발열팩 분말을 활용한 영하 환경 콘크리트의 수화 반응 촉진 연구

Promoting Concrete Hydration in Sub-Zero Environments Using Heating Powder

5조 곽지예 · 기효윤 · 김진서
건축공학종합설계-1

01 연구 배경 및 목적

겨울철 건설 현장 동절기 양생의 경제적 한계 → 발열팩 기반 자체 발열 복합 배합 연구로 출발

현장 실습 관찰

겨울철 영하 현장에서
옥상·콘크리트 타설 시
열풍기 18대(1개 층)
3일 연속 가동 목격

→

경제성 한계 인식

인건비·장비 대여비 등
막대한 비용 발생
1층 기준 약 2,112 만원
20층 아파트 약 4억 2,500 만원

→

새로운 연구 고민

"기존보다 경제적이면서
자체 발열 가능한 소재?"
단일 소재 한계를 넘어
복합 배합 연구로 출발

→

연구 목적

발열팩 분말 활용,
외부 가열 장치 없이
영하 환경 경화 거동·
압축강도 비교 및 분석

02 소재 선정

Fe · Mg 한계 분석 후 CaO + Al 복합체 채택 — 산소 불필요, 즉각 발열

Fe	Mg	CaO+Al
철 기반 발열팩	마그네슘 기반	생석회+알루미늄
밀폐 환경 산소 부족	원가 부담 큼	✓ 최종 채택

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 65.2\ kJ/mol$$

배합수 즉각 반응 · 산소·촉매 불필요 · 소비자가 800~1,200 원/장

1. **초기 발열** — CaO + 배합수 반응, 즉각 열 방출 — CaO 반응
2. **딜레이** — Al 산화 피막 유지, 발열 안정기 (강알칼리 환경) — 안정기
3. **2차 폭발적 발열** — Al 피막 파괴, 내부 80~100 °C 급상승 — Al 반응

03 실험 설계

2단계 실험 — 경화 거동 확인 후 온도 측정·압축강도 분석

배합 제조
시멘트 : 물 = 1 : 0.5 | 발열팩 0~50 % 구간 배합

↓

실험 1 — 경화 거동 확인
냉동고 –20 °C | C, C-F06, C-F10, C-F30, C-F50
1시간 / 24시간 후 육안 확인

↓

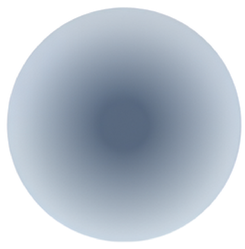
실험 2 — 온도 측정
미니냉장고 + K타입 써모커플 | C ~ C-F14 (8종)
영상 2 °C / 영하 –15 °C | 24시간 연속 측정

↓

압축강도 측정
영상·영하 환경에서 배합별 압축강도 및 CV 비교

실험 1 — 경화 거동 확인 (냉동고 –20 °C)

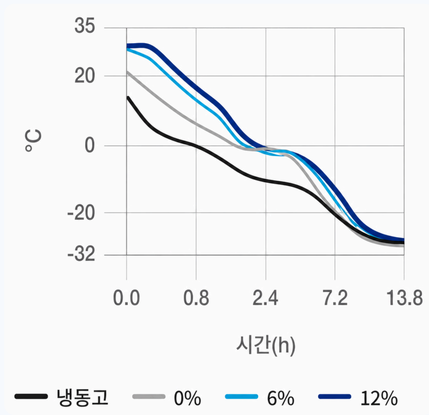
0 % 함량	6 % 함량	✓ 10 % 최적
동결 미경화	**과팽창 파괴**	**안정 경화**
수분 동결 강도 거의 없음	균열·조직 파괴 강도 낮음	형태 유지 상대적 우수



