

시멘트 모르타르의 선변화에 미치는 Calcium Sulfoaluminate계 광물의 영향

이건호* · 서신석 · 김도근 · 한정희 · 김정환

<한일시멘트 중앙연구소>

1. 서 론

건설현장의 바닥시공과정에서 상당부분을 차지하고 있는 하자로는 바닥 마감용 모르타르의 균열 및 들뜸 현상이다. 이러한 하자는 포틀랜드시멘트(Ordinary Portland cement, 이하 OPC)를 사용한 시멘트 모르타르에서 쉽게 보여 지는데 OPC를 사용한 시멘트 모르타르는 인장강도가 약하고 탄성율이 작아서 경화 중에 수화열에 의한 온도응력과 건조수축에 기인한 균열이 쉽게 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점으로 인해 시멘트 모르타르는 건조·소성수축과 외기온 변화 및 난방 등에 따른 재료의 수축·팽창 등을 일으키며, 이로 인해 바닥 마감용 모르타르에 균열이 발생하고 박리 및 들뜸 현상 등을 발생시키게 된다. 따라서 바닥 마감용 모르타르의 건조수축 및 수축 균열을 개선하기 위한 연구의 일환으로 Calcium sulfoaluminate(이하 CSA)계 광물을 사용한 모르타르의 물리적 특성에 대한 실험을 실시하였다. CSA는 적정량의 석고와 혼합하여 사용하면 경화 시에 적절한 팽창성 부여 및 Chemical prestress를 발현하여 수축량을 보상해 주는 우수한 특성을 나타내는 혼화재일 뿐만 아니라 기본적인 화학조성이 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3$ 계로서 시멘트에 혼합하면 수화 반응에 의해 주수화물로 에트링자이트(Ettringite, $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) 또는 수산화칼슘[$\text{Ca}(\text{OH})_2$]를 생성하여 모르타르를 팽창시키고 미세공극을 충전 시킨다. 따라서 본 연구에서는 시멘트 모르타르에 대한 CSA, 무수

석고 및 소석회를 각각 일정량의 비가 되도록 사용하여 바닥용 시멘트 모르타르가 가지는 물리적 특성을 검토하였으며, 이때 각각의 결합재 구성비들의 실험 결과를 비교하여 수축 및 균열을 저감하는 방향을 모색하는데 중점을 두었다.

2. 실험

2.1 출발원료의 특성

2.1.1. 모래

본 연구에 사용한 모래는 인조규사로서 입도 분포율은 Table 1과 같다.

2.1.2. Cement

본 연구에 사용한 cement는 당사에서 생산한 제품으로 비중이 3.16이며, 그 화학성분은 Table 2와 같다.

2.1.3. $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$

본 연구에 사용한 $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ 는 중국산 제품을 사용하였고, 그 화학성분은 Table 3과 같다. 주요 광물조성은 Hauyne($3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$)계로 비중은 2.76이며, 325mesh 통과율은 79%이다.

2.1.4. CaSO_4 (무수석고)

본 연구에 사용한 천연무수석고는 비중이 2.91이고, 325mesh체 통과율은 70.35%이며, 화학성분은 Table 4와 같다.

Table 1. 모래의 입도 분포율

(단위 : wt%)

구 분	Sand	
	# 7	# 6
# 4(4.750mm ↑)	0.0	0.0
# 8(2.360mm ↑)	0.0	0.0
# 12(1.700mm ↑)	0.0	0.0
# 16(1.180mm ↑)	0.0	0.0
# 30(0.600mm ↑)	0.0	0.8
# 50(0.300mm ↑)	1.3	77.3
# 70(0.212mm ↑)	35.4	17.3
# 100(0.150mm ↑)	31.7	2.7
# 170(0.088mm ↑)	22.1	1.2
# 200(0.075mm ↑)	3.3	0.0
# 325(0.045mm ↑)	4.5	0.0
Pan (0.15mm ↓)	1.7	0.7
S1	90.5	98.5
S2	0.0	0.8
S3	0.0	0.0
조립율	0.7	1.8

Table 2. 시멘트의 화학성분

(단위 : wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	sum	blaine(cm ² /g)
21.21	5.17	3.34	62.72	2.41	2.34	1.20	97.19	3300

Table 3. CSA의 화학성분

(단위 : wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	sum	blaine(cm ² /g)
10.06	32.59	2.79	40.46	-	10.45	0.75	96.35	4100

Table 4. CaSO₄의 화학성분

(단위 : wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	sum	blaine(cm ² /g)
1.30	0.04	0.20	39.82	-	55.89	2.50	97.25	3800

Table 5. 소석회의 화학성분

(단위 : wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	sum	blaine(cm ² /g)
0.14	0.05	0.15	73.18	0.20	-	25.22	73.72	9500

2.1.5. 소석회

본 연구에 사용한 소석회[Ca(OH)₂]의 화학 성분은 Table 5와 같다.

2.2 실험방법

2.2.1. 모르타르 혼합방법

모르타르의 혼합은 KS L 5109(수경성 시멘트 반죽 및 모르타르의 기계적 혼합 방법)의 혼합기를 이용하여 혼합하였고, 혼합방법은 혼합수 전량을 혼합용기에 넣은 후 모르타르를 15초 동안 투입하면서 1속(140±5 rpm) 60초 → 2속(285±5 rpm) 30초 → 90초정지 → 2속 60초 동안 혼합 하였다.

2.2.2. 자연흐름(수평 유동성)측정방법

KS L 5109에 따라 조제한 시료를 크기 300×300mm, 두께 5mm 이상의 아크릴계 평평한 판 위에서 염화비닐 파이프 플로우 콘(상·하단 직경 50mm, 높이 51mm)에 모르타르를 완전히 채운 후 수직으로 들어올렸을 때 자연흐름(수평 유동성)이 정지된 후 직각 2방향의 지름을 측정 한다.

