

미분 시멘트의 치환율 변화가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향

Effect of the Replacement of Fine Particle Cement on Mechanical Properties of the Concrete

최성용* 노동현** 김경민*** 박상준**** 권오봉***** 한민철*****
 Choi, Sung-Yong No, Dong-Hyun Kim, Kyung-Min Park, Sang-Joon Kwan, O-Bong Han, Min-Cheol

Abstract

This study investigates mechanical properties of the concrete using fine particle cement which is manufactured by the pulverizing process. The variable factors are 3 types of W/C such as 40, 50, and 60%, 3 types of curing temperature such as 5, 20, and 35°C, and 5 types of the replacement of the fine particle cement such as 0, 25, 50, 75, and 100%. The unit water content, S/a and amount of the SP and AE agents to secure the slump and air content is gradually increased in accordance with amount of replacement. It can be confirmed that the delay of the setting time depending on FC content is decreased corresponding to FC content, so the effect of the acceleration to the setting time is expected. The compressive strength corresponding to FC content is proportionally increased, and the growth is confirmed about 30~40% at a day in 50% of FC contents. However, the increase of the strength is gradually decreased in accordance with increasing age.

키워드 : 미분 시멘트, 압축강도, 양생온도
 Keywords : Fine Particle Cement, Compressive Strength, Curing Temperature

1. 서론

최근 우리나라 건축공사 현장에서는 아파트 등 공동주택의 분양가 상한제, 후 분양 제도의 도입 등 각종 규제 및 제도의 강화에 의하여 어느때 보다도 공기단축에 의한 공사비 절감이 절실히 요구되는 상황에 놓여 있다.

이와 관련하여 골조콘크리트의 가장 효과적인 공기단축의 방법으로는 선 조립철근 사용 및 시스템 거푸집의 활용 등이 될 수 있다. 그러나 이와같은 방법에 의하여 최대한 공기를 단축한 선진기업의 입장에서는 콘크리트의 조기강도 발현에 의한 거푸집 탈형 시기의 단축방법에 대하여 검토할 수밖에 없다.

즉, 현재 공동주택용 골조 콘크리트는 대부분 설계기준강도 21~27MPa 범위가 가장 많이 사용되는데, 이러한 수준의 콘크리트에 소요되는 거푸집 탈형시기는 현재의 기술수준으로는 1일 이상이 소요되어 공기단축에 적지않은 부담이 된다.

현재까지 알려진 대부분의 조기강도 발현 기술은 배합적인 측면에서 W/C를 낮추거나, 재료적인 측면에서 조강형 시멘트, 광물질 혼화재 및 감수제(축진형) 등을 사용하는 방법이 주를

이루고 있는데, 대부분 요구되는 조강성능의 발휘에는 한계가 있거나, 큰 비용 증가 등의 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구팀에서는 이러한 콘크리트의 조기강도 발현기술 개발을 목적으로 시멘트생산 라인 중 분쇄공정에서 입자크기별로 분급된 시멘트를 별도의 바이패스웨이(bypass way)설비로 분말도가 6,000~7,000cm²/g 정도인 미분 시멘트(이하 FC)만을 별도로 포집하여 이를 활용하는 방법을 검토 중에 있다.

그러므로 본 연구에서는 상기의 방법으로 제조된 FC의 치환율 변화가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향을 분석함으로써 궁극적으로 FC를 사용한 콘크리트의 조기강도발현기술을 개발하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

먼저, 배합사항으로 W/B는 40, 50, 60%의 3수준과, 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)에 대한 미분 시멘트(이하FC) 치환율 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준에 대하여, 목표 슬럼프 150±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합 설계하여 총 15배치를 실험계획하였다.

