2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-증빙자료 및 성과점검기준표-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

목 차(증빙자료)

Ⅰ. 증빙자료

1. 증빙 1-1-① ····· 1
2. 증빙 1-1-② ····· 5
3. 증빙 1-1-③ ····· 9
4. 증빙 1-2-① ····· 13
5. 증빙 1-2-② ····· 16
6. 증빙 1-3-① ····· 19
7. 증빙 1-4-① ····· 24
8. 증빙 2-1-① ····· 28
9. 증빙 2-2-① ····· 32
10. 증빙 2-3-① ····· 37
11. 증빙 2-4-① ····· 41
12. 증빙 3-1-① ····· 43
13. 증빙 3-2-① ····· 46
14. 증빙 3-3-① ····· 49
15. 증빙 4-1-① ····· 54
16. 증빙 4-2-① ····· 58
17. 증빙 5-1-① ····· 62
18. 증빙 5-2-① ····· 72
19. 증빙 5-3-① ····· 81
20. 증빙 6-1-① ····· 84
21. 증빙 6-2-① ····· 87
22. 증빙 6-3-① ····· 89

Ⅱ. 별첨 ····· 98

1. 증빙 1-1-① 시험성적서 원문
2. 증빙 1-1-② 공인시험성적서 원문
3. 증빙 1-1-③ 공인시험성적서 원문
4. 증빙 1-3-① 논문 원문
5. 증빙 2-2-① 특허 출원번호통지서 및 출원서
6. 증빙 2-3-① 논문 원문
7. 증빙 4-1-① 특허 출원번호통지서
8. 증빙 4-1-① 특허 출원서
9. 증빙 4-2-① 논문 원문
10. 증빙 5-1-① 거푸집제작 설계도면
11. 증빙 5-1-① 설치 가이드라인
12. 증빙 5-2-① 특허 출원번호통지서 및 출원서
13. 증빙 5-2-① BIM 블랙아이스 방지 프리캐스트 콘크리트 패널 BIM 3D 모델링
14. 증빙 5-2-① BIM 블랙아이스 프리캐스트 일반도 및 배근도
15. 증빙 6-1-① 논문 원문
16. 증빙 6-1-① 설치가이드라인 및 시공지침서
17. 증빙 6-2-① 유지관리지침서
18. 증빙 6-3-① 특허 등록증
19. 증빙 6-3-① 특허 이전완료등록원부
20. 증빙 6-3-① 특허 특허공보
21. 증빙 6-3-① 기술실시협약서

[증빙1-1-①]

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	1	나노 발열모듈 콘크리트 재료의 최적 배합기술 개발 및 시공	
단위성과물	1-1	나노 모듈을 이용한 발열 콘크리트 배합기술 연구	
질적성과지표	①	일반 콘크리트 대비 부착강도 향상	
목표치	10% 향상	달성치	16.9% 향상
검증방법	공인시험성적서	연구책임기관	경희대학교

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

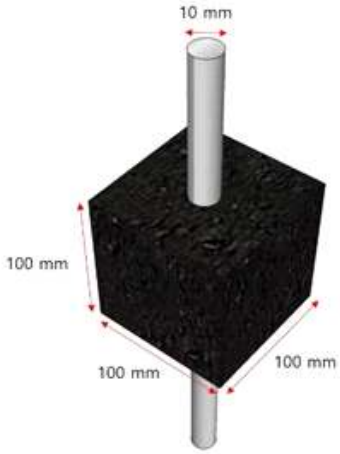
경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 나노 발열 모듈 콘크리트의 최적 배합 기술을 개발하고 그 성능을 검증하기 위해 부착강도 실험을 수행함.
- 부착강도 시험은 KS 규정이 없는 관계로 JSCE-E539-1995에 근거하여 실험을 수행함.
- 실험 셋업과 실험체의 모식도는 다음과 같음. (그림 1.1.1)



(a) 부착강도 시험 set-up



(b) 시험체 모식도

그림 1.1.1 부착강도 시험 개요

2. 실험 매개변수

- 각 실험체의 양생일은 28일로 고정함.
- MWCNT의 혼입량을 시멘트 중량대비 0.0wt%, 0.5wt%, 1.0wt%로 설정함. (표 1.1.1)
- 각 실험체에 대해 부착강도 시험을 수행함.
- MWCNT의 혼입량에 따른 강도 변화를 분석하여 최적 혼입량을 도출함.

표 1.1.1 부착강도 성능시험 매개변수

시편명	MWCNT함량(wt%)	물/시멘트 비	재령일(일)
Control	0	0.5	28
MWCNT-0.5	0.5		
MWCNT-1.0	1.0		

3. 연구 결과

- 최대 부착강도는 MWNCT를 시멘트 중량대비 1.0wt% 혼입한 실험체에서 발생함.
- Control 대비 16.9%를 달성함. (그림 1.1.2, 표 1.1.2)

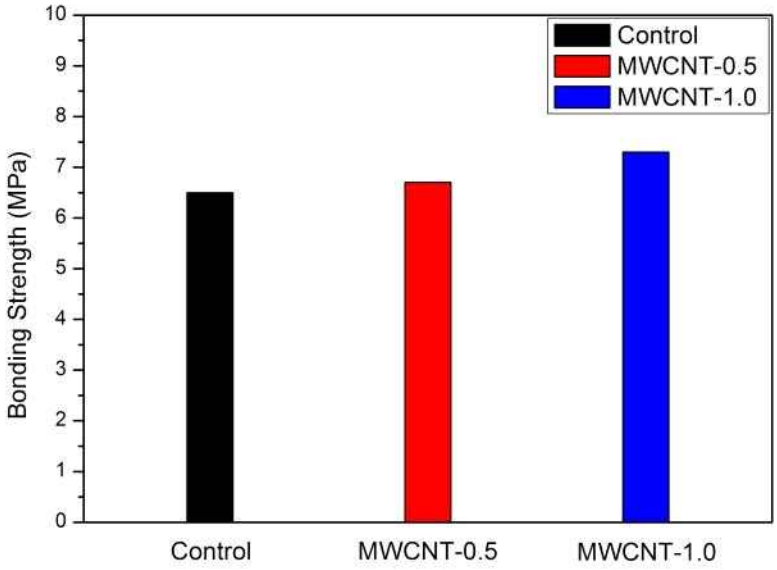


그림 1.1.2 부착강도 시험 결과

표 1.1.2 부착강도 시험 결과

시편명	부착강도 (MPa)
Control	20.4
MWCNT-0.5	20.95
MWCNT-1.0	23.85

4. 추가 증빙 자료

- 부착강도 시험은 KS 규정이 없는 관계로 공인시험성적서 대신 국제공인시험기관에서 발급한 시험성적서로 대체함. (그림 1.1.3)

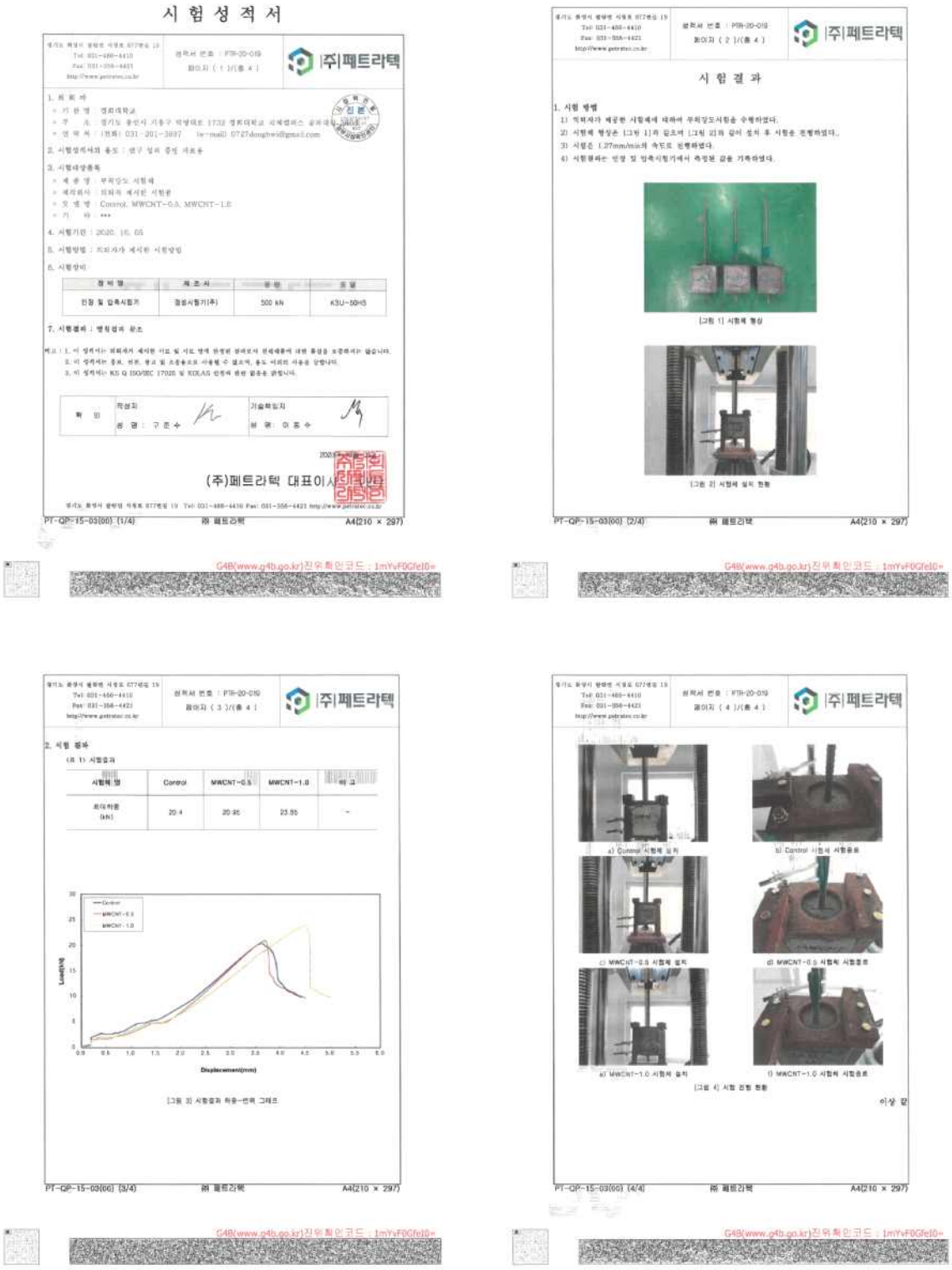


그림 1.1.3 국제공인시험기관 발급 시험성적서

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	1	나노 발열모듈 콘크리트 재료의 최적 배합기술 개발 및 시공	
단위성과물	1-1	나노 모듈을 이용한 발열 콘크리트 배합기술 연구	
질적성과지표	②	일반 콘크리트 대비 압축강도 향상	
목표치	10% 향상	달성치	20.6% 향상
검증방법	공인시험성적서	연구책임기관	경희대학교

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 나노 발열 모듈 콘크리트의 최적 배합 기술을 개발하고 그 성능을 검증하기 위해 압축강도 실험을 수행함.
- 압축강도 시험은 KS F 2405에 근거하여 실험을 수행함.
- 실험 셋업과 실험체의 모식도는 다음과 같음. (그림 1.1.4)



(a) 압축강도 시험 set up



(b) 압축강도 시험체 모식도

그림 1.1.4 압축강도 시험 개요

2. 실험 매개변수

- 각 실험체의 양생일은 28일로 고정함.
- MWCNT의 혼입량을 시멘트 중량대비 0.0wt%, 0.5wt%, 1.0wt%로 설정함. (표 1.1.3)
- 각 실험체에 대해 압축강도 시험을 수행함.
- MWCNT의 혼입량에 따른 강도 변화를 분석하여 최적 혼입량을 도출함.

표 1.1.3 압축강도 성능시험 매개변수

시편명	MWCNT함량(wt%)	물/시멘트 비	재령일(일)
Control	0	0.5	28
MWCNT-0.5	0.5		
MWCNT-1.0	1.0		

3. 연구 결과

- 최대 압축강도는 MWNCT를 시멘트 중량대비 0.5wt% 혼입한 실험체에서 발생함.
- Control 대비 20.6%를 달성함. (그림 1.1.5, 표 1.1.4)

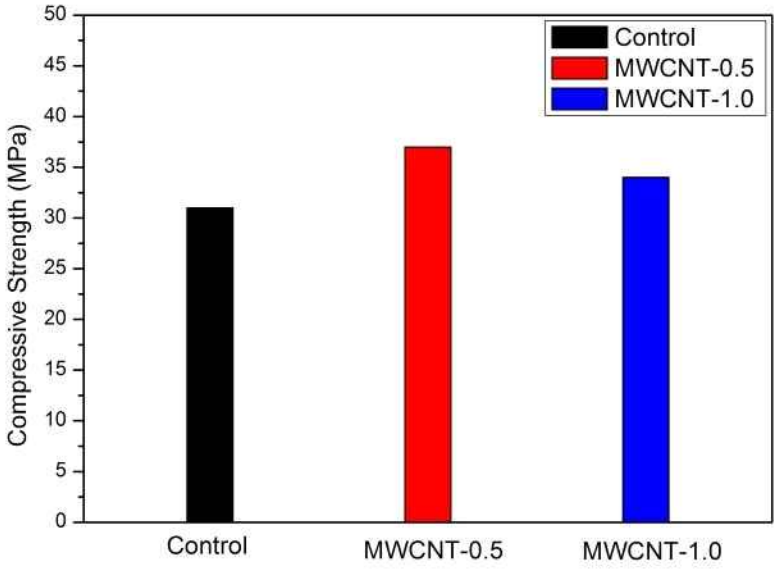


그림 1.1.5 압축강도 시험 결과

표 1.1.4 압축강도 시험 결과

시편명	압축강도 (MPa)
Control	31.1
MWCNT-0.5	37.5
MWCNT-1.0	34.7

4. 추가 증빙 자료

- 압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 공인시험성적서를 발급받음. (그림 1.1.6)



그림 1.1.6 국제공인시험기관 발급 공인시험성적서

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	1 나노 발열모듈 콘크리트 재료의 최적 배합기술 개발 및 시공		
단위성과물	1-1 나노 모듈을 이용한 발열 콘크리트 배합기술 연구		
질적성과지표	③ 4.5 MPa 이상 인장강도 향상		
목표치	4.5 MPa 이상	달성치	4.95 MPa
검증방법	공인시험성적서	연구책임기관	경희대학교

경희대학교

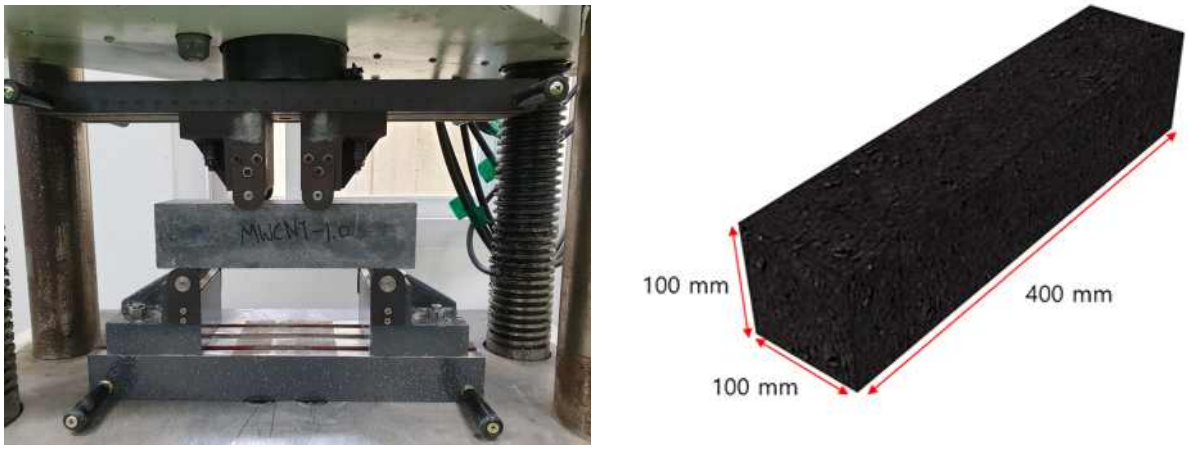
조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 나노 발열 모듈 콘크리트의 최적 배합 기술을 개발하고 그 성능을 검증하기 위해 휨인장강도 실험을 수행함.
- 휨인장강도 시험은 KS F 2408에 근거하여 실험을 수행함.
- 실험 셋업과 실험체의 모식도는 다음과 같음. (그림 1.1.7)



(a) 휨인장강도 시험 set-up (b) 휨인장강도 시험체 모식도

그림 1.1.7 휨인장강도 시험 개요

2. 실험 매개변수

- 각 실험체의 양생일은 28일로 고정함.
- MWCNT의 혼입량을 시멘트 중량대비 0.5wt%, 1.0wt%로 설정함. (표 1.1.5)
- 각 실험체에 대해 휨인장강도 시험을 수행함.
- MWCNT의 혼입량에 따른 강도 변화를 분석하여 최적 혼입량을 도출함.

표 1.1.5 휨인장강도 성능시험 매개변수

시편명	MWCNT함량(wt%)	물/시멘트 비	재령일(일)
MWCNT-0.5	0.5	0.5	28
MWCNT-1.0	1.0		

3. 연구 결과

- 최대 압축강도는 MWNCT를 시멘트 중량대비 1.0wt% 혼입한 실험체에서 발생함.
- 최대 휨인장강도 4.95 MPa 를 달성함. (그림 1.1.8, 표 1.1.6)

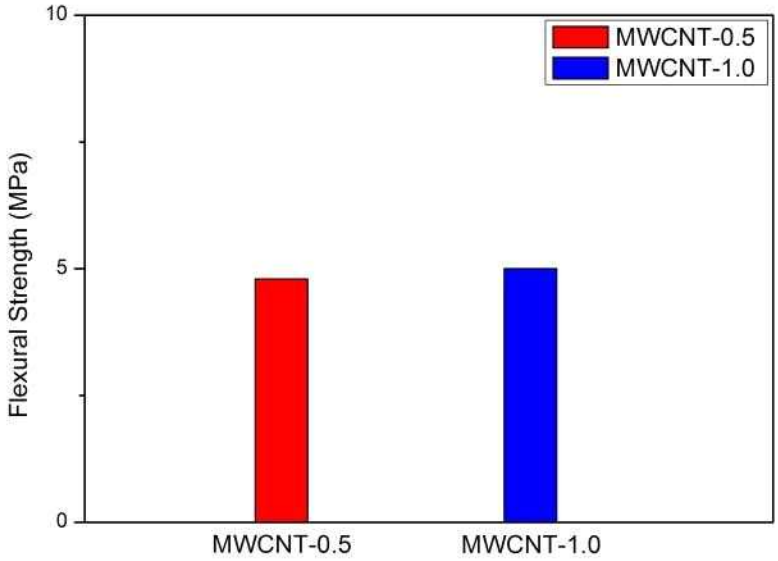


그림 1.1.8 휨인장강도 시험 결과

표 1.1.6 휨인장강도 시험 결과

시편명	휨인장강도 (MPa)
MWCNT-0.5	4.61
MWCNT-1.0	4.95

4. 추가 증빙 자료

- 휨인장강도 시험은 KS F 2408에 따라 공인시험성적서를 발급받음. (그림 1.1.9)

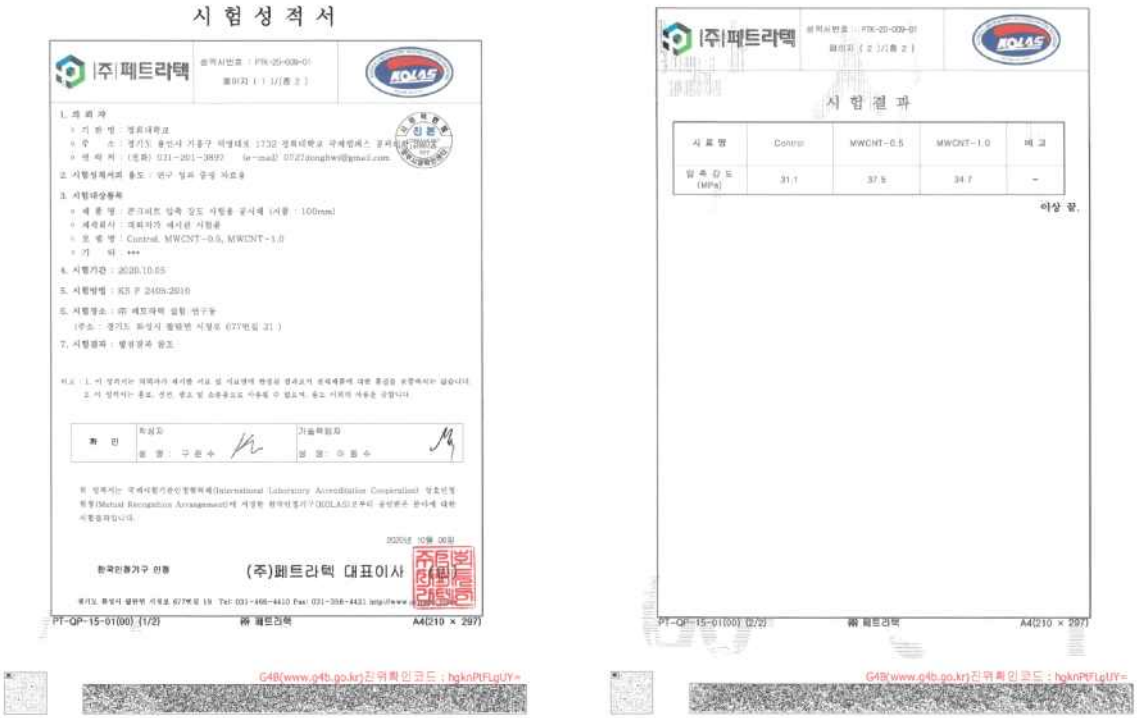


그림 1.1.9 국제공인시험기관 발급 공인시험성적서

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	1	나노 발열모듈 콘크리트 재료의 최적 배합기술 개발 및 시공	
단위성과물	1-2	발열 성능 및 적합성 검토	
질적성과지표	①	일반 콘크리트 대비 5배 이상 전기 전도성 향상	
목표치	5배 이상	달성치	133배
검증방법	자체 평가	연구책임기관	경희대학교

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 문헌조사를 통해 3종류의 나노 재료를 설정함.
- 설정된 3종류의 나노 재료를 혼입한 발열 모듈과 일반 시멘트 모르타르를 제작함.
- 나노 재료의 종류를 매개변수로 제작된 발열 모듈에 저항 실험을 수행하여 각 실험체의 전기 저항을 측정함. (그림 1.2.1)
- 각 실험체의 전기 저항이 대조군 대비 5배 이상 감소하는지 확인하여 적합성을 검토함.

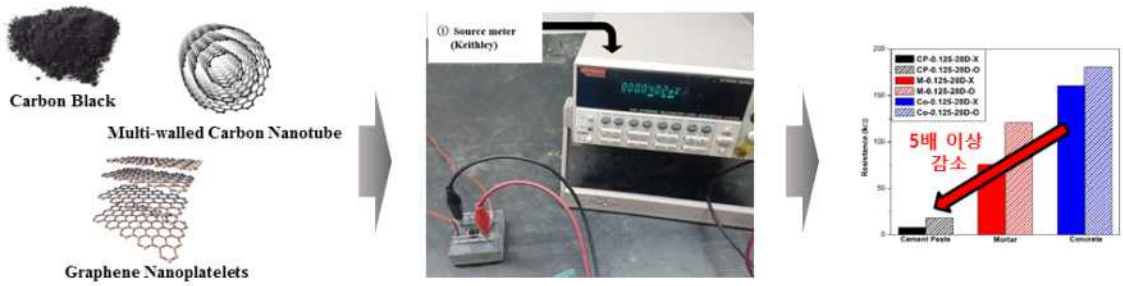


그림 1.2.1 전기 저항 실험 개요

2. 실험 매개변수

- 각 실험체의 양생일은 7일로 고정함.
- 설정된 3종류의 나노 재료를 매개변수로 설정함.
- 나노 재료의 농도는 시멘트 중량대비 1.0wt%로 설정함. (표 1.2.1)
- 각 실험체의 전기저항과 발열량을 측정하여 적합성을 검토함.

표 1.2.1 전기 저항 실험 매개변수

시편명	나노 재료 종류	나노 재료 함량(wt%)	전압(V)	재령일(일)
Control	-	0.0	60	7
CB	Carbon Black	1.0		
GNP	Graphene Nanoplatelets			
MW	MWCNT			

3. 연구 결과

- Carbon Black-시멘트 복합체의 전기 저항은 Control 대비 2.3배 감소함.
- Graphene Nanoplatelets-시멘트 복합체의 전기 저항은 Control 대비 2.0배 감소함.
- Multi-Walled Carbon Nanotube-시멘트 복합체의 전기 저항은 Control 대비 133.0배 감소함.
- 전기 전도성은 저항과 반비례 관계에 있으므로 저항의 감소량으로 목표치 달성 여부를 판단함.
- Multi-Walled Carbon Nanotube만 목표치(Control 대비 5배 이상 증가)를 만족하여 전기 전도성 측면에서 적합한 것으로 판단됨. (그림 1.2.2, 표 1.2.2)

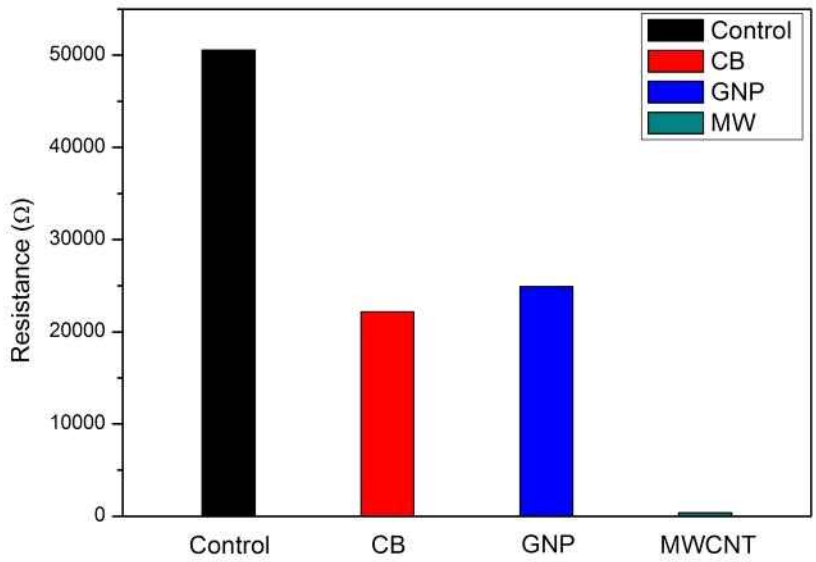


그림 1.2.2 저항 실험 결과

표 1.2.2 저항 실험 결과

시편명	저항 (KΩ)	Control 대비 증가량 (배)
Control	50.55	-
CB	22.16	2.3
GNP	24.92	2.0
MWCNT	0.38	133.0

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	1	나노 발열모듈 콘크리트 재료의 최적 배합기술 개발 및 시공	
단위성과물	1-2	발열 성능 및 적합성 검토	
질적성과지표	②	일반 콘크리트 대비 5배 이상 열 전도성 향상	
목표치	5배 이상	달성치	224배
검증방법	자체 평가	연구책임기관	경희대학교

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 문헌조사를 통해 3종류의 나노 재료를 설정함.
- 설정된 3종류의 나노 재료를 혼입한 발열 모듈과 일반 시멘트 모르타르를 제작함.
- 나노 재료의 종류를 매개변수로 제작된 발열 모듈의 발열 성능 실험을 수행하여 각 실험체의 열 전도성을 분석함. (그림 1.2.3)
- 각 실험체의 발열량이 대조군 대비 5배 이상 증가하는지 확인하여 적합성을 검토함.

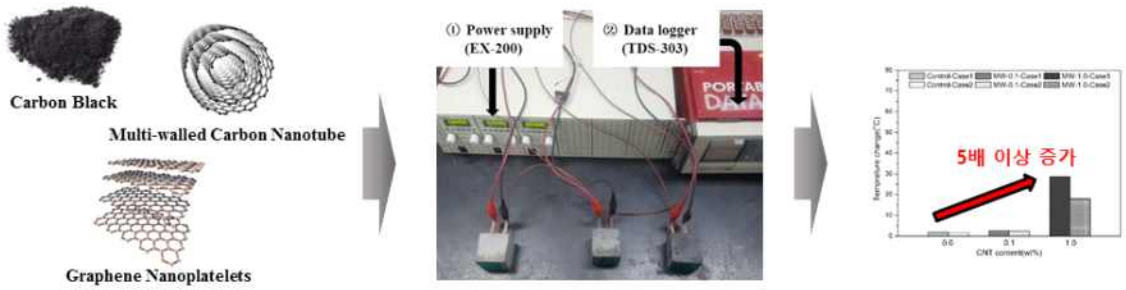


그림 1.2.3 발열 성능 실험 개요

2. 실험 매개변수

- 실험 매개변수는 전기 저항 실험과 동일함.
- 각 실험체의 양생일은 7일로 고정함.
- 설정된 3종류의 나노 재료를 매개변수로 설정함.
- 나노 재료의 농도는 시멘트 중량대비 1.0wt%로 설정함. (표 1.2.3)
- 각 실험체의 전기저항과 발열량을 측정하여 적합성을 검토함.

표 1.2.3 발열 성능 실험 매개변수

시편명	나노 재료 종류	나노 재료 함량(wt%)	전압(V)	재령일(일)
Control	-	0.0	60	7
CB	Carbon Black	1.0		
GNP	Graphene Nanoplatelets			
MW	MWCNT			

3. 연구 결과

- Carbon Black-시멘트 복합체의 최고 발열량은 Control 대비 171.3배 증가함.
- Graphene Nanoplatelets-시멘트 복합체의 최고 발열량은 Control 대비 132.3배 증가함.
- Multi-Walled Carbon Nanotube-시멘트 복합체의 최고 발열량은 Control 대비 224배 증가함.
- 모든 나노 재료의 발열 성능은 목표치(Control 대비 5배 이상 증가)를 만족하여 열 전도성 측면에서 적합한 것으로 판단됨. (그림 1.2.4, 표 1.2.4)

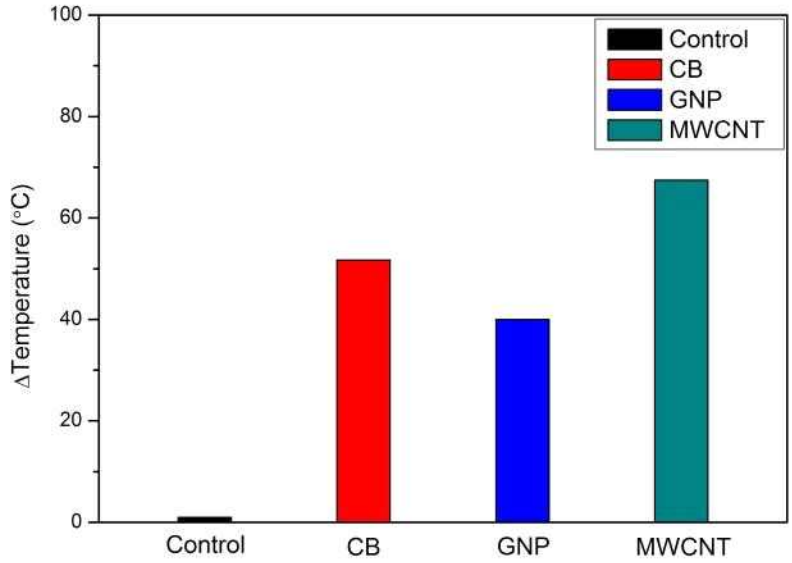


그림 1.2.4 발열 성능 실험 결과

표 1.2.4 발열 성능 실험 결과

시편명	△T (℃)	Control 대비 증가량 (배)
Control	0.3	-
CB	51.7	171.3
GNP	40	132.3
MWCNT	67.5	224.0

[증빙1-3-①]

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	1 나노 발열모듈 콘크리트 재료의 최적 배합기술 개발 및 시공		
단위성과물	1-3 강도 및 발열 기능 향상을 위한 최적 나노 재료 및 함량 설정		
질적성과지표	① 최적 나노 재료 및 함량		
목표치	1건	달성치	1건
검증방법	나노 재료 및 함량에 따른 발열 효율 제시여부	연구책임기관	경희대학교

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 앞에서 설정되었던 3종류 나노 재료의 농도를 매개변수로 제작된 발열 모듈의 발열 성능 실험을 수행하여 각 실험체의 발열량을 측정함. (그림 1.3.1, 그림 1.3.2, 그림 1.3.3)
- 각 실험체의 발열량을 비교하여 최적 나노 재료 및 최적 함량을 설정함.

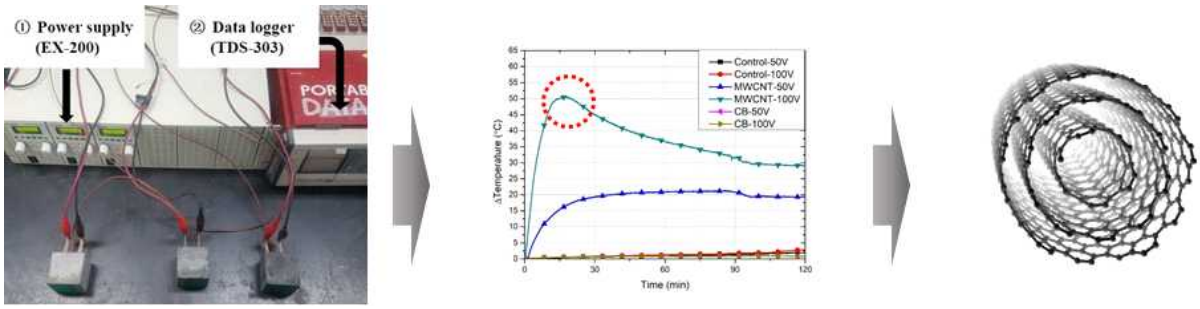


그림 1.3.1 최적 나노 재료 설정 실험 개요

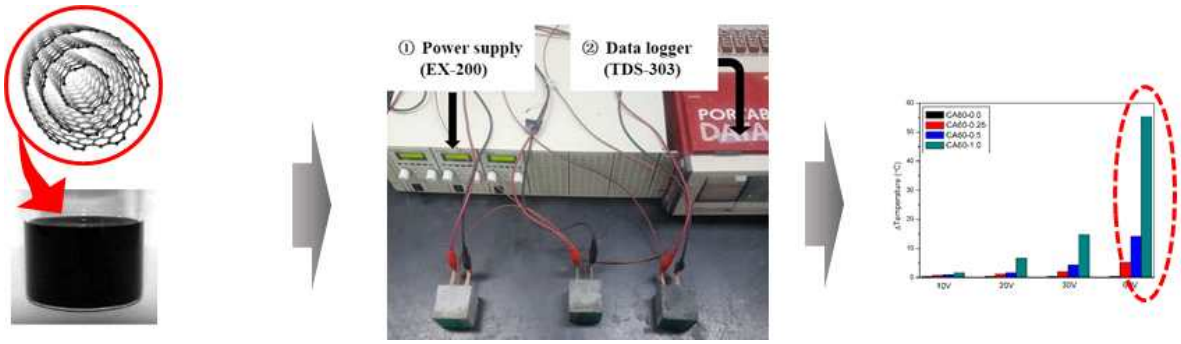


그림 1.3.2 최적 나노 재료 함량 설정 실험 개요

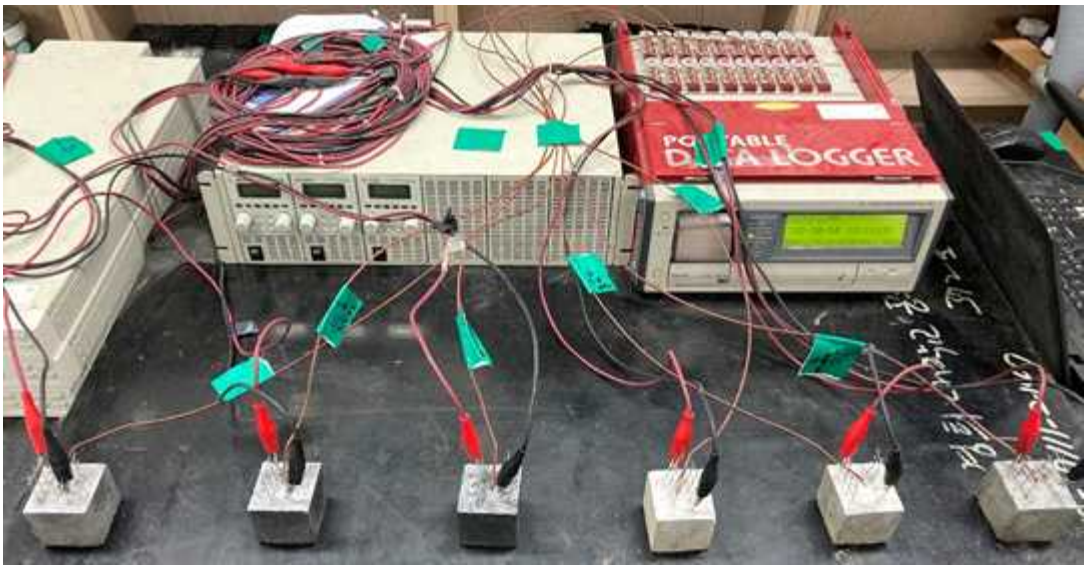


그림 1.3.3 발열 성능 실험 set-up

2. 실험 매개변수

- 각 실험체의 양생일은 7일로 고정함.
- 나노 재료의 종류와 농도를 매개변수로 설정함.
- 나노 재료의 농도는 시멘트 중량대비 0.25wt%, 0.5wt%, 1.0wt%로 설정함. (표 1.3.1)
- 각 실험체의 발열량을 측정하여 최적 나노 재료와 함량을 설정함.