2.2.3. 압축강도 측정방법

KS L 5109에 의해 제조한 모르타르를 사용하여 40×40×160mm의 시편을 제작하였으며, 양생 조건(온도20±2℃, 습도60±10%)의 시험실내에서 24시간 경과한 후 휨 강도를 측정하고, 압축강도는 휨 강도를 측정한 시험편으로 KS L 5105에 따라 측정하였다. 24시간이 경과한 시험체 들은 표준 상태에서 27일간 양생하였다.

2.2.4. 응결시간 측정방법

ASTM C 191, KS L 5108 비카트침에 의한 수경성 시멘트의 응결시간 시험방법에 의거 시험체를 성형한 다음 30분 경과부터 1mm의 침으로 25mm의 침입도를 얻을 때까지 시험한다. 25mm의 침입도가 되었을 때의 시간을 초결 시

간으로 하고 완전히 흔적이 나타나지 않을 때를 종결시간으로 하였다.

2.2.5 팽창 및 수축률 측정방법

KS L 5109에 의해 제조한 모르타르를 사용하여 40×40×160mm의 시편을 제작하였으며, 양생조건(20±2℃, 습도60±10%)의 시험실내에서 micrometer로 길이변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 배합 및 결합재 구성비

시멘트 모르타르의 선변화에 미치는 CSA계 광물의 물리적 특성을 검토하기 위한 기본 배합은 Table 6에 나타낸 바와 같다.

CSA계 광물의 첨가로 인해 시멘트 모르타르 미치는 영향을 관찰하기 위한 실험인자로 OPC에 대한 CSA의 첨가량을 22~44%까지 5type으로 변화를 주었으며, CSA에 대한 무수석고의 비는 각 75~90%가 되도록 고정 시키고, 소석회 는 이들 시료에 대해 첨가하지 않은 것과 A-1, A-2의 0.2%첨가한 것을 제외하고는 나머지 시료들에 대해 0.4%를 첨가하여 실험을 행하였으며, 이때 시멘트 모르타르에 대한 단위수량은 (W/R : 23%) 고정하여 실험을 실시하였다.

3.3 유동성 측정

Fig. 1은 결합재 구성비에 따른 각 실험 인자 별 유동성 측정 결과를 나타 낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 A1, A2시료가 조금 낮은 범위에 있는 것을 제외하고는 모든 시료가 바닥용 모르타르로서의 적절한 유동성 범위 내에 속해 있음을 확인 할 수 있다. CSA의 첨가비가 늘어

Table 6. 실험 배합비

(단위 : wt%)

구 분	SAND		OPC	석회석	Compound 혼화제
	6호사	7호사			
Plan	28.00	15.00	18.00	20.40~29.00	3.00

Table 7. 결합재 구성비

(단위 : wt%)

구분	OPC	CSA	무수석고	소석회
A1-1~A1-4	1	0.20	0.15~0.20	0.00
A2-1~A2-4	1	0.20	0.15~0.20	0.20
B1-1~B1-4	1	0.27	0.20~0.25	0.00
B2-1~B2-4	1	0.27	0.20~0.25	0.40
C1-1~C1-4	1	0.33	0.25~0.30	0.00
C2-1~C2-4	1	0.33	0.25~0.30	0.40
D1-1~D1-4	1	0.38	0.30~0.35	0.00
D2-1~D2-4	1	0.38	0.30~0.35	0.40
E1-1~E1-4	1	0.44	0.35~4.00	0.00
E2-1~E2-4	1	0.44	0.35~4.00	0.40

날수록 유동성이 커지는데, 이는 CSA가 사용된 양만큼 분말도가 높은 석회석 분말이 줄어들기 때문으로 사료된다.

3.4 응결시간 및 압축강도

Fig. 2는 각 인자별 구성비에 따른 응결시간을 나타낸 것이다. CSA의 함유량 및 무수석고의

비가 늘어날수록 초·종결시간이 빨라지는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 CSA첨가와 무수석고의 비가 높아질수록 에tring자이트 및 Ca(OH)_2 수화물의 생성이 빨라져서 시멘트 모르타르가 속경성을 나타내기 때문으로 사료되며, 초결 이후 종결이 오는 시점도 CSA 및 무수석고의 비가 늘어날수록 그 시간은 짧아짐을 확인할 수 있었다. 그리고 소석회를 첨가한 시료가 첨가하지 않