* 청주대 대학원 석사과정, 정회원

** 청주대 대학원 박사과정, 정회원

*** (주)대우건설 기술연구원 건축연구팀 전임연구원, 공학박사

**** (주)대우건설 기술연구원 건축연구팀 선임연구원, 공학박사

***** 아세아시멘트(주) 책임연구원

***** 청주대 건축공학부 전임강사, 공학박사

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/C(%)	3	40, 50, 60
	목표 슬럼프 (mm)	1	150±25
	목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5
	FC 치환율 (%)	5	0, 25, 50, 75, 100
	양생온도 (°C)	3	5, 20, 35
실험사항	굳지않은 콘크리트	3	슬럼프, 공기량, 양생온도별 응결시간
	경화 콘크리트	1	양생온도별 압축강도

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 양생온도별 응결시간을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 양생온도별 3수준에 대한 종결시간을 측정하여 이후는 종결시간의 2, 4, 8, 16, 32, 64배되는 재령에서 압축강도를 측정하도록 계획하였다.

표 2. 콘크리트의 배합표

W/C (%)	FC 치환율(%)	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	W (kg/m³)	용적배합 (l/m³)			
						C	F	S	G
40	0	42	0.02	0.40	178	141	-	267	368
	25	42	0.024	0.43	178	106	36	267	368
	50	45	0.024	0.57	179	71	72	285	348
	75	46	0.028	0.66	180	36	108	290	340
	100	47	0.036	0.85	181	-	145	296	333
50	0	43	0.016	0.35	178	113	-	286	379
	25	43	0.010	0.45	178	85	29	285	378
	50	46	0.018	0.60	179	57	57	304	357
	75	47	0.024	0.65	180	29	87	310	349
	100	48	0.024	0.70	181	-	116	315	342
60	0	51	0.015	0.64	178	94	-	348	335
	25	51	0.015	0.66	178	71	24	348	335
	50	52	0.015	0.69	179	47	48	354	326
	75	52	0.015	0.76	180	24	72	353	326
	100	52	0.014	0.81	181	-	97	352	325

