

전기자극을 이용한 시멘트 페이스트 초기강도발현 촉진 설계

A Design Approach to Enhance Early Strength Development of Cement Paste via Electrical Stimulation

조정완(191958), 송진명(220766), 박진우(223464)

1. 연구배경 및 목적

1.1 연구 배경



▶ **콘크리트 초기 강도의 중요성**
 콘크리트는 일반적으로 28일 양생을 통해 설계 강도에 도달하지만, 시공 일정이나 구조적 요구에 따라 7일 혹은 그 이전에 일정 수준의 강도를 확보해야 하는 경우가 많음. 특히 겨울철과 같이 온도가 낮아 강도 발현이 지연되는 환경에서는, 초기 강도가 충분하지 않으면 조기 거푸집 해체나 하중 작용 시 심각한 안전사고로 이어질 수 있음.

1.2 현재 한중 콘크리트

현재 한중 시공에서는 콘크리트 초기 강도 확보를 위해 온풍기·열풍기 등 물리적 방법과 고성능 감수제, 급결제 등 화학 첨가제를 병행해 사용하고 있음.

1.3 연구 목적

물리적·화학적 양 측면의 효과를 동시에 활용할 수 있는 방안으로서, 콘크리트 양생 과정 중 전류 인가 기법을 도입함. 해당 기법은 전기 자극을 통해 내부 온도를 상승시키는 물리적 효과와, 이온 확산을 촉진하는 화학적 작용을 병행함으로써 초기 강도 확보 및 양생 속도 향상을 동시에 도모할 수 있음.

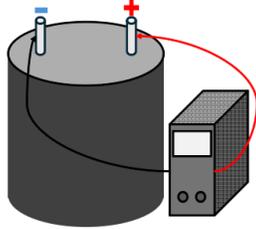
2. 실험 메커니즘 및 설계

2.1 실험 메커니즘

양생 초기의 지연 반응 단계를 단축하고, 이후 수화 가속 과정에서 콘크리트의 주된 강도 발현 메커니즘인 C-S-H 겔의 형성을 효과적으로 유도하는 것을 목표로 함.

2.2 실험 설계

▶ 실험 방법



- 실험 조건 및 재료
 - 시멘트 페이스트 w/c: 0.4
 - 원주형 공시체 몰드: 15 cm*15 cm
 - DC supply
 - 스테인리스 전극봉: 8 mm*15 mm

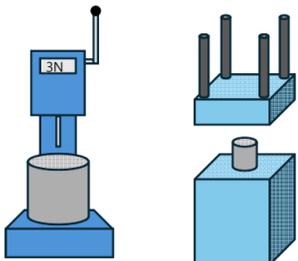
• 실험 과정

- 시멘트 페이스트를 공시체 몰드에 타설
- 타설 직후 전극봉을 삽입 및 전류 인가

• 결과 측정

- 초결측정기
 - 관입 저항력이 약 2.8 N이 되는 시간을 측정
- 압축강도 측정기
 - 양생 3일 후 공시체의 압축강도를 측정

▶ 결과 측정



3. 실험 순서

3.1 실험 순서

실험 1 - 단방향 전류 인가

시멘트 페이스트 양생 과정 중 단방향으로만 전류를 인가함으로써 이온의 이동이 촉진되는 정도를 분석함.

실험 2 - 극전환(양방향) 전류 인가

단일 방향 전류 인가에 따른 이온의 편향적 이동 문제를 개선하고자, 일정 주기(15분)로 전류 방향을 교차 적용함.

실험 3 - 최적의 V 값 선정

초기 결함 시간 및 압축강도 발현을 기준으로 세 가지 전압(20 V, 25 V, 30 V) 조건을 비교하여, 가장 효과적인 전압 인가 조건을 선정함.

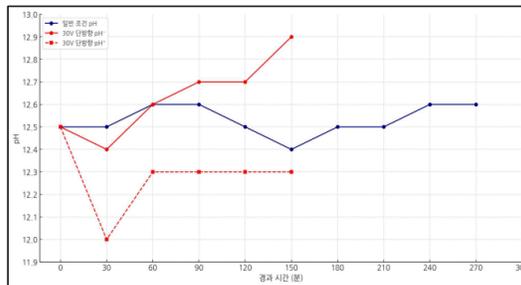
실험 4 - 전극봉을 수평으로

갠폼 적용 가능성을 검토하기 위해 전극봉을 수평 방향으로 삽입하고, 25 V의 전압 조건에서 실험을 수행함.