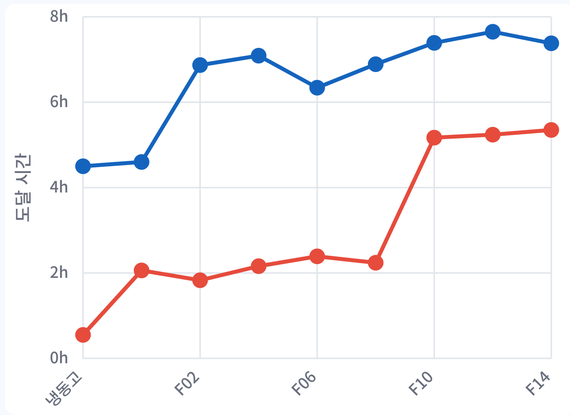
영하 환경 발열팩 분말 경화 효과 입증 | 과다 혼입(30·50 %) 시 즉각 수화반응으로 팽창 주의

실험 2 — 온도 측정 (미니냉장고 + K타입 써모커플 · 24h)

영하 (–15 °C) 배합별 온도 곡선



타임랙 비교 (2 °C vs –15 °C 도달 시간)

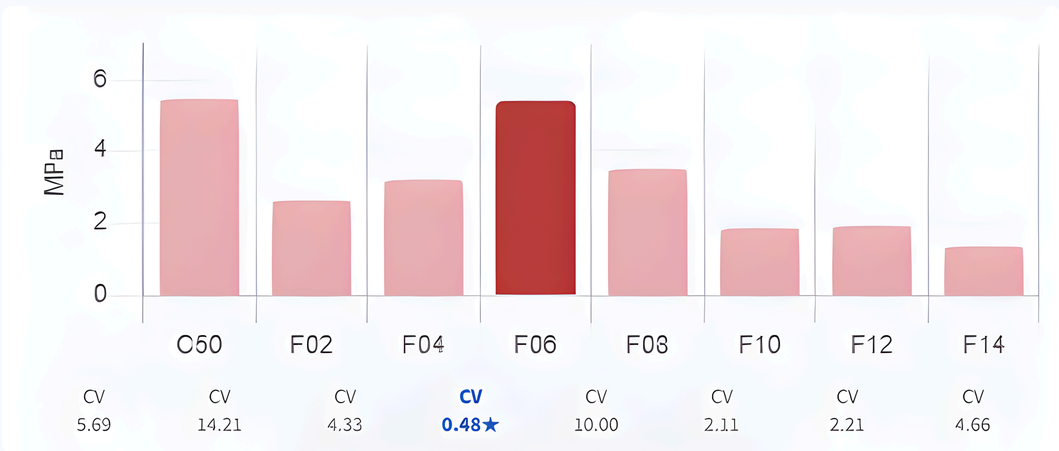


함량↑ → 영하 온도 하강 지연(타임랙) 증가 | 0 % 대조군 대비 뚜렷한 차이 확인

04 압축강도 분석

막대: 평균 압축강도(MPa) · 하단 CV(%): 변동계수 — 낮을수록 균일한 경화 품질

영상 환경 (2 °C)



최적: C50-F06 (6%) — 5.44 MPa · CV 0.48%

영하 환경 (–15 °C)

최적: C50-F10 (10%) — 2.18 MPa · CV 6.20%

05 결론

발열팩 분말의 영하 환경 수화 반응 촉진 효과 확인 및 최적 배합비 도출

영상 최적 배합

6 %

배합명	C50-F06
평균 압축강도	5.44 MPa
변동계수 CV	0.48 %

영하 최적 배합

10 %

배합명	C50-F10
평균 압축강도	2.18 MPa
변동계수 CV	6.20 %

열풍기 대비 경제성

약 1,760 만원 절감

전제 조건	열풍기 18대, 3일 양생 (1층 기준)
절감 연료 (1시간)	180 L
시간당 절감액	293,400 원

혼입량↑ → 밀도 감소 (최대 ~1.0 g/cm³)
경량 기포 콘크리트 양상 확인 → 소포제 복합 연구 필요