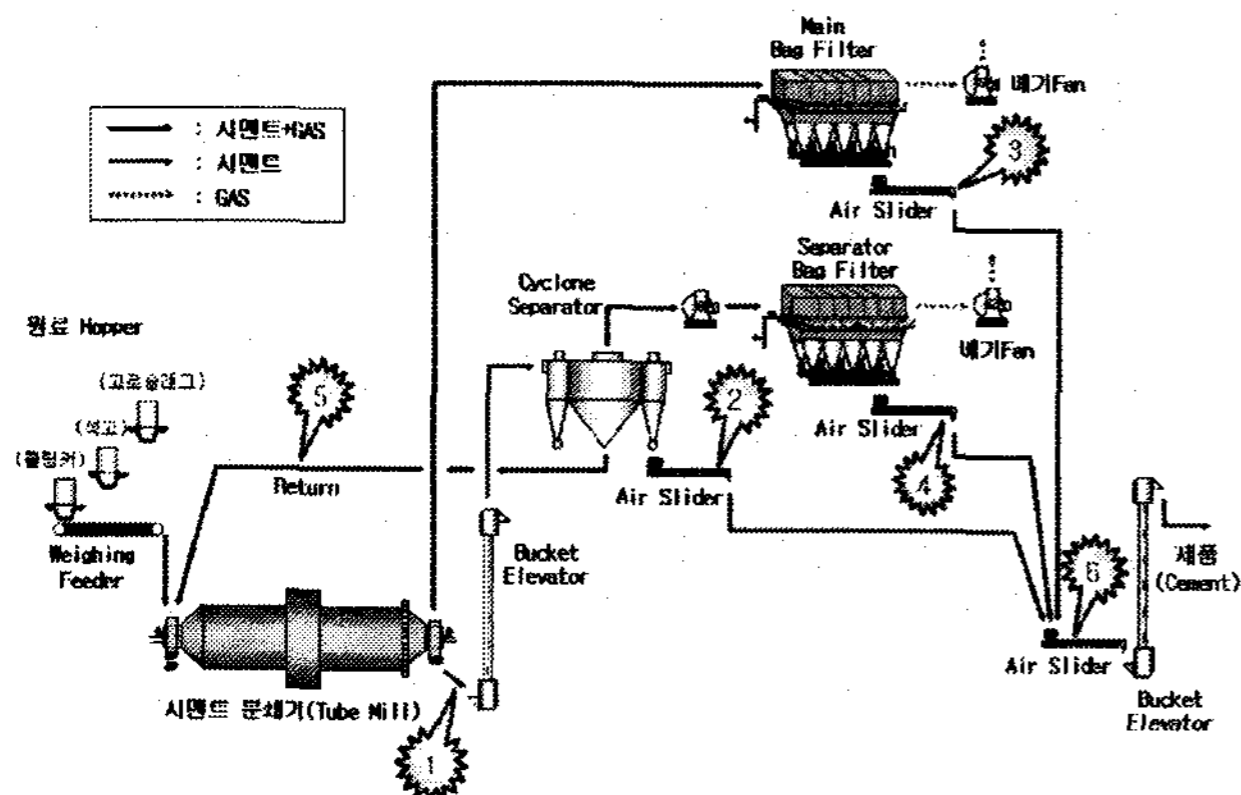


그림 1. 포틀랜드 시멘트의 분쇄 공정도

한편, FC의 제조공정과 관련하여 그림 1은 포틀랜드 시멘트 생산과정 중 Tube Mill의 분쇄 공정도를 나타낸 것으로 Tube Mill에 클링커 및 기타 원료가 투입되면 분쇄된 원료는 ①라인에서 Cyclone Separator로 이동 된다. 이때 FC는 ④라인에서 포집되는데, 이렇게 포집된 시멘트 시료는 분말도 6,000~7,000 cm²/g 수준의 미분 시멘트가 된다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 3~6과 같다. 즉, 시멘트는 국내 A사산 OPC 및 FC를 사용하였고, 골재는 국내 B사의 골재를 사용하였으며, SP제 및 AE제는 국내 E사의 폴리칼본산계 및 음이온계를 사용하였다.

표 3. OPC 및 FC의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
				초결	종결	3일	7일	28일
OPC	3.15	3,302	0.08	208	351	20.4	29.4	38.7
FC	3.12	6,953	-	180	279	35.6	42.5	48.6

표 4. 시멘트의 화학성분 구성

시료	화학성분 (%)								LSF	SM	M
	LO	SO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O			
OPC	0.35	21.88	5.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.92	90.44	252	1.37
FC	0.54	21.24	5.01	3.68	62.91	2.00	3.17	1.31	89.55	244	1.36

LO : 강열감량, LSF : 석회포화도, SM : 규산률, M : 철률

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	흡수율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.59	2.67	1.11	1.12
굵은골재	2.71	7.01	1.18	0.11

표 6. 혼화제의 물리적 성질

구분	형태	주성분	색상	pH	밀도(g/cm³)