표 1.3.1 발열 성능 실험 매개변수

시편명	나노 재료 함량(wt%)	나노 재료 종류	전압(V)	재령일(일)
Control	0.0	-	60	7
MWS-0.25	0.25	MWCNT		
MWS-0.5	0.5			
MWS-1.0	1.0			
CB-0.25	0.25	Carbon Black		
CB-0.5	0.5			
CB-1.0	1.0			
GNP-0.25	0.25	Graphene Nanoplatelets		
GNP-0.5	0.5			
GNP-1.0	1.0			

3. 연구 결과

- 모든 혼입 농도에서 발열량은 Multi-Walled Carbon Nanotube-시멘트 복합체 > Carbon Black-시멘트 복합체 > Graphene Nanoplatelets-시멘트 복합체 순임.
- 모든 나노 재료-시멘트 복합체는 나노 재료의 혼입 농도가 증가할수록 발열량이 증가함.
- 3가지 나노 재료 중 발열량이 가장 높은 Multi-Walled Carbon Nanotube를 최적 나노 재료로 설정함.
- 제조 가능한 나노 재료 수용액 중 발열량이 가장 높은 1.0 wt%를 나노 재료의 최적 함량으로 설정함. (그림 1.3.4, 표 1.3.2)

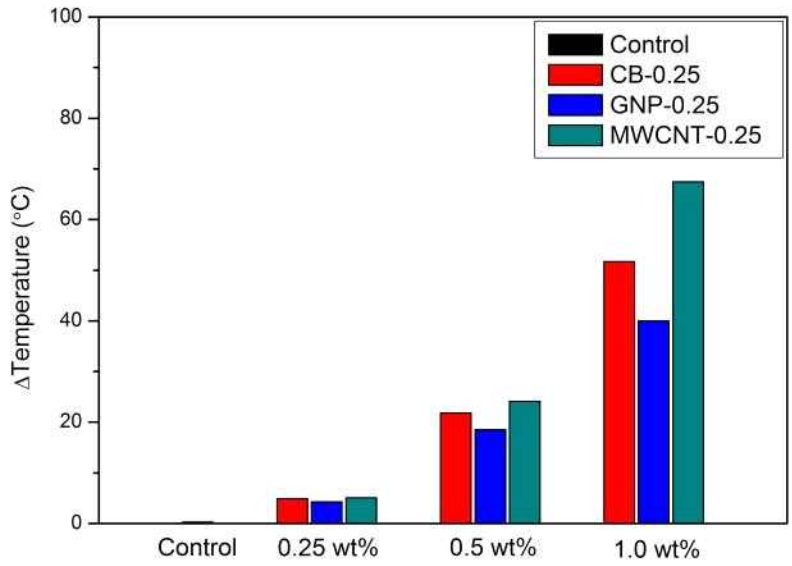
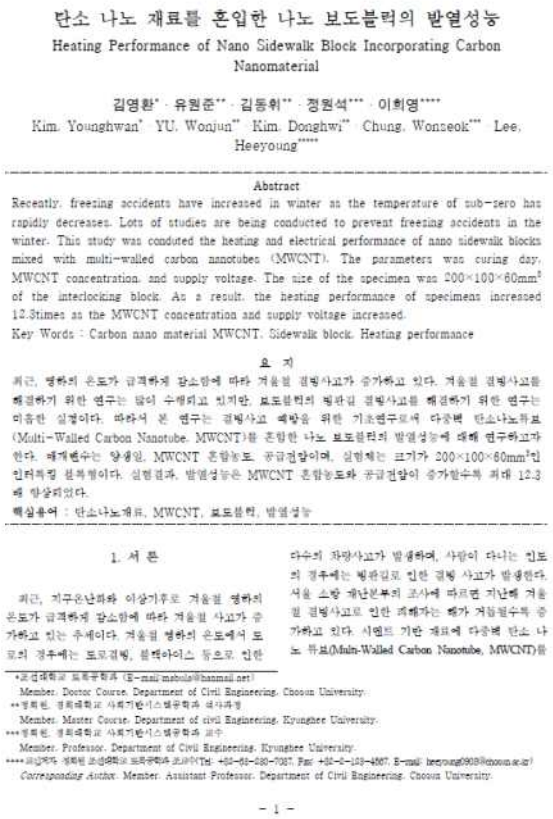


그림 1.3.4 발열 성능 실험 결과

표 1.3.2 발열 성능 실험 결과

나노 재료 종류	△T (℃)		
	0.25 wt%	0.5 wt%	1.0 wt%
Control	0.3		
CB	4.9	21.8	51.7
GNP	4.3	18.5	40.0
MWCNT	5.1	24.1	67.5

4. 추가 증빙 자료



단소 나노 재료를 혼입한 나노 보도블럭의 발열성능

Heating Performance of Nano Sidewalk Block Incorporating Carbon Nanomaterial

김영환* · 유원준** · 김동휘** · 정원석*** · 이희영****
Kim, Younghwan* YU, Wonjun** Kim, Donghwi** Chung, Wonseok*** Lee, Heeyoung****

Abstract

Recently, freezing accidents have increased in winter as the temperature of sub-zero has rapidly decreases. Lots of studies are being conducted to prevent freezing accidents in the winter. This study was conduted the heating and electrical performance of nano sidewalk blocks mixed with multi-walled carbon nanotubes (MWCNT). The parameters was curing day, MWCNT concentration, and supply voltage. The size of the specimen was 200×100×60mm³ of the interlocking block. As a result, the heating performance of specimens increased 12.3times as the MWCNT concentration and supply voltage increased.

Key Words : Carbon nano material MWCNT, Sidewalk block, Heating performance

요 지

최근, 영하의 온도가 급격하게 감소함에 따라 겨울철 결빙사고가 증가하고 있다. 겨울철 결빙사고를 해결하기 위한 연구는 많이 수행되고 있지만, 보도블럭의 빙판길 결빙사고를 해결하기 위한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 결빙사고 예방을 위한 기초연구로서 다중벽 탄소나노튜브(Multi-Walled Carbon Nanotube, MWCNT)를 혼합한 나노 보도블럭의 발열성능에 대해 연구하고자 한다. 매개변수는 양생일, MWCNT 혼합농도, 공급전압이며, 실험체는 크기가 200×100×60mm³인 인터록킹 블록형이다. 실험결과, 발열성능은 MWCNT 혼합농도와 공급전압이 증가할수록 최대 12.3배 향상되었다.

핵심용어 : 탄소나노재료, MWCNT, 보도블럭, 발열성능

1. 서 론

최근, 지구온난화와 이상기후로 겨울철 영하의 온도가 급격하게 감소함에 따라 겨울철 사고가 증가하고 있는 추세이다. 겨울철 영하의 온도에서 도로의 경우에는 도로결빙, 블랙아이스 등으로 인한 다수의 차량사고가 발생하며, 사람이 다니는 인도의 경우에는 빙판길로 인한 결빙 사고가 발생한다. 서울 소방 재난본부의 조사에 따르면 기난해 겨울철 결빙사고로 인한 피해가는 해가 거듭될수록 증가하고 있다. 시멘트 기반 재료에 다중벽 탄소 나노 튜브(Multi-Walled Carbon Nanotube, MWCNT)를

*조선대학교 토목공학과 (E-mail: mabola@hanmail.net)
Member, Doctor Course, Department of Civil Engineering, Chosun University.
**정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 대학원생
Member, Master Course, Department of civil Engineering, Kyunghee University.
***정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 교수
Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kyunghee University.
****교신저자, 정회원 조선대학교 토목공학과 조교수(Tel: +82-62-230-7087, Fax: +82-2-123-4567, E-mail: heeyoung0903@chosun.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Chosun University.

그림 1.3.5 게재 완료된 논문

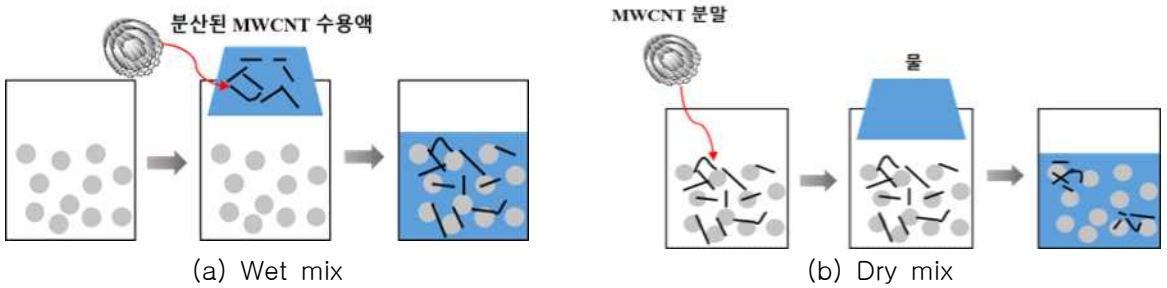
사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	1	나노 발열모듈 콘크리트 재료의 최적 배합기술 개발 및 시공	
단위성과물	1-4	나노소재 콘크리트 혼입을 위한 wet mix 및 dry mix 혼합기술연구	
질적성과지표	①	Dry mix 혹은 Wet mix	
목표치	100%	달성치	5,000%
검증방법	강도 및 온도효율 분석	연구책임기관	경희대학교

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- Wet mix 분산법은 분산된 MWCNT 수용액을 시멘트 복합체에 혼합하는 방법임.
- Dry mix 분산법은 분말 상태의 MWCNT를 시멘트 복합체에 혼합하는 방법임. (그림 1.4.1)
- 발열 모듈을 분산 방법과 MWCNT 함량, 공급 전압을 매개변수로 발열 성능 실험과 압축강도 시험을 수행함.



(a) Wet mix (b) Dry mix

그림 1.4.1 Wet mix 및 Dry mix 개요

2. 실험 매개변수

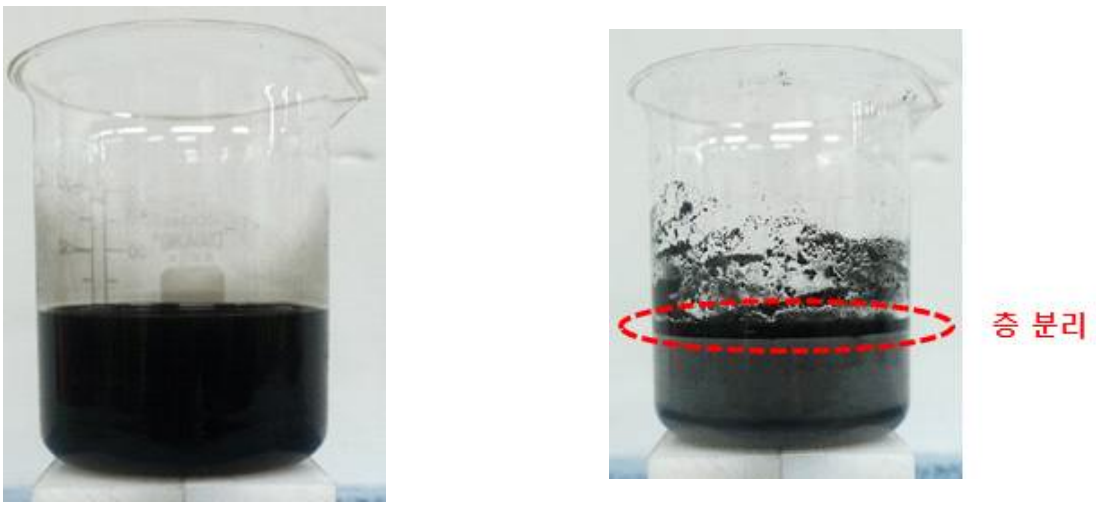
- 분산 방법과 MWCNT의 혼입량을 매개변수로 설정함. (표 1.4.1)
- 각 실험체에 발열 성능 및 압축 강도시험을 수행함.
- 발열 성능 실험은 50V의 전압을 60분 동안 공급하여 수행함.
- 압축강도 시험은 KS F 2405에 근거하여 수행함.
- 각 실험체의 발열량과 압축강도 결과를 비교하여 최적 혼합기술을 도출함.

표 1.4.1 분산 방법 설정 실험 매개변수

수행 실험	시편명	나노 재료 함량(wt%)	분산 방법	전압(V)	재령일(일)
발열 성능	Control	0.0	-	50	28
	W-C0.5	0.5	Wet mix		
	W-C1.0	1.0			
	D-C0.5	0.5	Dry mix		
	D-C1.0	1.0			
압축강도	Control	0.0	-	-	
	MWCNT-W-1.0	1.0	Wet mix		
	MWCNT-D-1.0		Dry mix		

3. 연구 결과

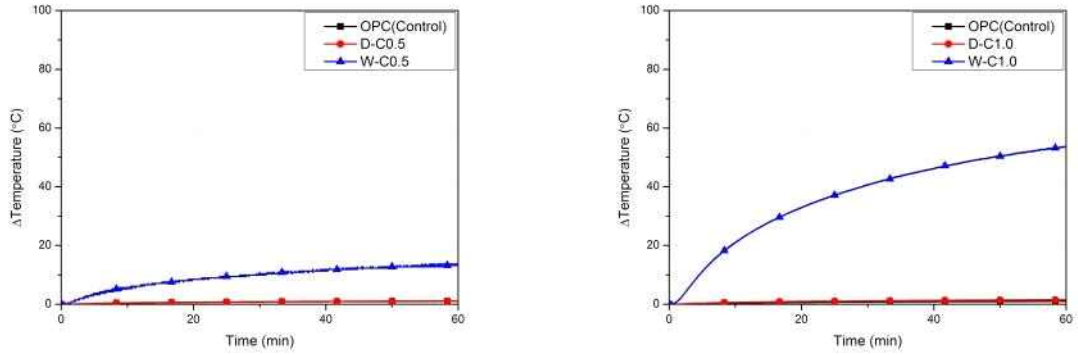
- Wet mix 와 Dry mix에서 MWCNT 입자의 분산성을 확인함.
- Wet mix의 경우 화학적 방법(계면활성제 사용)과 물리적 방법(초음파 처리)를 활용하여 MWCNT의 분산성을 확보함.
- Dry mix의 경우 용해 과정에서 MWCNT 입자가 물과 혼합하게 되면 반데르발스(Van der waals)힘에 의한 응집 현상으로 인해 층분리가 발생함. (그림 1.4.2)
- 응집 현상은 MWCNT의 분산성을 저하시켜 발열 모듈의 성능 저하를 유발함.



(a) Wet mix 분산 결과 (b) Dry mix 분산 결과

그림 1.4.2 분산 방법 별 분산 결과

- Dry mix 방법으로 제작한 실험체는 대조군과 비슷한 수준의 발열량을 나타냄.
- Wet mix 방법으로 제작한 실험체는 발열량이 대조군 대비 약 5,000% 증가함.
- Wet mix 방법이 MWCNT를 효과적으로 분산시켜 발열 성능을 향상시킴. (그림 1.4.3, 표 1.3.2)
- Wet mix 방법으로 제작한 실험체의 압축강도는 대조군 보다 11.6% 증가함.
- Dry mix 방법으로 제작한 실험체의 압축강도는 대조군 보다 5.1% 감소함. (그림 1.4.4 표 1.3.3)
- 강도 및 온도성능 효율에 따라 Wei mix 방법을 가장 적합한 분산 방법으로 설정함.



(a) W-C0.5, D-C0.5 (b) W-C1.0, D-C1.0

그림 1.4.3 분산 방법에 따른 발열 성능 실험 결과

표 1.4.2 분산 방법 설정을 위한 발열 성능 실험 결과

실험체명	△T (℃)	Control 대비 증가량 (%)
Control	1.1	-
W-C0.5	14.2	1,190.9
W-C1.0	55.3	4,927.3
D-C0.5	1.2	9.1
D-C1.0	1.6	45.5

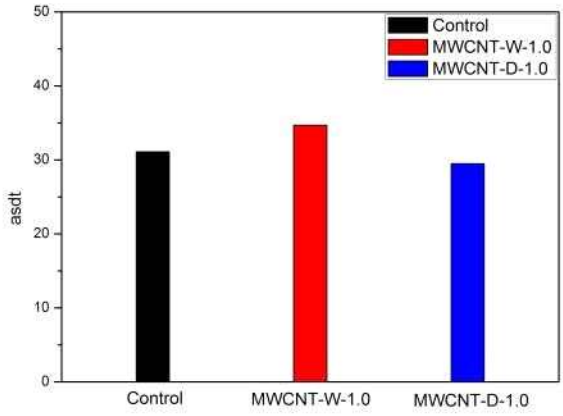


그림 1.4.4 분산 방법에 따른 압축강도 시험 결과

표 1.4.3 분산 방법 설정을 위한 압축강도 시험 결과

실험체명	압축강도 (MPa)	Control 대비 증가량 (%)
Control	31.1	-
MWCNT-W-1.0	34.7	11.6
MWCNT-D-1.0	29.5	-5.1

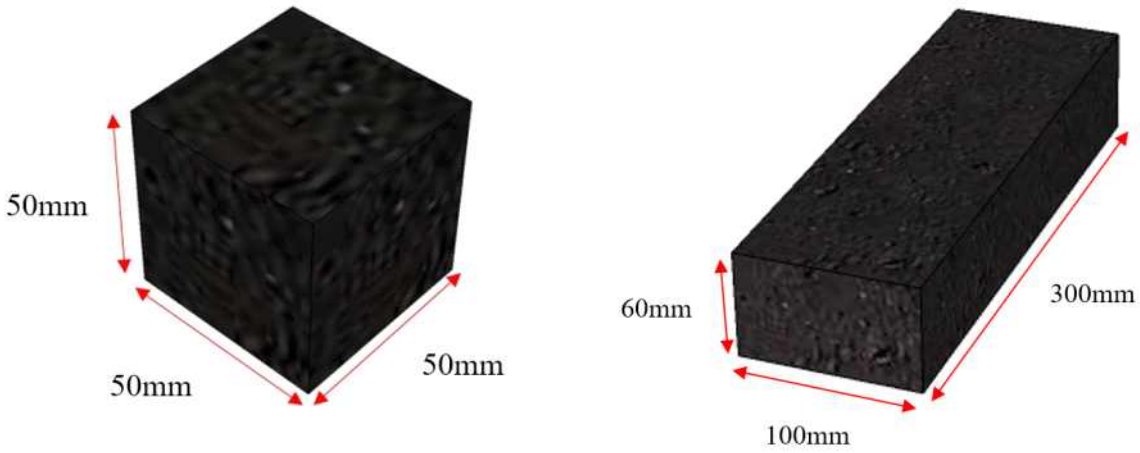
사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	2	나노 발열모듈 콘크리트의 현장 적용 시험 및 발열 성능 분석	
단위성과물	2-1	발열 콘크리트 포장의 나노 모듈 시제품 제작	
질적성과지표	①	최적 모듈 크기 설정	
목표치	1건	달성치	1건
검증방법	모듈 크기에 따른 발열 효율 제시여부	연구책임기관	경희대학교

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 최적 모듈 크기를 설정하여, 모듈 크기에 따른 발열 효율을 제시하기 위함.
- 큐브형과 큐보이드형 모듈을 비교하여 모듈 크기에 따른 발열 효율을 검토함.
- 공급전압에 따른 발열량, mesh 개수에 따른 발열 면적, 실제 시공성 등을 고려하여 발열 효율을 검토함.



큐브형 큐보이드형

그림 2.1.1 큐브형과 큐보이드형의 모식도

2. 실험 매개변수

- 발열체의 크기, 양생일, 공급 전압을 실험 매개변수로 설정함.

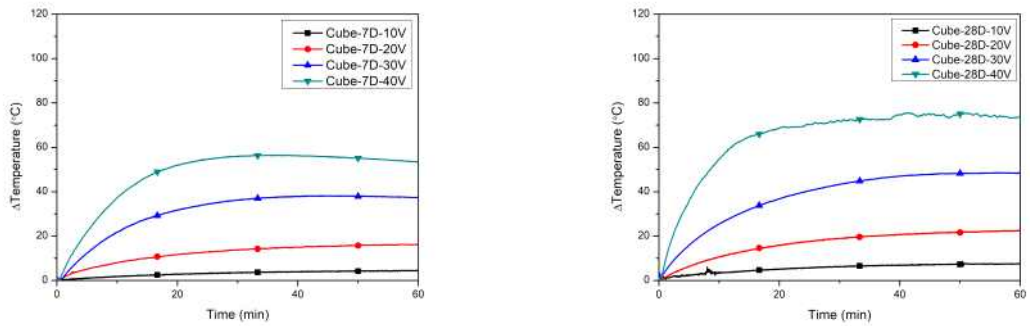
표 2.1.1 매개변수

시편명	시편 종류	양생일 (일)	전압 (V)
Cube-7D-10V	Cube	7	10
Cube-7D-20V			20
Cube-7D-30V			30
Cube-7D-40V			40
Cube-28D-10V		28	10
Cube-28D-20V			20
Cube-28D-30V			30
Cube-28D-40V			40

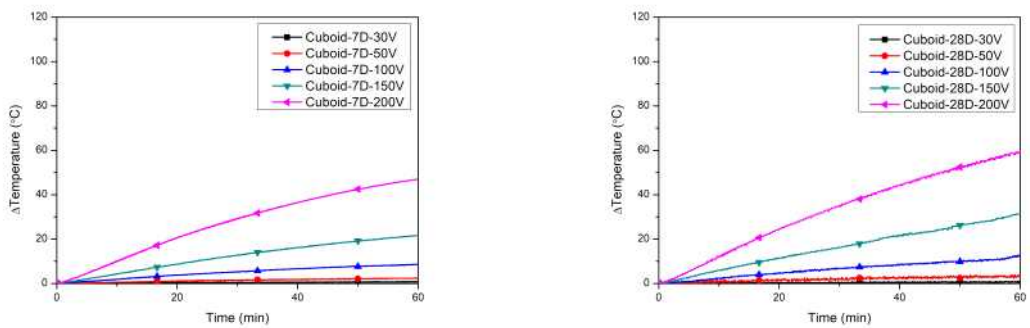
Cuboid-7D-30V	Cuboid	7	30
Cuboid-7D-50V			50
Cuboid-7D-100V			100
Cuboid-7D-150V			150
Cuboid-7D-200V			200
Cuboid-28D-30V		28	30
Cuboid-28D-50V			50
Cuboid-28D-100V			100
Cuboid-28D-150V			150
Cuboid-28D-200V			200

3. 연구 결과

- 큐브형의 최대 발열량은 공급전압이 커질수록 증가함.
- 공급전압이 증가함에 따라 큐브형에서의 온도 상승률은 최대 202%를 기록함(그림 2.1.2 (a)).
- 큐보이드형의 발열 성능은 큐브형과 마찬가지로, 7일 양생한 발열체보다 28일 양생한 발열체의 발열 성능이 더 뛰어남.
- 공급전압에 따른 온도변화량은 큐보이드형에서 최대 282% 상승함.



(a) Cube



(b) Cuboid

그림 2.1.2 시간이력에 따른 발열실험 결과

표 2.1.2. 최적 모듈 크기 설정을 위한 발열 실험 결과

시편명	시편 종류	양생일 (일)	공급전압 (V)	△T (℃)
Cube-7D-10V	Cube	7	10	5.6
Cube-7D-20V			20	16.9
Cube-7D-30V			30	38.2
Cube-7D-40V			40	56.5
Cube-28D-10V		28	10	11.2
Cube-28D-20V			20	24.2
Cube-28D-30V			30	48.6
Cube-28D-40V			40	75.7
Cuboid-7D-30V	Cuboid	7	30	1.2
Cuboid-7D-50V			50	3.2
Cuboid-7D-100V			100	12.3
Cuboid-7D-150V			150	31.9
Cuboid-7D-200V			200	53.6
Cuboid-28D-30V		28	30	1.1
Cuboid-28D-50V			50	3.8
Cuboid-28D-100V			100	12.7
Cuboid-28D-150V			150	32.2
Cuboid-28D-200V			200	59.8

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	2 나노 발열모듈 콘크리트의 현장 적용 시험 및 발열 성능 분석		
단위성과물	2-2 현장적용 나노 모듈 콘크리트 포장의 발열 성능 분석		
질적성과지표	① 현장적용 나노 모듈 발열성능		
목표치	30 ℃ 이상	달성치	44.7 ℃ 이상
검증방법	실험결과 (30℃ 이상 발열 제시여부)	연구책임기관	경희대학교

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 현장에 적용하는 나노 모듈의 발열 성능을 분석하고, 모듈 간격과 공급 전압을 매개변수로 발열성능실험을 수행함.
- HM 실험체의 공급전압은 30 V, 50 V로 각 전압당 1시간씩 공급함.

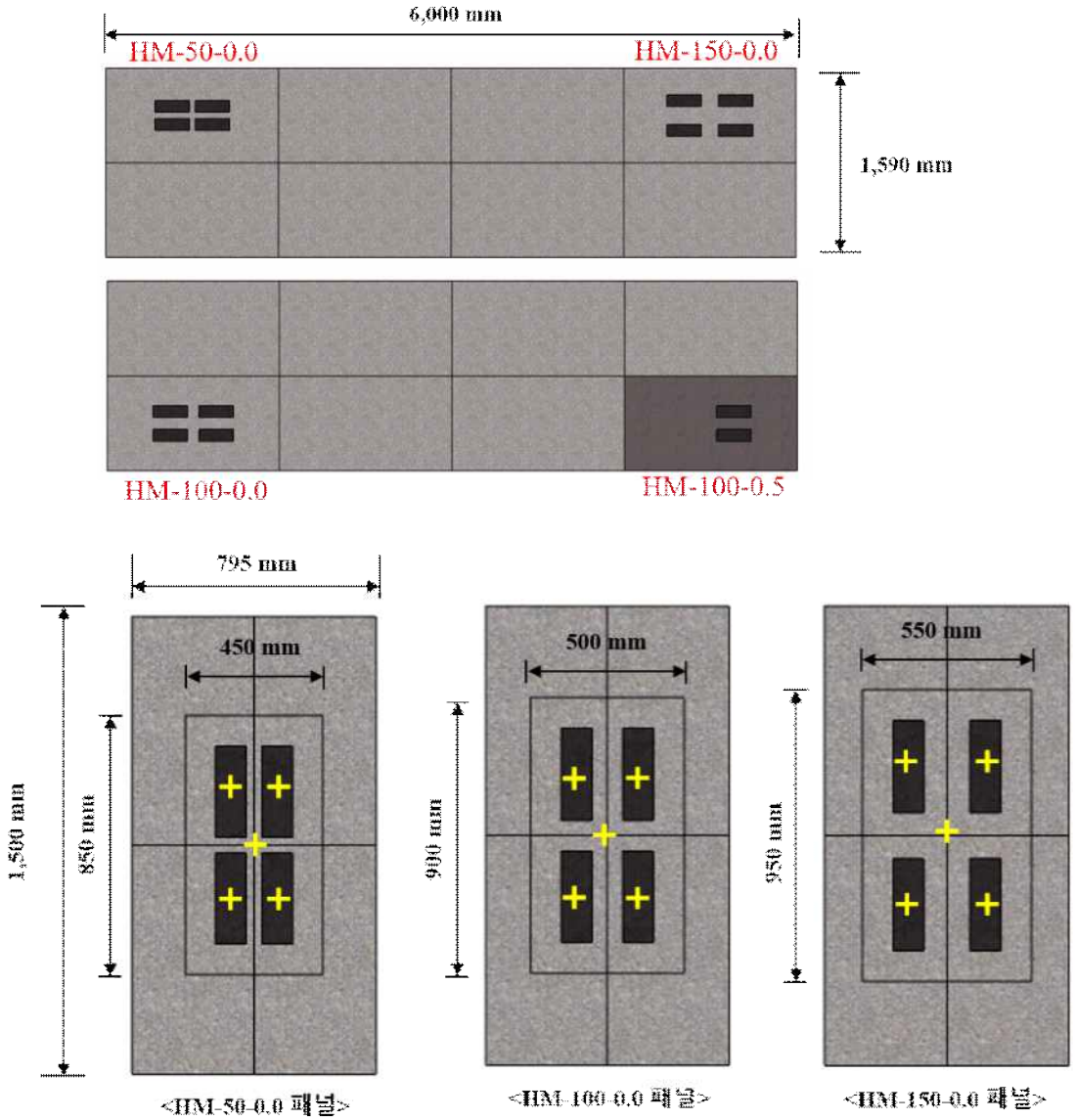


그림 2.2.1 반단면 패널의 모식도

2. 실험 매개변수

- 매개변수는 발열 모듈의 간격, 발열체의 종류로 설정함.

표 2.2.1 매개변수

시편명	간격 (mm)	주변부 MWCNT 혼입농도 (wt%)	발열체의 종류
HM-50-0.0	50	0.0	HM (Heating Module)
HM-100-0.0	100		
HM-150-0.0	150		

3. 연구 결과

- HM-50-0,0은 목표 온도구배 보다 낮은 구배를 보였으나 목표 발열량을 달성하였으며, 균열이 발생하지 않고 발열 성능이 유지됨.
- HM-100-0.0은 HM-50-0.0보다 10분 동안의 온도변화량이 작았고, HM-100-0.5는 온도구배가 가장 높으며 목표 온도구배를 달성함. 또한 HM-150-0.0은 HM-50-0.0, HM-100-0.0보다 온도구배가 감소함.
- 간격이 멀어질수록 모듈에서 발생한 열을 주위에 빼앗기기 쉬워 발열 성능이 감소하는 것으로 분석됨.

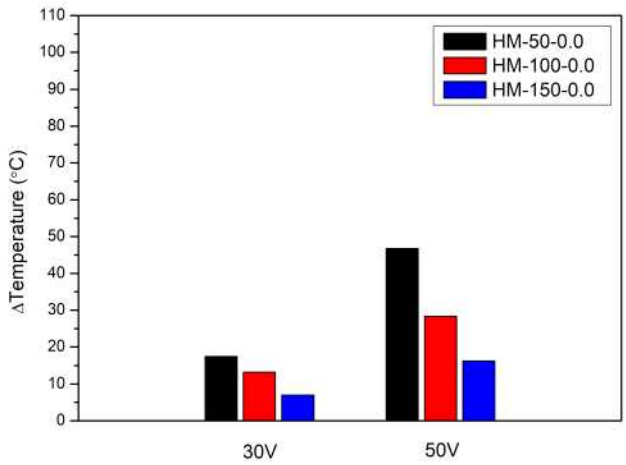
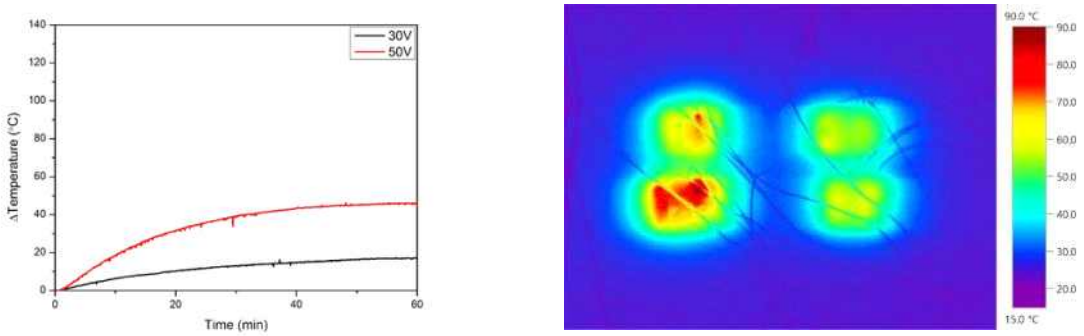
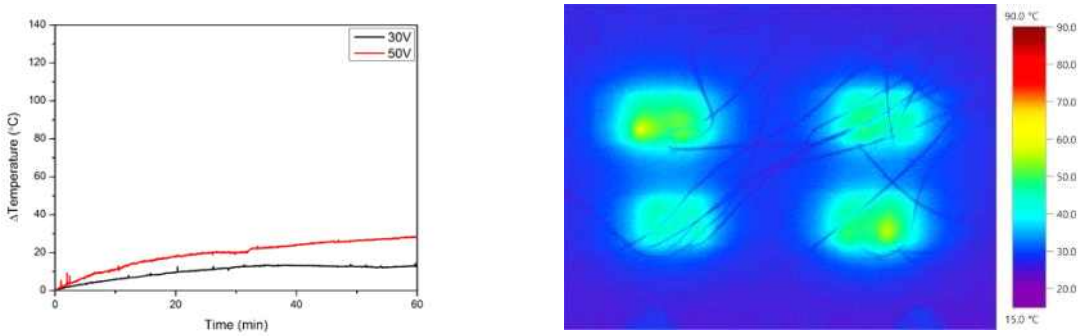


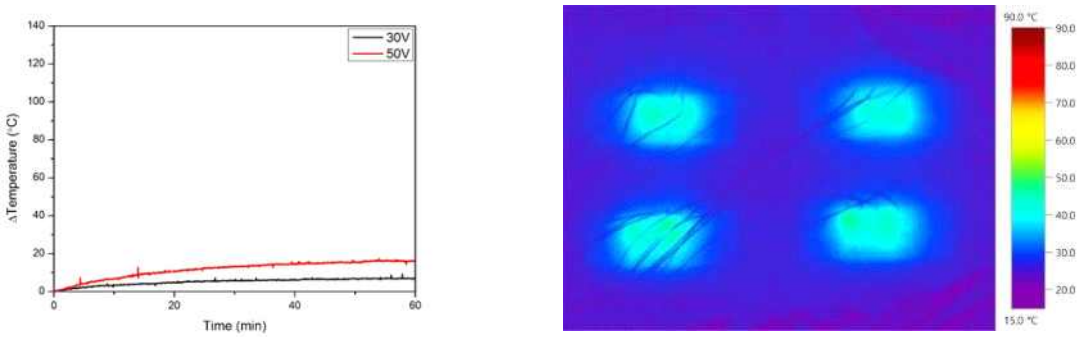
그림 2.2.2 모듈 간격에 따른 발열 성능



(a) HM-50-0.0



(b) HM-100-0.0



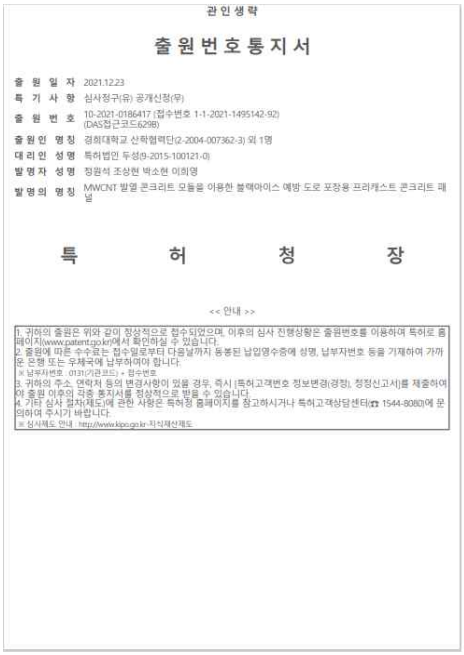
(c) HM-150-0.0

그림 2.2.3 모듈 간격에 따른 패널 발열 성능 분석 결과

표 2.2.2 모듈 간격에 따른 발열 성능 측정 결과

시편명	ΔT/10min		ΔT (℃)	
	30 V	50 V	30 V	50 V
HM-50-0.0	4.8	12.5	13.3	32.3
HM-100-0.0	4.3	10.8	10.7	23.5
HM-150-0.0	3.5	6.2	7.4	15.7

4. 추가 증빙 자료



관인생략

출원번호통지서

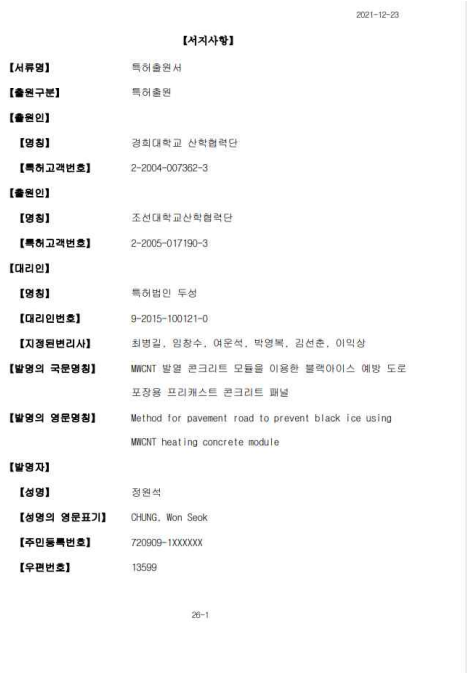
출 원 일 자 2021.12.23
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호 10-2021-0186417 (접수번호 1-1-2021-1495142-92)
(DAS접근코드:629B)
출원인 명칭 경희대학교 산학협력단(2-2004-007362-3) 외 1명
대리인 성명 특허법인 두성(9-2015-100121-0)
발명자 성명 정원석 조상현 박소현 이희영
발명의 명칭 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고객번호 정보변경(경정), 청정신고서)를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

그림 2.2.4 특허 출원번호통지서



2021-12-23

【서지사항】

【서류명】 특허출원서
【출원구분】 특허출원
【출원인】
【명칭】 경희대학교 산학협력단
【특허고객번호】 2-2004-007362-3
【출원인】
【명칭】 조선대학교산학협력단
【특허고객번호】 2-2005-017190-3
【대리인】
【명칭】 특허법인 두성
【대리인번호】 9-2015-100121-0
【지정된변리사】 최병길, 임창수, 여운석, 박영복, 김선준, 이익상
【발명의 국문명칭】 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널
【발명의 영문명칭】 Method for pavement road to prevent black ice using MWCNT heating concrete module
【발명자】
【성명】 정원석
【성명의 영문표기】 CHUNG, Won Seok
【주민등록번호】 720909-1XXXXXX
【우편번호】 13599

26-1

그림 2.2.5 특허출원서

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	2 나노 발열모듈 콘크리트의 현장 적용 시험 및 발열 성능 분석		
단위성과물	2-3 현장적용 나노 모듈 콘크리트 포장의 발열 제어성능 분석		
질적성과지표	① 현장적용 나노 모듈 발열 제어성능		
목표치	10 ℃/10 min 이상	달성치	56.1 ℃/10 min 이상
검증방법	실험결과 (10 ℃/10 min 이상 달성여부)	연구책임기관	경희대학교

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 현장적용 발열모듈 임베디드 콘크리트 포장의 발열온도 제어성능 분석을 위해 발열 실험을 수행하였으며 제어성능을 분석하기 위한 기준은 전압 공급 직후 초기 10분 동안 발열모듈 자체의 온도가 10 ℃ 이상 상승하는지에 대한 여부로 설정함.

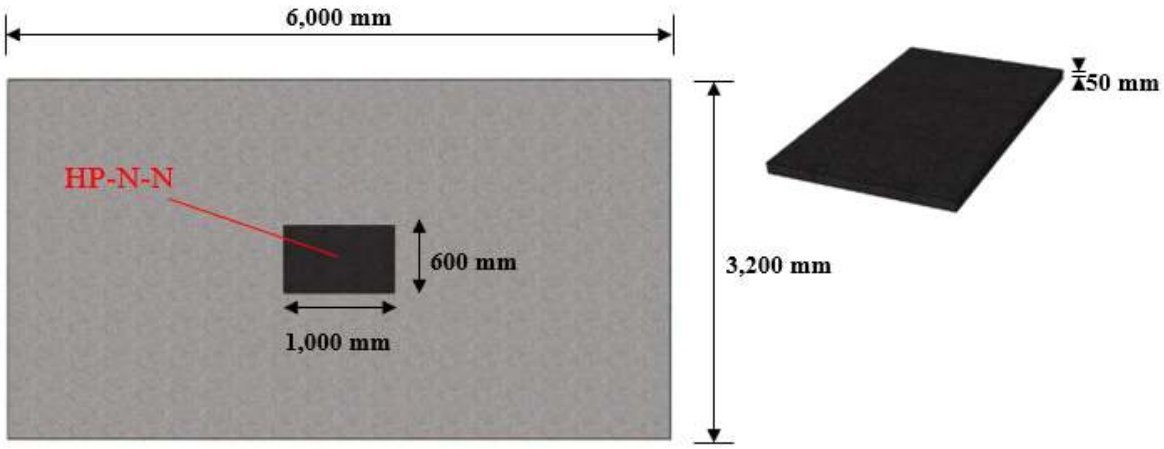


그림 2.3.1 전단면 패널의 모식도

2. 실험 매개변수

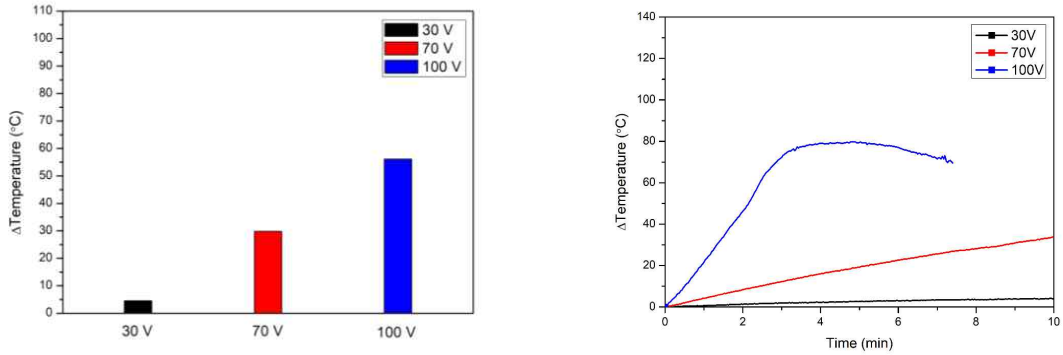
- 매개변수는 공급전압은 30 V, 70 V, 100 V로 설정하였고 각 전압당 약 10분씩 실험을 수행함.

