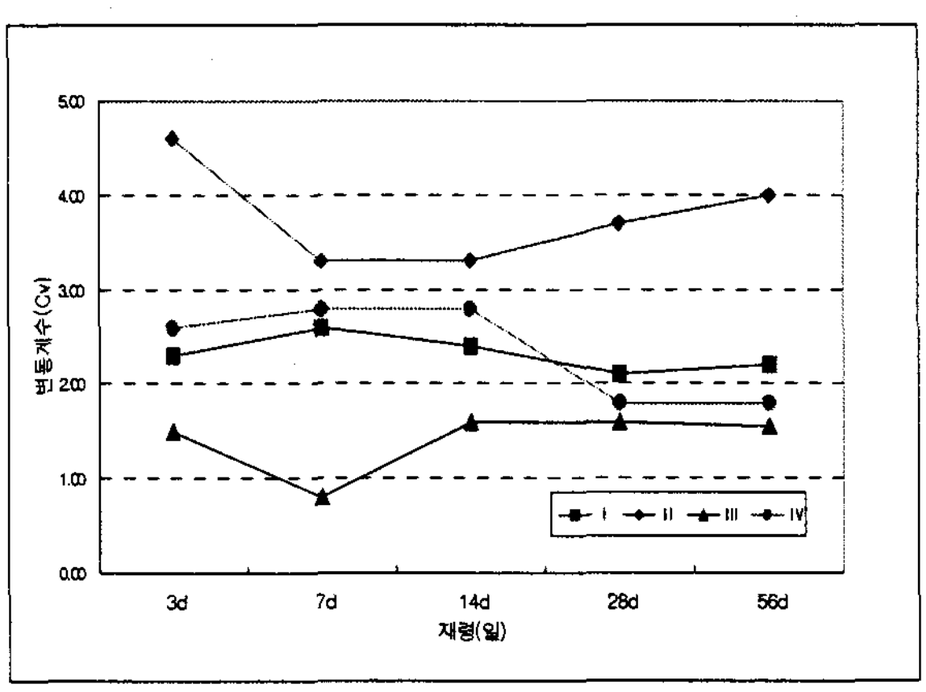


Fig. 3 결합재 type에 따른 재령별 압축강도



(a) 표준편차



(b) 변동계수

Fig. 4 결합재 type에 따른 압축강도 변동수준

FA40%(Ⅲ, Ⅳ)의 경우가 FA20%(Ⅰ, Ⅱ)보다 더 작은 값을 나타내었다.

Fig. 4의 (b)는 재령별 압축강도에 대한 표준편차를 해당 평균값으로 나눈 후 100을 곱하여, 계산한 변동계수(Cv)를 도시한 그래프로 pre-mixed cement를 사용한 Ⅰ, Ⅲ의 변동수준이 그렇지 않은 Ⅱ, Ⅳ의 변동수준에 비해 상대적으로 각각 더 작은 경향을 나타내고 있으며, type별로는 FA40%(Ⅲ, Ⅳ)의 경우가 FA20%(Ⅰ, Ⅱ)보다 더 작은 변동수준을 나타내었다.

3.2 BP 실험결과 (슬럼프, 공기량, 압축강도)

Fig. 5는 결합재 종류에 따른 공기량 및 슬럼프의 변화를 나타낸 것으로 pre-mixed cement를 사용한 콘크리트의 슬럼프가 non-premixed cement를 사용한 경우에 비해 직후 2~2.5 cm, 30분경시 1~3 cm 정도 증가하는 결과를 얻었고, 작업성 면에서 매우 양호해 지는 것으로 나타났다. 공기량의 경우 Ⅰ, Ⅱ에서는 거의 유사한 결과를 나타내었으나 Ⅲ, Ⅳ의 경우에서 pre-mixed cement를 사용한 경우에 다소 높아지는 결과를 얻었으며, type별로는 FA20% (Ⅰ, Ⅱ)에 비해 FA40% (Ⅲ, Ⅳ)의 공기량이 직후 및 30분 경시에서 각각 1.8~2.7 %, 1.6~1.8 % 가량 낮은 결과를 나타냈다.