고성능 감수제	액상	폴리칼본산계	미백색	6.5	1.060
AE제	액상	음이온계	미백색	-	1.040

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 잔골재, 시멘트, 결합재 및 굵은골재를 투입하고, 30초간 건비빔을 저속(20rpm)으로 실시하였다. 건비빔 후 물을 넣고 60초간 중속(30rpm)으로 비빔 후, 다시 혼화제를 첨가하여 고속(40rpm)으로 90초간 비빔하여 콘크리트를 제조하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프 플로우의 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였다. 공기량은 KS F 2421 규정에 따라 실시하였다. 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법에 의거 측정하였으며, 경화 콘크리트의 압축강도시험은 Ø100×200 공시체를 양생온도 5°C, 20°C 및 35°C가 유지되도록 1일간 기중봉합 양생을 실시한 후 탈형

하여, 수중 양생조에서 소요재령까지 양생한 후 KS F 2405 규정에 의거하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 7은 W/C 및 FC 치환율별 굳지않은 콘크리트의 기초적 특성을 나타낸 것이다.

표 7. 굳지않은 콘크리트의 기초물성

W/C(%)	FC치환율 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)
40	0	14.0	3.7
	25	16.0	4.5
	50	14.5	3.7
	75	14.7	4.8
	100	14.7	3.6
50	0	15.3	5.2
	25	15.5	4.4
	50	14.0	4.0
	75	14.5	5.1
	100	15.7	5.5
60	0	14.8	3.8
	25	14.8	5.2
	50	15.5	4.8
	75	15.2	5.5
	100	15.8	4.3

모든 수준에서 슬럼프 및 공기량은 배합설계를 실시하여 모두 목표로 한 값을 만족시키는 것으로 나타났다. 단, 이는 배합설계에 의한 것으로 FC 치환율에 따른 유동성 및 공기량의 변동에 대한 영향을 검토하기 위해 FC치환율별 단위수량, S/a 및 혼화제 사용량을 분석하였다.