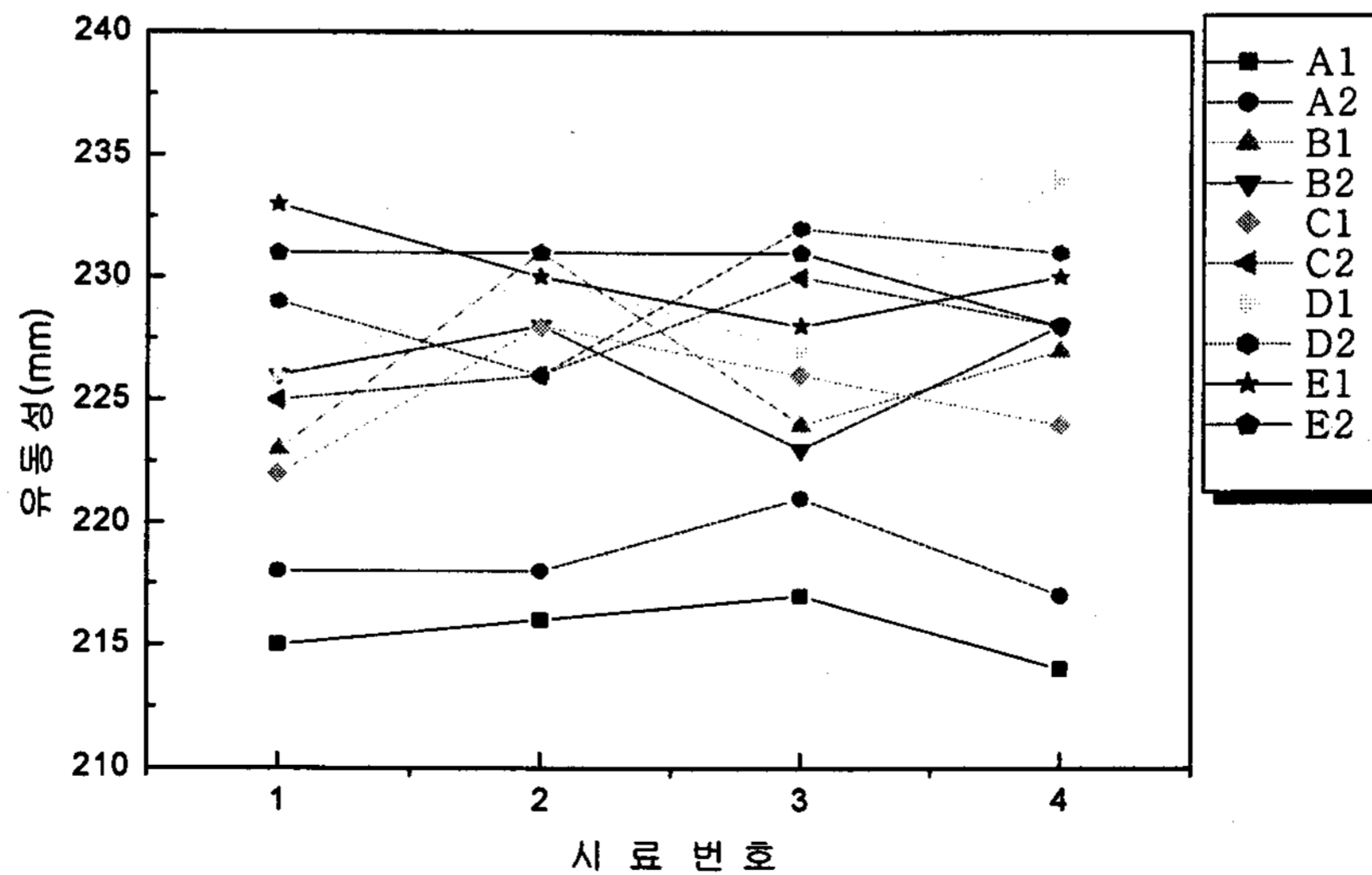


Fig. 1 결합재 구성비에 따른 유동성 측정 결과

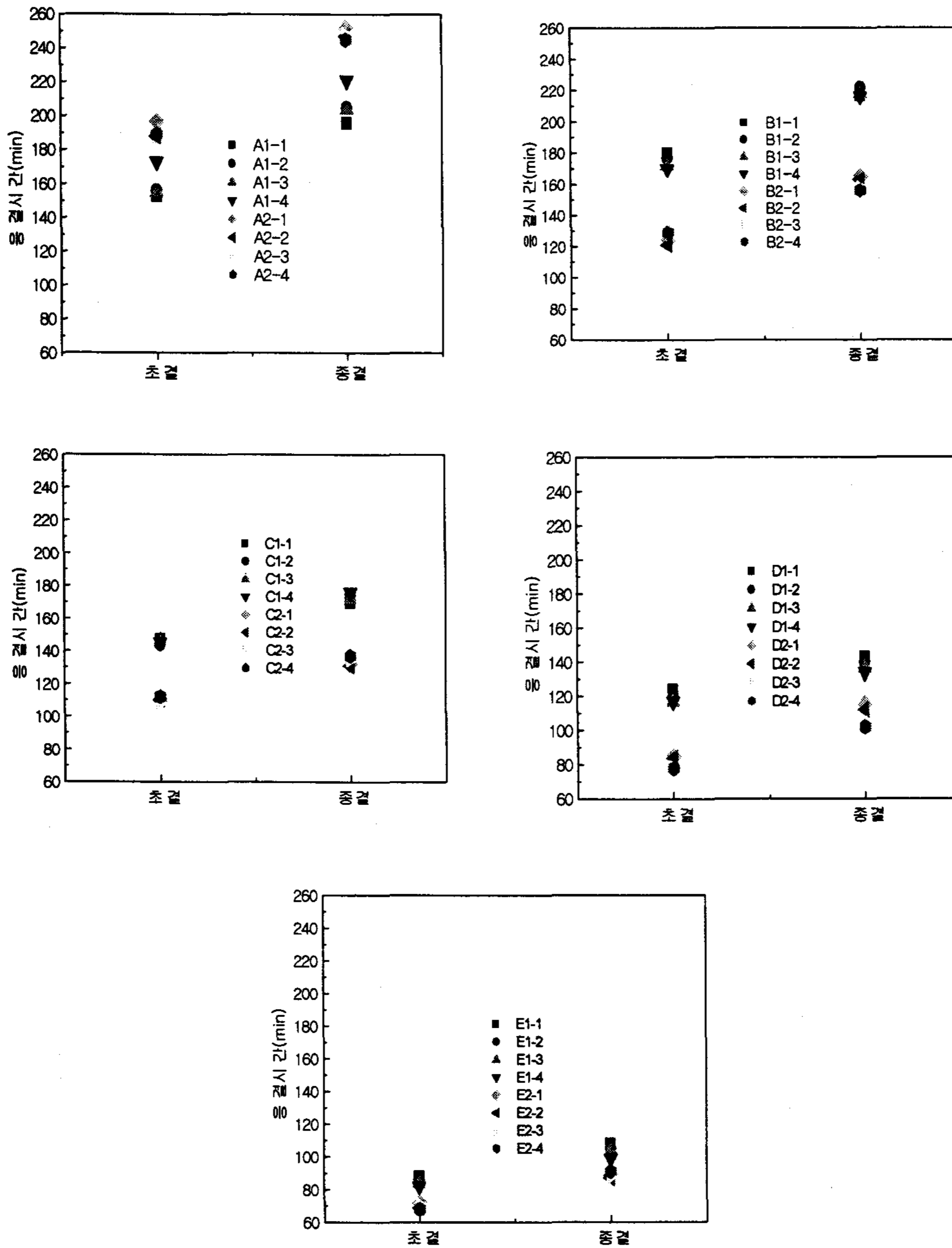


Fig. 2 결합제 구성비에 따른 응결시간 측정결과

은 시료에 비해 응결시간이 더 빨라지는데, 이는 CSA를 시멘트에 혼합하면 수화 반응에 의해 주로 에트링자이트 또는 수산화칼슘[Ca(OH)₂]를 생성시키는 역할과는 달리 소석회 자체가 시멘트 자극제로서 작용하는 역할이 크기 때문으로 사료된다.