표 2.3.1 매개변수

실험체명	공급전압 (V)	주변부 MWCNT 혼입농도 (wt%)	발열체의 종류
HP-N-N	30	0.0	HP (Heating Panel)
	70		
	100		

3. 연구 결과

- 30 V의 전압을 공급했을 시에는 10분에 상승하는 온도변화량이 2.8 ℃, 70 V의 전압을 공급했을 시에는 10분에 상승하는 온도변화량이 22 ℃, 100 V의 전압을 공급했을 시에는 10분에 상승하는 온도변화량이 56.1 ℃를 기록하여 가파른 상승세를 보임.

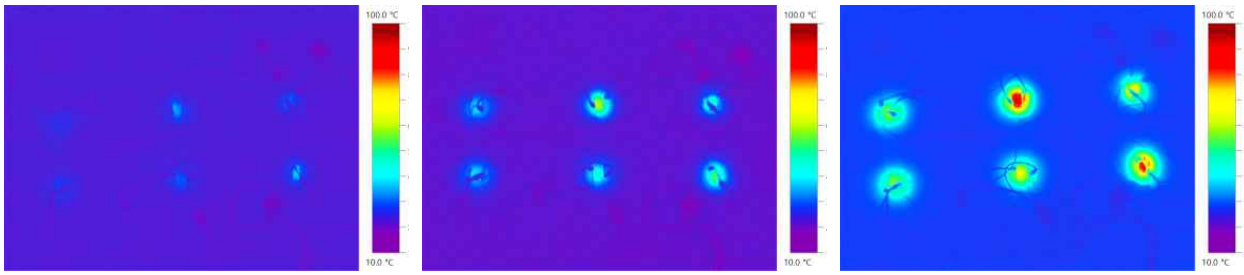


(a) 최대 온도 변화량 (b) 시간이력에 따른 온도 변화량

그림 2.3.2 HP-N-N 실험체 전압별 발열 성능

표 2.3.2 HP-N-N 실험체의 발열 성능 측정 결과

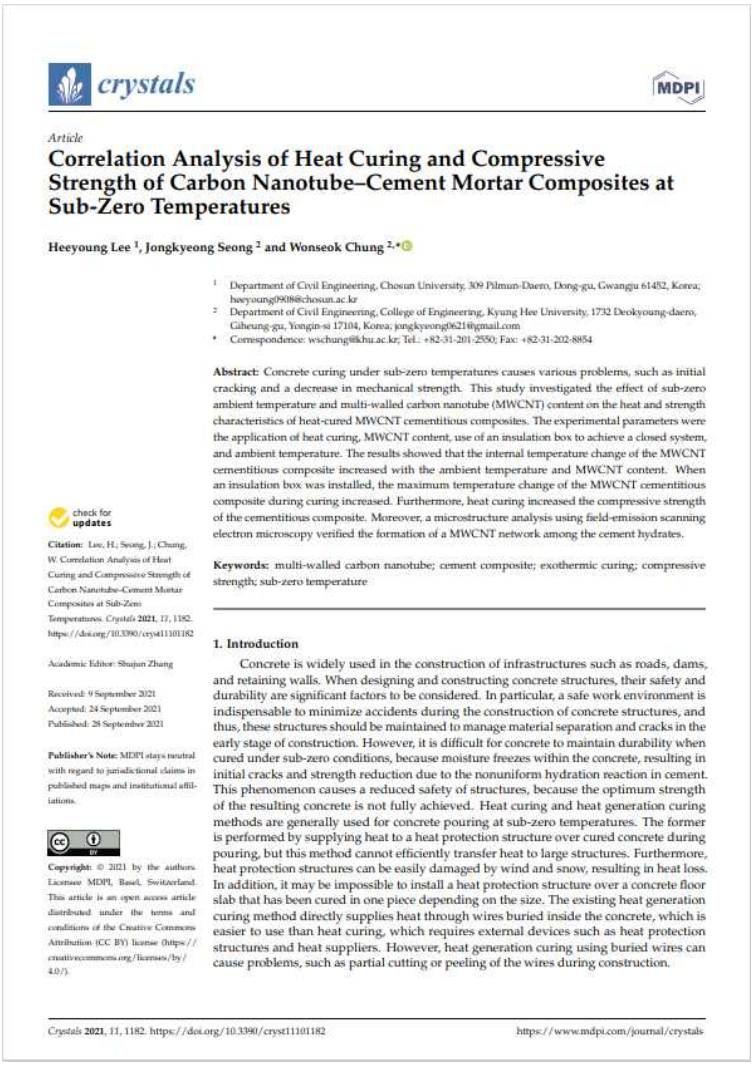
공급전압 (V)	ΔT/10 min	ΔT (℃)
30	2.8	4.6
70	22	29.8
100	56.1	56.1



(a) 30 V (b) 70 V (c) 100 V

그림 2.3.4 HP-N-N 패널의 열화상 사진

4. 추가 증빙 자료



crystals

MDPI

Article

Correlation Analysis of Heat Curing and Compressive Strength of Carbon Nanotube–Cement Mortar Composites at Sub-Zero Temperatures

Heeyoung Lee [1], Jongkyeong Seong [2] and Wonseok Chung [2,*]

[1] Department of Civil Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-Daero, Dong-gu, Gwangju 61452, Korea; heeyoung0908@chosun.ac.kr
[2] Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deokyoung-daero, Giheung-gu, Yongin-si 17104, Korea; jongkyeong0621@gmail.com
* Correspondence: wschung@khu.ac.kr; Tel.: +82-31-201-2550; Fax: +82-31-202-8854

Abstract: Concrete curing under sub-zero temperatures causes various problems, such as initial cracking and a decrease in mechanical strength. This study investigated the effect of sub-zero ambient temperature and multi-walled carbon nanotube (MWCNT) content on the heat and strength characteristics of heat-cured MWCNT cementitious composites. The experimental parameters were the application of heat curing, MWCNT content, use of an insulation box to achieve a closed system, and ambient temperature. The results showed that the internal temperature change of the MWCNT cementitious composite increased with the ambient temperature and MWCNT content. When an insulation box was installed, the maximum temperature change of the MWCNT cementitious composite during curing increased. Furthermore, heat curing increased the compressive strength of the cementitious composite. Moreover, a microstructure analysis using field-emission scanning electron microscopy verified the formation of a MWCNT network among the cement hydrates.

Keywords: multi-walled carbon nanotube; cement composite; exothermic curing; compressive strength; sub-zero temperature

check for updates

Citation: Lee, H.; Seong, J.; Chung, W. Correlation Analysis of Heat Curing and Compressive Strength of Carbon Nanotube–Cement Mortar Composites at Sub-Zero Temperatures. *Crystals* **2021**, *11*, 1182. https://doi.org/10.3390/cryst11101182

Academic Editor: Shujun Zhang

Received: 9 September 2021
Accepted: 24 September 2021
Published: 28 September 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Concrete is widely used in the construction of infrastructures such as roads, dams, and retaining walls. When designing and constructing concrete structures, their safety and durability are significant factors to be considered. In particular, a safe work environment is indispensable to minimize accidents during the construction of concrete structures, and thus, these structures should be maintained to manage material separation and cracks in the early stage of construction. However, it is difficult for concrete to maintain durability when cured under sub-zero conditions, because moisture freezes within the concrete, resulting in initial cracks and strength reduction due to the nonuniform hydration reaction in cement. This phenomenon causes a reduced safety of structures, because the optimum strength of the resulting concrete is not fully achieved. Heat curing and heat generation curing methods are generally used for concrete pouring at sub-zero temperatures. The former is performed by supplying heat to a heat protection structure over cured concrete during pouring, but this method cannot efficiently transfer heat to large structures. Furthermore, heat protection structures can be easily damaged by wind and snow, resulting in heat loss. In addition, it may be impossible to install a heat protection structure over a concrete floor slab that has been cured in one piece depending on the size. The existing heat generation curing method directly supplies heat through wires buried inside the concrete, which is easier to use than heat curing, which requires external devices such as heat protection structures and heat suppliers. However, heat generation curing using buried wires can cause problems, such as partial cutting or peeling of the wires during construction.

그림 2.3.5 게재 완료된 논문

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	2 나노 발열모듈 콘크리트의 현장 적용 시험 및 발열 성능 분석		
단위성과물	2-4 나노 모듈 콘크리트의 공급전압-온도 상관관계 연구		
질적성과지표	① 공급전압-온도 상관관계 분석		
목표치	1건	**달성치**	1건
검증방법	공급전압-온도 상관관계 제시여부	**연구책임기관**	경희대학교

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

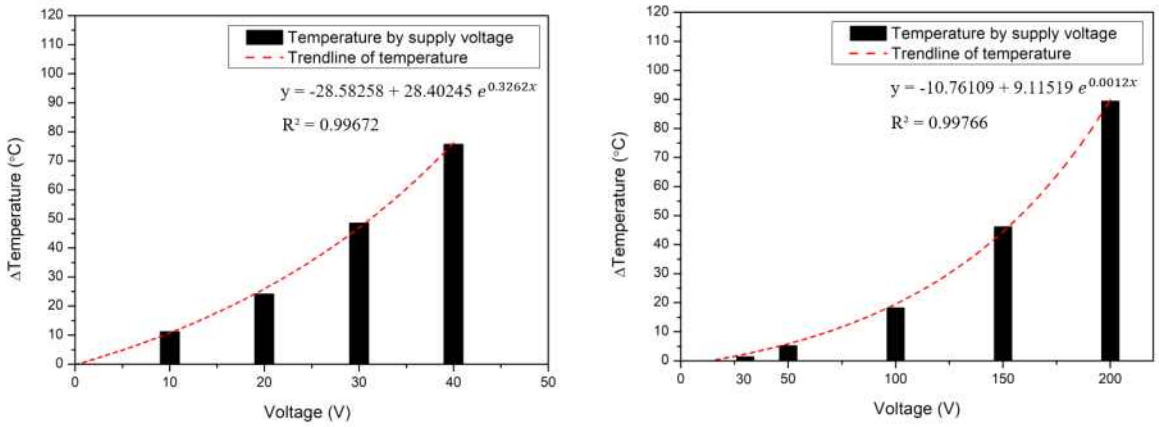
- 제안 모듈에서 공급전압에 따른 온도 변화량을 예측할 수 있을 것으로 판단하여 공급전압
- 발열 온도 간의 상관관계를 분석하여 추세선 형태로 나타냄.

2. 실험 매개변수

- 매개변수는 발열체의 크기, 양생일, 공급 전압으로 설정함.

3. 연구 결과

- 큐브형과 큐보이드형에서 공급한 전압과 발열 온도 간의 상관관계를 분석하여 추세선 형태로 나타냄 (그림 2.4.1).
- 28일 양생 후 발열실험 결과, 두 시편 모두 R^2값이 0.99 이상으로 확인되어 온도변화량과 공급전압 사이의 상관관계를 정립할 수 있는 것으로 분석됨.
- 제안 모듈에서 공급전압에 따른 온도변화량을 예측 가능할 것으로 판단함.



(a) 큐브형 28일 양생 시 공급전압-온도 그래프

(b) 큐보이드형 28일 양생 시 공급전압-온도 그래프

그림 2.4.1 공급전압-온도 간의 상관관계를 나타내는 추세선 그래프

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	3	나노 모듈 발열 콘크리트 개념 설계 및 내부구조 분석	
단위성과물	3-1	항온항습챔버를 활용한 나노 모듈의 발열 성능시험	
질적성과지표	①	시편단위 항온항습챔버 나노 모듈 발열성능	
목표치	40 ℃ 이상	달성치	53.2 ℃
검증방법	실험결과(40℃ 이상 발열) 제시여부	연구책임기관	조선대학교

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 나노 발열 모듈은 MWCNT를 시멘트 중량 대비 1.0wt% 혼입하여 50×50×50 mm^3 의 크기로 제작함.
- 항온항습챔버를 활용하여 외기온도를 매개변수로 나노 발열 모듈의 91일 발열 성능시험을 수행함. (표 3.1.1)
- 항온항습챔버의 외기온도는 0℃, -10℃, -20℃로 설정함.
- 50 V의 전압을 4시간 동안 공급함.

2. 실험 매개변수

- 발열 모듈의 종류와 외기온도를 매개변수로 설정함 (표 3.1.1).
- 발열 성능 실험을 수행하여 블랙 아이스 방지 효과가 있을 것인지 분석함.

표 3.1.1 항온항습챔버 발열 성능 실험 매개변수

시편명	나노 재료 함량(wt%)	외기 온도(℃)	전압(V)	재령일(일)
Control-0	0.0	0	50	91
Control-10		-10		
Control-20		-20		
MW1.0-0	1.0	0		
MW1.0-10		-10		
MW1.0-20		-20		

3. 연구 결과

- 나노 발열 모듈의 발열 성능은 외기온도가 낮아짐에 따라 감소함. (그림 3.1.1)
- 대조군(Control)의 경우 발열량이 거의 없는 것으로 분석됨.
- 나노 발열 모듈의 경우 외기온도가 0℃, -10℃, -20℃ 일 때 발열량은 각각 53.2℃, 30.0℃, 20.1℃ 로 블랙아이스 방지 효과가 있을 것으로 판단됨. (표 3.1.2)

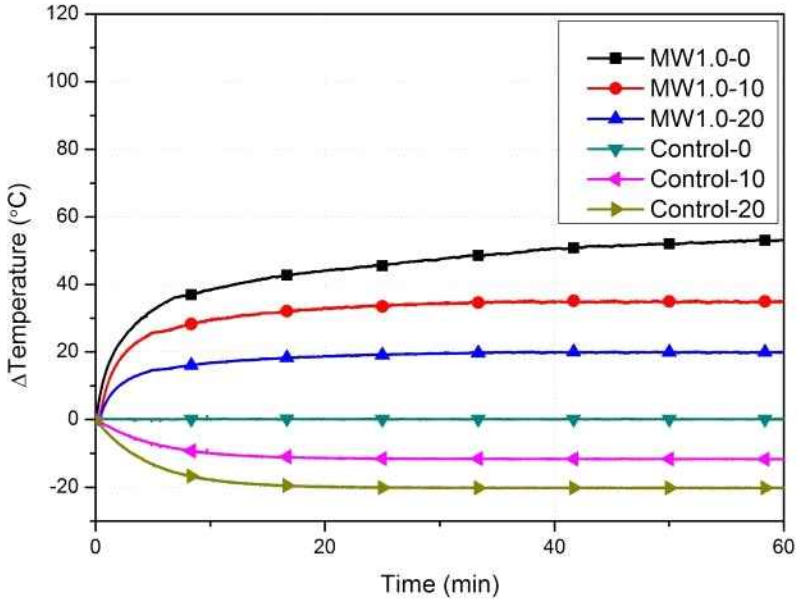


그림 3.1.1 항온항습챔버 발열 성능 실험 결과

표 3.1.2 항온항습챔버 발열 성능 실험 결과

실험체명	△T (℃)
Control-0	0.1
Control-10	-11.7
Control-20	-20.3
MW1.0-0	53.2
MW1.0-10	30.0
MW1.0-20	20.1

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	3	나노 모듈러 발열 콘크리트 개념 설계 및 내부구조 분석	
단위성과물	3-2	콘크리트 균열 방지를 위한 발열모듈의 온도구배 제어 연구	
질적성과지표	①	시편단위 나노 모듈 온도구배 제어	
목표치	30 ℃/10 min	달성치	54.8 ℃/10 min
검증방법	30℃/10 min 달성여부	연구책임기관	조선대학교

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 공급전압과 나노 소재의 혼입 농도를 매개변수로 나노 발열 모듈의 발열 성능 실험을 통해 시간에 따른 온도변화량을 측정함.
- 시간-발열량 그래프를 통해 10분에 30 ℃이상 발열이 가능한 공급전압 및 나노재료 혼입 농도를 설정함.

2. 실험 매개변수

- 발열 모듈의 공급전압과 나노재료의 혼입 농도를 매개변수로 설정함. (표 3.2.1)
- 실험 결과를 토대로 30 ℃/10 min을 달성 가능한 공급전압과 나노재료의 혼입 농도를 설정함.

표 3.2.1 공급전압에 따른 발열 성능 실험 매개변수

시편명	나노 재료 함량 (wt%)	전압 (V)	재령일 (일)
Control	0.0	10, 20, 30, 60	7
MW-0.5	0.5		
MW-1.0	1.0		

3. 연구 결과

- 대조군(Control)의 경우 발열량이 거의 없는 것으로 분석됨.
- MWCNT의 혼입 농도가 1.0wt% 이고, 공급전압이 60 V인 경우 30 ℃/10 min을 달성함. (그림 3.2.1, 표 3.2.2)
- MW-1.0 실험체에 60 V의 공급전압을 가할 경우 온도의 하강이 없어 균열이 발생하지 않음.

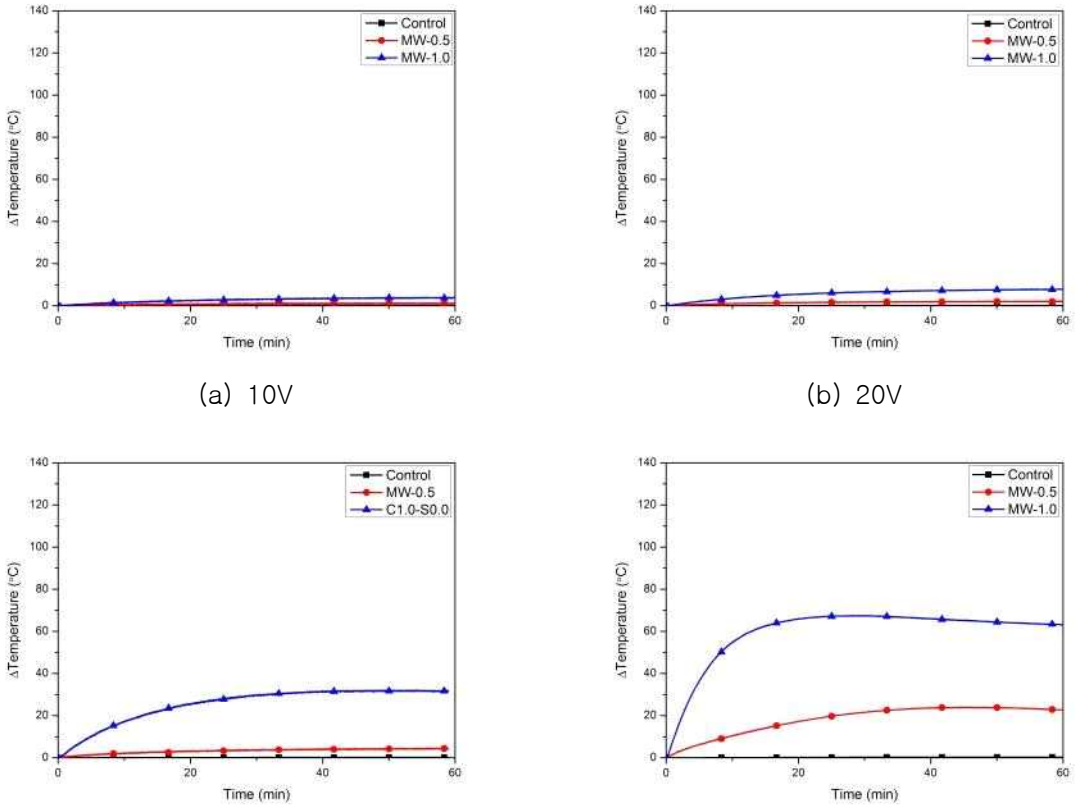


그림 3.2.1 공급전압 별 발열 성능 실험 결과

표 3.2.2 공급전압 별 발열 성능 실험 결과

실험체명	△T (℃/min)			
	10 V	20 V	30 V	60 V
Control	0.0	0.0	0.1	0.1
MW-0.5	0.5	0.9	2.2	10.4
MW-1.0	1.7	3.5	17.0	54.8

[증빙3-3-①]

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	3	나노 모듈러 발열 콘크리트 개념 설계 및 내부구조 분석	
단위성과물	3-3	미세조직/공극구조 분석	
질적성과지표	①	기공률	
목표치	30%	달성치	15.07%
검증방법	기공률 30% 달성여부	연구책임기관	조선대학교

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 나노 발열 모듈의 미세조직 분석을 위해 발열 성능 실험 후 실험체의 파편을 시료로 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope, 전계 방출형 주사 현미경) 촬영을 수행함 (그림 3.3.1).
- XRD (X-ray Diffraction, X 선 회절 분석법)은 입사각(θ)과 반사각(θ)을 고려하여 X선이 회절되는 정도를 분석하는 방법이며 나노 발열 모듈의 구성성분을 분석하기 위해 수행함 (그림 3.3.2).
- 일반 시멘트 모르타르와 나노 발열 모듈의 구성성분을 분석하여 MWCNT의 혼입이 시멘트 모르타르의 수화반응 중에 발생하는 수화생성물에 영향을 끼치는지 분석함.
- TGA(Thermogravimetric analysis, 열중량 분석)는 가열 중에 재료 안에 일어나는 무게 변화를 측정하는 분석이며 나노 발열 모듈의 미세조직 분석을 위해 TGA분석을 수행함 (그림 3.3.3).
- 일반 시멘트 모르타르와 나노 발열 모듈의 열 중량 차이를 분석하여 MWCNT의 열분해 온도를 측정함.
- 기공률은 측정하기 위해 MIP (Mercury Intrusion Porosimetry, 수은압입법)을 통하여 측정을 수행함 (그림 3.3.4).

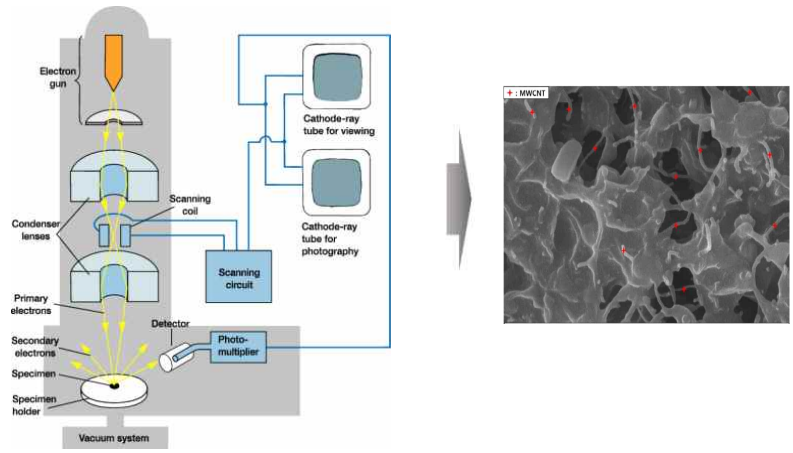


그림 3.3.1 FE-SEM 분석 방법

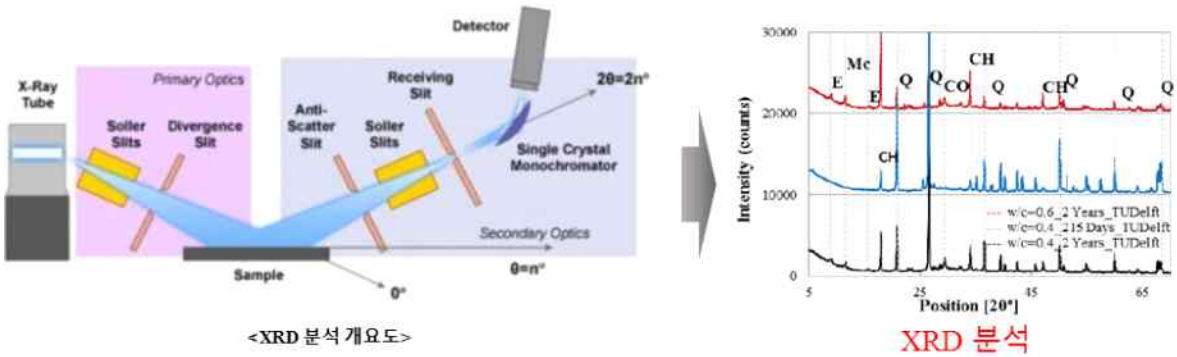
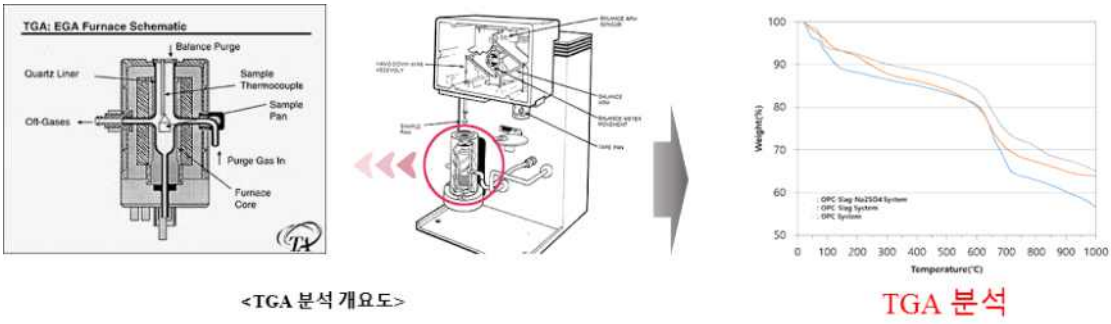


그림 3.3.1 XRD 분석 방법



<TGA 분석 개요도>

TGA 분석

그림 3.3.2 TGA 분석 방법

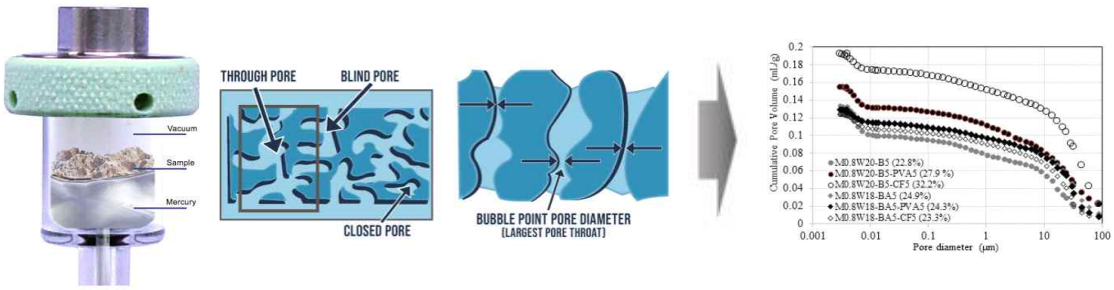


그림 1.3.4 MIP 분석 방법

2. 실험 매개변수

- MWCNT의 혼입 농도를 매개변수로 기공률 측정을 수행함. (표 3.3.1)

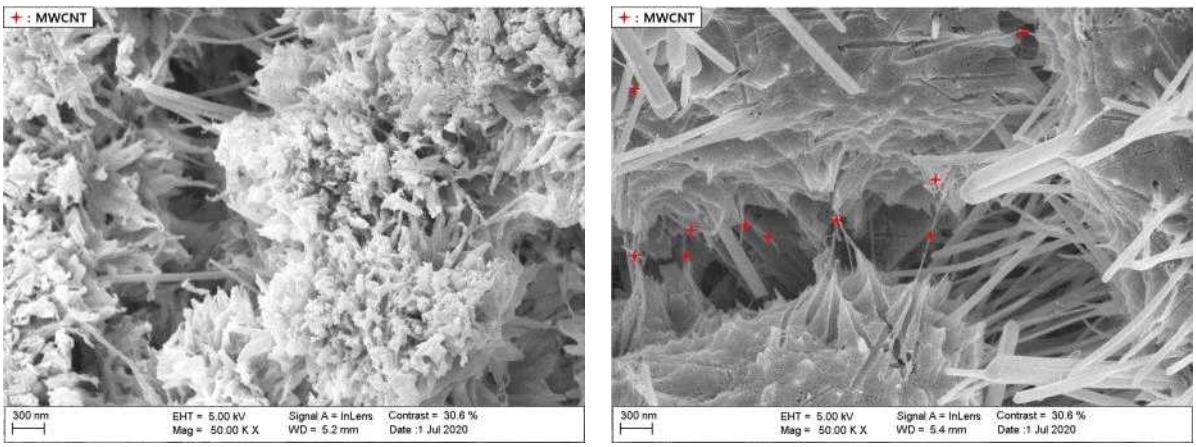
표 3.3.1 기공률 측정 실험 매개변수

시편명	나노 재료 함량(wt%)	재령일(일)
Control	0.0	28
MW-0.5	0.5	
MW-1.0	1.0	

3. 연구 결과

- FE-SEM 분석을 통해 일반 시멘트 모르타르와 달리 MWCNT가 혼입된 시멘트 모르타르는 수화물 사이에 MWCNT 네트워크가 형성된 것을 확인함. (그림 3.3.3)
- XRD 분석 결과 MWCNT의 경우 2è=26°~27° 에서 관찰되었음. (그림 3.3.4)
- 일반 시멘트 모르타르와 MWCNT-시멘트 복합체의 XRD 비교· 분석 결과 수화 반응이 동일하게 나타남.
- TGA 분석 결과 400~450 ℃ 에서는 수산화칼슘이, 550~700 ℃ 에서는 MWCNT가, 750~850 ℃ 에서는 탄산칼슘이 열 분해됨.

- 기공률 측정 결과 MWCNT를 0.5wt% 혼입한 실험체의 기공률 감소효과가 가장 우수하였음. (그림 3.3.6, 표 3.3.2)



(a) 일반 시멘트 모르타르 (b) MWCNT 혼입 시멘트 모르타르

그림 3.3.3 FE-SEM 촬영 결과

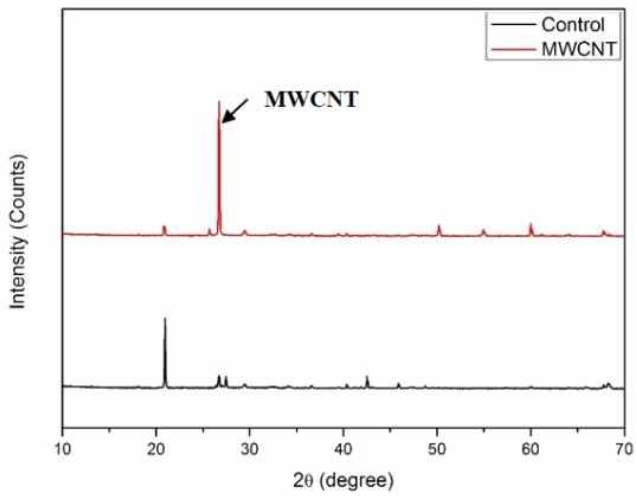


그림 3.3.4 XRD 분석 결과

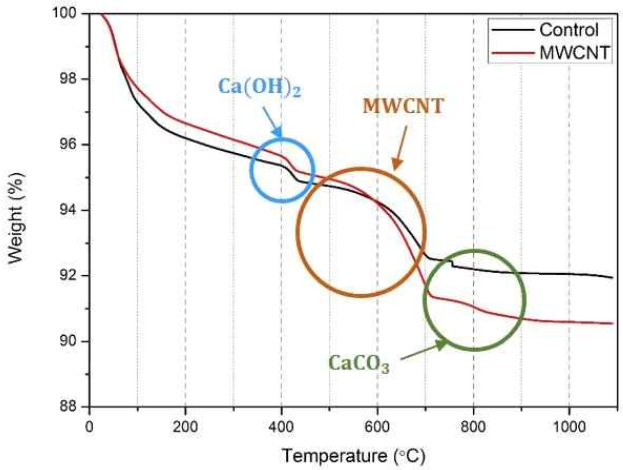


그림 3.3.5 TGA 분석 결과

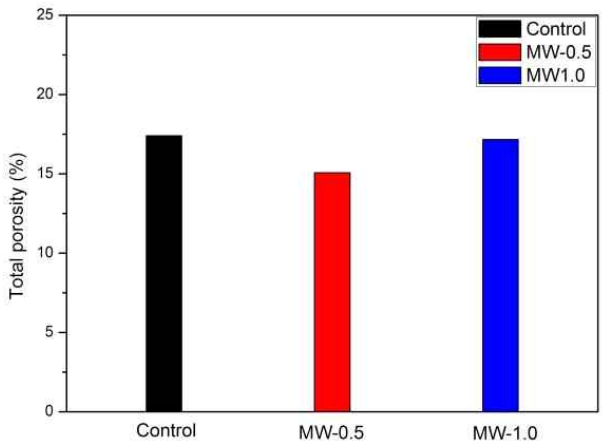


그림 3.3.6 기공률 측정 결과

표 3.3.2 기공률 측정 결과

시편명	기공률 (%)	Control 대비 감소율 (%)
Control	17.40	-
MW-0.5	15.07	13.36
MW-1.0	17.16	1.43

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	4	임베디드 발열모듈의 최적화 연구	
단위성과물	4-1	최적 발열 효율을 위한 전극 재료 및 모듈 위치 연구	
질적성과지표	①	최적 모듈 위치	
목표치	1건	달성치	1건
검증방법	모듈 위치에따른 발열 효율 제시여부	연구책임기관	조선대학교

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 임베디드 발열모듈의 최적 발열 효율을 위한 전극 재료를 연구를 위해 발열 실험에 사용할 전극 재료를 설정함.
- 전극 재료의 종류는 Stainless Steel Mesh와 Copper Plate를 이용한 비교 발열 실험으로 수행함.
- 시편은 MWCNT 농도 0.125wt%를 혼입하여 정육면체 형태의 큐브형 (50×50×50 mm^3)으로 제작하였고, 양생일은 7일로 설정함.

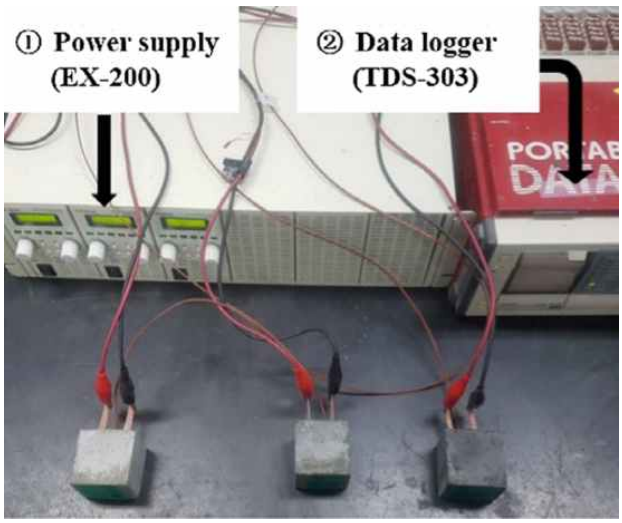


그림 4.1.1 전극 재료에 따른 실험 셋업

- 임베디드 발열모듈을 제작 시 최적화된 모듈 위치를 설정하기 위한 연구를 수행함.
- 양생일은 7일로 통일하였고 60 V의 전압을 60분 동안 공급하여 발열량을 확인함.
- 최저 발열 지점으로 예상되는 중앙값 데이터를 이용하여 기준치 온도와 비교함.
- 발열 실험을 통해 측정된 온도를 분석하여 거리-온도 경향성을 파악하였고, 주변부 콘크리트의 발열 성능 기준치를 만족하는 모듈 간의 최적 간격을 산정함.

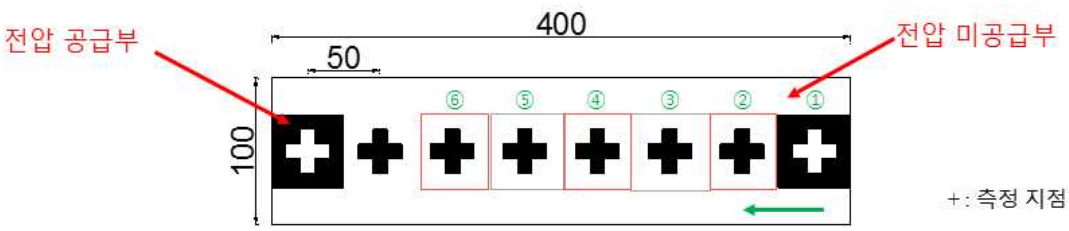


그림 4.1.2 최적 간격 실험 모식도

2. 실험 매개변수

- 최적간격 설정 실험의 경우, 주변부 콘크리트에 혼입하는 MWCNT 농도과 모듈 중심부 사이 간격을 매개변수로 설정함.

3. 연구 결과

- 최적 발열 효율을 위한 최적 모듈 위치는 간격을 조정해가며 연구를 수행하였고 이를 통해 모듈 중심부 사이 간격에 따른 온도변화를 나타내는 추세선을 그릴 수 있었음.
- R^2 값이 0.99401로, 1에 가까울수록 그래프의 오차가 작고 신뢰도가 높은 것을 뜻하므로, 본 실험의 경우 신뢰도가 높은 것으로 분석됨.
- 연구 달성 목표에 따라, 추세선 그래프를 기준으로 모듈 사이의 간격을 150 mm 이하로 배치해야 목표 달성이 가능한 간격일 것으로 판단함.