즉, 목표 슬럼프 및 공기량 확보를 위해 단위수량, SP제 사용량 및 S/a는 FC 치환율이 증가할수록 점차 커지는 것으로 밝혀졌는데, 이는 FC 치환율이 증가할수록 분체량이 증가하여 목표 유동성 및 공기량을 만족하기 위한 배합특성 조정에 기인한 결과이다.

그림 2는 W/C 및 FC 치환율별 온도 변화에 따른 응결시간을 나타낸 그래프이다. 먼저 W/C가 커질수록 응결시간은 비례적으로 지연되는 것으로 나타났고, 양생온도별로는 양생온도가 높아질수록 응결시간은 단축되는 것으로 나타났는데, 양생온도 5℃의 경우 20℃에 비해 약 10시간정도 지연되는 것으로 나타났으나, 35℃와 20℃의 차이는 2시간정도 나타났다.

한편, FC 치환율별로는 FC 치환율이 증가할수록 응결시간은 약간 빨라지거나 SP제의 영향으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 특히, 저온양생의 경우 FC치환율이 증가할수록 응결시간 감소가 비교적 큰 것을 알 수 있어 FC를 사용한 경우 저온에서 응결촉진 효과가 기대된다.

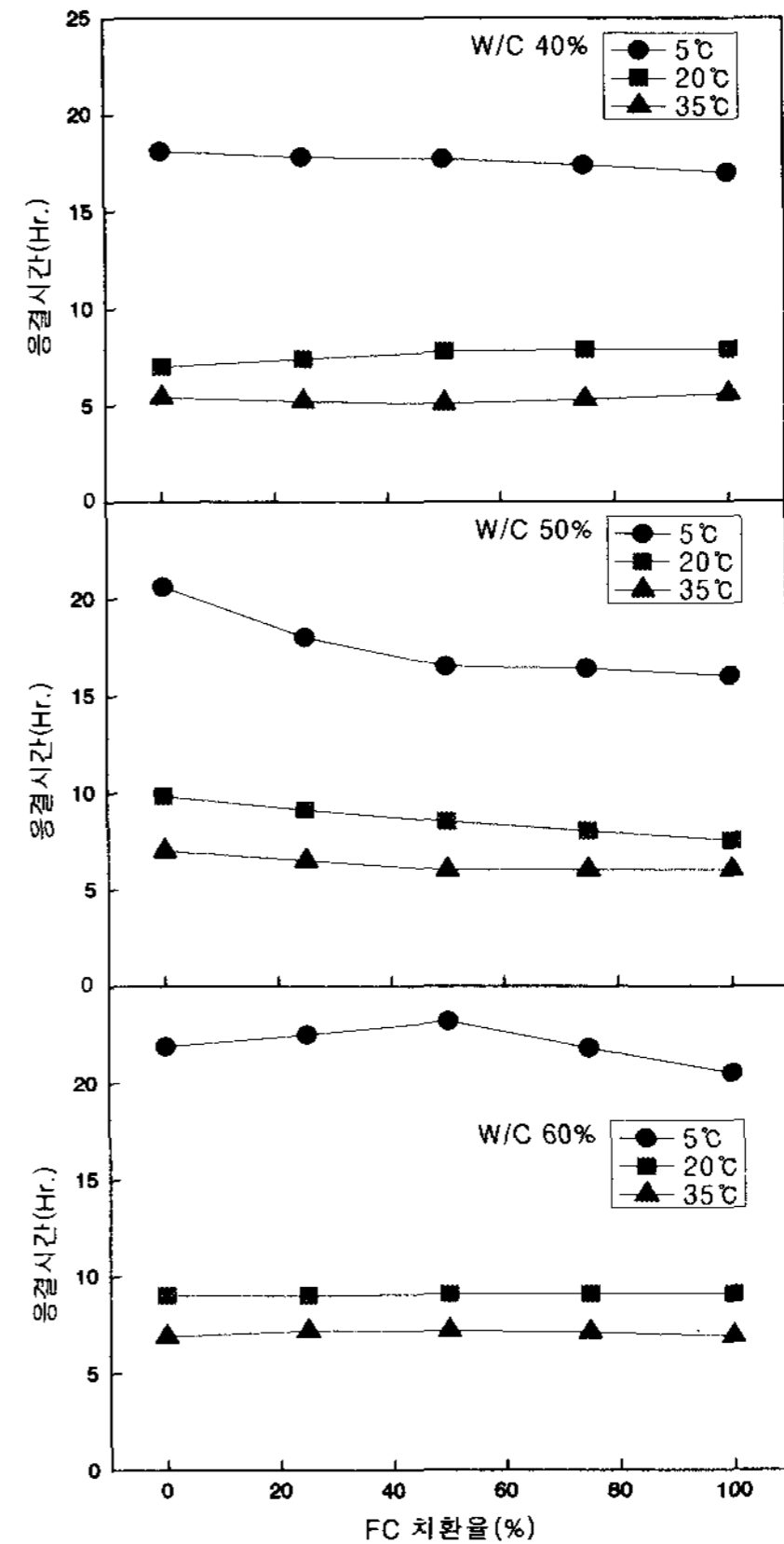


그림 2. W/C 및 FC 치환율별 온도 변화에 따른 응결시간

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 3은 W/C와 양생온도 및 FC 치환율별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

먼저, W/C가 감소할수록 당연히 압축강도는 증가하는 경향을 나타냈으며, 양생온도에 따라서는 양생온도가 낮아질수록 초기강도는 낮게 나타났으나, 후기재령에서는 고온양생보다 전체적으로 높은 압축강도를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

한편, FC 치환율 변화에 따른 압축강도는 치환율이 증가할수록 초기 압축강도값이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났는데, 특히 초기재령에서 예상대로 높은 강도발현을 보였다. 특히, OPC에 비해 FC를 50% 치환한 경우 초기 1일에서 약 30~40%정도 압축강도가 높게 나타났다. 그러나, 재령이 증가함에 따라 FC 치환율에 따른 강도증가는 점차 둔화되어 재령 28일에서는 OPC와 동등하거나 약간 증가하는 것으로 나타났다. 이는 고분말도로 인해 조기에 많은 수화반응을 일으키지만, 시멘트 절대량에 따른 수화작용의 영향으로 더 이상의 활발한 수화가 이루어지지 못해 강도차의 감소가 나타난 것으로 사료된다.

그림 4는 FC 치환율별 재령 28일강도에 대한 각재령별 강도의 비를 백분율로 환산하여 나타낸 그래프이다.

전반적으로 FC 치환율이 증가할수록 초기 압축강도 발현율은 뚜렷한 증가를 보였는데, 이는 모든 수준에서 동일하게 나타났다. 특히, 양생온도 5℃에서 FC 시멘트 치환율이 증가할수록 초기재령의 강도발현율이 크게 나타남을 알 수 있었다.