Fig. 3은 각 인자별 구성비에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 앞의 유동성 측정 결과와 마찬가지로 CSA의 함유량 및 무수석고의 비가 늘어날수록 에트링자이트 및 Ca(OH)₂수화물의 생성이 빨라져서 시멘트 모르타르가 속경성을 나타내고 이로 인해 초기강도 및 장기강도

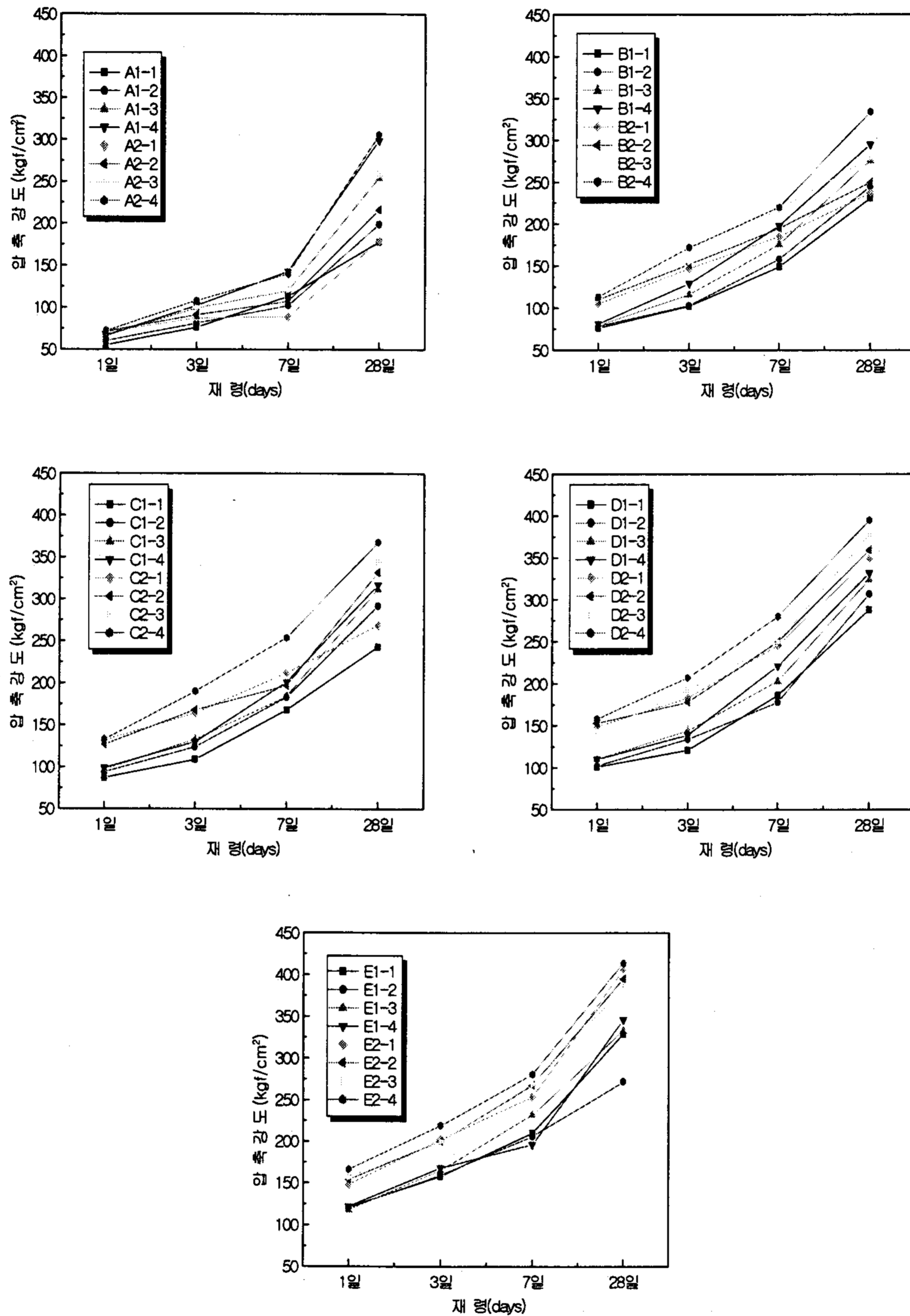


Fig. 3 결합재 구성비에 따른 압축강도 측정결과

도 우수하게 나타내었다. 하지만 OPC에 대한 CSA의 함유량과 무수석고의 비가 낮은 A시료는 초기강도 및 장기강도는 상대 시료들 보다 낮은 결과를 나타내었으며, 소석회를 첨가하지