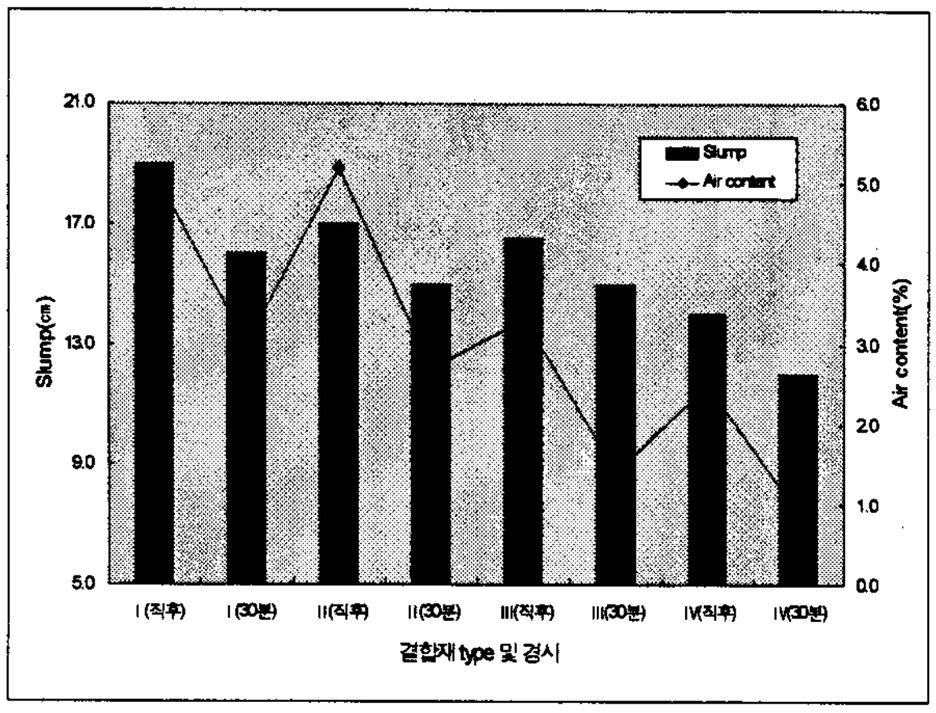


Fig. 5 결합재 type별 공기량 및 슬럼프 변화

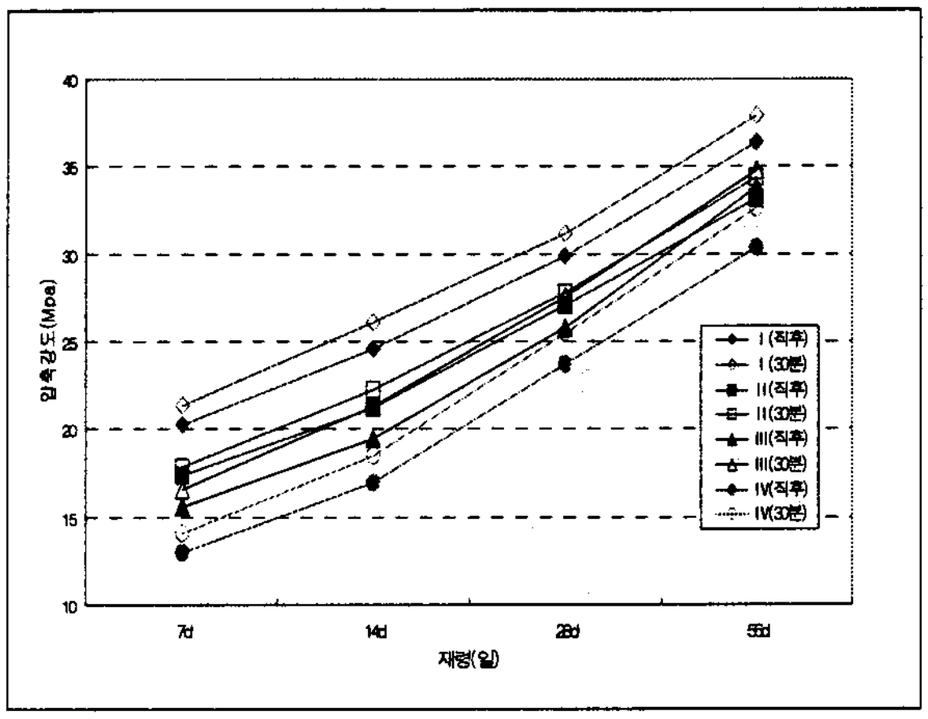