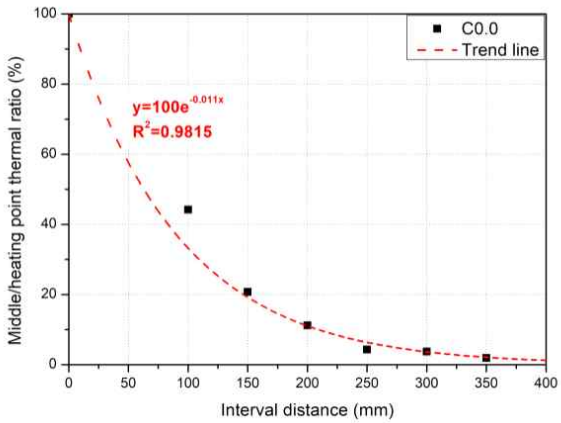


그림 4.1.3 모듈 사이 거리에 따른 발열 중심부로부터의 열 전달율과 추세선 그래프 (농도 0.0wt%)

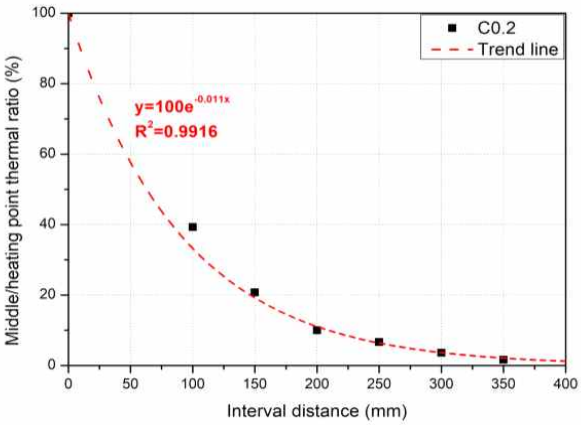
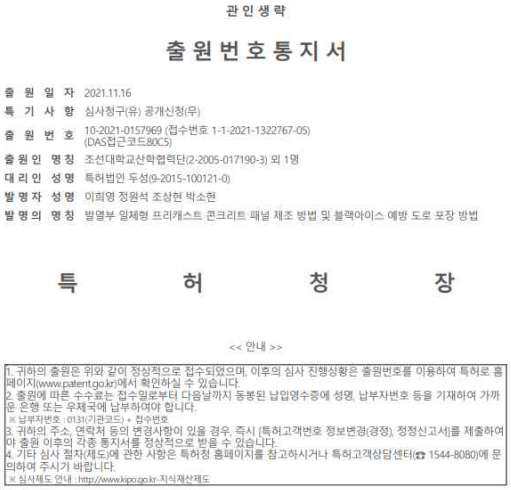


그림 4.1.4 모듈 사이 거리에 따른 발열 중심부로부터의 열 전달율과 추세선 그래프 (농도 0.2wt%)

4. 추가 증빙 자료



관인생략

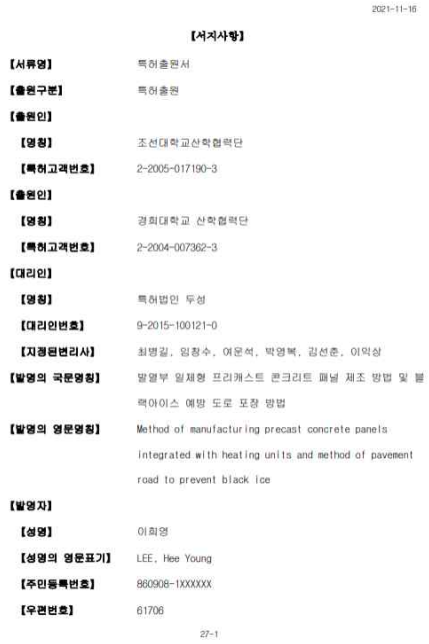
출원번호통지서

출 원 일 자 2021.11.16
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호 10-2021-0157969 (접수번호 1-1-2021-1322767-05)
(DAS접근코드80C5)
출원인 명칭 조선대학교산학협력단(2-2005-017190-3) 외 1명
대리인 성명 특허법인 두성(9-2015-100121-0)
발명자 성명 이희영 정원석 조상현 박소현
발명의 명칭 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서)를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도



2021-11-16

【서지사항】

【서류명】 특허출원서
【출원구분】 특허출원
【출원인】
【명칭】 조선대학교산학협력단
【특허고객번호】 2-2005-017190-3
【출원인】
【명칭】 경희대학교 산학협력단
【특허고객번호】 2-2004-007362-3
【대리인】
【명칭】 특허법인 두성
【대리인번호】 9-2015-100121-0
【지정된변리사】 최병길, 임창수, 여문석, 박영복, 김선준, 이익상
【발명의 국문명칭】 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법
【발명의 영문명칭】 Method of manufacturing precast concrete panels integrated with heating units and method of pavement road to prevent black ice
【발명자】
【성명】 이희영
【성명의 영문표기】 LEE, Hee Young
【주민등록번호】 860908-1XXXXXX
【우편번호】 61706

27-1

그림 4.1.5 특허 출원번호통지서

그림 4.1.6 특허출원서

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	4	임베디드 발열모듈의 최적화 연구	
단위성과물	4-2	기후조건을 반영한 최적 나노 모듈 방안 (재료, 농도, 공급전압) 제시	
질적성과지표	①	최적 나노 모듈 방안	
목표치	1건	달성치	1건
검증방법	기후조건을 반영한 재료, 농도, 공급전압에 따른 발열효율 제시여부	연구책임기관	조선대학교

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 일반 기후조건에서는 공급전압을 30 V와 50 V로 선정하여 실험을 수행함 (그림 4.2.1). 발열 성능 분석은 주변부 콘크리트의 MWCNT를 혼입 여부에 따라 비교 분석함.
- 일반 기후조건에서는 상온에서 현장 실험이 수행되었기에, 영하에서의 실제 적용성을 확인하기 위해 극한 기후조건을 고려한 실험을 수행함.
- 극한 기후조건에서는 항온항습챔버에 시편을 설치하여 극한 기후 상황에서 발열 양생 시 일반 시멘트 모르타르 및 CNT 시멘트 복합체의 내부 온도를 파악함.



그림 4.2.1 일반 기후조건 실험을 위한 패널 모식도

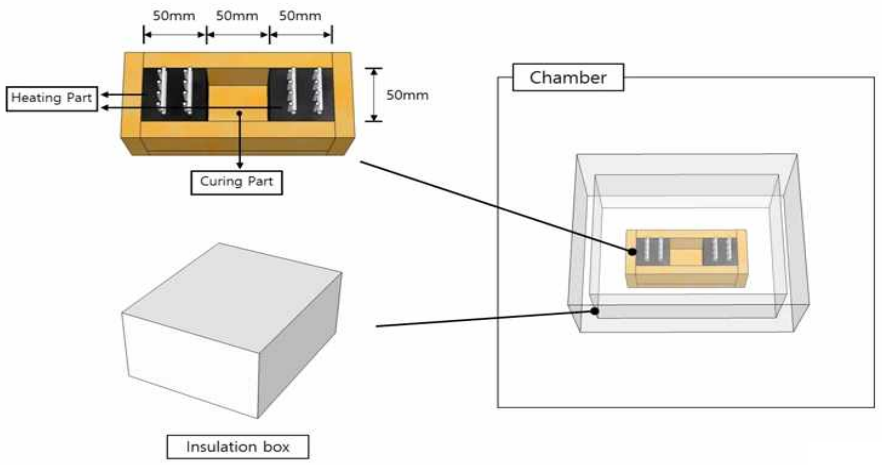


그림 4.2.2 극한 기후조건 실험을 위한 챔버를 이용한 기후조건에 따른 실험 셋업

2. 실험 매개변수

- 일반 기후조건의 매개변수는 발열모듈 주변부 콘크리트의 MWCNT 혼입농도, 공급전압으로 설정함 (표 2.2.1).
- 극한 기후조건의 매개변수는 타설부의 MWCNT 혼입 농도와 챔버의 온도로 설정함 (표 4.2.1).

표 2.2.1 매개변수

실험체명	간격 (mm)	공급전압 (V)	주변부 MWCNT 혼입농도 (wt%)	발열체의 종류
HM-100-0.0	100	30, 50	0.0	HM (Heating Module)
HM-100-0.5			0.5	

표 4.2.1 극한 기후조건 실험 매개변수

시편명	나노 재료 함량 (wt%)	온도 (℃)	양생일 (일)
Heating part-0	0.0	0, -20	91
Curing part-OPC-0			
Curing part-MW-0.1-0	0.1		
Curing part-MW-1.0-0	1.0		

3. 연구 결과

- 극한 기후조건에서는 타설부시멘트 복합체의 내부 온도 변화량이 발열부시멘트 복합체의 발열량과 외기온도의 영향을 받기 때문에 외기온도가 낮아짐에 따라 절대적인 발열 온도가 감소함.
- 타설부시멘트 복합체에 전해지는 열의 온도가 감소하였고, 온도가 감소함에 따라 시멘트 복합체의 내부 온도 변화량도 감소함.
- 재료는 MWCNT 혼입 여부에 따라 구분하였고, 실험결과 MWCNT 혼입 시 발열 성능이 향상됨.
- 농도는 Curing Part에 혼입하는 MWCNT 농도를 0.1wt%과 1.0wt%으로 구분하여 수행하였고, 1.0wt%를 혼입한 시편이 더 우수한 발열 성능을 보임.
- 극한 기후조건에서는 나노 재료를 사용하되 농도가 1.0wt%인 MWCNT를 혼입 시 효력이 발생하는 것을 확인함.

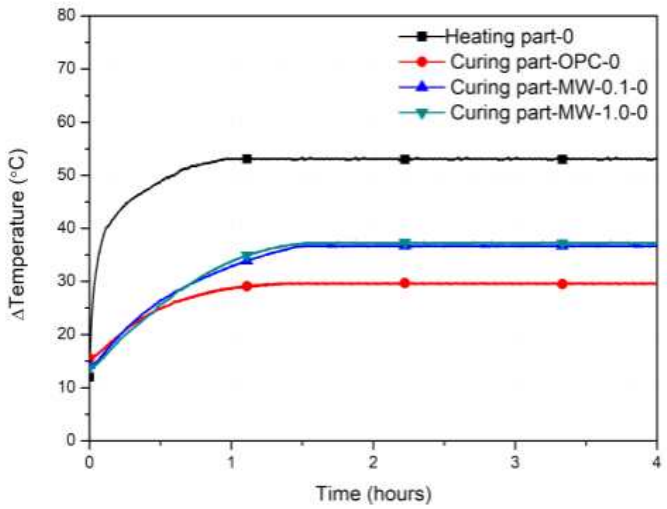


그림 4.2.3 극한 기후조건에서 Chamber를 이용한 발열 양생 실험 시 시편 온도 변화량

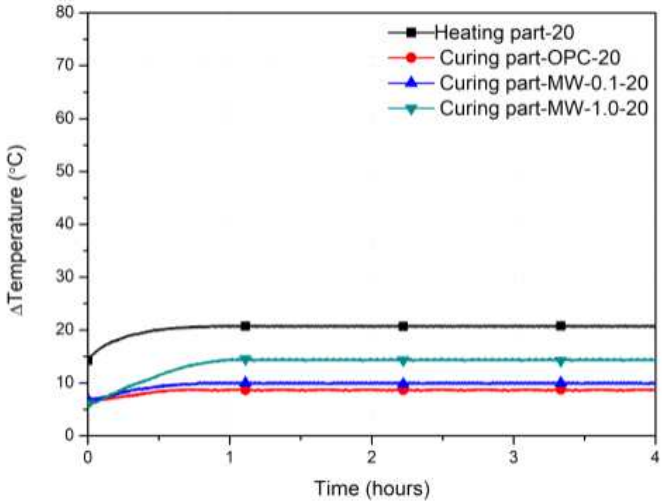
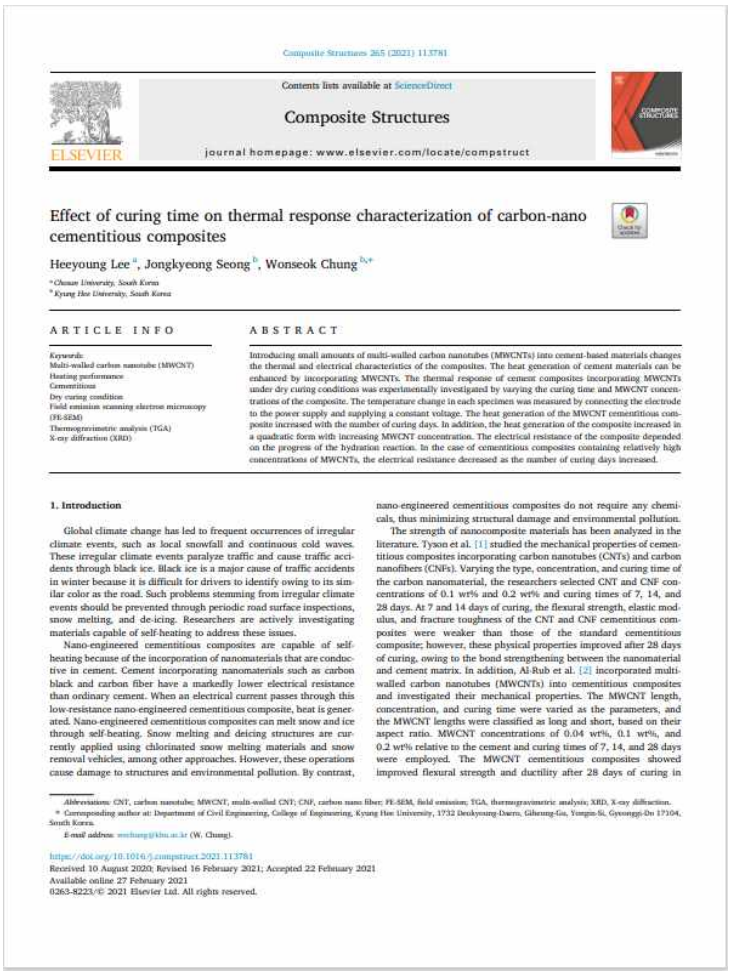


그림 4.2.4 극한 기후조건에서 Chamber를 이용한 발열 양생 실험 시 시편 온도 변화량

4. 추가 증빙 자료



Composite Structures 265 (2021) 113781

Contents lists available at ScienceDirect

Composite Structures

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compstruct

Effect of curing time on thermal response characterization of carbon-nano cementitious composites

Heeyoung Lee [a], Jongkyeong Seong [b], Wonseok Chung [b,*]

[a] Chosun University, South Korea
[b] Kyung Hee University, South Korea

ARTICLE INFO

Keywords:
Multi-walled carbon nanotube (MWCNT)
Heating performance
Cementitious
Dry curing condition
Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM)
Thermogravimetric analysis (TGA)
X-ray diffraction (XRD)

ABSTRACT

Introducing small amounts of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) into cement-based materials changes the thermal and electrical characteristics of the composites. The heat generation of cement materials can be enhanced by incorporating MWCNTs. The thermal response of cement composites incorporating MWCNTs under dry curing conditions was experimentally investigated by varying the curing time and MWCNT concentrations of the composite. The temperature change in each specimen was measured by connecting the electrode to the power supply and supplying a constant voltage. The heat generation of the MWCNT cementitious composite increased with the number of curing days. In addition, the heat generation of the composite increased in a quadratic form with increasing MWCNT concentration. The electrical resistance of the composite depended on the progress of the hydration reaction. In the case of cementitious composites containing relatively high concentrations of MWCNTs, the electrical resistance decreased as the number of curing days increased.

1. Introduction

Global climate change has led to frequent occurrences of irregular climate events, such as local snowfall and continuous cold waves. These irregular climate events paralyze traffic and cause traffic accidents through black ice. Black ice is a major cause of traffic accidents in winter because it is difficult for drivers to identify owing to its similar color as the road. Such problems stemming from irregular climate events should be prevented through periodic road surface inspections, snow melting, and de-icing. Researchers are actively investigating materials capable of self-heating to address these issues.

Nano-engineered cementitious composites are capable of self-heating because of the incorporation of nanomaterials that are conductive in cement. Cement incorporating nanomaterials such as carbon black and carbon fiber have a markedly lower electrical resistance than ordinary cement. When an electrical current passes through this low-resistance nano-engineered cementitious composite, heat is generated. Nano-engineered cementitious composites can melt snow and ice through self-heating. Snow melting and deicing structures are currently applied using chlorinated snow melting materials and snow removal vehicles, among other approaches. However, these operations cause damage to structures and environmental pollution. By contrast, nano-engineered cementitious composites do not require any chemicals, thus minimizing structural damage and environmental pollution.

The strength of nanocomposite materials has been analyzed in the literature. Tyson et al. [1] studied the mechanical properties of cementitious composites incorporating carbon nanotubes (CNTs) and carbon nanofibers (CNFs). Varying the type, concentration, and curing time of the carbon nanomaterial, the researchers selected CNT and CNF concentrations of 0.1 wt% and 0.2 wt% and curing times of 7, 14, and 28 days. At 7 and 14 days of curing, the flexural strength, elastic modulus, and fracture toughness of the CNT and CNF cementitious composites were weaker than those of the standard cementitious composite; however, these physical properties improved after 28 days of curing, owing to the bond strengthening between the nanomaterial and cement matrix. In addition, Al-Rub et al. [2] incorporated multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) into cementitious composites and investigated their mechanical properties. The MWCNT length, concentration, and curing time were varied as the parameters, and the MWCNT lengths were classified as long and short, based on their aspect ratio. MWCNT concentrations of 0.04 wt%, 0.1 wt%, and 0.2 wt% relative to the cement and curing times of 7, 14, and 28 days were employed. The MWCNT cementitious composites showed improved flexural strength and ductility after 28 days of curing in

Abbreviations: CNT, carbon nanotube; MWCNT, multi-walled CNT; CNF, carbon nano fiber; FE-SEM, field emission; TGA, thermogravimetric analysis; XRD, X-ray diffraction.
* Corresponding author at: Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deokyoung-Daero, Giheung-Gu, Yongin-Si, Gyeonggi-Do 17104, South Korea.
E-mail address: wschung@khu.ac.kr (W. Chung).

https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113781
Received 10 August 2020; Revised 16 February 2021; Accepted 22 February 2021
Available online 27 February 2021
0263-8223/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

그림 4.2.5 게재 완료된 논문

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	5	나노 모듈 콘크리트의 포장설계 계획안 개발	
단위성과물	5-1	모듈 콘크리트 설치 가이드라인 제시	
질적성과지표	①	설치 가이드라인	
목표치	1건	달성치	1건
검증방법	설치가이드라인제시여부	연구책임기관	㈜동일기술공사

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구내용

3-1. 모듈 콘크리트 설치 가이드라인

1. 일반사항

1.1 적용범위

본 시방은 공장 또는 현장에서 제작된 프리캐스트 콘크리트 패널 급속 포장공법을 이용하여 기존 아스팔트포장 보수공사에 적용한다. 본 지침에 규정되어 있지 않은 사항은 한국콘크리트학회의「콘크리트구조설계 기준」및「콘크리트 표준시방서」에 따른다.

2. 현장조사 기준 및 허용오차

2.1 현장조사 적용범위

본 시방은 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 아스팔트 포장체 긴급보수에 있어 패널 제작 및 현장 설치를 위한 기초자료 수집 및 분석에 적용한다.

또한 프리캐스트 콘크리트 패널 현장 설치 시 발생(예상) 될 수 있는 문제점을 사전에 검토 분석하고, 이를 토대로 현장 장비투입, 시공방법 등의 결정에 필요한 사항을 정하기 위한 현장조사이며, 본 현장조사 데이터를 이용 프리캐스트 패널의 크기, 단면 두께 등을 결정하기 위한 자료이며 도급자는 그 성과물을 발주부서(감독자)에 제출하여야 한다.

3. 재 료

3.1 품질기준

3.1.1 시멘트

3.1.2 물

3.1.3 잔골재

3.1.4 굵은 골재

3.1.5 프리캐스트 폴리머 초속경 그라우트 충진재

3.1.6 섬유보강재(PVA)

4. 패널 제작 및 시공

4.1 교체 패널 크기 결정
4.2 거푸집 제작
4.3 철근 배근 및 리프팅 앵커 설치 작업
4.4 콘크리트 타설 및 표면 거칠기 작업
4.5 타이닝 작업 및 스펀지(Sealing Tape) 부착 작업
4.6 기존 패널 제거 작업
4.7 하부층 평탄화 작업 및 비닐 설치 작업
4.8 패널 안착 및 높낮이 조절 작업
4.9 줄눈 부분 백업재 삽입 및 그라우팅 작업
4.10 면삭
4.11 신축 줄눈부 시공
4.12 시공의 제한

5. 품질관리 및 검사

5.1 프리캐스트 포장용 배합설계 기준
5.2 품질관리 일반
5.3 품질관리 검토사항
5.4 시험시공 평가 및 본 시공

6. 시공관리 세부계획

6.1 시공순서도

7. 프리캐스트 유지관리

7.1 유지관리 개요
7.2 유지관리 검측 주기
7.3 유지관리 항목

8. 유지관리 방법

8.1 미끄럼저항
8.1.1 미끄럼저항 관리기준
8.1.2 미끄럼저항 측정 방안
8.2 균열
8.2.1 균열 발생원인 및 종류
8.2.2 균열 형상 및 관리기준
8.3 단차
8.3.1 단차 정의 및 기준
8.3.2 단차 측정 방안
8.3.3 단차 보수 방안
8.4 줄눈부 파손
8.4.1 줄눈부 파손 정의 및 유형
8.4.2 줄눈부 파손 측정
8.5 하중전달율
8.5.1 하중전달율 정의
8.5.2 하중전달율 측정 및 관리기준

2. 추가 증빙 자료

- 모듈 콘크리트 설치 가이드라인을 추가증빙자료로 제출함.

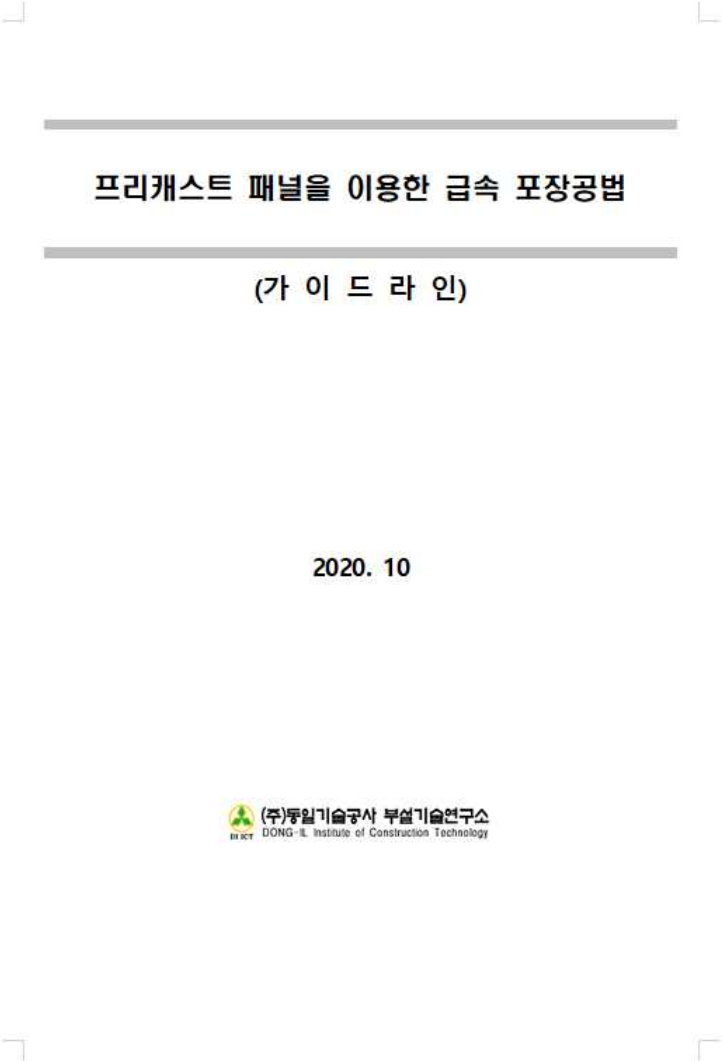


그림 5.1.1 설치 가이드라인

시제품제작 사진

● 거푸집제작



그림 5.1.2 1,600X6,000X25 거푸집 BASE판



그림 5.1.3 1,600X6,000X25 거푸집 측면몰드 (1,600)



그림 5.1.4 1,600X6,000X25 거푸집 측면몰드 (6,000)



그림 5.1.5 1,600X6,000X25 거푸집 조립상태



그림 5.1.6 1,600X6,000X25 거푸집 측면몰드 (1,600)



그림 5.1.7 1,600X6,000X25 거푸집 측면몰트 (1,600) 조립



그림 5.1.8 프리캐스트 패널간 연결볼트 사진(1)



그림 5.1.9 프리캐스트 패널간 연결볼트 사진(2)

1. 연구 결과

- 1.6mX6.0mX0.25m B타입 거푸집제작은 완료가 된 상황이며,
- 3.2mX6.0mX0.25m A타입 거푸집제작은 12월 중순까지 제작 완료 예정임.

2. 추가증빙자료

- 거푸집제작 설계도면을 추가증빙자료로 제출함.

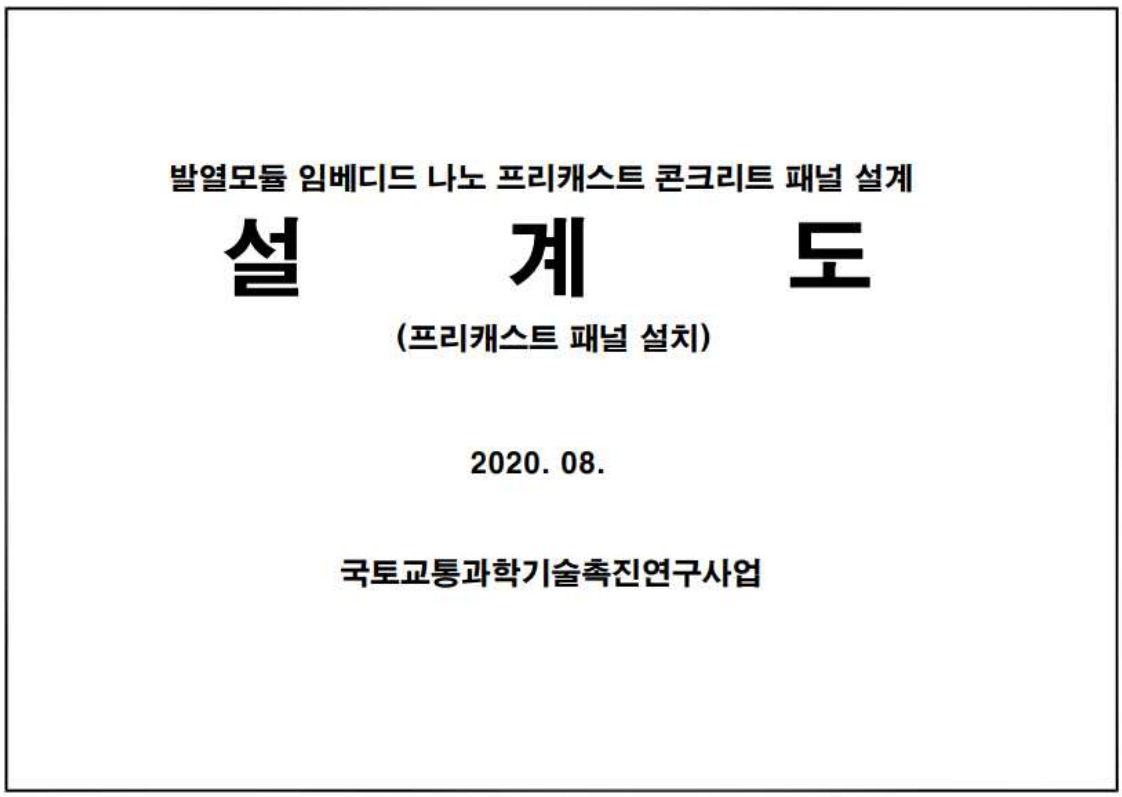


그림 5.1.10 거푸집제작 설계도면

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	5 나노 모듈 콘크리트의 포장설계 계획안 개발		
단위성과물	5-2 BIM기반 3D 모델링 검증		
질적성과지표	① BIM 기반 3D 모델링		
목표치	1건	**달성치**	1건
검증방법	BIM기반 3D 모델링 검증결과 제시여부	**연구책임기관**	㈜동일기술공사

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

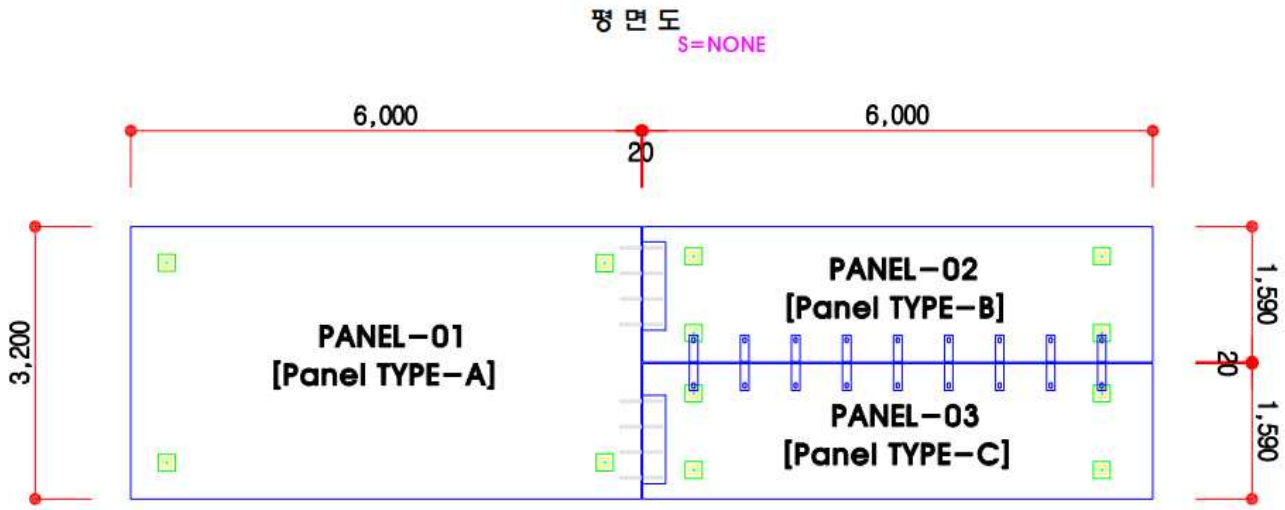
(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구결과

1-1. BIM기반 3D 모델링 검증

1) 프리캐스트 패널설치 상세도



프리캐스트 패널 상세도
S=NONE
(3,200MX6,000X25CM)

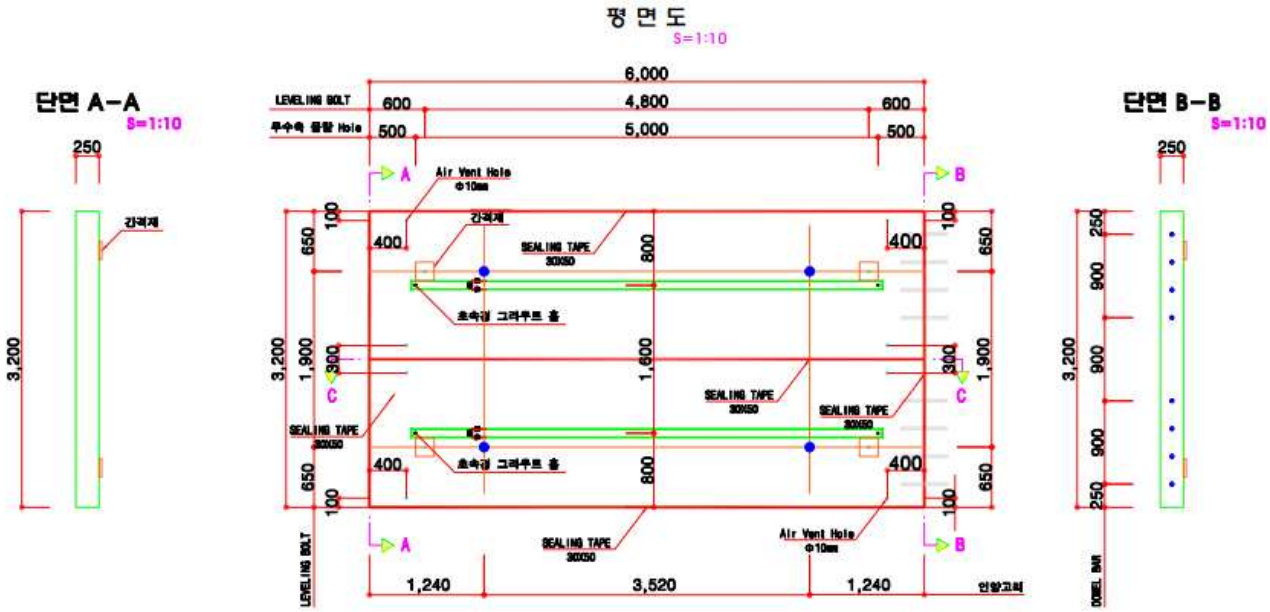


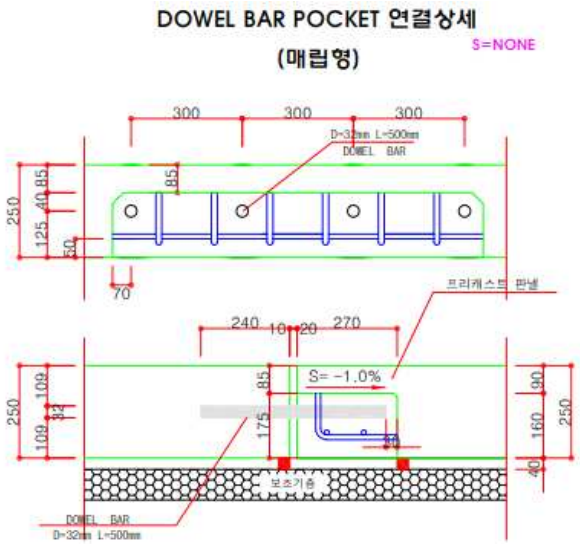
프리캐스트 설치 재료표

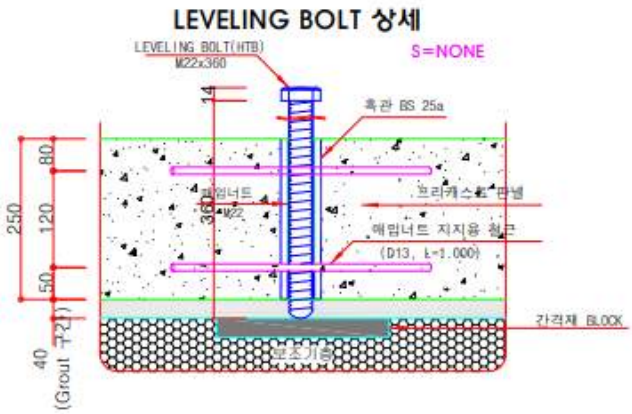
(단위 : EA)

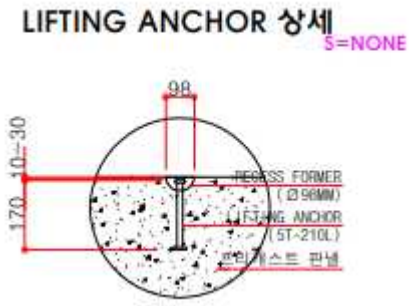
구 분	규 격	수 량
Panel TYPE-A	3.200M X 6.000M X 25CM	1
Panel TYPE-B	1.590M X 6.000M X 25CM	1
Panel TYPE-C	1.590M X 6.000M X 25CM	1