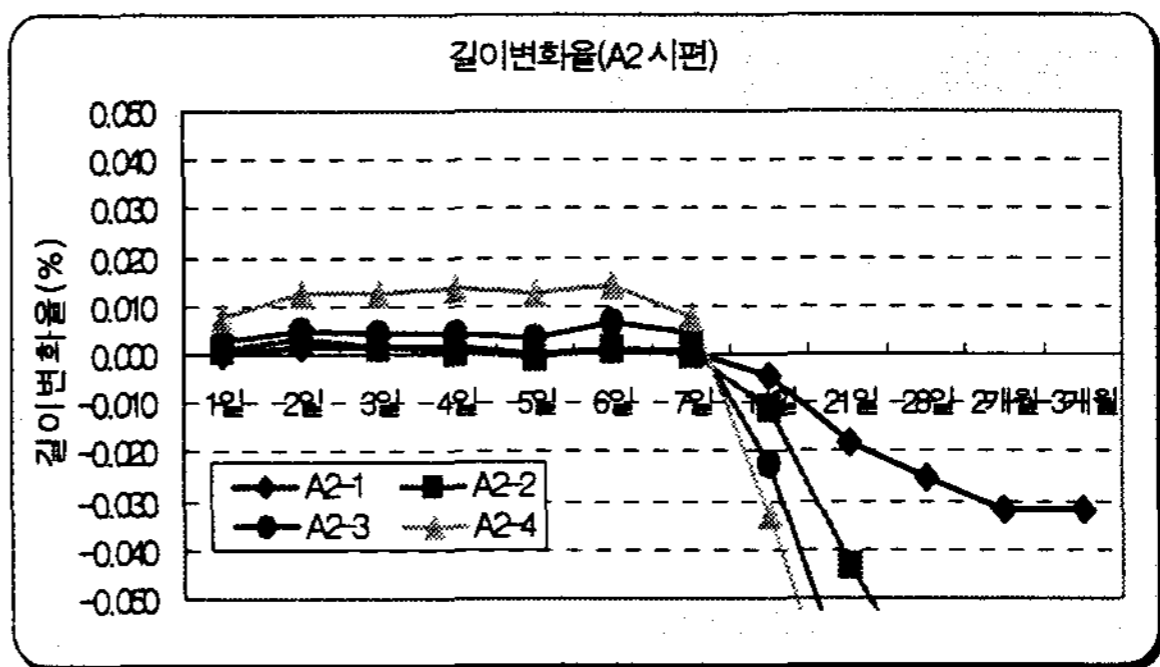
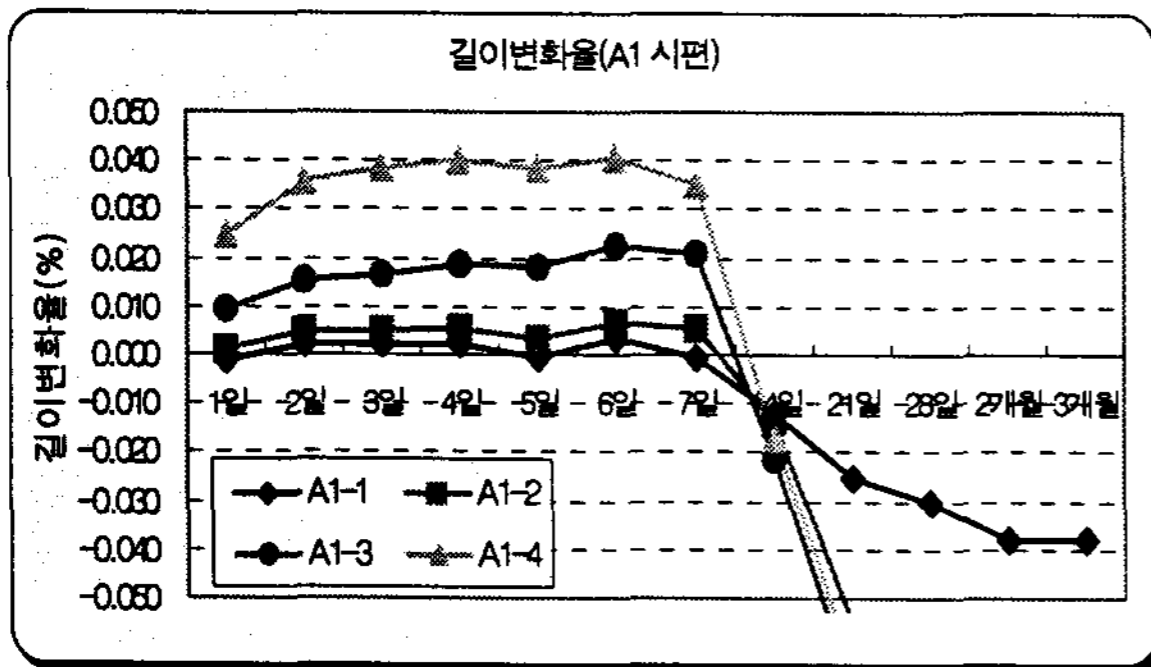
않은 B1, C1시료들도 초기강도는 확보하지 못했지만 장기강도는 일정수준 만족하는 결과를 확인할 수 있었다. 따라서 OPC에 대한 CSA의 첨가량을 일정수준 확보하고, 이들에 대한 무수석

고 및 소석회의 양을 일정량 사용하게 된다면
속경성 및 뚜렷한 조강성을 확보할 수 있을 것
으로 판단된다.