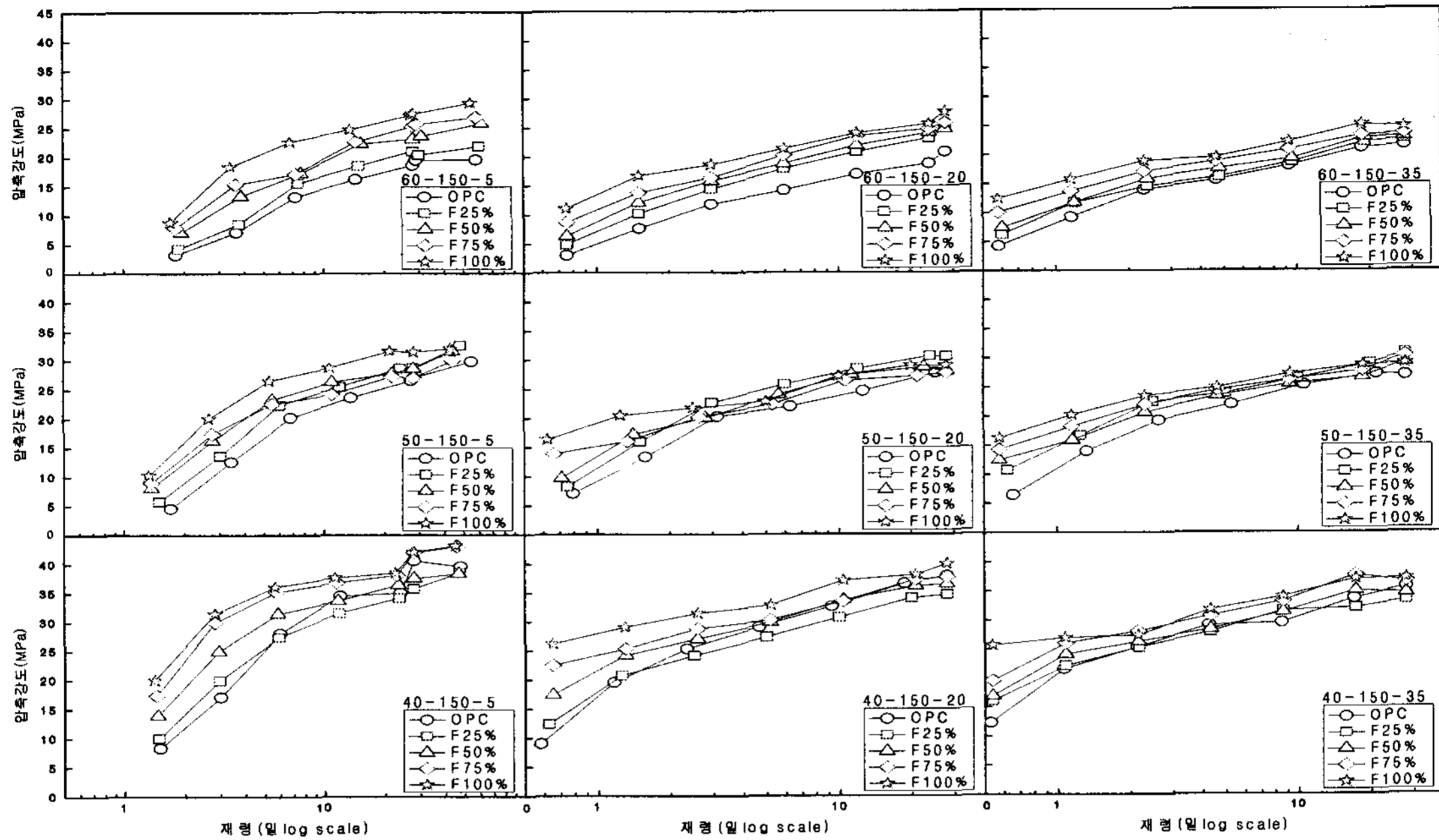


그림 3. W/C와 양생온도 및 FC 치환율별 재령경과에 따른 압축강도

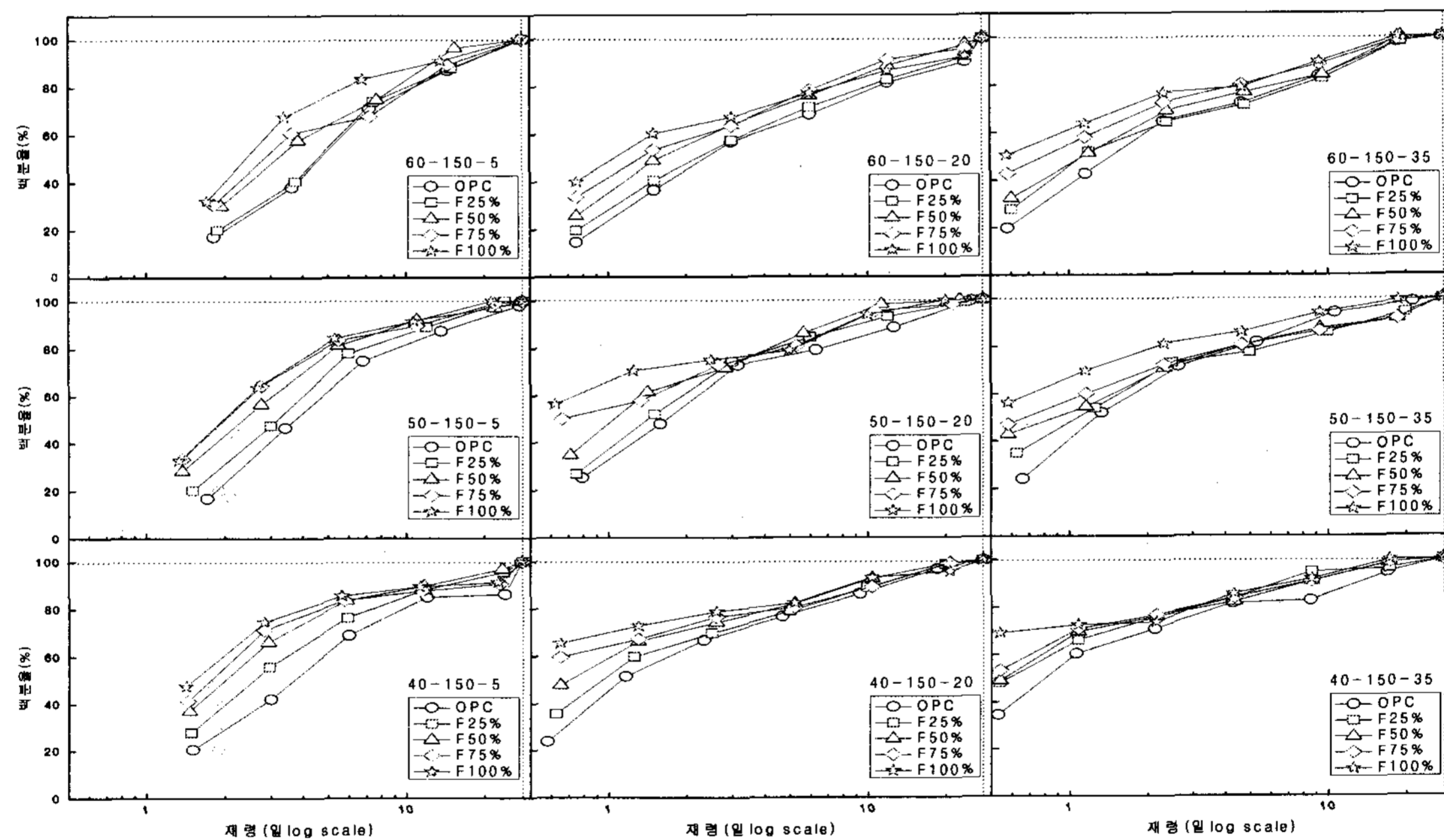


그림 4. W/C와 양생온도 및 FC 치환율별 재령28일 압축강도에 대한 백분율비

4. 결 론

본 연구는 미분 시멘트 치환율 변화가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) FC 치환율이 증가할수록 유동성 및 공기량확보를 위한 단위수량, S/a, SP제 및 AE제의 사용량은 점차 커지는 것으로 나타났다는데, 이는 미립분량 증가에 기인한 것으로 판단된다.
- 2) FC 치환율에 따른 응결시간의 경우 저온조건에서는 치환율이 증가할수록 응결시간의 촉진이 확인되었으나, 일반양생온도 조건 및 고온조건에서는 SP제 다량 사용에 기인하

여 응결촉진이 뚜렷하게 나타나지는 않았다.

- 3) FC 치환율 변화에 따른 압축강도는 치환율이 증가할수록 비례적으로 증가하였는데, OPC에 FC 50%를 치환한 경우는 초기 1일에서 약 30~40%정도 증가하는 것으로 나타나, 예상대로 FC를 사용할 경우 높은 초기강도를 발휘할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임