2) 프리캐스트 패널 일반도 타입A

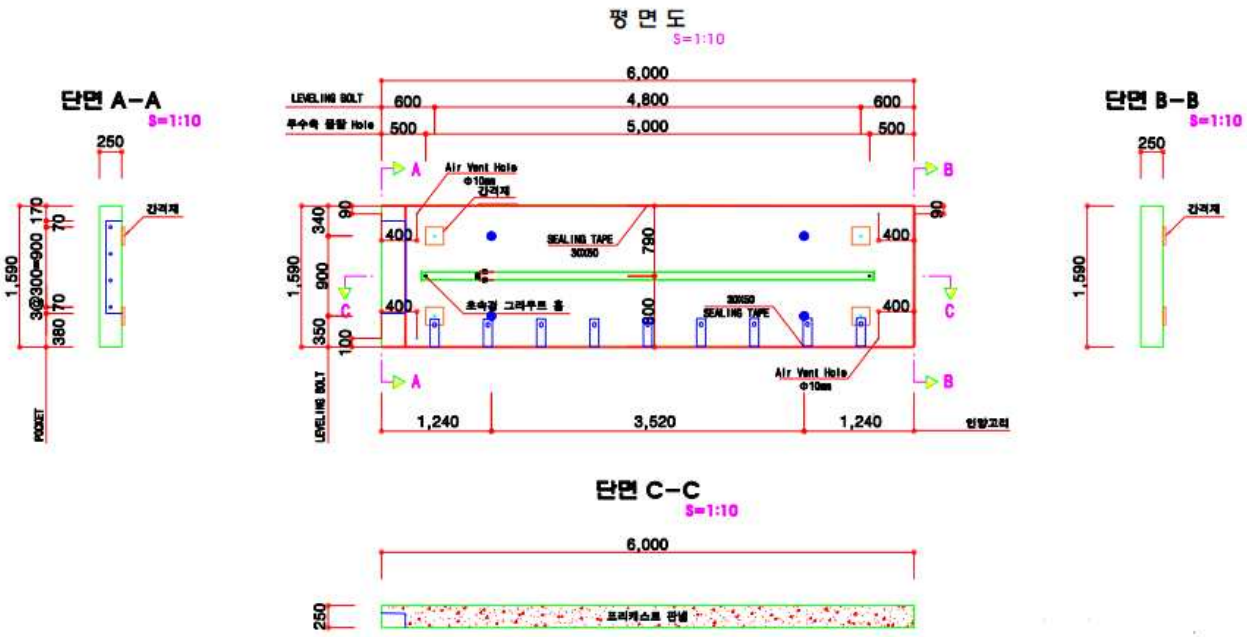


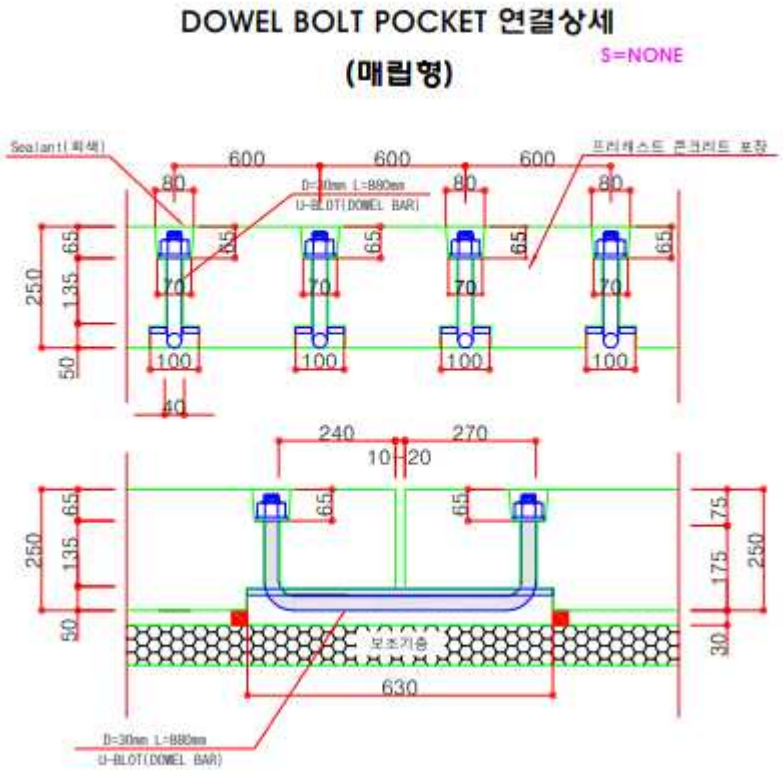




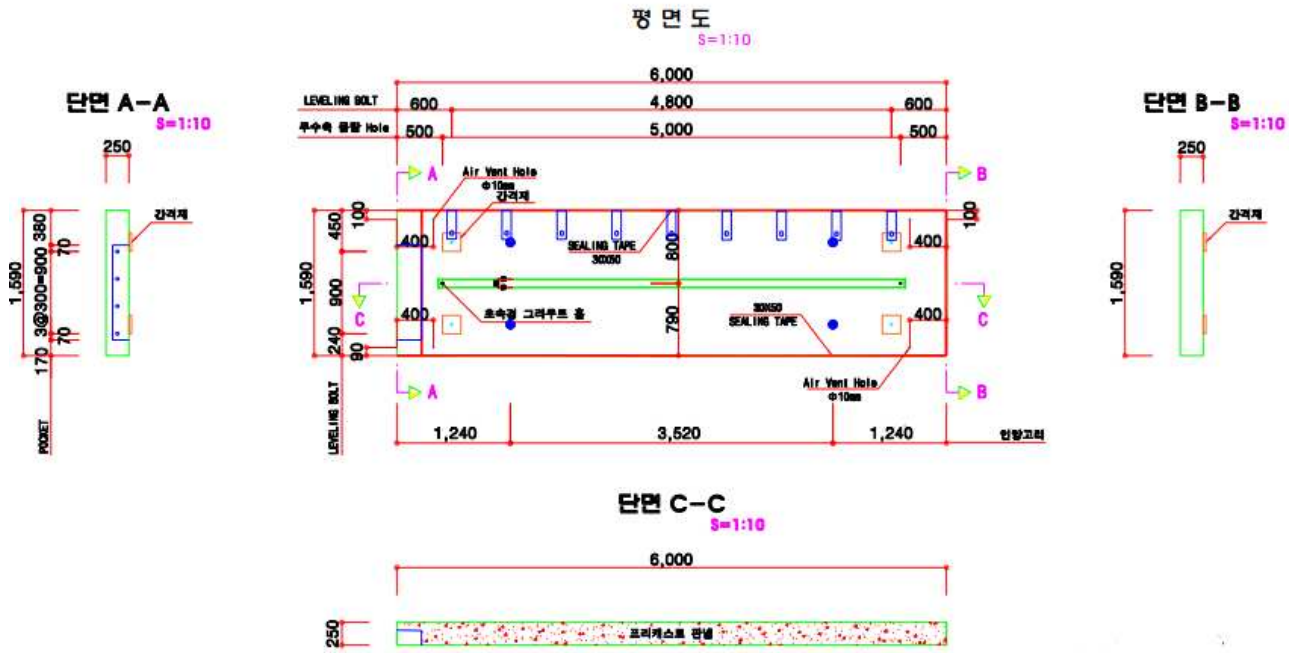


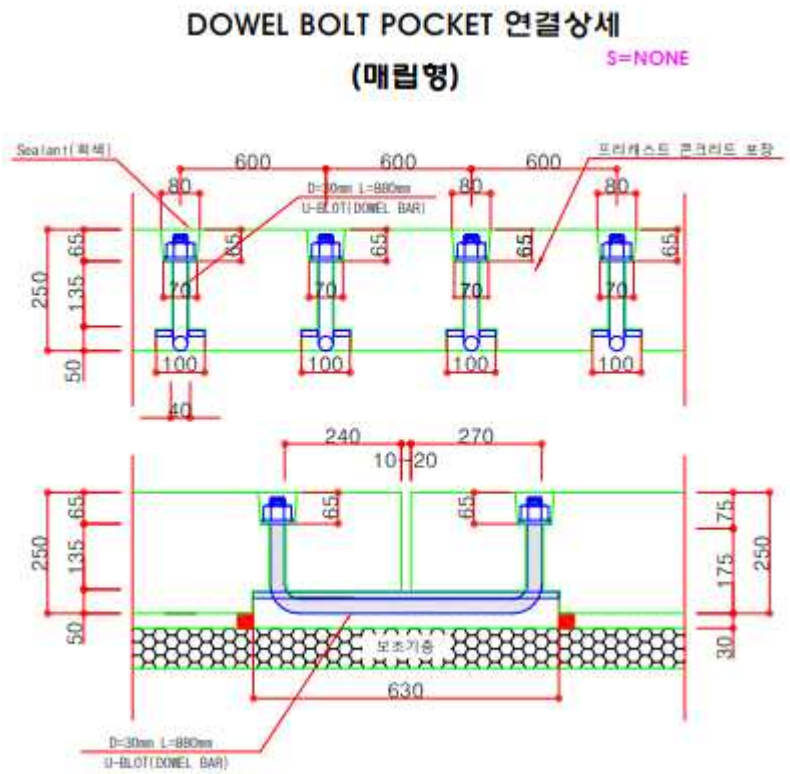
2) 프리캐스트 패널 일반도 타입B



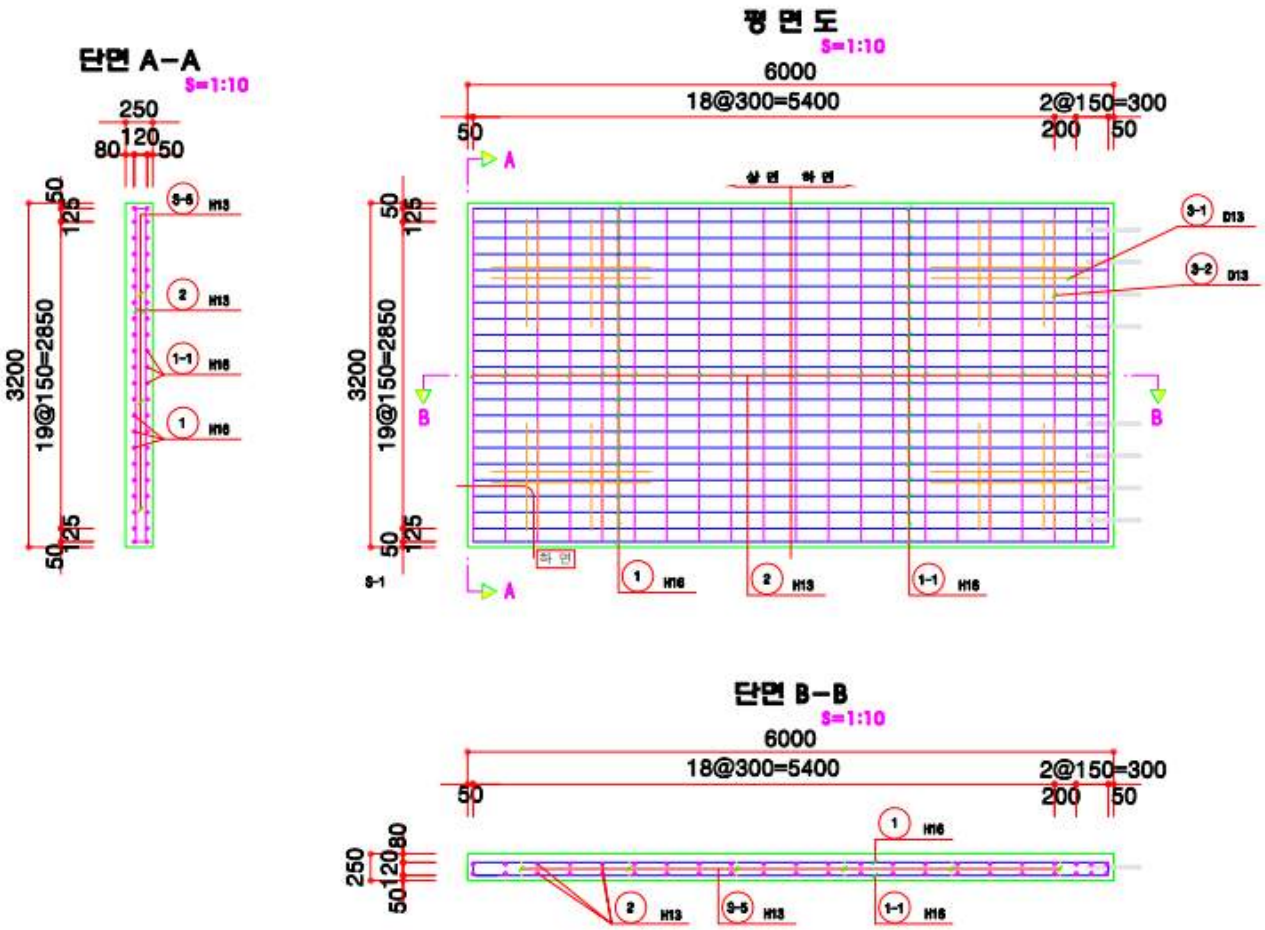


3) 프리캐스트 패널 일반도 타입C





4) 프리캐스트 패널 배근도 타입A



철근 재료표

(SD400)

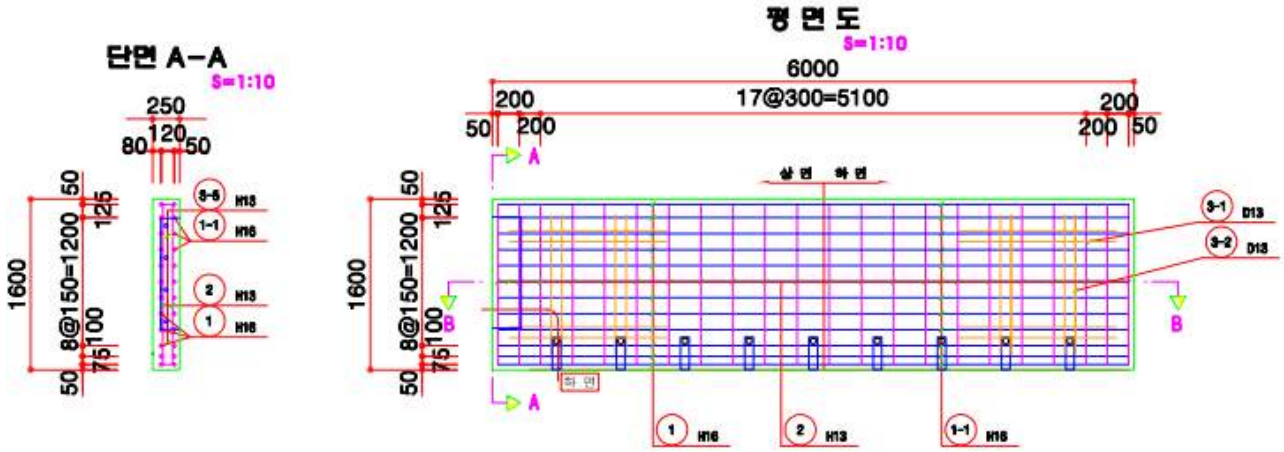
번 호	직 경	길 이	갯 수	총 길 이	단위중량	총 중 량	비 고
1	H16	6.140	22	135.080			ADD 3%
1-1	"	5.900	22	129.800			
소 계				264.880	1.560	0.413	0.426
2	H13	3.276	44	144.144			
S-5	"	1.128	18	20.304			
소 계				164.448	0.995	0.164	0.169
총 계						0.577	0.595

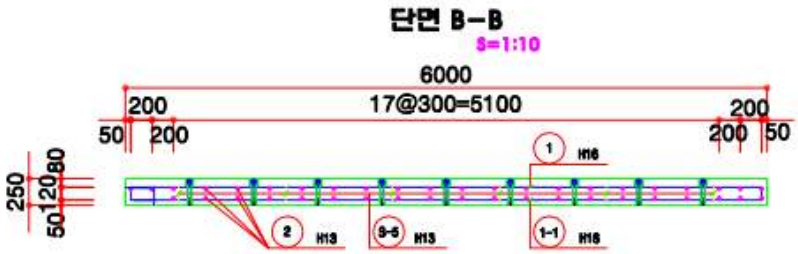
지지용 철근 재료표

(SD400)

번 호	직 경	길 이	갯 수	총 길 이	단위중량	총 중 량	비 고
3-1	D13	1.475	16	23.600			ADD 3%
3-2	"	1.000	32	32.000			
소 계				55.600	0.995	0.055	0.057
총 계						0.055	0.057

5) 프리캐스트 패널 배근도 타입B





철근 재료표

(SD400)

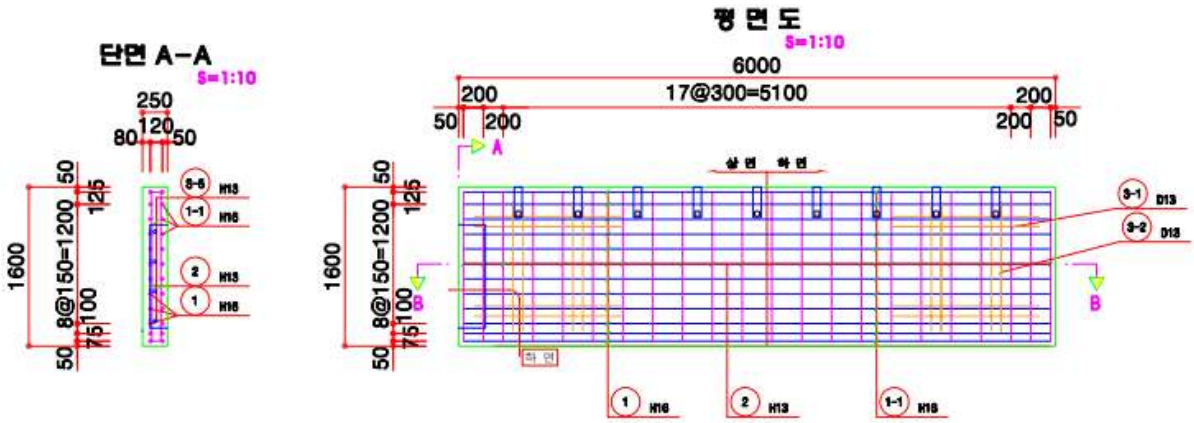
번 호	직 경	길 이	갯 수	총 길 이	단위중량	총 중 량	비 고
1	H16	6.140	12	73.680			ADD 3%
1-1	"	5.900	12	70.800			
소 계				144.480	1.560	0.225	0.232
2	H13	1.676	42	72.068			
S-5	"	1.128	12	13.536			
소 계				83.928	0.995	0.084	0.086
총 계						0.309	0.318

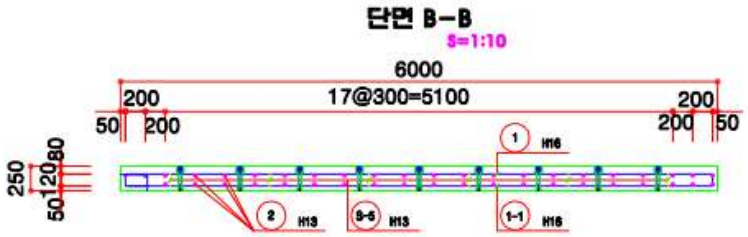
지지용 철근 재료표

(SD400)

번 호	직 경	길 이	갯 수	총 길 이	단위중량	총 중 량	비 고
3-1	D13	1.475	16	23.600			ADD 3%
3-2	"	1.300	16	20.800			
소 계				44.400	0.995	0.044	0.045
총 계						0.044	0.045

6) 프리캐스트 패널 배근도 타입C





철근 재료표

(SD400)

번 호	직 경	길 이	갯 수	총 길 이	단위중량	총 중 량	비 고
1	H16	6.140	12	73.680			ADD 3%
1-1	"	5.900	12	70.800			
소 계				144.480	1.560	0.225	0.232
2	H13	1.676	42	72.068			
S-5	"	1.128	12	13.536			
소 계				83.928	0.995	0.084	0.086
총 계						0.309	0.318

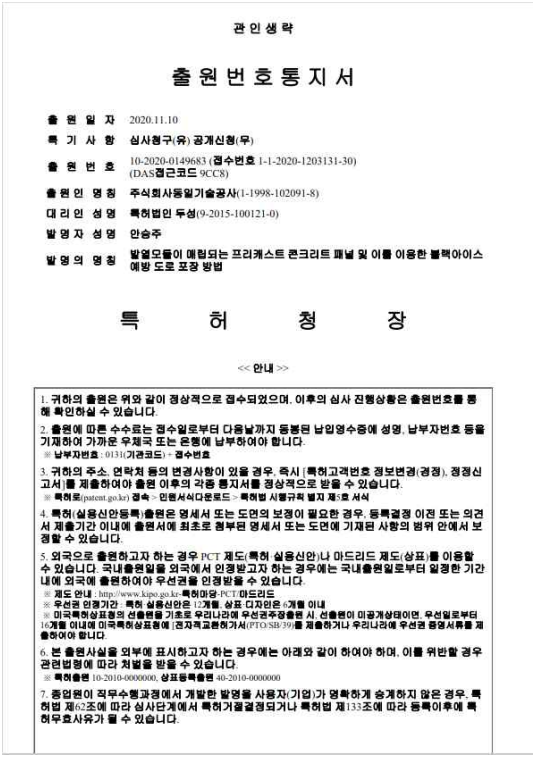
지지용 철근 재료표

(SD400)

번 호	직 경	길 이	갯 수	총 길 이	단위중량	총 중 량	비 고
3-1	D13	1.475	16	23.600			ADD 3%
3-2	"	1.300	16	20.800			
소 계				44.400	0.995	0.044	0.045
총 계						0.044	0.045

7) 실규모 크기(3.2mX6.0mX25cm-1EA, 1.6mX6.0X25cm-2EA) 콘크리트 패널도면 설계가 완료 되어 BIM 기반 3D모델링 작업중에 있으며 2020년 11월 말~12월초 완료 예정으로 작업중에 있음.

2. 추가 증빙 자료



관인생략

출원번호통지서

출 원 일 자 2020.11.10

특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)

출 원 번 호 10-2020-0149683 (접수번호 1-1-2020-1203131-30)
(DAS접근코드 9CC8)

출원인 명칭 주식회사동일기술공사(1-1998-102091-8)

대리인 성명 특허법인 두성(9-2015-100121-0)

발명자 성명 안승주

발명의 명칭 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 등록된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 검색 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제3호 서식

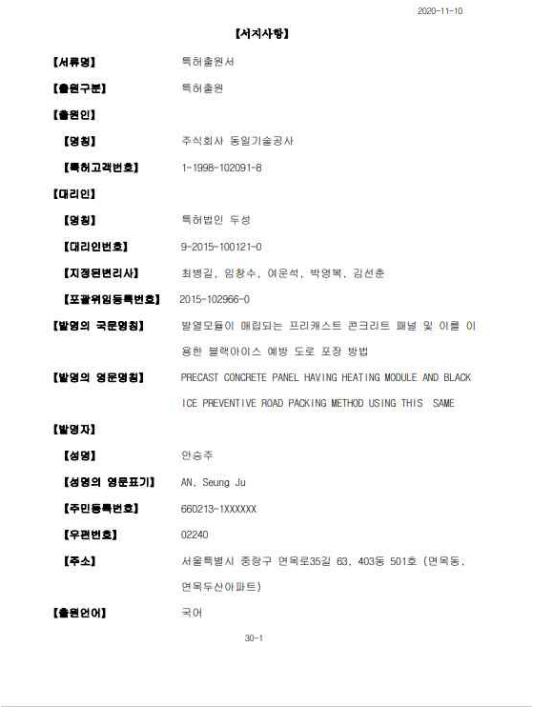
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허 실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 - 특허 실용신안은 12개월, 상표 디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환하가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

그림 5.2.1 특허 출원번호통지서



2020-11-10

【서지사항】

【서류명】 특허출원서

【출원구분】 특허출원

【출원인】

【명칭】 주식회사 동일기술공사

【특허고객번호】 1-1998-102091-8

【대리인】

【명칭】 특허법인 두성

【대리인번호】 9-2015-100121-0

【지정된변리사】 최병길, 임창수, 여운석, 박영복, 김선훈

【포괄위임등록번호】 2015-102966-0

【발명의 국문명칭】 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

【발명의 영문명칭】 PRECAST CONCRETE PANEL HAVING HEATING MODULE AND BLACK ICE PREVENTIVE ROAD PACKING METHOD USING THIS SAME

【발명자】

【성명】 안승주

【성명의 영문표기】 AN, Seung Ju

【주민등록번호】 660213-1XXXXXX

【우편번호】 02240

【주소】 서울특별시 중랑구 면목로35길 63, 403동 501호 (면목동, 면목두산아파트)

【출원언어】 국어

30-1

그림 5.2.2 특허출원서

[증빙5-3-①]

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	20CTAP-C157602-01		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31		
핵심연구성과	5	나노 모듈 콘크리트의 포장설계 계획안 개발	
단위성과물	5-3	시공 경제성 분석	
질적성과지표	①	비용분석	
목표치	100%	달성치	100%
검증방법	비용분석	연구책임기관	㈜동일기술공사

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 개요

콘크리트 포장은 시공이 비교적 까다롭고 공기가 길지만 내구성 및 유지관리 측면에서 유리함. 현재 도로포장 형식에 대해 생애주기비용을 구하기 위해서는 고려해야 할 사항이 많고 변수가 많아 신뢰성이 낮음. 따라서, 초기 공사비 예측을 통해 경제성 비교를 하게 되면 신뢰성이 상대적으로 높아짐. 본 연구를 통해 콘크리트 패널 포장형식에 나노 모듈을 삽입하여 초기시공비를 분석하여 향후 경제성 분석을 위한 자료로 활용함.

2. 초기 공사비 비교

나노 발열 모듈 적용 유, 무에 따라 콘크리트 패널의 초기시공비를 분석함. 또한 상대 비교분석을 위하여 도로 건설 시 부가적인 요소는 배제하고, 포장 층을 구성에 포함되는 콘크리트 슬래브 부분에 대하여 공사비를 산출함. 시공에 소요되는 노무비 등 기타 요소들은 배제함.

초기 시공비 비교를 위한 설계 단면은 그림과 같으며 콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브, 린콘크리트, 동상방지층의 세 개 층으로 구성됨. 한국도로공사 도로설계요령에 따라 다음과 같은 콘크리트 포장 횡단면 구성 예시를 사용함. 포장을 위한 배합비는 표 5.3.1과 같음.

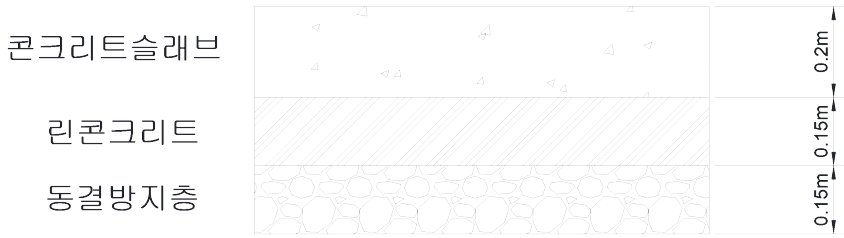


그림 5.3.1 초기 시공비 비교를 위한 콘크리트 포장의 표준단면

표 5.3.1 포장용 콘크리트의 표준 배합비(한국도로공사)

기준강도 (MPa)	최대골재치수 (mm)	시멘트 (kg/m^3)	물 (kg/m^3)	세골재 (kg/m^3)	조골재 (kg/m^3)	혼화제 (kg/m^3)	MWCNT (kg/m^3)
4.5	32	326	147	692	1122	0.963	0.326

비교 대상으로는 타 제설법과의 비교를 위해 각 지자체에서 가장 보편적으로 사용되는 염화칼슘 제설제 사용 시와 비교하였으며, 나노 발열 모듈 임베디드 콘크리트의 경우 MWCNT 1.0wt%로 시공한 발열 모듈 10개를 삽입한 경우를 가정함. 시공비 계산을 위한 콘크리트 슬래브 층의 부피는 0.2×1×1㎥이며, 사용 재료의 단가는 표 2.2와 같음. 일반 도로의 경우 **염화칼슘에 의한 차량 및 도로의 부식으로 인한 2차적인 피해가 발생함.** 염화칼슘에 의한 도로 포장의 결

합력 약화현상은 포트 홀을 발생시키는 원인임. 포트 홀은 주행성을 크게 저하시키는 것은 물론 운전자의 안전을 위협하며 대형 사고를 유발함. 또한 염화칼슘 제설법의 경우 즉각적인 대응이 어려워 상습 결빙구간의 블랙아이스를 초기에 제거하는 것이 어려움.

초기 시공비 계산 시 제설제의 사용량은 콘크리트 도로 설계 수명인 30년을 기준으로 연 평균 80cm 적설량의 제설에 필요한 양으로 산정함. 시공비 계산 결과. 일반 콘크리트에 염화칼슘을 살포하는 경우 약 2,628,910원, 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널의 경우 2,627,810원이 소요됨. 향후 전기사용료가 추가될 수 있으나 현재 연구 중인 나노 발열 모듈 임베디드 콘크리트 패널 시스템은 적은 전압(약 30V)로 높은 효율이 가능함.

표 5.3.2 초기 시공비 비교표

제설법	품목	단가(원/kg)	소요량(kg)	소요 금액(원)	계(원)
염화칼슘 제설법	시멘트	125	65.2	8,150	2,628,910
	모래	1,000	138.4	138,400	
	굵은골재	11,000	224.4	2,468,400	
	물	234	29.4	6,880	
	염화칼슘	420	24	10,080	
나노 콘크리트	시멘트	125	65.2	8,150	2,627,810
	모래	1,000	138.4	138,400	
	굵은골재	11,000	224.4	2,468,400	
	MWCNT수용액	98,000	0.07	6,860	
	전압공급장치	6,000	1	6,000	

향후 MWCNT는 가격하락과 적용 분야의 확대로 상용화 움직임이 활발하게 나타나고 있음. MWCNT 가격은 2005년 사업화 가능 가격이 2억원/톤으로 제시되었으나 2013년을 기준으로 약 0.6억원/톤 수준으로 향후 추가적인 급격한 **가격 하락이 예상되는 바, 나노 발열 모듈 임베디드 콘크리트 패널시스템은 염화칼슘 제설법보다 생애주기비용 분석시 더 저렴한 수준의 시공경제성을 가질 것으로 기대됨.**

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	6	나노 모듈 콘크리트의 포장 상세설계 도출 및 유지관리 가이드라인 개발	
단위성과물	6-1	현장 조건별 시공지침서 제시	
질적성과지표	①	시공지침서	
목표치	1건	**달성치**	1건
검증방법	시공지침서 제시여부	**연구책임기관**	㈜동일기술공사

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 현장 조건별 시공지침서

시공지침서에는 시공의 시작부터 종료 시까지의 필요한 내용을 작성하였음. 시공적합성 판단을 위한 대상지 현장조사와 고려사항, 그에 맞는 시공 방법, 시공순서 등을 작성하였으며, 패널 제작 재료의 선정과 재료시험에 관한 내용을 포함하며 또한, 발열모듈의 외부 전기 인입에 대한 내용 및 패널 품질관리에 대한 내용을 포함하여 작성하였음. 1차년도에 작성된 설치가이드라인 내용에 대하여 시험시공을 통해서 미흡한 사항을 수정보완하여 추가 작성하였으며, 세부사항이 포함된 최종작성 자료인 [블랙아이스 방지를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 포장기술(프리캐스트)<설치가이드라인 및 시공지침서>]를 성과로 제출 함

2. 연구 결과

- 현장 조건별 시공지침서 제시

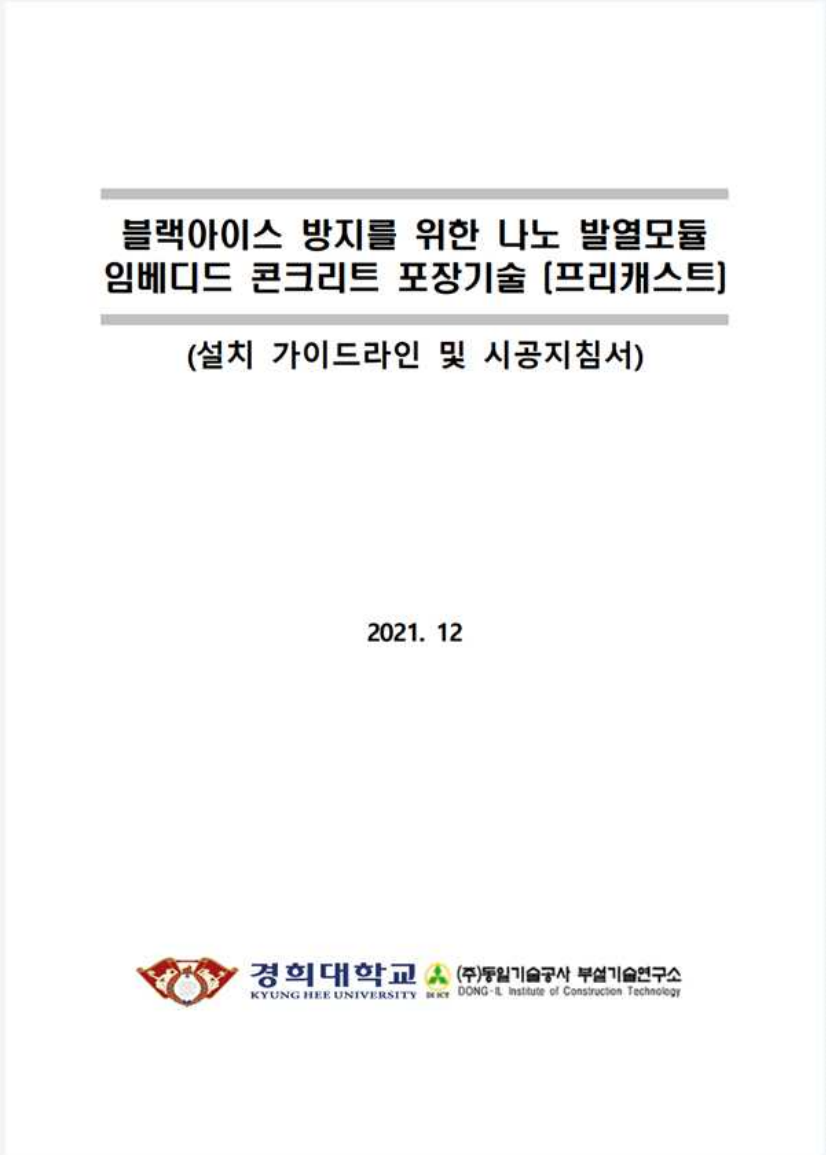
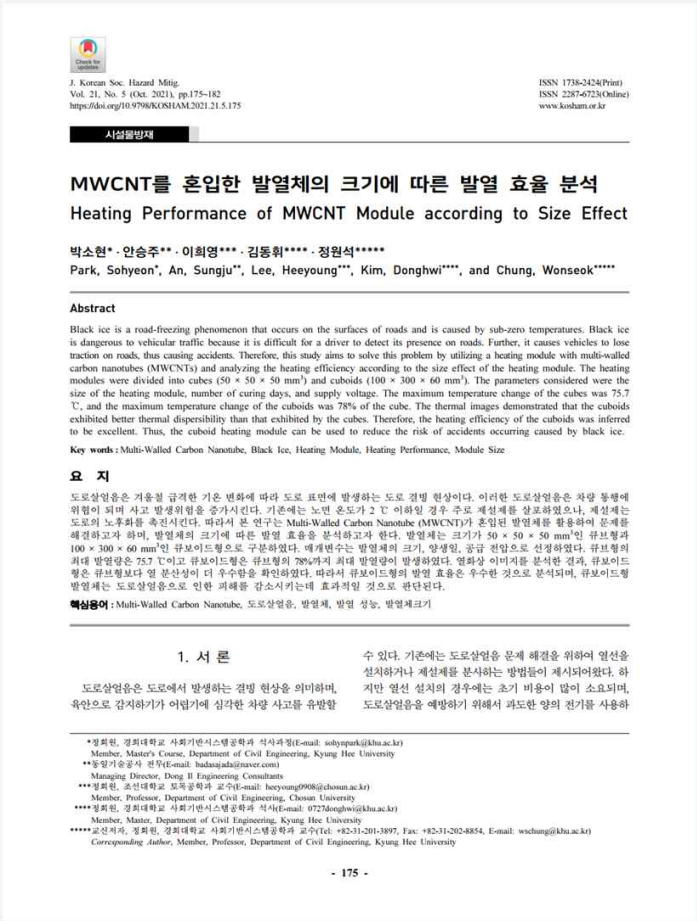


그림 6.1.1 설치가이드라인 및 시공지침서

3. 추가 증빙자료

- 한국방재학회 논문개재

한국방재학회 논문개재 사항을 추가 증빙자료로 제출 함.



J. Korean Soc. Hazard Mitig.
Vol. 21, No. 5 (Oct. 2021), pp.175-182
https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2021.21.5.175

ISSN 1738-2424(Print)
ISSN 2287-6723(Online)
www.kosham.or.kr

시설물방재

MWCNT를 혼입한 발열체의 크기에 따른 발열 효율 분석

Heating Performance of MWCNT Module according to Size Effect

박소현* · 안승주** · 이희영*** · 김동휘**** · 정원석*****
Park, Sohyeon*, An, Sungju**, Lee, Heeyoung***, Kim, Donghwi****, and Chung, Wonseok*****

Abstract

Black ice is a road-freezing phenomenon that occurs on the surfaces of roads and is caused by sub-zero temperatures. Black ice is dangerous to vehicular traffic because it is difficult for a driver to detect its presence on roads. Further, it causes vehicles to lose traction on roads, thus causing accidents. Therefore, this study aims to solve this problem by utilizing a heating module with multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and analyzing the heating efficiency according to the size effect of the heating module. The heating modules were divided into cubes (50 × 50 × 50 mm^3) and cuboids (100 × 300 × 60 mm^3). The parameters considered were the size of the heating module, number of curing days, and supply voltage. The maximum temperature change of the cubes was 75.7 ℃, and the maximum temperature change of the cuboids was 78% of the cube. The thermal images demonstrated that the cuboids exhibited better thermal dispersibility than that exhibited by the cubes. Therefore, the heating efficiency of the cuboids was inferred to be excellent. Thus, the cuboid heating module can be used to reduce the risk of accidents occurring caused by black ice.

Key words : Multi-Walled Carbon Nanotube, Black Ice, Heating Module, Heating Performance, Module Size

요 지

도로살얼음은 겨울철 급격한 기온 변화에 따라 도로 표면에 발생하는 도로 결빙 현상이다. 이러한 도로살얼음은 차량 통행에 위험이 되며 사고 발생위험을 증가시킨다. 기존에는 노면 온도가 2 ℃ 이하일 경우 주로 제설제를 살포하였으나, 제설제는 도로의 노후화를 촉진시킨다. 따라서 본 연구는 Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT)가 혼입된 발열체를 활용하여 문제를 해결하고자 하며, 발열체의 크기에 따른 발열 효율을 분석하고자 한다. 발열체는 크기가 50 × 50 × 50 mm^3인 큐브형과 100 × 300 × 60 mm^3인 큐보이드형으로 구분하였다. 매개변수는 발열체의 크기, 양생일, 공급 전압으로 선정하였다. 큐브형의 최대 발열량은 75.7 ℃이고 큐보이드형은 큐브형의 78%까지 최대 발열량이 발생하였다. 열화상 이미지를 분석한 결과, 큐보이드형은 큐브형보다 열 분산성이 더 우수함을 확인하였다. 따라서 큐보이드형의 발열 효율은 우수한 것으로 분석되며, 큐보이드형 발열체는 도로살얼음으로 인한 피해를 감소시키는데 효과적일 것으로 판단된다.

핵심용어 : Multi-Walled Carbon Nanotube, 도로살얼음, 발열체, 발열 성능, 발열체크기

1. 서 론

도로살얼음은 도로에서 발생하는 결빙 현상을 의미하며, 육안으로 감지하기가 어렵기에 심각한 차량 사고를 유발할 수 있다. 기존에는 도로살얼음을 문제 해결을 위하여 열선을 설치하거나 제설제를 분사하는 방법들이 제시되어왔다. 하지만 열선 설치의 경우에는 초기 비용이 많이 소요되며, 도로살얼음을 예방하기 위해서 과도한 양의 전기를 사용하

*정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 석사과정(E-mail: sohynpark@khu.ac.kr)
Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Kyung Hee University
**동일기술공사 전무(E-mail: badasajada@naver.com)
Managing Director, Dong Il Engineering Consultants
***정회원, 조선대학교 토목공학과 교수(E-mail: heeyoung0908@chosun.ac.kr)
Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chosun University
****정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 석사(E-mail: 0727donghwi@khu.ac.kr)
Member, Master, Department of Civil Engineering, Kyung Hee University
*****교신저자, 정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 교수(Tel: +82-31-201-3897, Fax: +82-31-202-8854, E-mail: wschung@khu.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kyung Hee University

그림 6.1.2 게재 완료된 논문

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	6	나노 모듈 콘크리트의 포장 상세설계 도출 및 유지관리 가이드라인 개발	
단위성과물	6-2	유지관리 가이드라인 제시	
질적성과지표	①	유지관리 가이드라인	
목표치	1건	달성치	1건
검증방법	유지관리 가이드라인 제시여부	연구책임기관	㈜동일기술공사

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 유지관리 가이드라인

유지관리 지침서에는 발열모듈 임베디드 프리캐스트 콘크리트 패널의 유지관리에 대한 내용을 작성하였음. 해당 보고서에는 발열모듈 콘크리트의 유지관리 검측주기, 유지관리 항목, 유지관리 등을 작성하였으며, 발열 모듈 및 전력 케이블의 유지관리 방법 및 보수방안에 대한 내용을 포함하여 작성하였음. 작성된 내용에 대하여 시험시공을 통해서 미흡한 사항을 수정보완하였으며, 세부사항이 포함된 최종작성 자료인 [블랙아이스 방지를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 포장기술(프리캐스트)<유지관리 지침서>]를 성과로 제출 함.

2. 연구 결과

- 유지관리 지침서 제시

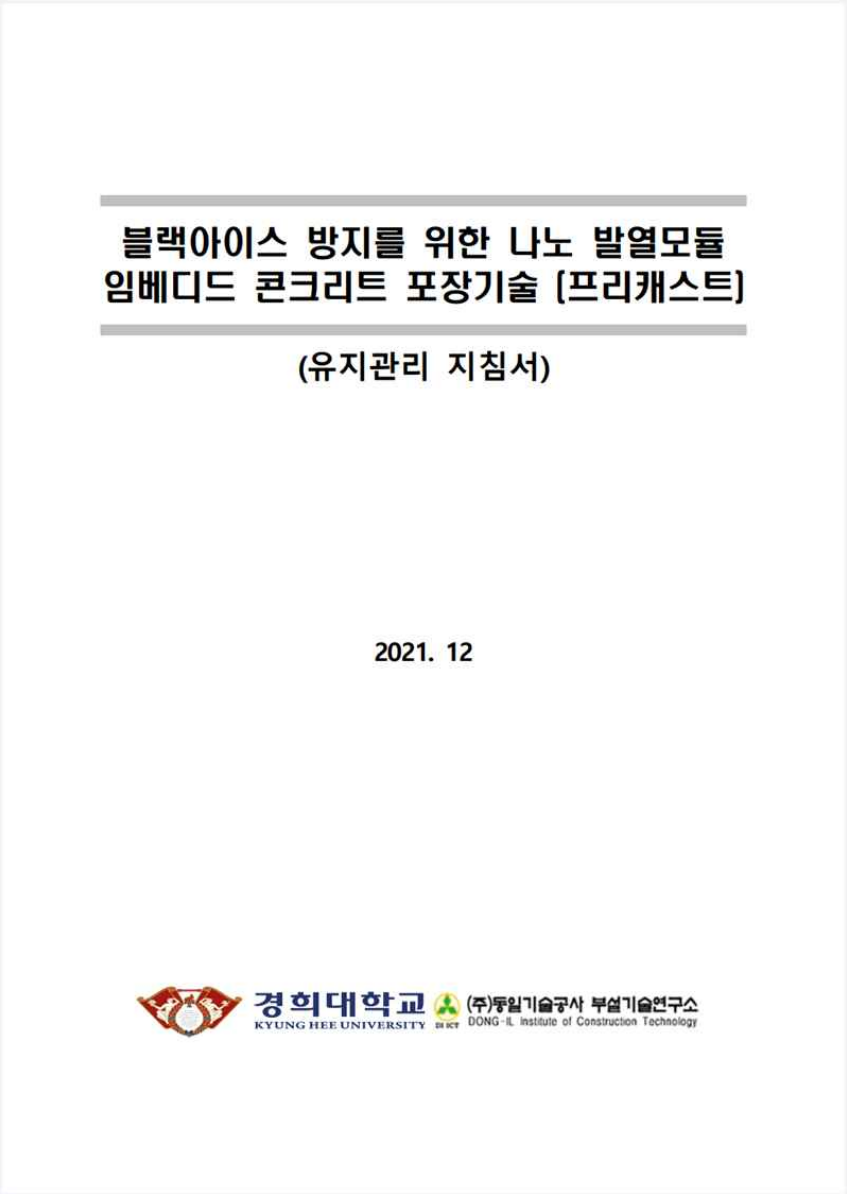


그림 6.2.1 유지관리 지침서

사업명	국토교통기술촉진연구사업		
과제번호	21CTAP-C157603-02		
과제 명	블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발		
당해 연구 기간	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31		
핵심연구성과	6	나노 모듈 콘크리트의 포장 상세설계 도출 및 유지관리 가이드라인 개발	
단위성과물	6-3	모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술 실용화	
질적성과지표	①	모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술	
목표치	1건	**달성치**	1건
검증방법	모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술 제시여부	**연구책임기관**	㈜동일기술공사

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

1. 연구 내용

- 모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술 실용화

모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술 실용화를 위하여 반단면 패널(1,600x6,000x250) 및 전단면 패널(3,200x6,000x250)을 제작하였으며 제작된 패널을 이용해 현장 시험설치를 수행하였음. 시공순서는 기존 포장면 제거, 비닐 포설, 높낮이조절판 설치, 반단면 패널 설치 및 연결, 전단면 패널 설치 및 연결, 높낮이조절, 그라우팅의 순서로 수행하였음.