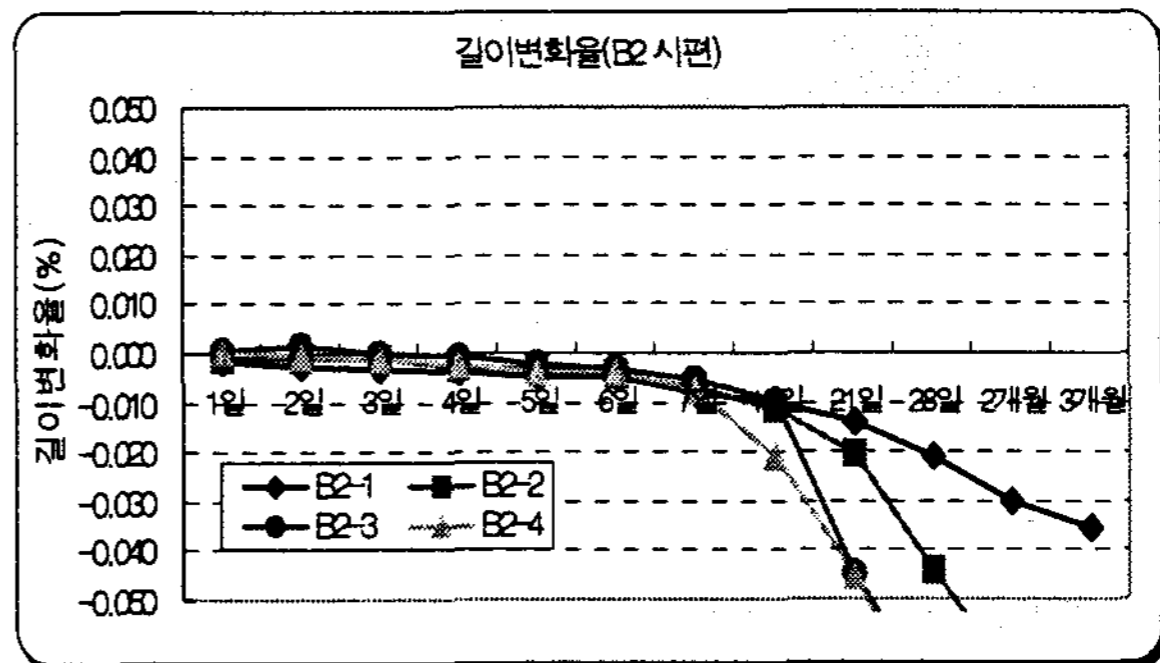
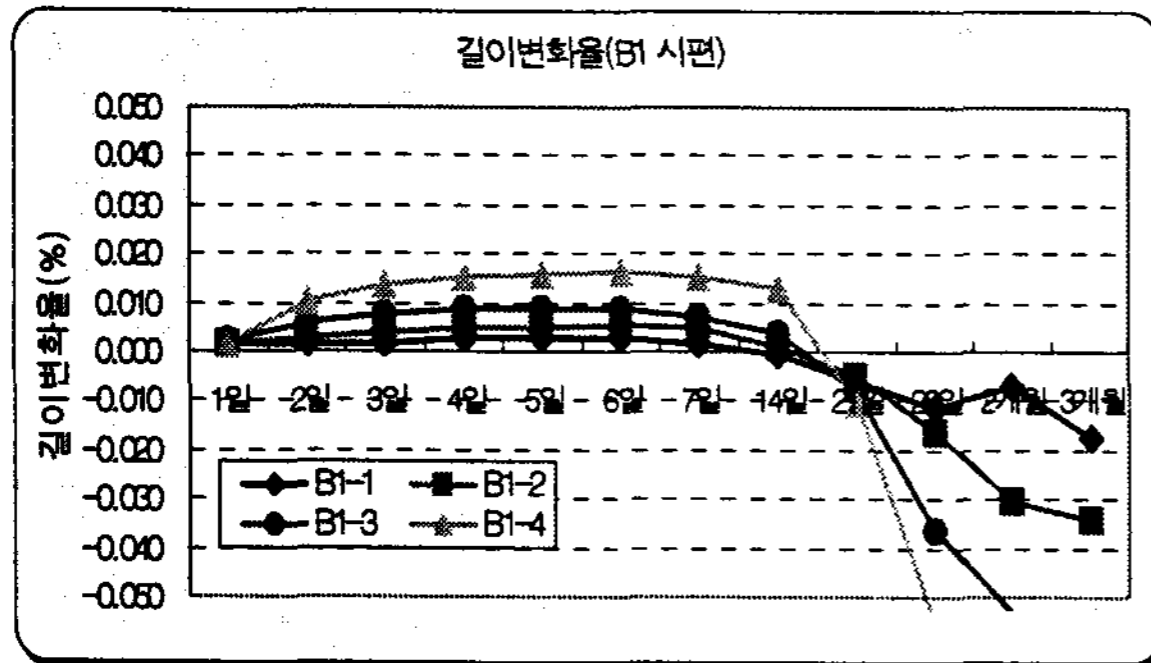
3.5 길이변화

바닥 마감용 모르타르의 주된 하자로서 균열
및 들뜸 현상을 방지하기 위해서는 모르타르 경
화시 수축과 팽창에 대해 안정적 이여야 한다.
이를 제어하기 위해서는 외부 환경조건에 의한
영향도 있을 수 있겠으나, 재료적으로 선변화에