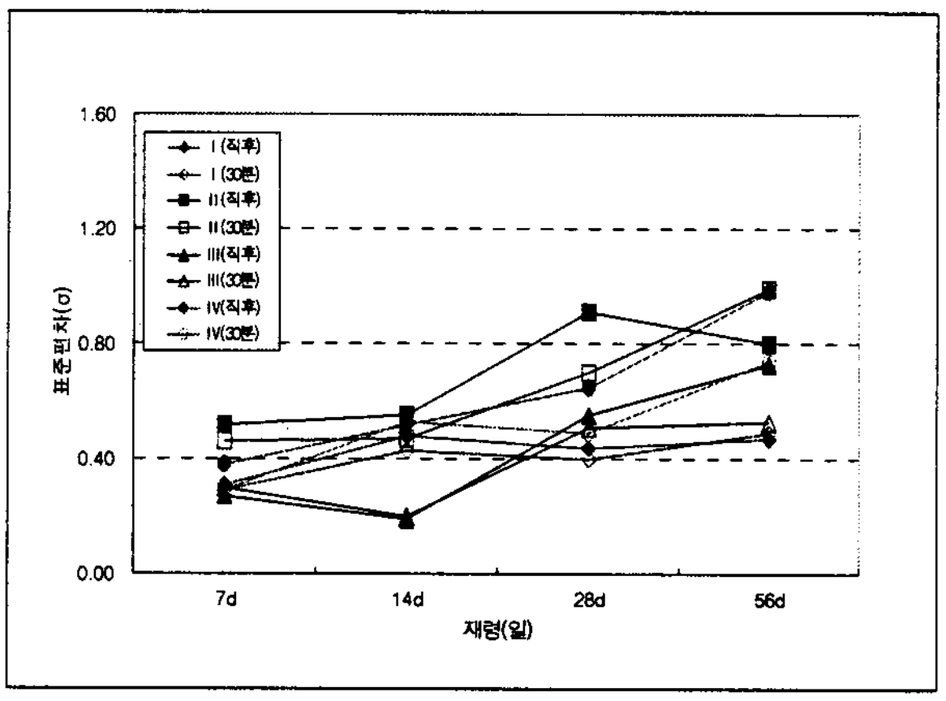
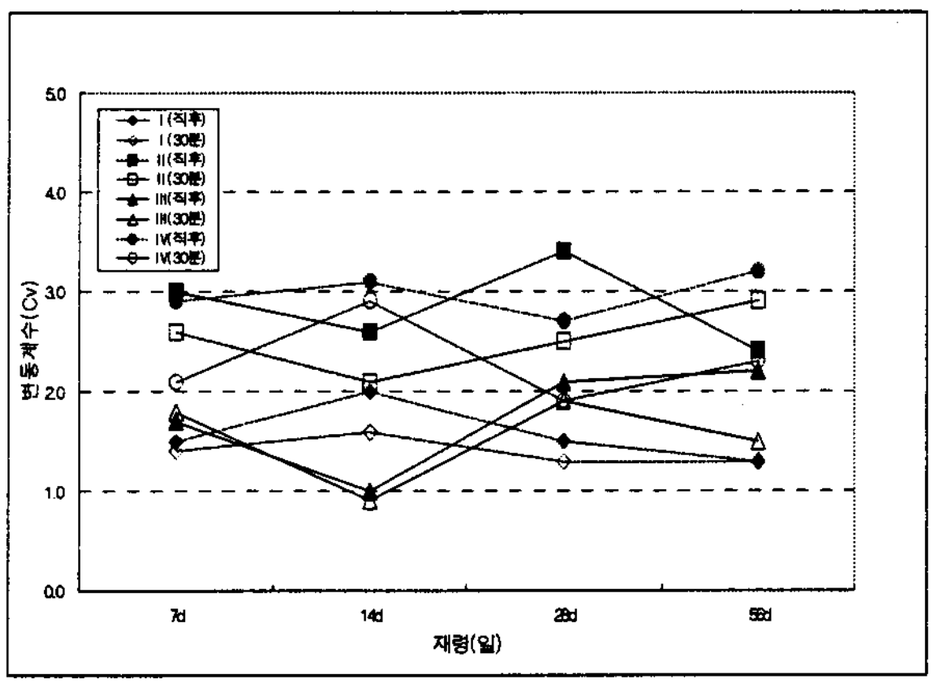