2. 연구 결과

현장 시험설치 시공순서 상세로는 백호를 이용하여 기존 포장면을 제거하였고, 기존 포장을 제거 후 바닥면 다짐 및 평탄화 작업을 수행하였으며, 비닐을 포설하여 패널을 설치할 준비를 완료하였음. 포설된 비닐위에 높낮이조절 판을 위치별로 배치하였으며, 준비된 25.0t 크레인으로 패널제작 시 설치된 인양고리를 이용하여 패널을 인양 및 배치하였음. 반단면 패널 1개를 배치 후, 다른 반단면 패널을 설치하였으며, 이때 새롭게 적용된 U-BOLT 타이바를 이용하여 반단면 패널을 연결하였음. 그 후 전단면 패널을 인양하여 연결된 반단면 패널과 종방향 연결을 수행하였으며, 새롭게 적용된 포켓타입으로 패널 간 연결을 수행하였음. 패널의 설치 및 연결을 완료한 후 높낮이조절 볼트를 이용하여 설치된 패널의 높낮이를 조절하였으며, 그라우트 홀을 통해 패널 하부 그라우팅 작업을 수행하였음. 마무리 작업인 볼트 연결부 및 인양부에 대해서도 그라우팅 작업을 수행하였으며, 패널의 설치작업을 완료하였음.

3. 추가 증빙자료

- 특허 등록

모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술 실용화를 위하여 연구과제 1차년도에 특허출원을 하였으며 2차년도에 특허등록을 완료하였음. 특허명세서 및 특허증을 추가 증빙자료로 제출함.


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 제 10-2299784 호
Patent Number
출원번호 제 10-2020-0149683 호
Application Number
출원일 2020년 11월 10일
Filing Date
등록일 2021년 09월 02일
Registration Date
발명의 명칭 Title of the Invention
발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블렉아이스 예방 도로 포장 방법
특허권자 Patentee
등록사항란에 기재
발명자 Inventor
등록사항란에 기재
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2021년 11월 12일
특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김 용 래
특허청
Korean Intellectual Property Office

그림 6.3.1 특허등록증


(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)
(45) 공고일자 2021년09월08일
(11) 등록번호 10-2299784
(24) 등록일자 2021년09월02일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
(52) CPC특허분류
(21) 출원번호 10-2020-0149683
(22) 출원일자 2020년11월10일
(56) 선행기술조사문헌
(73) 특허권자
(72) 발명자
(74) 대리인
(54) 발명의 명칭 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블렉아이스 예방 도로 포장 방법
(57) 요 약
(57) 청구의 범위
도면
도면1

그림 6.3.2 특허공보

- 시제품 제작

발열모듈 임베디드 프리캐스트 콘크리트 패널을 추가 증빙자료로 제출 함.



그림 6.3.3 특허등록증 1,600X6,000X250 패널 제작 (블럭아웃)



그림 6.3.4 1,600X6,000X250 패널 제작 (블럭아웃)

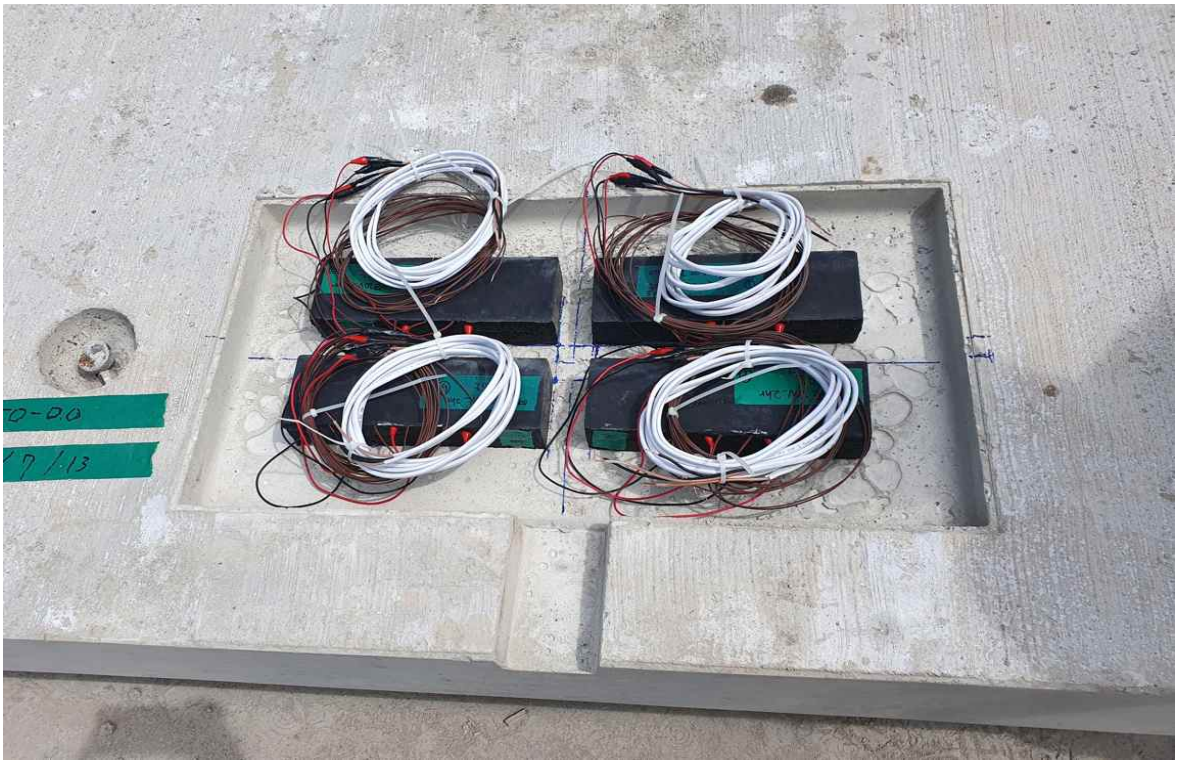


그림 6.3.5 1,600X6,000X250 패널 발열모듈 배치

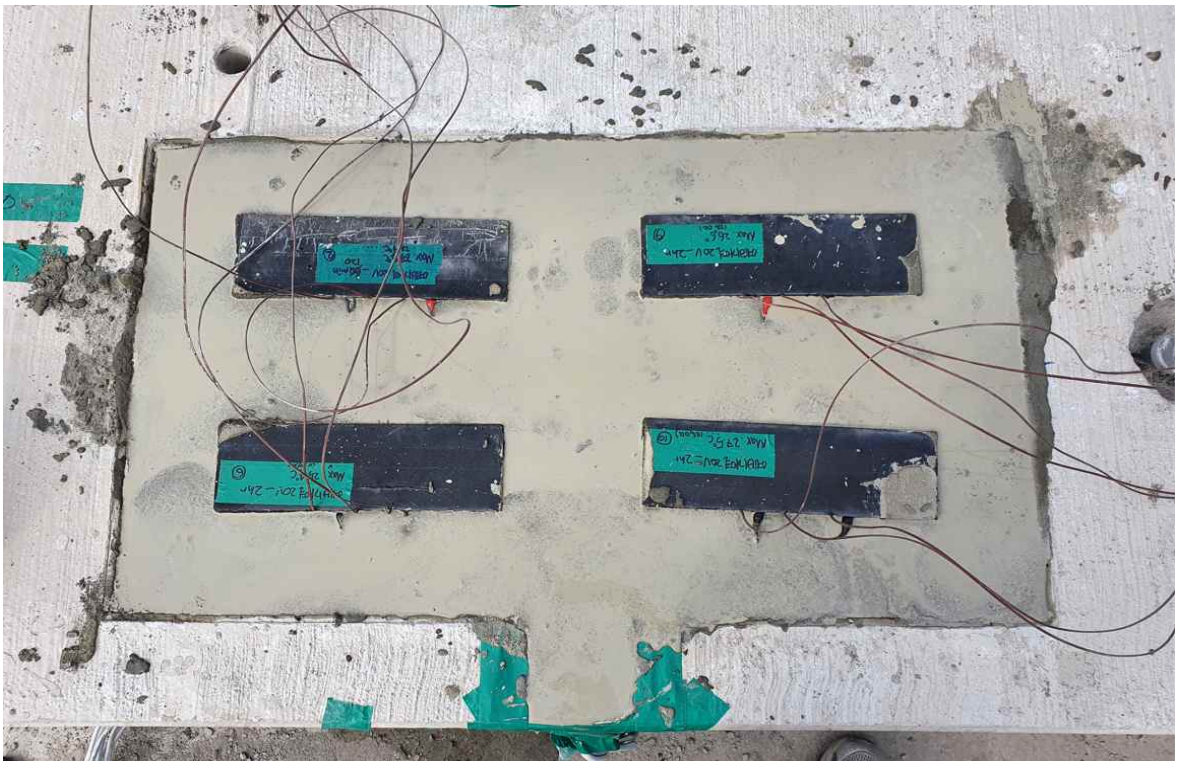


그림 6.3.6 1,600X6,000X250 패널 발열모듈 타설



그림 6.3.7 1,600X6,000X250 패널 발열모듈 및 케이블



그림 6.3.8 1,600X6,000X250 패널



그림 6.3.9 패널 횡방향 연결부 (U-Bolt)

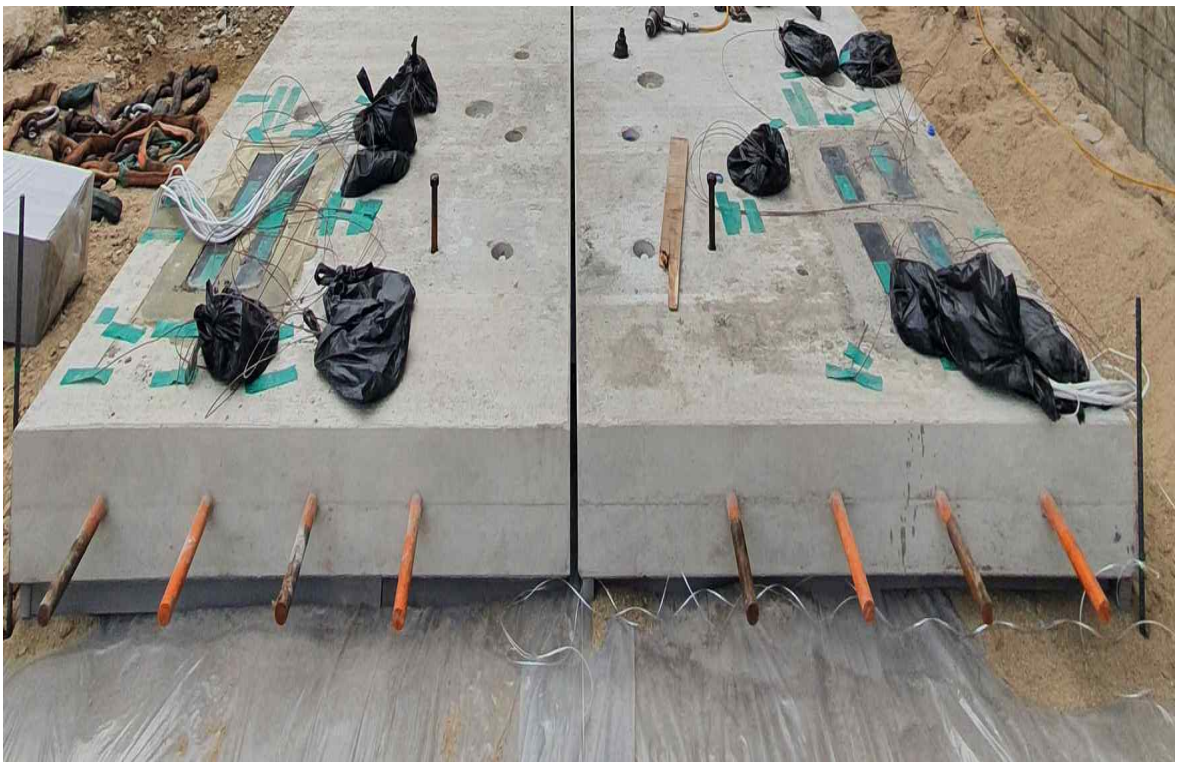


그림 6.3.10 1,600X6,000X250 패널 간 연결



그림 6.3.11 패널 종방향 연결부 (1/2후프타입)



그림 6.3.12 패널 간 종방향 연결



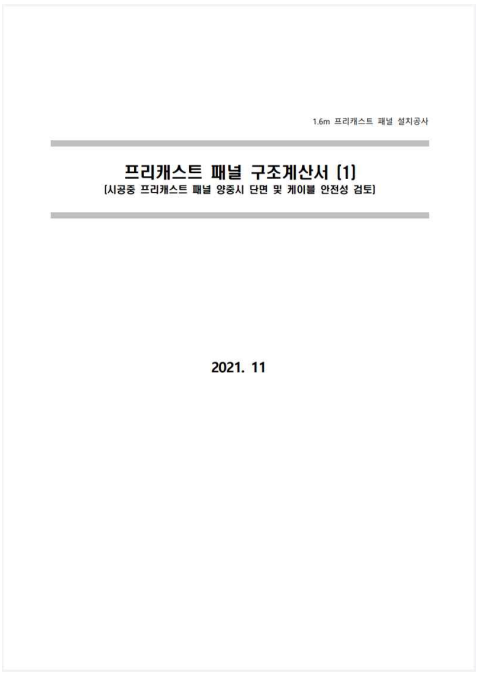
그림 6.3.13 패널 그라우트 작업



그림 6.3.14 발열모듈 임베디드 프리캐스트 콘크리트 패널

- 구조계산서 작성

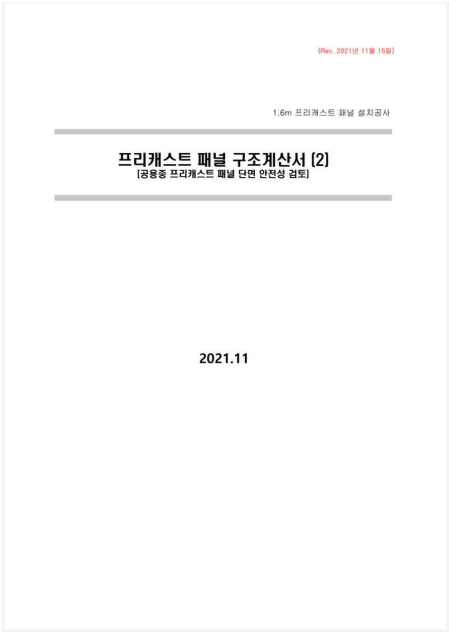
모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술 실용화를 위하여 반단면 패널(1,600x6,000x250) 및 전단면 패널(3,200x6,000x250)의 시공 중 안전성 검토 및 공용 중 안전성 검토 를 작성하여 추가 증빙자료로 제출 함.


1.6m 프리캐스트 패널 설치공사

프리캐스트 패널 구조계산서 [1]
[시공중 프리캐스트 패널 양중시 단면 및 케이블 안전성 검토]

2021. 11

그림 6.3.15 시공 시 양중 안전성 검토


(Rev. 2021년 11월 15일)

1.6m 프리캐스트 패널 설치공사

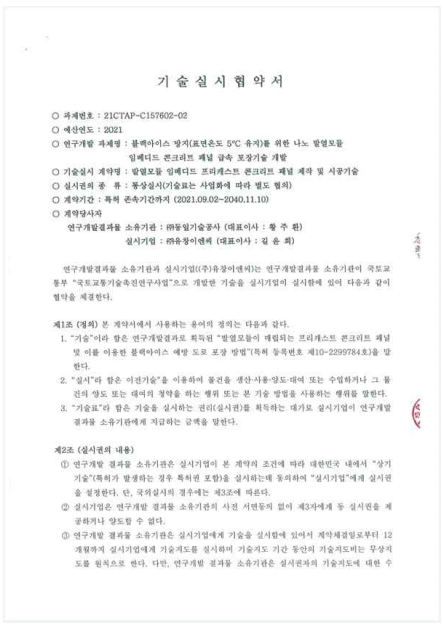
프리캐스트 패널 구조계산서 [2]
[공용중 프리캐스트 패널 단면 안전성 검토]

2021.11

그림 6.3.16 공용중 안전성 검토

- 참여기업과의 기술실시 계약

모듈 콘크리트 패널 급속포장 기술 실용화를 위하여 참여기업과의 기술 실시협약에 대한 협의가 수행되었음. 본 연구과제를 통해 등록된 특허 건에 대하여 참여기업인 ㈜유창이엔씨와 2021년 10월 31일 기술 실시협약을 수행하였으며 해당 기술의 사업화를 위한 상세 계획을 수립할 예정임. 참여기업과의 기술실시 협약서를 추가 증빙자료로 제출 함.


기 술 실 시 협 약 서

○ 과제번호 : 21CTAP-C157602-02
○ 예산연도 : 2021
○ 연구개발 과제명 : 블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발
○ 기술실시 계약명 : 발열모듈 임베디드 프리캐스트 콘크리트 패널 제작 및 시공기술
○ 실시권의 종 류 : 통상실시(기술료는 사업화에 따라 별도 협의)
○ 계약기간 : 특허 존속기간까지 (2021.09.02~2040.11.10)
○ 계약당사자
연구개발결과물 소유기관 : ㈜동일기술공사 (대표이사 : 황 주 환)
실시기업 : ㈜유창이엔씨 (대표이사 : 길 윤 희)

연구개발결과물 소유기관과 실시기업(㈜유창이엔씨)는 연구개발결과물 소유기관이 국토교통부 "국토교통기술촉진연구사업"으로 개발한 기술을 실시기업이 실시함에 있어 다음과 같이 협약을 체결한다.

제1조 (정의) 본 계약서에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. "기술"이라 함은 연구개발결과로 획득된 "발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법"(특허 등록번호 제10-2299784호)을 말한다.
2. "실시"라 함은 이전기술"을 이용하여 물건을 생산·사용·양도·대여 또는 수입하거나 그 물건의 양도 또는 대여의 청약을 하는 행위 또는 본 기술 방법을 사용하는 행위를 말한다.
3. "기술료"라 함은 기술을 실시하는 권리(실시권)를 획득하는 대가로 실시기업이 연구개발결과물 소유기관에게 지급하는 금액을 말한다.

제2조 (실시권의 내용)
① 연구개발 결과물 소유기관은 실시기업이 본 계약의 조건에 따라 대한민국 내에서 "상기 기술"(특허가 발생하는 경우 특허권 포함)을 실시하는데 동의하여 "실시기업"에게 실시권을 설정한다. 단, 국외실시의 경우에는 제3조에 따른다.
② 실시기업은 연구개발 결과물 소유기관의 사전 서면동의 없이 제3자에게 동 실시권을 제공하거나 양도할 수 없다.
③ 연구개발 결과물 소유기관은 실시기업에게 기술을 실시함에 있어서 계약체결일로부터 12개월까지 실시기업에게 기술지도를 실시하며 기술지도 기간 동안의 기술지도비는 무상지도를 원칙으로 한다. 다만, 연구개발 결과물 소유기관은 실시권자의 기술지도에 대한 수

그림 6.3.17 기술실시 협약서

2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-별첨-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-공인시험성적서-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

시 험 성 적 서

경기도 화성시 팔탄면 시청로 677번길 19
Tel: 031-466-4410
Fax: 031-356-4421
http://www.petratec.co.kr

성적서 번호 : PTR-20-019

주|페트라텍

1. 의 뢰 자
   - 기 관 명 : 경희대학교
   - 주 소 : 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 경희대학교 국제캠퍼스 공과대학 3800호
   - 연 락 처 : (전화) 031-201-3897 (e-mail) 0727donghwi@gmail.com

시험확인필 진본 2020/10/07 정부시험확인센터

2. 시험성적서의 용도 : 연구 성과 증빙 자료용

3. 시험대상품목
   - 제 품 명 : 부착강도 시험체
   - 제작회사 : 의뢰자 제시한 시험품
   - 모 델 명 : Control, MWCNT-0.5, MWCNT-1.0
   - 기 타 : ***

4. 시험기간 : 2020. 10. 05

5. 시험방법 : 의뢰자가 제시한 시험방법

6. 시험장비

장 비 명	제 조 사	용 량	모 델
인장 및 압축시험기	경성시험기(주)	500 kN	KSU-50HS

7. 시험결과 : 별첨결과 참조

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료 명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 구 준 수	성 명 : 이 동 수

2020년 10월 06일

(주)페트라텍 대표이사 이 동 수

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : 1mYvF0GfeI0=

경기도 화성시 팔탄면 시청로 677번길 19
Tel: 031-466-4410
Fax: 031-356-4421
http://www.petratec.co.kr

㈜페트라텍

시 험 결 과

1. 시험 방법

1) 의뢰자가 제공한 시험체에 대하여 부착강도시험을 수행하였다.
2) 시험체 형상은 [그림 1]과 같으며 [그림 2]와 같이 설치 후 시험을 진행하였다..
3) 시험은 1.27mm/min의 속도로 진행하였다.
4) 시험결과는 인장 및 압축시험기에서 측정된 값을 기록하였다.



[그림 1] 시험체 형상



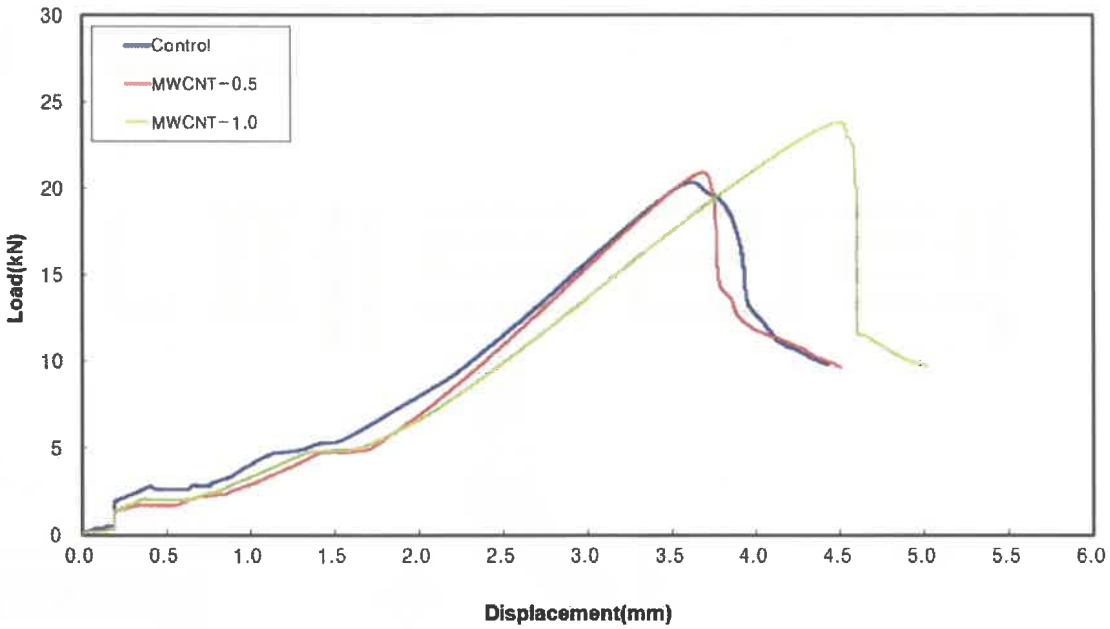
[그림 2] 시험체 설치 현황

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : 1mYvF0GfeI0=

2. 시험 결과

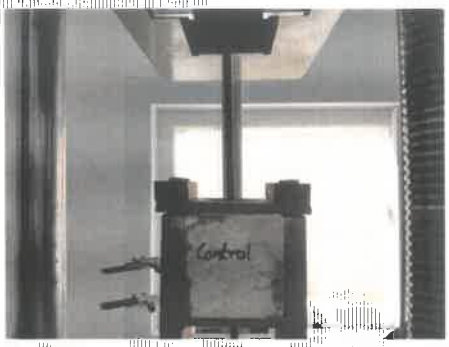
<표 1> 시험결과

시험체 명	Control	MWCNT-0.5	MWCNT-1.0	비 고
최대하중 (kN)	20.4	20.95	23.85	-



[그림 3] 시험결과 하중-변위 그래프

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : 1mYvF0GfeI0=



a) Control 시험체 설치



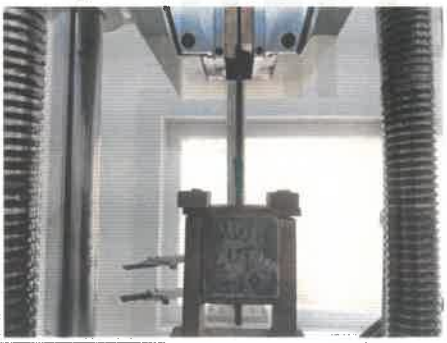
b) Control 시험체 시험종료



c) MWCNT-0.5 시험체 설치



d) MWCNT-0.5 시험체 시험종료



e) MWCNT-1.0 시험체 설치



f) MWCNT-1.0 시험체 시험종료

[그림 4] 시험 진행 현황

이상 끝

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : 1mYvF0GfeI0=

시 험 성 적 서

㈜페트라텍	성적서번호 : PTK-20-009-01 페이지 (1)/(총 2)	KOLAS

1. 의 뢰 자
   - 기 관 명 : 경희대학교
   - 주 소 : 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 경희대학교 국제캠퍼스 공과대학 [illegible]
   - 연 락 처 : (전화) 031-201-3897 (e-mail) 0727donghwi@gmail.com

시험성적인증 진본 2020/10/07 16:00:34 KST 경북시험인증센터

2. 시험성적서의 용도 : 연구 성과 증빙 자료용

3. 시험대상품목
   - 제 품 명 : 콘크리트 압축 강도 시험용 공시체 (지름 : 100mm)
   - 제작회사 : 의뢰자가 제시한 시험품
   - 모 델 명 : Control, MWCNT-0.5, MWCNT-1.0
   - 기 타 : ***

4. 시험기간 : 2020.10.05

5. 시험방법 : KS F 2405:2010

6. 시험장소 : ㈜ 페트라텍 실험 연구동
   (주소 : 경기도 화성시 팔탄면 시청로 677번길 21)

7. 시험결과 : 별첨결과 참조

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

확 인	작성자 성 명 : 구 준 수	기술책임자 성 명 : 이 동 수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2020년 10월 06일

한국인정기구 인정 (주)페트라텍 대표이사 (인)

경기도 화성시 팔탄면 시청로 677번길 19 Tel: 031-466-4410 Fax: 031-356-4421 http://www.petratec.co.kr

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : hgknPtFLgUY=

시 험 결 과

시 료 명	Control	MWCNT-0.5	MWCNT-1.0	비 고
압 축 강 도 (MPa)	31.1	37.5	34.7	-

이상 끝.

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : hgknPtFLgUY=

시 험 성 적 서

(주)페트라텍	성적서번호 : PTK-20-009-02 페이지 (1)/(총 2)	KOLAS

1. 의 뢰 자
   - 기 관 명 : 경희대학교
   - 주 소 : 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 경희대학교 국제캠퍼스 공과대학 [illegible]
   - 연 락 처 : (전화) 031-201-3897 (e-mail) 0727donghwi@gmail.com

시점확인필 진본 2020.10.07 16:03:44 KST 경부시점확인센터

2. 시험성적서의 용도 : 연구 성과 증빙 자료용

3. 시험대상품목
   - 제 품 명 : 콘크리트 휨 강도 시험용 공시체 (단면 치수 : 100mm × 100mm)
   - 제작회사 : 의뢰자가 제시한 시험품
   - 모 델 명 : MWCNT-0.5, MWCNT-1.0
   - 기 타 : ***

4. 시험기간 : 2020.10.05

5. 시험방법 : KS F 2408:2016

6. 시험장소 : ㈜ 페트라텍 실험 연구동
   (주소 : 경기도 화성시 팔탄면 시청로 677번길 21)

7. 시험결과 : 별첨결과 참조

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

확 인	작성자 성 명 : 구 준 수	기술책임자 성 명 : 이 동 수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2020년 10월 06일

한국인정기구 인정 (주)페트라텍 대표이사 (인)

경기도 화성시 팔탄면 시청로 677번길 19 Tel: 031-466-4410 Fax: 031-356-4421 http://www.petratec.co.kr

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : 4NqMqYujobo=

시 험 결 과

시 료 명	MWCNT-0.5	MWCNT-1.0	비 고
휨 강도 (MPa)	4.61	4.95	-

이상 끝.

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : 4NqMqYujobo=

Korea Laboratory Accreditation Scheme

KOLAS 공인시험기관 인정서

(주)페트라텍

인 정 번 호 : KT771

법인등록번호 (또는 고유번호) : 110111-4203743

사 업 장 소 재 지 : (소재지)경기도 화성시 팔탄면 시청로677번길 19

최 초 인 정 일 자 : 2017년 11월 17일

인 정 유 효 기 간 : 2017년 11월 17일 ~ 2021년 11월 16일

인정분야 및 범위 : 별첨

발 행 일 : 2021년 03월 05일

상기 기관을 국가표준기본법 제23조 및 KS Q ISO/IEC 17025:2017에 의거하여 KOLAS 공인시험기관으로 인정합니다. 또한 ISO-ILAC-IAF 공동성명에 언급된 바와 같이 인정된 분야 및 범위에 대한 기술적 능력과 시험기관의 품질경영시스템이 적절함을 인정합니다.

ilac-MRA

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME KOLAS

한 국 인 정 기 구 장

(Korea Laboratory Accreditation Scheme)

제 KT771호

01. 역학시험

01.001 금속 및 관련제품

규격번호	규격명	시험범위	사업장	현장시험
ASTM E8/E8M-16a:2016	Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials	시험하중 (0 ~ 1000) kN 연신율 (0 ~ 100) mm	소재지	N
KS B 0802:2003	금속 재료 인장 시험 방법	시험하중 (0 ~ 1000) kN 연신율 (0 ~ 100) mm	소재지	N
KS D 3504:2019	철근 콘크리트용 봉강 9.2.3 인장시험	시험하중 (0 ~ 1000) kN	소재지	N

제 KT771호

01. 역학시험

01.003 시멘트 및 관련제품

규격번호	규격명	시험범위	사업장	현장시험
KS F 2405:2010	콘크리트 압축 강도 시험방법	시험하중 (0 ~ 1000) kN	소재지	N
KS F 2408:2016	콘크리트의 휨 강도 시험방법	시험하중 (0 ~ 1000) kN	소재지	N

제 KT771호

01. 역학시험

01.010 플라스틱 및 관련제품

규격번호	규격명	시험범위	사업장	현장시험
KS M ISO 527-1:2012	플라스틱-인장성의 측정-제1부 : 통칙 10.1 응력 10.2 변형	시험하중 (0 ~ 20) kN 연신율 (0 ~ 100) mm	소재지	N
KS M ISO 527-2:2013	플라스틱 - 인장성의 측정 - 제2부:성형 및 압출 플라스틱의 시험조건 응력, 변형	시험하중 (0 ~ 20) kN 연신율 (0 ~ 100) mm	소재지	N

끝.

2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-특허 출원 및 등록-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2021.12.23
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2021-0186417 (접수번호 1-1-2021-1495142-92) (DAS접근코드629B)
출원인 명칭	경희대학교 산학협력단(2-2004-007362-3) 외 1명
대리인 성명	특허법인 두성(9-2015-100121-0)
발명자 성명	정원석 조상현 박소현 이희영
발명의 명칭	MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

【서지사항】

【서류명】 특허출원서

【출원구분】 특허출원

【출원인】

【명칭】 경희대학교 산학협력단

【특허고객번호】 2-2004-007362-3

【출원인】

【명칭】 조선대학교산학협력단

【특허고객번호】 2-2005-017190-3

【대리인】

【명칭】 특허법인 두성

【대리인번호】 9-2015-100121-0

【지정된변리사】 최병길, 임창수, 여운석, 박영복, 김선춘, 이익상

【발명의 국문명칭】 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널

【발명의 영문명칭】 Method for pavement road to prevent black ice using MWCNT heating concrete module

【발명자】

【성명】 정원석

【성명의 영문표기】 CHUNG, Won Seok

【주민등록번호】 720909-1XXXXXX

【우편번호】 13599

【주소】 경기도 성남시 분당구 수내로 148, 108동 1601호 (수내동, 파크타운)

【발명자】

【성명】 조상현

【성명의 영문표기】 CHO, Sang Hyeon

【주민등록번호】 940107-1XXXXXX

【우편번호】 17103

【주소】 경기도 용인시 기흥구 서그내로 23-1, 105호 (서천동)

【발명자】

【성명】 박소현

【성명의 영문표기】 PARK, So Hyeon

【주민등록번호】 970910-2XXXXXX

【우편번호】 16710

【주소】 경기도 수원시 영통구 청명로 10, 1203호 (영통동, 마크타워)

【발명자】

【성명】 이희영

【성명의 영문표기】 LEE, Hee Young

【주민등록번호】 860908-1XXXXXX

【우편번호】 61706

【주소】 광주광역시 남구 효사랑길 14, 106동 803호 (봉선동, 포스코더샵아파트)

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1615011862

【과제번호】 157602

【부처명】 국토교통부

【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원

【연구사업명】 국토교통기술촉진연구(R&D) (261110120126410041413 00)

【연구과제명】 블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

【기여율】 1/1

【과제수행기관명】 경희대학교 산학협력단

【연구기간】 2021.01.01 ~ 2021.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 두성 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】 19 면 0 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】 3 항 275,000 원

【합계】 321,000 원

【감면사유】 전담조직(50%감면)[2]

【감면후 수수료】 160,500 원

【첨부서류】 1.기타첨부서류[경희대-개별위임장]_1통 2.기타첨부서류[조선대-개별위임장]_1통

1 : 기타첨부서류
PDF 파일 첨부

2 : 기타첨부서류
PDF 파일 첨부

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널{Method for pavement road to prevent black ice using MWCNT heating concrete module}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 블랙아이스 예방을 위한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 발열부(MWCNT)의 발열 특성을 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용하여 겨울철 블랙아이스의 발생을 방지하는 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 이 부분은 본 출원 내용과 관련된 배경 정보를 제공할 뿐 반드시 선행기술이 되는 것은 아니다.

【0003】 최근 겨울철 대형 교통사고의 주요요인으로 대두되고 있는 블랙아이스는 아스팔트나 콘크리트 표면의 작은 틈새로 물이나 눈이 스며들어 얼어붙는 현상으로 육안으로 확인이 되지 않아 교통사고를 유발할 가능성이 높다.

【0004】 도로교통공단의 교통사고 분석시스템에 따르면 2014~2018년 블랙아이스로 인한 결빙도로 사고는 약 6,500건으로 눈이 많이 쌓여 발생한 사고보다 약

1.8배 많았고, 부상자수는 2배, 사망자 수는 3배 이상 많고, 치사율은 1.9배 이상 높았다.

【0005】 블랙아이스로 인한 사고 방지를 위하여 제설재를 살포하고 있으나 이미 영하권의 날씨로 인해 도로가 결빙되어 교통체증이 크며 여러 사고들을 유발한다.

【0006】 뿐만 아니라 도로 아스팔트 포장의 경우 소성변형 및 피로균열로 인한 지속적인 파손이 발생되고 있다.

【0007】 아스팔트 포장에서 하부기층의 변형이 발상된 포장체에 대하여 상부 표층 덧 씌우기만(5㎝) 반복하여 표면상의 미관만을 고려한 유지관리를 실시하기 때문에 도로의 내구성은 물론 겨울철 블랙아이스 위험도 높아지고 있다.

【0008】 소성변형으로 인한 지반의 침하 및 내부균열에 대한 근본적인 보수 보강이 필요하며, 사후 대응이 아닌 사전 예방적인 도로 융설 및 융빙 대책의 중요성이 대두되고 있다.

【0009】 현재까지 개발된 발열관련 도로의 결빙방지 기술로는 전열선법과 열 배관법 등이 적용되고 있으나 시공 또는 유지관리 측면에서 예상치 못한 여러 문제점이 도출되고 있다.

【0010】 기존의 결빙방지 기술인 전열선과 열 배관 방식은 전기나 기타 에너지원을 이용하여 발열하는 방식으로 시스템의 고장 발생 시 보수가 효과적으로 이루어지기 어렵고 재시공을 필요로 하는 등 기술적, 경제적으로 문제점이 발생한다.

【0011】열선은 차량 통행량이 많은 구간에 대하여 연성포장인 아스팔트에 홈을 커팅하고 설치하는데, 대형차량 차륜에 의해 가해지는 압력으로 열선이 끊어지는 경우가 많기 때문에 실제 수명은 2~3년에 불과하여 반복적인 설치가 필요한 실정이다.

【0012】제설법은 이미 눈이 적재된 후에 시작되므로 터널 입구 혹은 출구나 교량, 대형 교차로 등 블랙아이스에 의한 대규모 피해를 유발할 수 있는 지역이나 유동인구가 많거나 하향 경사구간 도로지역은 강설의 시점에서 융설로 인한 차량 통행성 확보가 어렵다.

【0013】열선을 이용한 방식의 특허문헌으로 등록특허 제10-1202262호는 도로 포장면 아래에 중공된 공간으로 형성되는 설치관과 상기 설치관에 구비되는 열선을 포함하는 발열부; 상기 열선에 사용되는 전력을 공급하는 전원부; 상기 도로 포장면의 온도를 측정하는 온도측정센서; 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제1설정값 이하이면 상기 열선에 상기 전원부를 통하여 전력을 공급하고 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제2설정값 이상이면 상기 열선에 전력을 차단하는 제어부; 및 도로 포장면에 설치되며 상기 열선에 전력이 공급 될 때에 점등되고 전력이 차단 될 때 소등되는 안전등;을 포함하는 도로용 무인 제설장치가 있다.