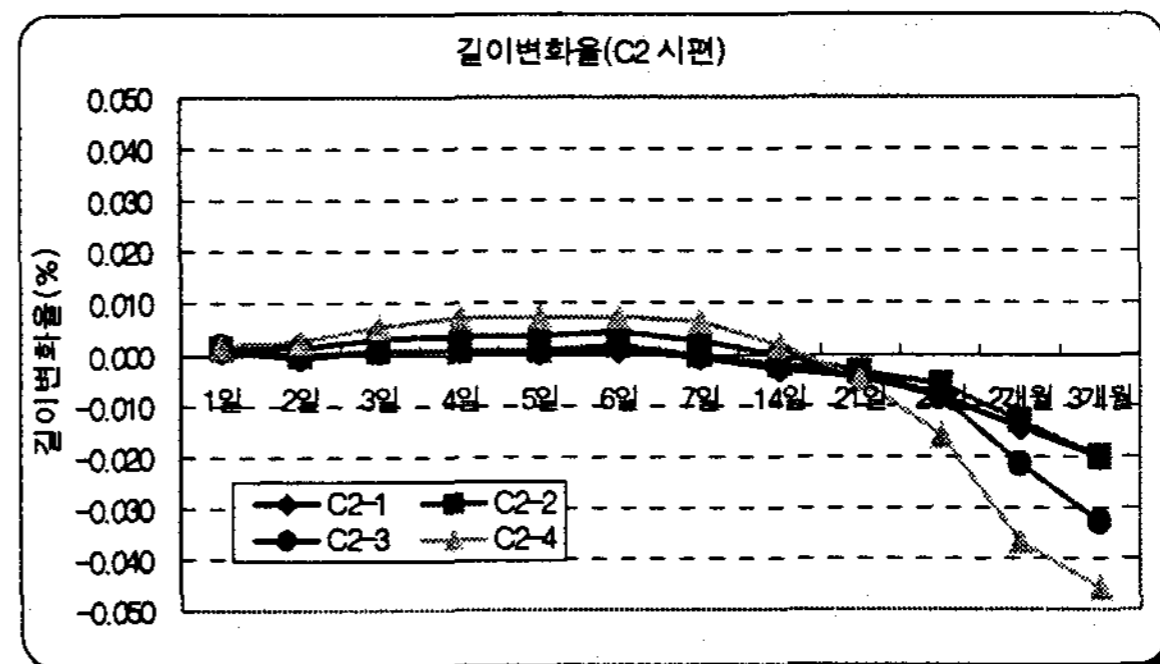
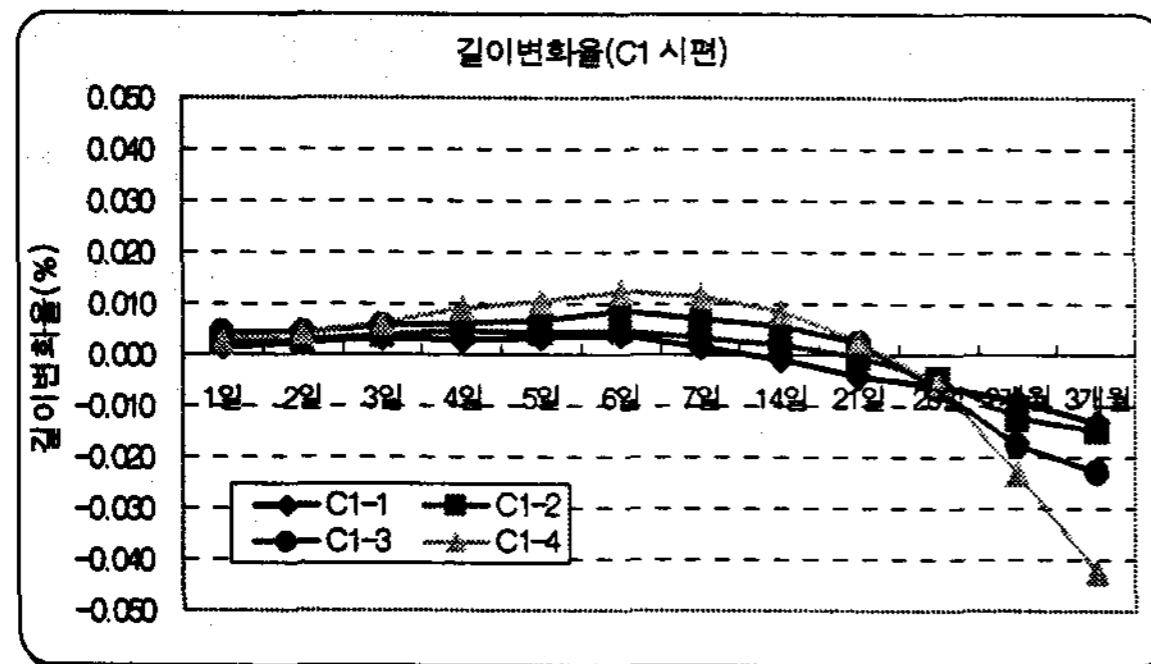
안정된 배합이 요구되어진다 할 수 있다. Fig. 4
에 각 인자별 결합재 구성비에 따른 길이변화를
측정결과를 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이
A, B시료 중 일부를 제외하고는 바닥용 모르타
르로서의 안정된 선변화를 결과를 나타냄을 확
인할 수 있었다. CSA의 함유량이 높은 D와 E
시료들은 무수석고의 비가 증가하더라도 초기
및 후기 선변화가 안정적 이었다. 하지만, CSA
의 첨가량이 적은 A 및 B의 일부 시료들에서는
무수석고의 비가 증가함에 따라 초기 팽창이 높
게 나타났으며, 후기 수축률에 있어서 그 값은