Fig. 6 결합재 type에 따른 재령별 압축강도



(a) 표준편차



(b) 변동계수

Fig. 7 결합재 type에 따른 재령별 압축강도 변동

Fig. 6은 결합재 종류별 압축강도의 변화추이를 도시한 것으로, 각 재령별로 직후의 경우 Ⅰ이 Ⅱ에 비해 약 3.0 Mpa 정도 상회하였고, Ⅲ이 Ⅳ에 비해 약 2.5 Mpa 정도 높게 나타났다. 30분 경시 역시, 재령별로 Ⅰ이 Ⅱ에 비해 약 3.5 Mpa 정도 높았으며, Ⅲ이 Ⅳ에 비해서 약 2.5 Mpa 가량 높은 수준을 나타내었다. 모든 경우에서 각 재령별로 직후에 비해 30분 경시의 압축강도 값이 0.9~1.7 Mpa 정도 상회하는 것으로 나타났다.

Fig. 7 의 (a)는 결합재 type에 따른 압축강도의 표준편차를 도시한 그래프로 대체적으로 재령에 따라 점차 증가하는 경향을 보이고 있으며, 직후 및 30분 경시의 경우에서 각각 Ⅰ〈Ⅱ, Ⅲ〈Ⅳ 인 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 7의 (b)는 압축강도에 대한 재령별 변동계수를 도시한 그래프로 직후의 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ 변동계수 범위는 각각 1.3~2.0, 2.4~3.4, 1.0~2.2, 2.7~3.2 으로 Ⅰ〈Ⅱ, Ⅲ〈Ⅳ 였으며, 30분 경시 역시 각각 1.3~1.6, 2.1~2.9, 0.9~1.8, 1.9~2.9 로, 직후의 경우와 같이 Ⅰ〈Ⅱ, Ⅲ〈Ⅳ 인 결과를 얻었다.

4. 결 론

본 연구는 pre-mixed cement를 사용한 콘크리트와 원재료의 개별투입에 의한 non-premixed 콘크리트의 기초특성을 평가하기 위한 목적으로

진행되었으며, 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) Pre-mixed cement를 사용하여 콘크리트를 제조하면, non-premixed cement를 사용하여 제조한 콘크리트에 비해 압축강도와 편차가 다소 개선되는 결과를 나타냈고, 특히 굳지 않은 콘크리트의 성상을 크게 개선시켜 펌핑성, 시공성 등의 측면에서 콘크리트의 품질향상에 기여 할 것으로 판단된다.

(2) 레미콘 믹서트럭에서 존치하여 30분 경시를 측정한 결과 슬럼프 및 공기량은 감소하였고, 압축강도는 증가하였다. 또한 각각의 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ 경우에 있어서 압축강도의 편차는 약간 감소하는 경향을 보였는데, 이는 레미콘 믹서트럭에서 30분간 혼합한 것이 품질편차를 줄이는데 다소간의 긍정적인 영향을 끼쳤던 것으로 판단된다.

(3) 본 연구는 2성분계 보통 콘크리트를 대상으로 검토한 것이나, 실험결과를 토대로 유추하여 판단할 때, 다성분계 및 고강도 영역으로 갈수록 pre-mixed 형태의 제조방식이 콘크리트의 품질향상에 기여하는 바가 클 것으로 예측된다.

〈참 고 문 헌〉

1. 김창범외 4인 ; 플라이애시 혼합시멘트의 몰탈 및 콘크리트 특성평가, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, pp. 196-202, 1997

2. 심재형외 5인 ; 플라이애시를 대량 사용한 콘크리트의 배합설계를 위한 기초적 연구, 한국콘크 리트학회 봄학술발표회 논문집, pp. 641-646, 2001