【0014】본 발명의 출원인의 특허로 등록특허 제10-2299784호는 프리캐스트 콘크리트 몸체와; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 매립되며 전선과 접속되어 전압의 공급을 통해 발열하는 CNT 발열모듈과; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 상

기 CNT 발열모듈을 덮도록 형성되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하는 보호층을 포함하고, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 상기 CNT 발열모듈과 상기 전선이 삽입되는 매립홈을 포함하되, 상기 매립홈은 상호 간에 일정 간격을 두고 형성되며 상기 CNT 발열모듈이 매립되는 발열모듈 매립부, 이웃하는 발열모듈 매립부들의 사이에 상기 발열모듈 매립부보다 적은 폭으로 상기 발열모듈 매립부들을 연결하도록 형성되며 전선이 매립되는 전선 매립부를 포함하고, 상기 보호층은 포장재 또는 몰탈로 이루어지며, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체의 표면에 전체적으로 형성되거나 상기 매립홈에 충진되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하며, 상기 CNT 발열모듈은 상기 발열모듈 매립부에 삽입되는 한편 상기 전선 매립부에 삽입되는 전선과 함께 설치된 후 상기 보호층의 형성을 통해 매립되고 상기 전선을 통해 전원을 인가받아 발열하여 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체의 표면을 일정 온도 이상으로 유지하되, 둘레부에 외부를 향해 개방되는 충진홈을 포함하고 상기 매립홈에 삽입된 후 상기 매립홈에 채워지는 보호층의 재료 또는 별도의 충진재가 상기 충진홈에 충진되어 고정되는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널이고, CNT 발열모듈은 CNT로만 이루어지기 때문에 프리캐스트 콘크리트 몸체와 이질감을 주게 되고 따라서 포장 강도를 유지하는 것이 어렵고 열전달도 떨어질 수 있으며 CNT의 손상 발생우려가 높으면서 이 때 CNT만 손상되어도 프리캐스트 콘크리트 패널 전체를 교체하여야 하는 단점이 있다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

【0015】(**특허문헌 0001**) 등록특허 제10-2299784호

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0016】본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 발열부와 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 차량이 주행하는 도로에서 블랙아이스의 발생을 방지하고, CNT를 프리캐스트 콘크리트 본체와 동일한 질감을 갖도록 제조하여 발열과 포장 모두를 만족시킴으로써 도로 포장의 수명을 연장하는 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널을 제공하려는데 그 목적이 있다.

【과제의 해결 수단】

【0017】본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널은, 콘크리트 패널 본체와; 상기 콘크리트 패널 본체의 내부에 표면이 노출되는 매입형으로 형성되는 발열 콘크리트 모듈을 포함하고, 상기 발열 콘크리트 모듈은 MWCNT, 물, 시멘트, 모래의 혼합을 조성으로 하여 육면체 형태로 이루어지되, 상기 시멘트 100중량부에 대하여 물 45~55중량부, 모래 240~260중량부, 직경 1nm~10nm 길이 100nm~1cm의 MWCNT 0.5~1중량부의 혼합으로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

【발명의 효과】

【0018】본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 의하면, 도로 포장의 발열을 이용하여 겨울철 블랙아이스로 인한 대형 교통사고를 미연에 방지하는 효과, 공장 제작에 의한 모듈화를 통해 급속 시공이 가능하므로 교통 통제시간을 최소화 하는 효과, 도로를 고강도의 콘크리트로 포장하여 도로 포장의 수명을 연장하고 결국 유지보수비용을 절감하는 효과도 있으며, 특히, 콘크리트와 발열 콘크리트의 동질 특성을 이용하여 차량의 동적하중으로 인한 발열부의 탈락현상을 방지함으로써 발열부의 손상으로 인한 포장면 교체의 유지비용을 절감하는 효과가 있다.

【0019】그리고, 전열수단을 통해 발열 콘크리트 모듈의 열을 더 빠르고 넓게 전달하여 저비용으로 블랙아이스 예방효과를 더욱 향상할 수 있을 뿐 아니라 탈락 방지 효과도 향상할 수 있고, 또한, 이웃하는 발열 콘크리트 모듈을 간격조절부재로 연결하여 지지기반을 확충함으로써 탈락으로부터 더욱 안전하게 보호할 수 있고 발열 콘크리트 모듈의 정확한 설치 위치를 통해 발열구역을 균일하게 유지할 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0020】도 1은 본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널의 사시도.

도 2는 본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방

도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널의 평면도.

도 3과 도 4는 본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널의 발열 콘크리트 모듈에 전열수단이 적용된 예시도.

도 5는 본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 발열 콘크리트 모듈을 간격조절부재로 연결한 예시도.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0021】 하기에서 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

【0022】 도 1과 도 2에서 보이는 바와 같이, 본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널(10)은, 프리캐스트의 콘크리트 패널 본체(11) 및 MWCNT 발열 콘크리트 모듈(이하 '발열 모듈'이라 칭함)(12)으로 이루어진다.

【0023】콘크리트 패널 본체(11)는 공장에서 제작되는 육면체 형태의 프리캐스트 콘크리트 패널로 포장 현장으로 운반되어 포장 시공되며, 내부에 발열 모듈(12)이 수용되어 발열 모듈(12)에서 발열되는 열을 표면에 발열하여 블랙아이스를 예방한다.

【0024】콘크리트 패널 본체(11)는 길이 1,500㎜, 폭 795㎜, 두께 50㎜ 또는 길이 6,000㎜, 폭 3,200㎜, 두께 50㎜이며, 물론 상기 수치로 한정되는 것은 아니다.

【0025】발열 모듈(12)은 탄소나노튜브(Carbon Nano Tube, CNT) 더욱 바람직하게 다중벽 탄소 나노튜브(Multi Wallde Carbon Nano Tube, MWCNT)를 발열 소재로 사용하고 또한 콘크리트 패널 본체(11)와 동질감을 주기 위한 콘크리트를 조성으로 하며, 즉, 시멘트, 물, 골재(예컨대 모래) 및 MWCNT를 재료로 하고, 시멘트 100중량부에 대하여 물 45~55중량부, 모래 240~260중량부, MWCNT 0.5~1중량부를 조성으로 한다.

【0026】시멘트와 물 및 모래는 콘크리트 패널 본체(11)와 동일한 재료로서 동질감을 주기 때문에 발열 모듈(12)의 강도를 만족하는 수준으로 맞출 수 있고 열전달 효율을 높일 수 있다.

【0027】MWCNT의 평균 직경은 1nm~10nm이고 길이는 100nm~1cm이다. MWCNT의 밀도는 1.33g/cm로 전기 전도도가 0.17~2ㅅ10^5S/cm이고 열전도도는 3,000W/m○K이다. MWCNT는 구리에 비해 전기전도도는 약 100배 이상, 열전도도는

7.5배 우수하다. MWCNT는 순도 99%로 기능화 된 수용액 상태이며, 이는 시멘트 재료에서 분산성을 확보하는데 유리한 것으로 나타났다.

【0028】MWCNT는 상기 제원이면서 시멘트 100중량부에 대하여 0.5~1중량부로 혼합될 때 최적의 발열효율을 나타내는 것으로 확인되었다.

【0029】발열 모듈(12)은 길이 200~500㎜, 폭 80~150㎜, 두께 50~70㎜, 바람직하게는 300㎜, 폭 100㎜, 두께 60㎜이고, 전원을 인가받을 수 있는 전극이 갖추어진다.

【0030】발열 모듈(12)의 크기는 콘크리트 패널 본체(11)의 크기에 비해 매우 작은 크기이므로 1개의 콘크리트 패널 본체(11)에 다수개가 적용되며, 바람직하게 차륜이 통과하는 구간에 차륜의 폭보다 넓은 폭으로 적용되면서 이 때 상호 간의 간격(중심 간의 간격)은 100~150㎜이다. 이 때, 발열 모듈(12)과 콘크리트 패널 본체(11)의 끝과의 거리는 발열 모듈(12)들 사이 거리의 1/2이다.

【0031】이상에서 설명한 발열 모듈(12)의 조성, 제원 및 간격은 최소 비용과 최적의 발열과 전열 효율을 통해 콘크리트 패널 본체(11)의 넓은 면적을 블랙아이스 예방을 위한 조건을 만들기 위한 유기적 결합관계를 갖고 있는 것이다.

【0032】발열 모듈(12)은 콘크리트 패널 본체(11)와 동일한 타설을 통해 제작되는데, 그 제작 방법은 발열 모듈(12)과 콘크리트 패널 본체(11)를 각각의 거푸집 안에서 타설과 양생을 거쳐 제작하고 콘크리트 패널 본체(11)의 홈 안에 발열 모듈을 삽입하여 제작하는 조립식 방법, 발열 모듈(12)을 먼저 제작하여 콘크리트

패널 본체(11)의 거푸집에 고정한 후 콘크리트 패널 본체(11)의 타설과 양생을 통해 일체화하는 선매립 방법, 반대로 콘크리트 패널 본체(11)를 홈을 갖도록 제작하고 상기 홈을 타설공간으로 하여 발열 모듈(12)의 재료를 타설하여 발열 모듈을 제작하는 후타설 방법이 있다.

【0033】조립식 방법의 경우 발열 모듈(12)과 콘크리트 패널 본체(11)의 벽 사이를 몰탈 등으로 충진하는 공정을 필요로 한다.

【0034】선매립 방법과 후타설 방법의 경우 별도의 몰탈 충진이 필요없고, 선매립 방법의 경우 발열 모듈(12)의 형태를 자유롭게 변형하여 적용하는 것이 가능하며, 예를 들어, 도 3에서 보이는 것처럼, 발열 모듈(12)의 외부로 돌출되어 콘크리트 패널 본체(11)의 철근(14)에 열을 전달하는 전열봉(13)을 포함할 수 있다.

【0035】전열봉(13)은 발열 모듈(12)의 내부를 관통하면서 길이방향의 양쪽이 발열 모듈(12)의 외부로 돌출되어 철근(14)에 열전달이 가능하도록 접촉 고정되는 형태이다.

【0036】또한, 전열수단의 다른 예로서 발열 모듈(12)의 둘레부를 감싸 보호하면서 방사형(십자형)의 전열부(15a)을 갖는 전열틀(15)(도 4 참고)도 가능하다. 전열틀(15)은 상부가 개방되는 박스 형태로 형성되어 발열 모듈(12)의 타설을 위한 거푸집의 기능을 겸하는 것도 가능하고, 즉, 발열 모듈(12)의 제작에서부터 시공까지 사용된다.

【0037】 전열틀(15)은 내부에 타설되는 발열 모듈(12)과 일체로 합성되어 발열 모듈(12)이 탈락되지 않도록 내벽에 스터드(돌출부)를 포함한다.

【0038】 전열틀(15)은 전열부(15a)에 하나 이상의 홀(15b)을 포함한다. 홀(15b)은 콘크리트 패널 본체(11)의 콘크리트가 충진되는 홀로 사용되어 탈락 방지에 매우 유용하다.

【0039】 이와 같은 구성의 전열수단은 발열 모듈(12)의 열을 주변으로 더 효율적으로 전달할 수 있기 때문에 적은 수량이나 작은 크기의 발열 모듈(12)을 사용하여도 블랙아이스 예방효과를 도출할 수 있고, 또한, 콘크리트 패널 본체(11)의 철근(14)과 연결을 통해 차량으로부터 동적하중이 전가되더라도 탈락의 위험을 없앨 수 있다.

【0040】 또한, 박스형의 전열틀(15)에 따르면, 발열 모듈(12)의 타설공간이 콘크리트 패널 본체(11)의 타설 공간과 분리되어 발열 모듈(12)과 콘크리트 패널 본체(11)을 동시에 타설하는 것을 가능케 하고 따라서 제작 기간을 단축할 수도 있다.

【0041】 또한, 전열틀(15)을 사용하는 경우 이웃하는 2개의 전열틀(15)을 간격조절부재(16)(도 6 참고)로 연결하여 이웃하는 발열 모듈(12)의 간격을 일정하게 유지하고 상호 간의 지지를 통해 탈락방지에도 더 큰 도움을 주도록 구성될 수 있다.

【0042】간격조절부재(16)는 길이조절이 가능한 턴버틀 형태이며 서로 반대 방향의 나사선이 형성된 양쪽의 볼트가 이웃하는 전열틀(15)에 형성된 너트부에 나사 체결(또는 용접)되고 상기 볼트들 사이의 너트를 조작하여 전열틀(15)을 가까워지거나 멀어지는 방향으로 이동시켜 간격을 조절한다.

【0043】본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법은 다음과 같다.

【0044】1. 포장면 정리.

【0045】기존 포장(예를 들어 아스팔트 포장)을 제거한 후 제거된 포장구간의 면을 정리한다.

【0046】2. 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 설치.

【0047】패널(10)을 인양하여 포장구간 위로 운반한 후 포장면에 거치한다.

【0048】패널(10)의 레벨링을 맞추고 이웃하는 패널(10)과 인터록킹한다.

【0049】3. 그라우팅.

【0050】패널(10)의 가장자리를 실링한 후 패널(10)의 그라우팅홀을 통해 패널(10)의 저부와 포장면 사이를 그라우팅한다.

【0051】4. 발열 모듈과 제어기 연결.

【0052】패널(10)이 설치된 포장구역의 옆에 제어기와 전원부를 설치하고, 상기 제어기를 발열 모듈(12)의 전압과 연결되며 패널(10)에 배선된 전선과 접속한

다.

【0053】 이상의 공정을 통해 패널(10)에 의한 도포 포장을 완료한다.

【0054】 이상의 공정을 통해 시공된 도로 포장에 따르면, 도로 노면의 블랙아이스가 발생되는 기상조건에서 발열 모듈(12)에 전압(예를 들어 30~60V))이 인가되면 발열부(12)가 발열한다(예를 들어 25℃). 발열 모듈(12)의 온/오프 제어는 자동 제어와 수동 제어가 가능하다. 자동 제어의 경우 온도센서를 통해 패널(10)이 설치된 지역의 외부 온도를 감지하고 상기 온도센서에서 감지한 온도와 기준 온도(블랙아이스가 발생될 수 있는 온도 범위)의 비교를 통해 현재 온도가 기준 온도보다 낮아지면 발열 모듈(12)이 온 제어되고 반대로 현재 온도가 기준 온도보다 높아지면 오프 제어된다.

【0055】 발열 모듈(12)의 열은 콘크리트 패널 본체(11)의 표면에 전달되어 패널(10)의 표면 및 표면에서부터 형성된 크랙부분을 블랙아이스가 발생하는 온도보다 높은 온도로 조성한다.

【0056】 따라서, 패널(10)의 표면에서부터 작은 틈에 물이나 눈이 스며들더라도 얼어붙지 못한다.

【0057】 또한, 본 발명은 블랙아이스의 예방뿐만 아니라, 발열 모듈(12)의 열을 통해 이미 얼어붙은 얼음도 녹일 수 있다.

【0058】 이 때, 발열 모듈(12)의 열은 전열수단(13 또는 15)을 통해 콘크리트 패널 본체(11)의 철근(14)에 전달되어 발열 모듈(12)로부터 먼 곳에도 고온의

열을 빠르게 전달한다.

【0059】결국, 본 발명의 패널(10)에 의해 포장된 도로는 블랙아이스로 인한 사고를 방지하게 된다.

【부호의 설명】

【0060】10 : 프리캐스트 콘크리트 패널,

11 : 콘크리트 패널 본체, 12 : 발열 모듈

13 : 전열봉, 14 : 철근

15 : 전열틀,

【청구범위】

【청구항 1】

콘크리트 패널 본체와;

상기 콘크리트 패널 본체의 내부에 표면이 노출되는 매입형으로 형성되는 발열 콘크리트 모듈을 포함하고,

상기 발열 콘크리트 모듈은 시멘트 100중량부에 대하여 물 45~55중량부, 모래 240~260중량부, 직경 1nm~10nm 길이 100nm~1cm의 MWCNT 0.5~1중량부의 혼합으로 이루어지면서 길이 200~500mm, 폭 80~150mm, 두께 50~70mm인 것을 특징으로 하는 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 2】

청구항 1에 있어서, 상기 발열 콘크리트 모듈의 열을 상기 콘크리트 패널 본체의 철근에 전달하는 전열수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 3】

청구항 2에 있어서, 상기 전열수단은 상기 발열 콘크리트 모듈의 타설 공간을 제공하여 거푸집의 기능을 하며 상기 발열 콘크리트 모듈을 보호하는 박스형태의 전열틀이며, 이웃하는 2개가 간격조절부재를 통해 연결되는 것을 특징으로 하는 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크

리트 패널.

【요약서】

【요약】

본 발명은 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 관한 것으로, 발열부와 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 차량이 주행하는 도로에서 블랙아이스의 발생을 방지하고, CNT를 프리캐스트 콘크리트 본체와 동일한 질감을 갖도록 제조하여 발열과 포장 모두를 만족시킴으로써 도로 포장의 수명을 연장하는 것을 목적으로 한다.

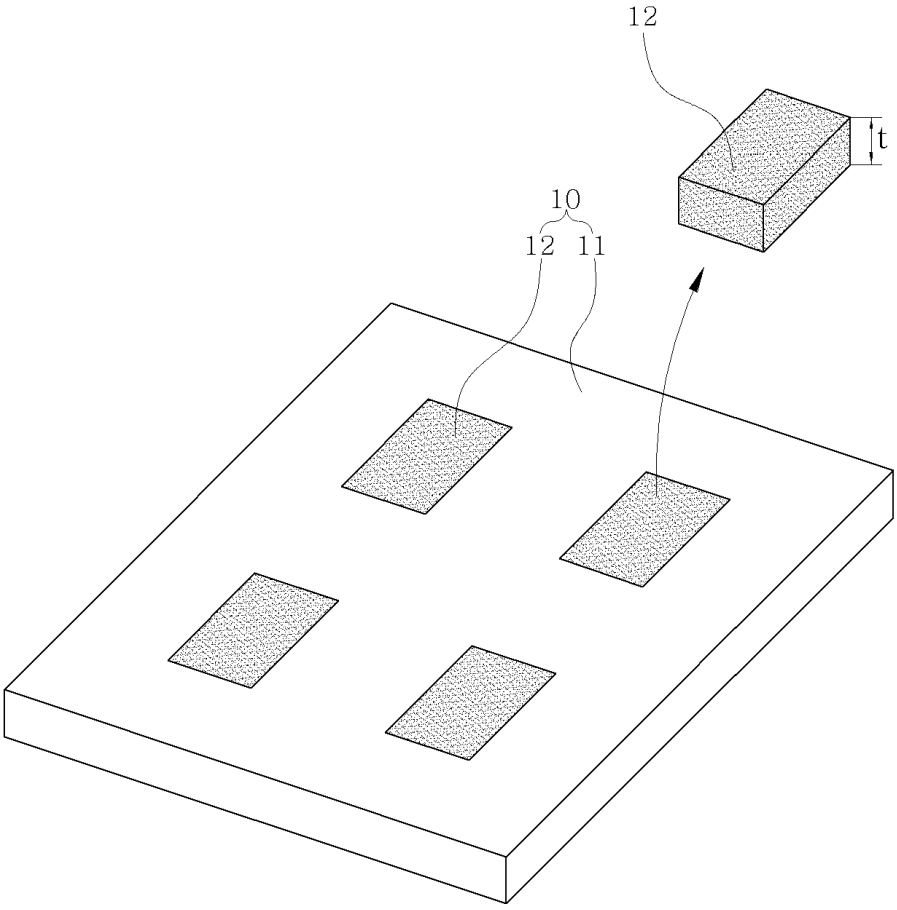
본 발명에 의한 MWCNT 발열 콘크리트 모듈을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널은, 콘크리트 패널 본체와; 상기 콘크리트 패널 본체의 내부에 표면이 노출되는 매입형으로 형성되는 발열 콘크리트 모듈을 포함하고, 상기 발열 콘크리트 모듈은 MWCNT, 물, 시멘트, 모래의 혼합을 조성으로 하여 육면체 형태로 이루어지되, 상기 시멘트 100중량부에 대하여 물 45~55중량부, 모래 240~260중량부, 직경 1nm~10nm, 길이 100nm~1cm의 MWCNT 0.5~1중량부의 혼합으로 이루어진다.

【대표도】

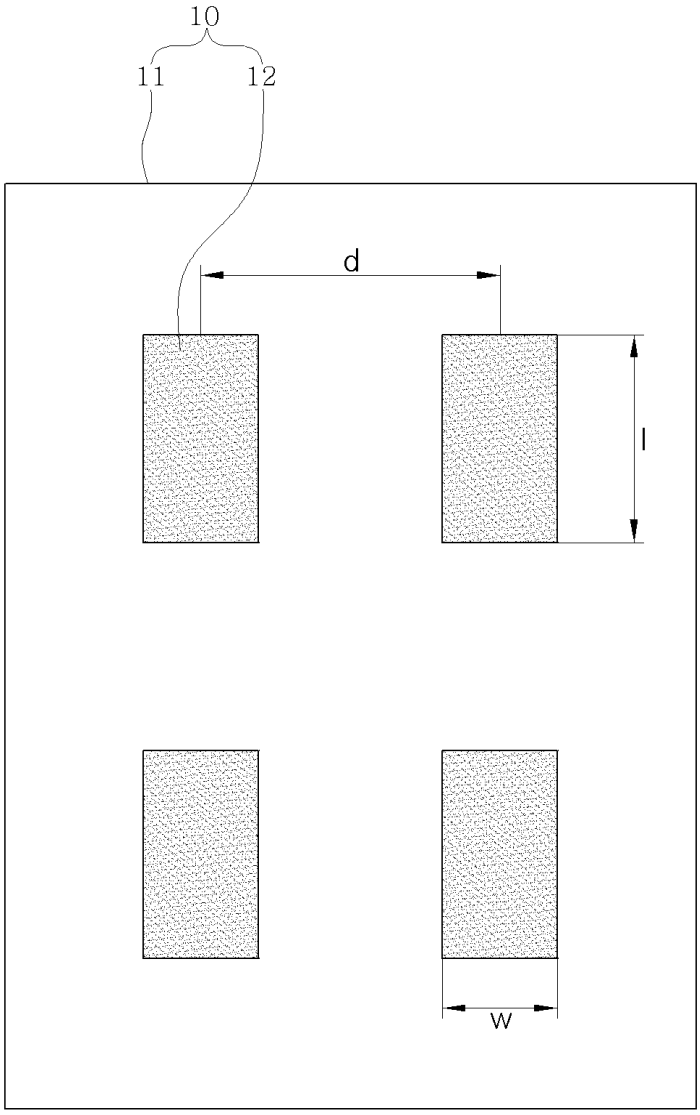
도 1

【도면】

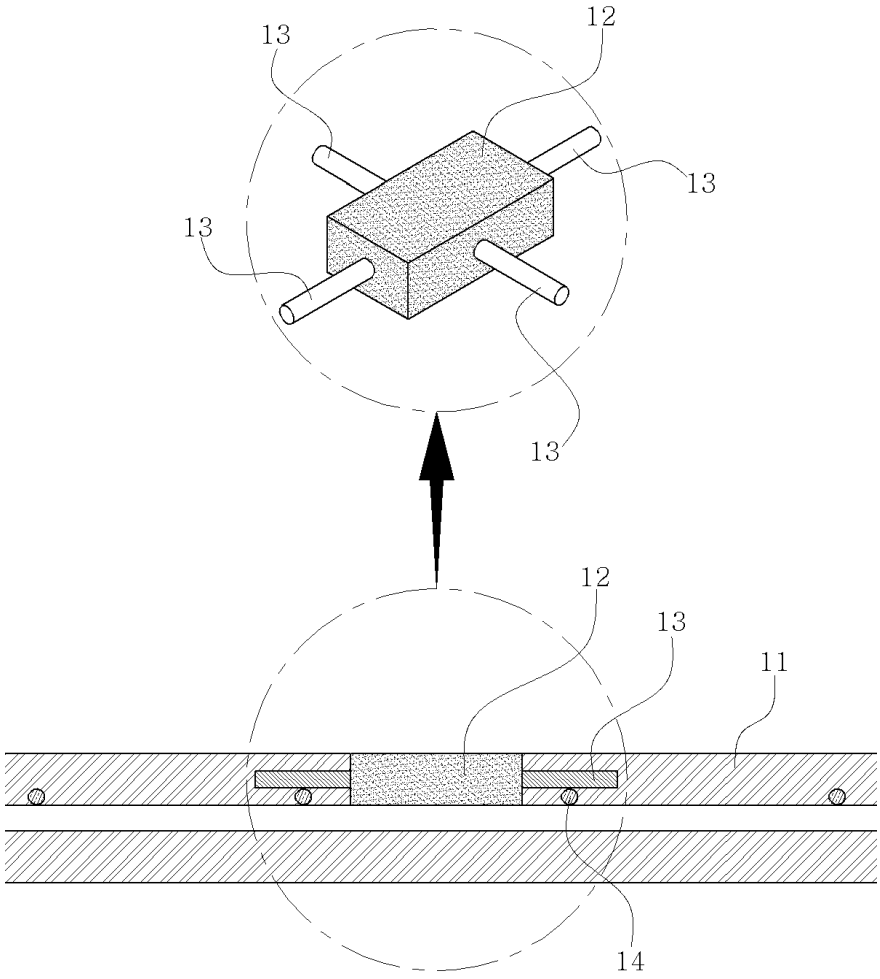
【도 1】



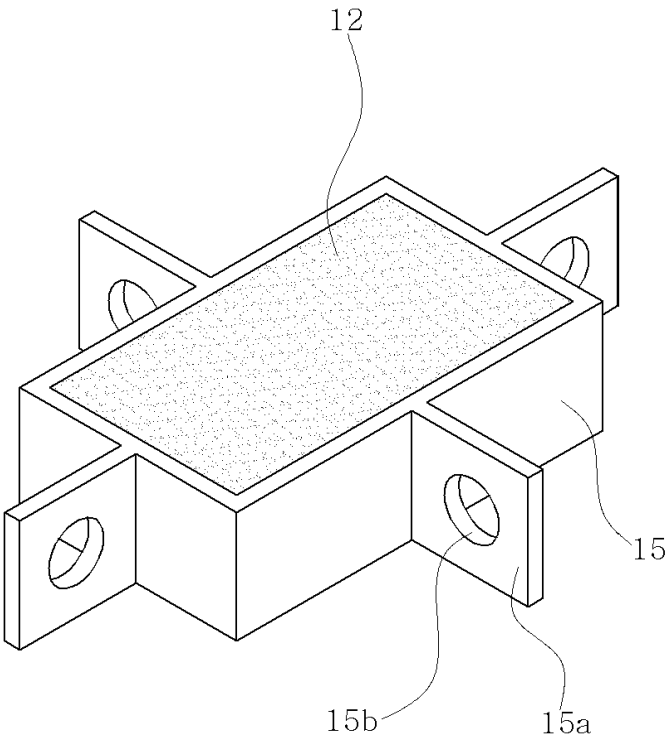
【도 2】



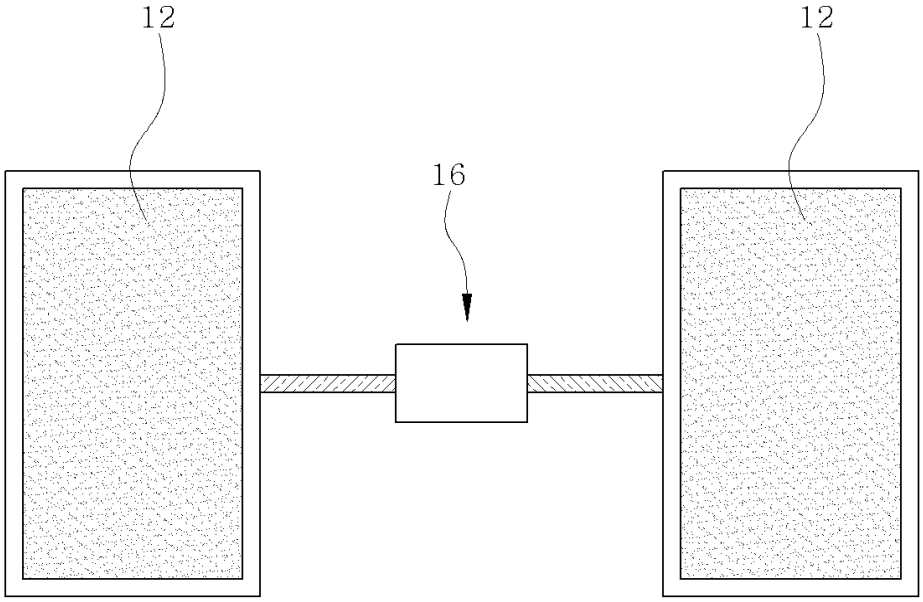
【도 3】



【도 4】



【도 5】



관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2021.11.16
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2021-0157969 (접수번호 1-1-2021-1322767-05) (DAS접근코드80C5)
출원인 명칭	조선대학교산학협력단(2-2005-017190-3) 외 1명
대리인 성명	특허법인 두성(9-2015-100121-0)
발명자 성명	이희영 정원석 조상현 박소현
발명의 명칭	발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

【서지사항】

【서류명】 특허출원서

【출원구분】 특허출원

【출원인】

【명칭】 조선대학교산학협력단

【특허고객번호】 2-2005-017190-3

【출원인】

【명칭】 경희대학교 산학협력단

【특허고객번호】 2-2004-007362-3

【대리인】

【명칭】 특허법인 두성

【대리인번호】 9-2015-100121-0

【지정된변리사】 최병길, 임창수, 여운석, 박영복, 김선춘, 이익상

【발명의 국문명칭】 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

【발명의 영문명칭】 Method of manufacturing precast concrete panels integrated with heating units and method of pavement road to prevent black ice

【발명자】

【성명】 이희영

【성명의 영문표기】 LEE, Hee Young

【주민등록번호】 860908-1XXXXXX

【우편번호】 61706

【주소】 광주광역시 남구 효사랑길 14, 106동 803호 (봉선동, 포스코더샵아파트)

【발명자】

【성명】 정원석

【성명의 영문표기】 CHUNG, Won Seok

【주민등록번호】 720909-1XXXXXX

【우편번호】 13599

【주소】 경기도 성남시 분당구 수내로 148, 108동 1601호 (수내동, 파크타운)

【발명자】

【성명】 조상현

【성명의 영문표기】 CHO, Sang Hyeon

【주민등록번호】 940107-1XXXXXX

【우편번호】 17103

【주소】 경기도 용인시 기흥구 서그내로 23-1, 105호 (서천동)

【발명자】

【성명】 박소현

【성명의 영문표기】 PARK, So Hyeon

【주민등록번호】 970910-2XXXXXX

【우편번호】 16710

【주소】 경기도 수원시 영통구 청명로 10, 1203호 (영통동, 마크타워)

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1615011862

【과제번호】 157602

【부처명】 국토교통부(P26)

【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원

【연구사업명】 국토교통기술촉진연구(R&D)(26111012012641004141300)

【연구과제명】 블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

【기여율】 1/1

【과제수행기관명】 조선대학교

【연구기간】 2021.01.01 ~ 2021.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 두성 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】 21 면 0 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】 6 항 407,000 원

【합계】 453,000 원

【감면사유】 전담조직(50%감면)[2]

【감면후 수수료】 226,500 원

【첨부서류】 1.기타첨부서류[개별위임장-조선대]_1통 2.기타첨부서류[개별위임장-경희대]_1통

1 : 기타첨부서류
PDF 파일 첨부

2 : 기타첨부서류
PDF 파일 첨부

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법 {Method of manufacturing precast concrete panels integrated with heating units and method of pavement road to prevent black ice}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 발열부(CNT)의 발열 특성을 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용하여 겨울철 블랙아이스의 발생을 방지하는 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 이 부분은 본 출원 내용과 관련된 배경 정보를 제공할 뿐 반드시 선행기술이 되는 것은 아니다.

【0003】 최근 겨울철 대형 교통사고의 주요요인으로 대두되고 있는 블랙아이스는 아스팔트나 콘크리트 표면의 작은 틈새로 물이나 눈이 스며들어 얼어붙는 현상으로 육안으로 확인이 되지 않아 교통사고를 유발할 가능성이 높다.

【0004】 도로교통공단의 교통사고 분석시스템에 따르면 2014~2018년 블랙아이스로 인한 결빙도로 사고는 약 6,500건으로 눈이 많이 쌓여 발생한 사고보다 약 1.8배 많았고, 부상자수는 2배, 사망자 수는 3배 이상 많고, 치사율은 1.9배 이상

높았다.

【0005】 블랙아이스로 인한 사고 방지를 위하여 제설재를 살포하고 있으나 이미 영하권의 날씨로 인해 도로가 결빙되어 교통체증이 크며 여러 사고들을 유발한다.

【0006】 뿐만 아니라 도로 아스팔트 포장의 경우 소성변형 및 피로균열로 인한 지속적인 파손이 발생되고 있다.

【0007】 아스팔트 포장에서 하부기층의 변형이 발상된 포장체에 대하여 상부 표층 덧 씌우기만(5㎝) 반복하여 표면상의 미관만을 고려한 유지관리를 실시하기 때문에 도로의 내구성은 물론 겨울철 블랙아이스 위험도 높아지고 있다.

【0008】 소성변형으로 인한 지반의 침하 및 내부균열에 대한 근본적인 보수 보강이 필요하며, 사후 대응이 아닌 사전 예방적인 도로 융설 및 융빙 대책의 중요성이 대두되고 있다.

【0009】 현재까지 개발된 발열관련 도로의 결빙방지 기술로는 전열선법과 열배관법 등이 적용되고 있으나 시공 또는 유지관리 측면에서 예상치 못한 여러 문제점이 도출되고 있다.

【0010】 기존의 결빙방지 기술인 전열선과 열 배관 방식은 전기나 기타 에너지원을 이용하여 발열하는 방식으로 시스템의 고장 발생 시 보수가 효과적으로 이루어지기 어렵고 재시공을 필요로 하는 등 기술적, 경제적으로 문제점이 발생한다.

【0011】열선은 차량 통행량이 많은 구간에 대하여 연성포장인 아스팔트에 홈을 커팅하고 설치하는데, 대형차량 차륜에 의해 가해지는 압력으로 열선이 끊어지는 경우가 많기 때문에 실제 수명은 2~3년에 불과하여 반복적인 설치가 필요한 실정이다.

【0012】제설법은 이미 눈이 적재된 후에 시작되므로 터널 입구 혹은 출구나 교량, 대형 교차로 등 블랙아이스에 의한 대규모 피해를 유발할 수 있는 지역이나 유동인구가 많거나 하향 경사구간 도로지역은 강설의 시점에서 융설로 인한 차량 통행성 확보가 어렵다.

【0013】열선을 이용한 방식의 특허문헌으로 등록특허 제10-1202262호는 도로 포장면 아래에 중공된 공간으로 형성되는 설치관과 상기 설치관에 구비되는 열선을 포함하는 발열부; 상기 열선에 사용되는 전력을 공급하는 전원부; 상기 도로 포장면의 온도를 측정하는 온도측정센서; 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제1설정값 이하이면 상기 열선에 상기 전원부를 통하여 전력을 공급하고 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제2설정값 이상이면 상기 열선에 전력을 차단하는 제어부; 및 도로 포장면에 설치되며 상기 열선에 전력이 공급 될 때에 점등되고 전력이 차단 될 때 소등되는 안전등;을 포함하는 도로용 무인 제설장치가 있다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

【0014】(**특허문헌 0001**) 등록특허 제10-1202262호

(**특허문헌 0002**) 등록특허 제10-1705315호

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0015】본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 발열부와 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 차량이 주행하는 도로에서 블랙아이스의 발생을 방지하면서 도로 포장의 수명을 연장하는 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법을 제공하려는데 그 목적이 있다.

【과제의 해결 수단】

【0016】본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법은, 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설하되 발열부의 타설공간이 형성되도록 타설하는 제1단계와; 상기 제1단계에서 형성한 발열부의 타설공간에 발열부 콘크리트를 타설 양생하는 제2단계를 통해 제조되는 발열부의 후타설형 인 것을 특징으로 한다.

【0017】본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법은 발열부 콘크리트의 타설과 양생을 통해 라인 형태의 발열부를 제조하는 제1단계와; 프리캐스트 콘크리트부 거푸집 안에 상기 제1단계에서 제조한 발열부를 거치하

는 제2단계와; 상기 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설 양생하여 상기 발열부가 매설된 프리캐스트 콘크리트부를 제조하는 제3단계를 통해 제조되는 발열부의 선매립형인 것을 특징으로 한다.

【발명의 효과】

【0018】 본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 의하면, 반복적으로 발생되는 겨울철 블랙아이스로 인한 대형 교통사고를 미연에 방지하는 효과가 있고, 공장 제작에 의한 모듈화를 통해 급속 시공이 가능하므로 교통 통제시간을 최소화 하는 효과도 있고, 도로를 고강도의 콘크리트로 포장하여 도로 포장의 수명을 연장하고 결국 유지보수 비용을 절감하는 효과도 있으며, 특히, 콘크리트와 발열 콘크리트의 동질 특성을 이용하여 프리캐스트 콘크리트부와 발열부을 일체로 합성함으로써 차량으로부터 가해지는 반복하중으로 인한 발열부의 탈락을 방지하므로 고가의 유지비용을 절감하는 효과가 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0019】 도 1과 도 2는 각각 본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널의 예시도.

도 3은 본 발명의 실시예 1에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널의 제조 공정도.

도 4는 본 발명의 실시예 1에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널

의 제조 공정도.

도 5 내지 도 7은 각각 본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 발열부의 예시도.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0020】 하기에서 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

【0021】 도 1과 도 2에서 보이는 것처럼, 본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널(10)은 프리캐스트 콘크리트부(11) 및 발열부(CNT 콘크리트)(12)로 이루어지되, 프리캐스트 콘크리트부의 선 타설 후 발열부를 후 타설하는 실시예 1, 발열부를 선 타설로 제조한 후 프리캐스트 콘크리트부를 타설(선매립)하는 실시예 2로 구분되고, 발열부(12)는 20~40㎜의 두께, 100~800㎜의 폭을 제원으로 하고 이 제원은 차량 바퀴의 폭보다 넓은 블랙아이스 예방 구간을 만들기 위한 것이다. 발열부(12)는 프리캐스트 콘크리트부(11)에 1개의 라인으로 형성되는 것(도 1 참고), 프리캐스트 콘크리트부(11)에 다수개의 라인으로 형성되는 것(도 2 참고)이 가능하고, 이하의 실시예는 도 1의 형태를 예로 들어 도시하고 설명한다.

【0022】<실시예 1>

【0023】도 3에서 보이는 바와 같이, 본 실시예에 의한 발열부 일체형프리캐스트 콘크리트 패널(10)의 제조 방법은 공장에서 거푸집 안에 콘크리트를 타설하여 양생을 통해 프리캐스트 콘크리트부(11)를 제조하고 이 과정에서 발열부(12)를 타설하여 프리캐스트 콘크리트부(11)와 발열부(12)로 구성된 프리캐스트 콘크리트 패널(10)을 제조하는 것이다.

【0024】제1단계. 프리캐스트 콘크리트부 제조.

【0025】제1-1단계. 거푸집 거치.

【0026】프리캐스트 콘크리트부용 거푸집(1)을 거치하고 발열부(12)의 형태를 갖는 블록아웃 채움재(2)를 거치한다. 철근의 배근은 공지 기술과 동일하므로 도면과 구체적인 설명을 생략한다.

【0027】프리캐스트 콘크리트부용 거푸집(1)은 상부를 향해 개방되는 구조이다.

【0028】블록아웃 채움재(2)는 발열부(12)의 시공을 위하여 발열부 콘크리트를 타설하기 위한 공간을 만들기 위한 것이며 프리캐스트 콘크리트부용 콘크리트의 타설 압력에 의해 변형되지 않는 재질과 구조이고 또한 프리캐스트 콘크리트부용 콘크리트의 양생 과정에서 쉽게 탈형되도록 처리되는 것이 바람직하다.