2. 실험 결과

4.1 실험 1) 단방향 전류 인가

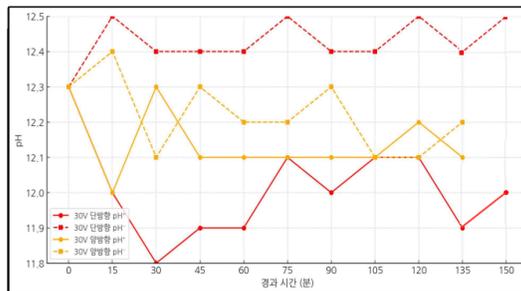
▶ pH값, 초결 측정시간 결과 그래프



- 실험 조건
 - 전류 조건: 30 V, 3 A
 - 실험군: 전류 단방향 인가
 - 대조군: 전류 인가 X
- 실험 결과
 - 실험군 ± 극 pH 값: 12.9 / 12.3
 - 실험군 초결 측정시간: 150분
 - 대조군 pH 값: 12.6
 - 대조군 초결 측정시간: 270분

4.2 실험 2) 전류방향 전환

▶ pH값, 초결 측정시간 결과 그래프



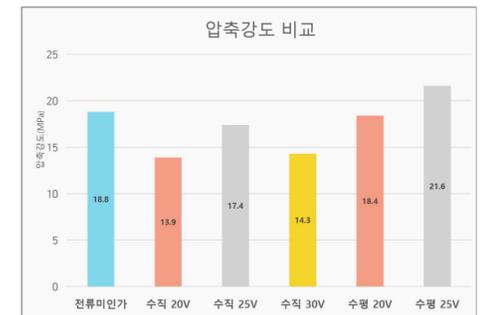
- 실험 조건
 - 전류 조건: 30 V, 3 A
 - 실험군: 전류 교차인가
 - 대조군: 전류 단방향 인가
- 실험 결과
 - 실험군 A, B 극 pH 값: 12.2 / 12.1
 - 실험군 초결 측정시간: 135분
 - 대조군 ± 극 pH 값: 12.5 / 12.0
 - 대조군 초결 측정시간: 150분

4.3 실험 3, 4) V 값 선정 및 전극봉 배치 방식 개선

▶ 초결 측정시간 결과 그래프



▶ 3일 압축강도 결과 그래프



• 실험 조건

- 전류 조건: 20 V, 3 A / 25 V, 3 A / 30 V, 3 A
- 실험군: 전극봉이 수직일때 각각 20 V, 25 V, 30 V, 전극봉이 수평일때 25 V
- 대조군: 전류 미인가

• 실험 결과

- 초결 측정시간 최소 전류 미인가 대비 44.44 % 단축, 최대 61.66 % 단축
- 압축강도는 전류 미인가 대비 26.06 % 감소 ~ 14.89 % 증가

5. 결과분석 및 결론

5.1 결과분석

• 전류에 의한 이온 이동 분석

단방향 전류 인가 시 양극 간 이온 농도 차가 약 4배로 나타나 전류가 이온 이동 촉진을 확인함. 그러나 이온이 한쪽 극에 집중되는 문제가 발생하였으며, 전류 방향을 주기적으로 전환하면 이러한 편향이 완화됨.

• 전압 조건별 초결 시간 및 압축강도 변화

20 V, 25 V, 30 V 모두 초결 측정시간을 단축시켰으며, 25 V에서 가장 효과적이었음. 25 V에서는 초결 측정시간이 약 55.6 % 단축되었으나, 압축강도는 7.5 % 감소함.

• 전극봉 삽입 방향의 영향 (수직 vs. 수평)

25 V에서 전극봉을 수평으로 배치한 경우, 초결 측정시간은 61.1 % 단축되었고 압축강도는 14.9 % 증가함. 이는 전류의 균일한 분포로 수화 반응이 고르게 진행된 결과로 해석됨.

5.2 결론

• 양생 과정 중 전류를 인가한 결과, 초기 양생 속도가 전반적으로 유의미하게 촉진되었으며, 특히 25 V, 3 A 조건에서 가장 뚜렷하게 빨라지는 경향을 보임.

• 강도 측면에서는 대부분의 경우 소폭 하락하는 경향을 보였으나, 25 V, 3 A 조건에서 전극봉을 수평으로 배치한 경우, 오히려 압축강도가 증가하는 결과가 나타남.

• 본 실험을 통해 전류 인가가 초기 양생을 효과적으로 가속화함과 동시에, 적용 조건에 따라 압축강도 향상에도 긍정적 영향을 미칠 수 있음을 확인함.