A그룹



B그룹



C그룹

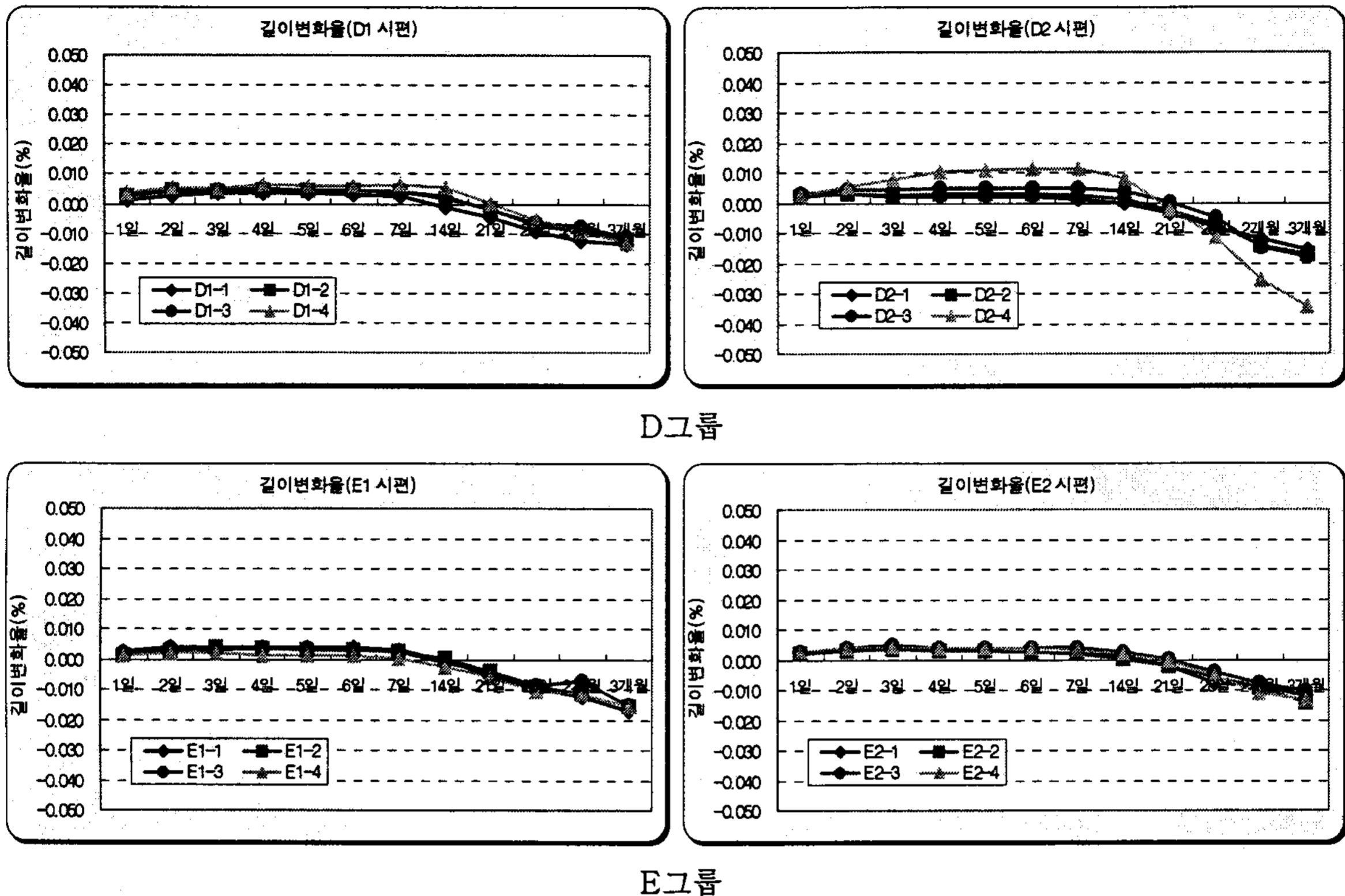


Fig. 4 결합재 구성비에 따른 길이변화 측정결과

더 크게 나타났는데, 이는 CSA의 사용량에 비해 무수석고의 첨가 비가 증가할수록 수화 초기에 모르타르 조직이 치밀하지 못한 상태에서 초기에 에트링자이트 생성이 활발히 진행된 결과라 사료된다. CSA의 함유량이 높은 E 시료들은 길이변화율은 재령 3개월까지 안정적인 형태를 나타내었으나, 응결·경화특성이 빠르고 충분한 작업성을 확보하는데 한계가 있어 안정적인 모르타르 화하기 위해서는 여타 기능성 혼화재의 사용이 필요할 것으로 판단된다. 그리고 소석회의 첨가로 인해 응결시간, 압축강도에서는 첨가하지 않은 시료들에 비해 유사하거나, 상회하는 값을 나타내었지만, 선변화에 있어서는 후기 수축률이 약간 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

Calcium Sulfoaluminate계 광물의 첨가가 시멘트 모르타르의 물성에 미치는 영향을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CSA, 무수석고 및 소석회의 첨가가 바닥 마감용 시멘트 모르타르의 유동성에 크게 영향을 미치지 않았으며, CSA의 사용량 및 무수석고 비가 늘어날수록 유동성이 높게 나타나는 경향을 나타내었다.
- 2) 응결시간 및 압축강도에 있어서도 마찬가지로 CSA의 함유량 및 무수석고의 비가 늘어날수록 초·종결시간이 빨라지는 것을 확인할 수 있었으며, 이로 인해 시멘트 모르타르가 속경성을 나타내어 초기강도 및 장기강도에서 우수한 압축강도 값을 나타내었고, 뚜렷한 조강성을 나타내었다.
- 3) CSA 첨가량에 따른 시멘트 모르타르의 길이변화를 검토 결과, OPC대비 CSA의 첨가량 33% 이상의 C, D 및 E 시료들은 재령 3개월까지도 안정된 선변화율을 보였으며, 이들 시료들은 CSA와 무수석고 자체만으로 소석회를 첨가하지 않은 시료와

유사거나 상회하는 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다. 하지만 바닥 마감용 모르타르의 작업성을 확보하는데 한계가 있어 안정적인 모르타르 화하기 위해서는 여타 기능성 혼화재의 추가 사용이 필요할 것으로 판단된다.

- 4) 앞선 실험 결과를 토대로 OPC대비 CSA의 첨가량은 33%이상, CSA대비 무수석고의 첨가량이 75% 이상일 때 바닥 마감용 모르타르의 길이변화 및 압축강도가 우수하게 나타남을 확인할 수 있었으며, CSA와 무수석고가 일정 비율로 사용된다면 소석회의 첨가 없이도 압축강도 및 선변화율에 있어 안정한 모르타르의 형태를 나타낼 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. M. Mikoc, and B. Matkovic, "Effect of Calcium Sulfoaluminate and Gypsum Addition on the Strength Development of Belite Cement," J. Am. Ceram. Soc., 71 [7] 1131-34 (1992).
2. P. K. Metha, "Mechanism of Expansion Associated with Ettringite Formation," Cem. Conc. Res., 3 [1] 1-6 (1973).
3. J. Y. Jeun, "Properties of Hardened Cement with Calcium Sulfoaluminate Type Expansive Additives(in Korean)," pp. 1-4, ph. D. Thesis, Dankook University, Cheonan, 2000.