【0029】블록아웃 채움재(2)는 거치대(3)를 통해 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집(1)의 바닥과 일정 높이를 두고 이격되도록 거치된다. 거치대(3)는 전술한

상태의 거치가 가능한 모든 구조가 가능하고 예를 들어 지면에 지지되는 좌우 한 쌍의 다리, 상기 다리에 지지되는 프레임, 상기 프레임에 매달리며 블록아웃 채움재(2)에 연결되는 행거봉으로 구성된다. 상기 행거봉은 블록아웃 채움재(2)의 높이 조절(나사식 등)이 가능하도록 구성되는 것도 바람직하다.

【0030】 제1-2단계. 콘크리트 타설.

【0031】 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집(1) 안에 콘크리트를 타설한다.

【0032】 제2단계. 발열부 제조.

【0033】 제2-1단계. 블록아웃 채움재 탈형.

【0034】 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집(1)에서 블록아웃 채움재(2)를 탈형하여 발열부(12)의 형성을 위한 공간을 확보한다.

【0035】 이 때, 전 공정에서 타설한 프리캐스트 콘크리부용 콘크리트가 완전 양생되기 전에 블록아웃 채움재(2)를 탈형하며, 그 이유는 완전 양생되지 않은 콘크리트의 특성을 이용하여 프리캐스트 콘크리트부(11)와 발열부(12)를 일체로 합성하기 위함이다.

【0036】 블록아웃 채움재(2)의 탈형은 거치대(3)를 거푸집(1) 주위로 이동하는 방법, 거치대(3)의 높이 조절을 통해 블록아웃 채움재(2)를 프리캐스트 콘크리트부(11)에서 빼는 방법이 가능하다.

【0037】 제2-2단계. 발열부 타설.

【0038】블록아웃 채움재(2)의 탈형으로 생긴 프리캐스트 콘크리트부(11)의 빈 홈(11a) 안에 발열부 콘크리트를 타설한다.

【0039】상기 프리캐스트 콘크리트부 콘크리트와 발열부 콘크리트의 양생을 통해 프리캐스트 콘크리트부(11)와 발열부(12)가 일체로 합성된 프리캐스트 콘크리트 패널(10)을 완성한다.

【0040】발열부의 타설 공정에서는 발열부(12)의 발열 작용을 위하여 양쪽 끝에 전선을 고정할 수 있다.

【0041】지금까지는 블록아웃 채움재(2)를 별도의 거치대(3)를 통해 공중에 떠 있도록 거치하는 것으로 도시하고 설명하였으나 이에 한정되지 아니하고 블록아웃 채움재(2)를 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집(1)의 바닥에 깔고 콘크리트를 타설하여 제조하고 최종 완성 후 상하를 뒤집어 블록아웃 채움재(2)가 상부를 향하도록 한 후 탈형과 발열부 콘크리트의 타설로 프리캐스트 콘크리트 패널을 제조하는 것도 가능하다.

【0042】본 발명에서 사용된 프리캐스트 콘크리트부 콘크리트는 도로 포장용 프리캐스트 콘크리트 패널의 제조를 위한 재료와 동일하다.

【0043】발열부 콘크리트는 발열을 위한 탄소나노튜브(Carbon Nano Tube, CNT) 더욱 바람직하게 다중벽 탄소 나노튜브(Multi Wallde Carbon Nano Tube, MWCNT)를 조성으로 하고 또한, 프리캐스트 콘크리트와 동질감을 주기 위한 콘크리트를 조성으로 하며, 바람직하게 시멘트 : 모래 : 물 : MWCNT = 1 : 2.3~2.6 :

0.35~0.45 : 0.018~0.02를 조성비(중량비)로 한다.

【0044】MWCNT의 평균 직경은 1nm~10nm이고 길이는 100nm~1cm이다. MWCNT의 밀도는 1.33g/cm로 전기 전도도가 0.17~2ㅅ10^5S/cm이고 열전도도는 3,000W/m○K이다. MWCNT는 구리에 비해 전기전도도는 약 100배 이상, 열전도도는 7.5배 우수하다. MWCNT는 순도 99%로 기능화 된 수용액 상태이며, 이는 시멘트 재료에서 분산성을 확보하는데 유리한 것으로 나타났다.

【0045】발열부(12)는 무근형도 가능하고 물론 철근이 배근되는 것도 가능하다.

【0046】<실시예 2>

【0047】도 4에서 보이는 바와 같이, 본 실시예에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널(10)의 제조 방법은, 발열부 제조(제1단계) - 발열부 거치(제2단계) - 발열부 매립 프리캐스트 콘크리트부 제조(제3단계)의 공정으로 이루어지며, 콘크리트, 발열부 콘크리트의 재료는 전술한 실시예 1과 동일하다.

【0048】제1단계. 발열부 제조.

【0049】발열부의 형태를 갖는 거푸집 안에 발열부 콘크리트를 타설 양생하고 상기 거푸집의 탈형을 통해 육면체 형태의 발열부(12)를 제조한다.

【0050】제2단계. 발열부 거치.

【0051】프리캐스트 콘크리트부 거푸집(1)의 타설공간 안에 발열부(12)를 거치한다.

【0052】 발열부(12)의 위치는 프리캐스트 콘크리트 패널(10)의 완성을 기준으로 할 때와 동일한 위치이며, 거치대(3)를 통해 거치된다.

【0053】 거치대(3)는 실시예 1에서 설명한 블록아웃 채움재(2)의 거치대(3)와 동일한 구조와 기능을 할 수 있다.

【0054】 제3단계. 콘크리트 타설.

【0055】 프리캐스트 콘크리트부 거푸집(1) 안에 콘크리트를 타설 양생한다.

【0056】 상기 콘크리트는 발열부(12)의 둘레부에 침투하여 양생됨으로써 발열부(12)와 일체로 합성된 프리캐스트 콘크리트부(11)를 제조하게 된다.

【0057】 도 4의 우측에서 보이는 것처럼, 본 실시예도 발열부(12)를 프리캐스트 콘크리트부 거푸집(1)의 바닥에 깔고 콘크리트를 타설 양생한 후 상하를 뒤집어 제조하는 것이 가능하다.

【0058】 이하, 발열부의 다양한 실시예에 대해 설명한다.

【0059】 도 5에서 보이는 것처럼, 발열부(12)는 상부의 폭(a)보다 하부의 폭(b)이 더 넓은 형태이며, 구조적으로 발열부(12)의 탈락을 방지한다.

【0060】 실시예 1의 제조 방법으로 제조되는 경우 블록아웃 채움재는 상부로 분리할 수 없고 옆으로 분리한다.

【0061】 또한, 발열부(12)는 상부와 하부가 동일한 폭인 경우 양쪽면이 거칠기 가공될 수 있다. 거칠기 가공은 블록아웃 채움재(2)의 양쪽면을 요철형으로 형성하는 것으로 가능하고, 블록아웃 채움재(2)는 상부로 분리되지 못하고 옆으로 빼

내어 분리된다.

【0062】 도 6에서 보이는 것처럼, 발열부(12)는 둘레부에 스터드(13)를 포함한다.

【0063】 스터드(13)는 발열부(12)와 프리캐스트 콘크리트부(11)를 일체로 합성하며, 발열부(12)의 제조 시 매설되는 것도 가능하고 발열부(12)의 제조 후 고정되는 것도 가능하고 발열부(12)의 둘레부에 상호 간에 일정 간격을 두고 다수개가 적용된다.

【0064】 도 7은 발열부(12)를 보호하는 보호틀(14)을 이용하는 예를 도시한 것이며, 보호틀(14)은 발열부(12)가 얇은 두께인 경우 발열부(12)의 균열과 깨짐을 효과적으로 방지한다.

【0065】 보호틀(14)은 발열부(12)의 저면을 지지하는 판형 또는 저면과 둘레면을 덮는 박스 형태이고 외부면에 스터드가 적용될 수 있다.

【0066】 또한, 보호틀(14)은 박스 형태인 경우 발열부(12)의 거푸집 겸용도 가능하고 즉, 보호틀(14) 안에 발열부 콘크리트를 타설하고 양생하여 발열부(12)를 제조하고며, 보호틀(14)과 함께 프리캐스트 콘크리트부(11)에 매설 제조된다. 이때, 발열부(12)와 보호틀(14)의 일체 합성을 위하여 보호틀(14)은 내부면에 스터드(돌기나 홈)가 구성된다.

【0067】 본 발명에 의한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법은 다음과 같다.

【0068】 1. 포장면 정리.

【0069】기존 포장(예를 들어 아스팔트 포장)을 제거한 후 제거된 포장구간의 면을 정리한다.

【0070】2. 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 설치.

【0071】패널(100)을 인양하여 포장구간 위로 운반한 후 포장면에 거치한다.

【0072】패널(100)의 레벨링을 맞추고 이웃하는 패널(100)과 인터록킹한다.

【0073】3. 그라우팅.

【0074】패널(100)의 가장자리를 실링한 후 패널(100)의 그라우팅홀을 통해 패널(100)의 저부와 포장면 사이를 그라우팅한다.

【0075】4. 발열부와 제어기 연결.

【0076】패널(100)이 설치된 포장구역의 옆에 제어기와 전원부를 설치하고, 상기 제어기를 패널(100)의 전선과 접속한다.

【0077】이상의 공정을 통해 패널(100)에 의한 도포 포장을 완료한다.

【0078】이상의 공정을 통해 시공된 도로 포장에 따르면, 도로 노면의 블랙아이스가 발생되는 기상조건에서 발열부(12)에 전압(예를 들어 30~60V))이 인가되면 발열부(12)가 발열한다(예를 들어 25℃).

【0079】발열부(12)의 열은 프리캐스트 콘크리트부(11)의 표면에 전달되어 패널(100)의 표면 및 표면에서부터 형성된 크랙부분을 블랙아이스가 발생하는 온도보다 높은 온도로 조성한다.

【0080】 따라서, 패널(100)의 표면에서부터 작은 틈에 물이나 눈이 스며들더라도 얼어붙지 못한다.

【0081】 또한, 본 발명은 블랙아이스의 예방뿐만 아니라, 발열부(20)의 열을 통해 이미 얼어붙은 얼음도 녹일 수 있다.

【0082】 결국, 본 발명의 패널(100)에 의해 포장된 도로는 블랙아이스로 인한 사고를 방지하게 된다.

【부호의 설명】

【0083】 10 : 프리캐스트 콘크리트 패널,

11 : 프리캐스트 콘크리트부, 12 : 발열부

13 : 스터드,

1 : 거푸집, 2 : 블록아웃 채움재

3 : 거치대,

【청구범위】

【청구항 1】

프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설하여 육면체 형태의 프리캐스트 콘크리트부를 제조하는 제1단계와;

상기 제1단계에서 제조한 프리캐스트 콘크리트부에 라인 형태의 발열부를 형성하는 제2단계를 포함하고,

상기 제1단계는 상기 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집에 상기 발열부의 형태를 갖는 블록아웃 채움재를 거치하는 제1-1단계, 상기 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설하는 제1-2단계를 포함하며,

상기 제2단계는 상기 제1-2단계에서 타설한 콘크리트의 양생 전에 상기 블록아웃 채움재를 탈형하는 제2-1단계, 상기 블록아웃 채움재로 인해 생긴 홈 안에 상기 발열부의 발열부 콘크리트를 타설 양생하여 발열부를 제조하는 제2-2단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법.

【청구항 2】

발열부 콘크리트의 타설과 양생을 통해 라인 형태의 발열부를 제조하는 제1단계와;

프리캐스트 콘크리트부 거푸집 안에 상기 제1단계에서 제조한 발열부를 거치하는 제2단계와;

상기 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설 양생하여 상기

발열부가 매설된 프리캐스트 콘크리트부를 제조하는 제3단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법.

【청구항 3】

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 발열부 콘크리트는 시멘트 : 모래 : 물 : MWCNT = 1 : 2.3~2.6 : 0.35~0.45 : 0.018~0.02의 ??량 비율로 이루어지는 것을 특징으로 하는 특징으로 하는 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법.

【청구항 4】

청구항 2에 있어서, 상기 제1단계는 보호틀 안에 발열부 콘크리트를 타설 양생하여 발열부를 제조하는 것을 특징으로 하는 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법.

【청구항 5】

청구항 2에 있어서, 상기 제1단계는 발열부의 둘레부에 스터드를 형성하는 것을 특징으로 하는 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법.

【청구항 6】

청구항 1 또는 청구항 2에 의한 제조 방법에 의해 제조된 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법으로서,

노면에, 청구항 1 또는 청구항 2에 의해 제조된 발열부 일체형 프리캐스트

콘크리트 패널을 거치하는 제1단계와;

상기 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널의 발열부에 연결된 전선을 제어기와 전기적으로 연결하는 제2단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 블랙아이스 예방 도로 포장 방법.

【요약서】

【요약】

본 발명은 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법 및 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 관한 것으로, 발열부와 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 차량이 주행하는 도로에서 블랙아이스의 발생을 방지하면서 도로 포장의 수명을 연장하는 것을 목적으로 한다.

본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법은, 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설하여 육면체 형태의 프리캐스트 콘크리트부를 제조하는 제1단계와; 상기 제1단계에서 제조한 프리캐스트 콘크리트부에 라인 형태의 발열부를 형성하는 제2단계를 포함하고, 상기 제1단계는 상기 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집에 상기 발열부의 형태를 갖는 블록아웃 채움재를 거치하는 제1-1단계, 상기 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설하는 제1-2단계를 포함하며, 상기 제2단계는 상기 제1-2단계에서 타설한 콘크리트의 양생 전에 상기 블록아웃 채움재를 탈형하는 제2-1단계, 상기 블록아웃 채움재로 인해 생긴 홈 안에 상기 발열부의 발열부 콘크리트를 타설 양생하여 발열부를 제조하는 제2-2단계를 포함한다.

본 발명에 의한 발열부 일체형 프리캐스트 콘크리트 패널 제조 방법은 발열부 콘크리트의 타설과 양생을 통해 라인 형태의 발열부를 제조하는 제1단계와; 프리캐스트 콘크리트부 거푸집 안에 상기 제1단계에서 제조한 발열부를 거치하는 제2

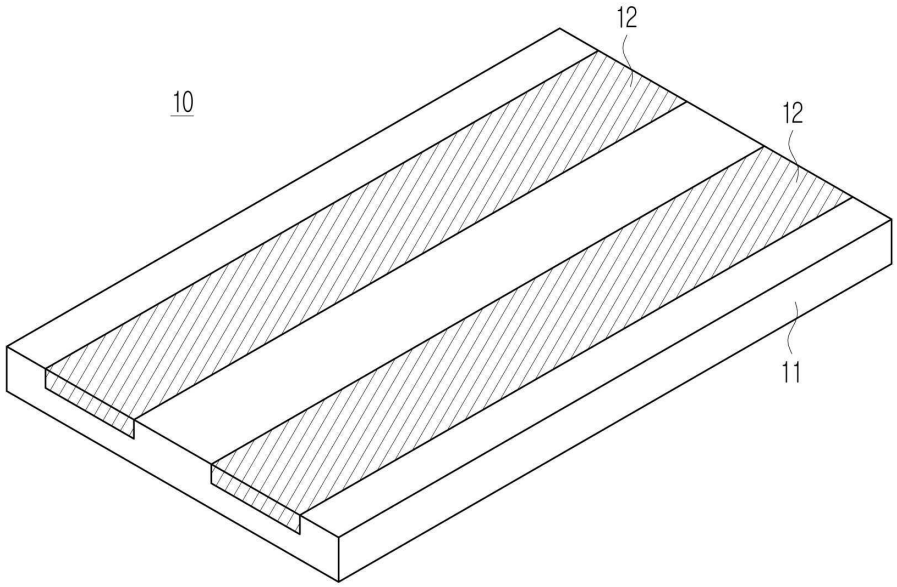
단계와; 상기 프리캐스트 콘크리트부용 거푸집 안에 콘크리트를 타설 양생하여 상기 발열부가 매설된 프리캐스트 콘크리트부를 제조하는 제3단계를 포함한다.

【대표도】

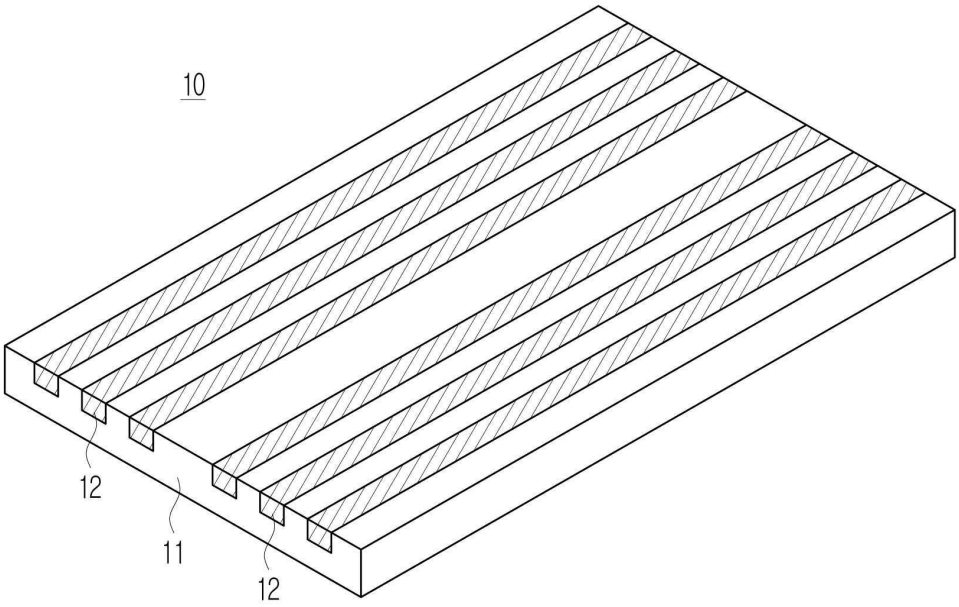
도 1

【도면】

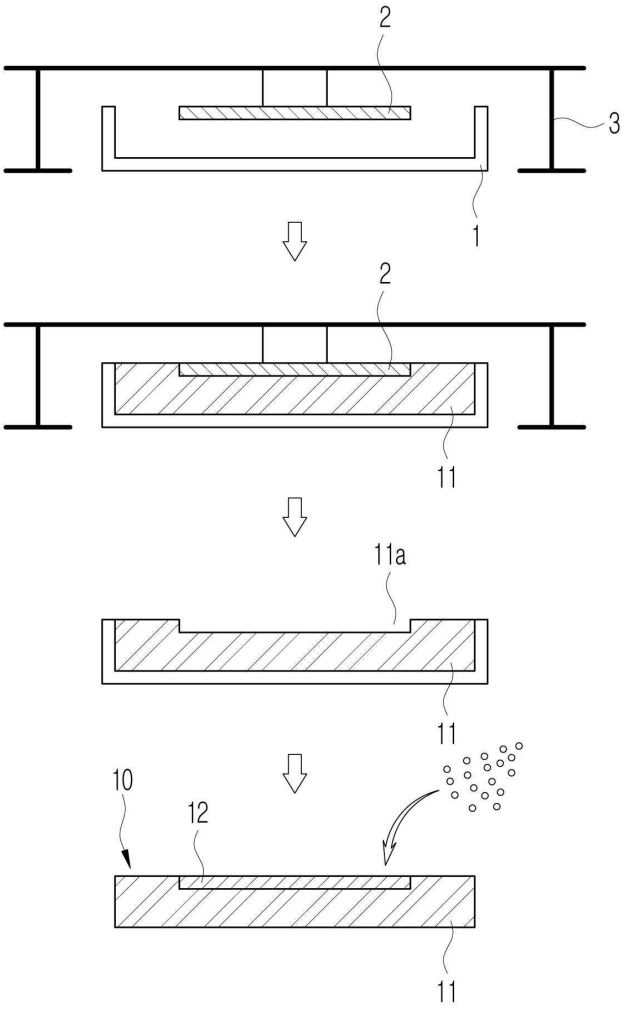
【도 1】



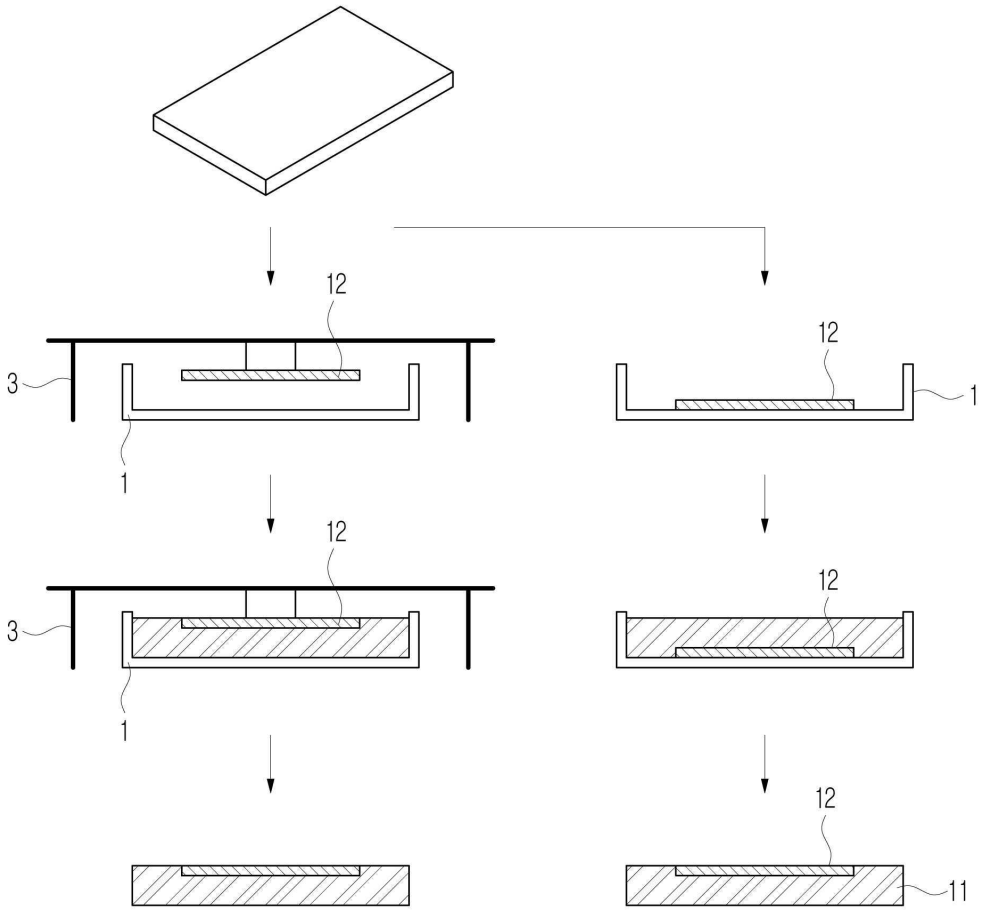
【도 2】



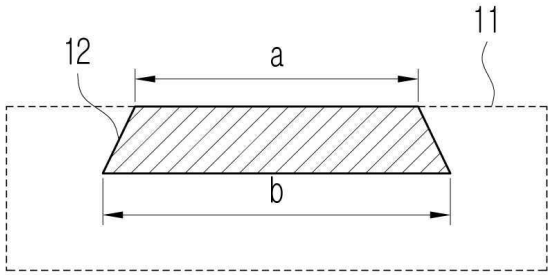
【도 3】



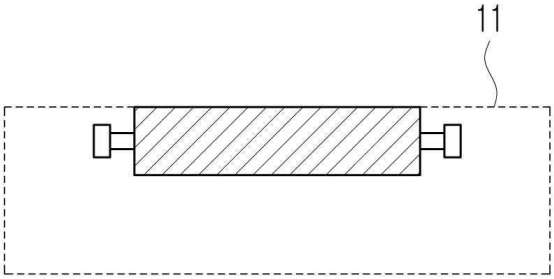
【도 4】



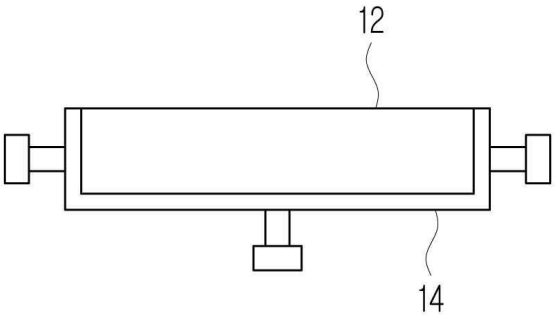
【도 5】



【도 6】



【도 7】



관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2020.11.10
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2020-0149683 (접수번호 1-1-2020-1203131-30) (DAS접근코드 9CC8)
출원인 명칭	주식회사동일기술공사(1-1998-102091-8)
대리인 성명	특허법인 두성(9-2015-100121-0)
발명자 성명	안승주
발 명 의 명 칭	발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

2020-11-10

【서지사항】

【서류명】 특허출원서

【출원구분】 특허출원

【출원인】

【명칭】 주식회사 동일기술공사

【특허고객번호】 1-1998-102091-8

【대리인】

【명칭】 특허법인 두성

【대리인번호】 9-2015-100121-0

【지정된변리사】 최병길, 임창수, 여운석, 박영복, 김선춘

【포괄위임등록번호】 2015-102966-0

【발명의 국문명칭】 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

【발명의 영문명칭】 PRECAST CONCRETE PANEL HAVING HEATING MODULE AND BLACK ICE PREVENTIVE ROAD PACKING METHOD USING THIS SAME

【발명자】

【성명】 안승주

【성명의 영문표기】 AN, Seung Ju

【주민등록번호】 660213-1XXXXXX

【우편번호】 02240

【주소】 서울특별시 중랑구 면목로35길 63, 403동 501호 (면목동, 면목두산아파트)

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1615011610

【과제번호】 20CTAP-C157602-01

【부처명】 국토교통부

【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원

【연구사업명】 국토교통기술촉진연구사업

【연구과제명】 블랙아이스 방지(표면온도 5° C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 포장기술 개발

【기여율】 1/1

【과제수행기관명】 경희대학교

【연구기간】 2020.04.13 ~ 2021.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 두성 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】	0	면	46,000 원
【가산출원료】	26	면	0 원
【우선권주장료】	0	건	0 원
【심사청구료】	8	항	495,000 원

【합계】 541,000 원

【감면사유】 소기업(70%감면)[1]

【감면후 수수료】 162,300 원

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법 {PRECAST CONCRETE PANEL HAVING HEATING MODULE AND BLACK ICE PREVENTIVE ROAD PACKING METHOD USING THIS SAME}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 프리캐스트 콘크리트 패널에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 발열모듈과 공장 제작형 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 겨울철 블랙아이스로 인한 교통사고를 줄이고 도로 포장의 내구성 확보로 수명을 연장하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0002】 이 부분은 본 출원 내용과 관련된 배경 정보를 제공할 뿐 반드시 선행기술이 되는 것은 아니다.

【0003】 최근 겨울철 대형 교통사고의 주요요인으로 대두되고 있는 블랙아이스는 아스팔트나 콘크리트 표면의 작은 틈새로 물이나 눈이 스며들어 얼어붙는 현상으로 육안으로 확인이 되지 않아 교통사고를 유발할 가능성이 높다.

【0004】 도로교통공단의 교통사고 분석시스템에 따르면 2014~2018년 블랙아이스로 인한 결빙도로 사고는 약 6,500건으로 눈이 많이 쌓여 발생한 사고보다 약

1.8배 많았고, 부상자수는 2배, 사망자 수는 3배 이상 많고, 치사율은 1.9배 이상 높았다.

【0005】 블랙아이스로 인한 사고 방지를 위하여 제설재를 살포하고 있으나 이미 영하권의 날씨로 인해 도로가 결빙되어 교통체증이 크며 여러 사고들을 유발한다.

【0006】 뿐만 아니라 도로 아스팔트 포장의 경우 소성변형 및 피로균열로 인한 지속적인 파손이 발생되고 있다.

【0007】 아스팔트 포장에서 하부기층의 변형이 발상된 포장체에 대하여 상부 표층 덧 씌우기만(5㎝) 반복하여 표면상의 미관만을 고려한 유지관리를 실시하기 때문에 도로의 내구성은 물론 겨울철 블랙아이스 위험도 높아지고 있다.

【0008】 소성변형으로 인한 지반의 침하 및 내부균열에 대한 근본적인 보수 보강이 필요하며, 사후 대응이 아닌 사전 예방적인 도로 융설 및 융빙 대책의 중요성이 대두되고 있다.

【0009】 현재까지 개발된 발열관련 도로의 결빙방지 기술로는 전열선법과 열 배관법 등이 적용되고 있으나 시공 또는 유지관리 측면에서 예상치 못한 여러 문제점이 도출되고 있다.

【0010】 기존의 결빙방지 기술인 전열선과 열 배관 방식은 전기나 기타 에너지원을 이용하여 발열하는 방식으로 시스템의 고장 발생 시 보수가 효과적으로 이루어지기 어렵고 재시공을 필요로 하는 등 기술적, 경제적으로 문제점이 발생한다.

【0011】열선은 차량 통행량이 많은 구간에 대하여 연성포장인 아스팔트에 홈을 커팅하고 설치하는데, 대형차량 차륜에 의해 가해지는 압력으로 열선이 끊어지는 경우가 많기 때문에 실제 수명은 2~3년에 불과하여 반복적인 설치가 필요한 실정이다.

【0012】제설법은 이미 눈이 적재된 후에 시작되므로 터널 입구 혹은 출구나 교량, 대형 교차로 등 블랙아이스에 의한 대규모 피해를 유발할 수 있는 지역이나 유동인구가 많거나 하향 경사구간 도로지역은 강설의 시점에서 융설로 인한 차량 통행성 확보가 어렵다.

【0013】열선을 이용한 방식의 특허문헌으로 등록특허 제10-1202262호는 도로 포장면 아래에 중공된 공간으로 형성되는 설치관과 상기 설치관에 구비되는 열선을 포함하는 발열부; 상기 열선에 사용되는 전력을 공급하는 전원부; 상기 도로 포장면의 온도를 측정하는 온도측정센서; 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제1설정값 이하이면 상기 열선에 상기 전원부를 통하여 전력을 공급하고 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제2설정값 이상이면 상기 열선에 전력을 차단하는 제어부; 및 도로 포장면에 설치되며 상기 열선에 전력이 공급 될 때에 점등되고 전력이 차단 될 때 소등되는 안전등;을 포함하는 도로용 무인 제설장치가 있다.

【선행기술문헌】

【특허문헌】

【0014】(**특허문헌 0001**) 등록특허 제10-1202262호

(**특허문헌 0002**) 등록특허 제10-1705315호

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0015】본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 발열모듈과 공장 제작형 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 겨울철 블랙아이스로 인한 교통사고를 줄이고 도로 포장의 내구성 확보로 수명을 연장하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법을 제공하려는데 그 목적이 있다.

【과제의 해결 수단】

【0016】본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널은, 프리캐스트 콘크리트 몸체와; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 매립되며 전선과 접속되어 전압의 공급을 통해 발열하는 CNT 발열모듈과; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 상기 CNT 발열모듈을 덮도록 형성되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하는 보호층을 포함하고, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 상기 CNT 발열모듈과 상기 전선이 삽입되는 매립홈을 포함하도록 프리캐스트 콘크리트로 제작되며, 상기 CNT 발열모듈은 상기 전선과 함께 상기 매립홈에 삽입되어 설치된 후 상기 보호층의 형성을 통해 매립되고 상기 전선을 통해 전원을 인가받아 발열하여 상기 PC 몸체의 표면을

일정 온도 이상으로 유지하는 것을 특징으로 한다.

【발명의 효과】

【0017】 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 의하면, 반복적으로 발생되는 겨울철 블랙아이스로 인한 대형 교통사고를 미연에 방지하는 효과가 있고, 공장 제작에 의한 모듈화를 통해 급속 시공이가 가능하므로 교통 통제시간을 최소화 하는 효과도 있다.

【0018】 또한, 도로를 고강도의 콘크리트로 포장하여 도로 포장의 수명을 연장하고 결국 유지보수비용을 절감하는 효과도 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0019】 도 1은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널의 단면도.

도 2는 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 매립홈을 보이기 위한 프리캐스트 콘크리트 몸체의 사시도.

도 3은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 프리캐스트 콘크리트 몸체의 제조 예시도.

도 4는 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 프리캐스트 콘크리트 몸체의 다른 제조 예시도.

도 5와 도 6은 각각 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리

트 패널에 적용된 매립홈의 예시도.

도 7은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 큐브형 발열모듈이 적용된 예시도.

도 8은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 패널형 발열모듈이 적용된 예시도.

도 9와 도 10은 각각 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 발열모듈과 전선의 연결을 보인 예시도.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0020】 하기에서 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

【0021】 도 1에서 보이는 바와 같이, 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널(100)은, 프캐스트 콘크리트(precast concrete) 몸체(10)(이하 'PC 몸체'로 약칭함), PC 몸체(10)에 매립되며 전압의 공급을 통해 발열하여 PC 몸체(10)의 표면(자동차의 바퀴가 닿는 면)을 블랙아이스가 생기지 않는 온도 조건으로 조성하거나 눈과 얼음을 녹이는 발열모듈로서 바람직하게 CNT 발열

모듈(20)(이하'발열모듈'이라 약칭함), 발열모듈(20)을 보호하는 보호층(30)을 포함하며, 발열모듈(20)에 전압을 인가하기 위한 전기장치에 대해서는 당업자에 의한 실시가 가능하므로 도면과 설명을 구체적으로 기재하지 않고 생략한다.

【0022】PC 몸체(10)는 통상의 프리캐스트 콘크리트 제품이며 도로의 포장을 위한 크기이고 내부에 철근(12)이 배근된 철근 콘크리트 제품이고, 단, 발열모듈(20)의 매립을 위한 구조를 포함한다.

【0023】바람직하게, 도 2에서 보이는 것처럼, PC 몸체(10)에는 설치 상태를 기준으로 하여 도로의 노면을 향해 개방되는 매립홈(11)을 갖도록 제작된다.

【0024】매립홈(11)은 도 5에서 보이는 것처럼, 발열모듈(20)과 전선이 매립되는 형태인데, 발열모듈(20)과 전선에 관계없이 전체적으로 동일한 크기로 이루어질 수 있고, 또는, 도 6에서처럼, 발열모듈(20)이 매립되는 발열모듈 매립부(11-1) 및 전선이 매립되는 전선 매립부(11-2)가 서로 다른 크기로 형성되는 것도 가능하다. 도 6의 매립홈(11)은 다수개의 발열모듈(20)이 발열모듈 매립부(11-1)에 매립되어 상호 간에 일정 거리를 두고 이격되면서 전선이 전선 매립부(11-2)에 매립되는 방식에 유용하다.

【0025】전선 매립부(11-2)는 상기 전선이 발열모듈(20)보다 부피가 작은 것에 맞춰 발열모듈 매립부(11-1)보다 적은 크기(폭)로 형성된다.

【0026】매립홈(11)은 PC 몸체(10)를 먼저 제작한 다음 홈을 가공하는 후가공도 가능하지만 불필요한 작업이고 매립홈(11)의 후가공시 PC 몸체(10)에 손상을

줄 수 있으므로 콘크리트 타설 시 함께 제작하는 것이 바람직하다.

【0027】 매립홈(11)을 갖는 PC 몸체(10)를 제작하는 방법으로는 매립홈(11)이 저부에 형성되도록 하여 PC 몸체(10)를 뒤집는 방법, 매립홈(11)이 상부에 배치되도록 제작하는 방법이 있다.

【0028】 좀 더 구체적으로 설명하면, 도 3에서 보이는 것처럼, 거푸집(1)은 바닥 거푸집 및 둘레의 벽체 거푸집에 의해 내부에 상부를 향해 개방되는 타설공간이 형성되는 구조(상기 바닥 거푸집과 벽체 거푸집은 분리형과 일체형 모두가 가능하고, 탈형을 위하여 분리형인 것이 바람직하다)이며, 상기 바닥 거푸집에는 매립홈(11)의 형성을 위한 몰드재(2)가 고정된다.

【0029】 몰드재(2)는 매립홈(11)의 형상 및 크기와 동일한 형태이고, 상기 바닥 거푸집의 바닥면에 고정되어 상기 바닥 거푸집의 바닥면에 돌출된 돌기이며, 즉, 몰드재(2)가 있는 부분은 콘크리트가 채워지지 않게 되는 것이다.

【0030】 몰드재(2)는 콘크리트의 타설압력에 의해 변형되지 않는 강도의 재질(steel, 고무 등)로 이루어지며 그 형상은 매립홈(11)의 형상에 맞춰 다양하게 제작된다. 또한, 콘크리트의 양생 후 PC 몸체(10)를 분리할 때 더 신속하게 분리되고 몰드재(2)와 PC 몸체(10)의 매립홈(11)이 손상되지 않도록 몰드재(2)의 표면은 박리(박리 처리는 콘크리트 제조 기술에서 널리 통용되는 기술이 가능하다) 처리되는 것이 바람직하다.

【0031】또한, 몰드재(2)는 교체가 가능하도록 바람직하게 볼트와 너트의 체결구(3)를 통해 거푸집(1)에 분리 가능하게 고정된다.

【0032】즉, 도 3에서 보이는 것처럼, 거푸집(1)의 타설공간에 콘크리트를 타설하고 양생한 후 거푸집(1)을 탈형하면 저부에 매립홈(11)이 있는 PC 몸체(10)가 제작된다.

【0033】이렇게 제작된 PC 몸체(10)의 상하를 뒤집어 후속 작업을 한다.

【0034】도 4는 매립홈(11)이 상부에 배치되도록 하는 제작하는 예를 도시한 것이며, 몰드재(2)를 갖는 몰딩 지그(200)를 이용하여 PC 몸체(10)를 제작한다.

【0035】예를 들어 몰딩 지그(200)는 거푸집(1)의 벽체 거푸집 또는 지면에 지지되는 한 쌍의 지지부(210), 지지부(210)에 연결되며 몰드재(2)가 고정되는 몰드재 고정봉(220)으로 구성된다.

【0036】지지부(210)는 상기 벽체 거푸집에 지지되어 조임 볼트 등을 통해 고정되는 등 다양하게 구성 가능하다.

【0037】몰드재 고정봉(220)은 길이방향의 양쪽이 한 쌍의 지지부(210)에 각각 연결되며 몰드재(2)가 고정된다. 몰드재(2)는 다양한 종류와 교체를 위하여 몰드재 고정봉(220)에 분리 가능하게 고정된다.

【0038】몰딩 지그(200)는 거푸집(1)에서 분리되는 것을 통해 몰드재(2)를 탈형할 수 있고 또는 몰드재 고정봉(220)을 높이 조절 가능하게 구성하여 높이 조절을 통해 탈형할 수도 있다.

【0039】몰드재 고정봉(220)의 높이 조절은 탈형 뿐만 아니라 매립홈(11)의 깊이를 조절할 수 있는 이점도 있다.

【0040】이상의 구성에 따르면, 몰드재(2)를 매립홈(11)의 형성을 위한 높이로 설치한 후 거푸집(1)의 타설공간에 콘크리트를 타설한다. 이 때, 콘크리트의 타설 높이는 몰드재(2)의 일부분이 외부로 노출되는 높이이다.

【0041】콘크리트의 양생 후 몰딩 지그(200)를 분리 또는 상승시켜 몰드재(2)를 빼내면 PC 몸체(10)가 완성된다.

【0042】PC 몸체(10)는 매립홈(11)이 상부를 향해 개방되고 외부에 노출되기 때문에 뒤집기 작업없이 후속 작업이 가능하다.

【0043】매립홈(11)의 간격은 발열모듈(20)의 간격인 것이며, 즉, 발열모듈(20)의 발열량에 따라 발열모듈(20)들의 간격이 결정될 것이고, 발열량이 다양할 수 있으므로 매립홈(11)의 간격은 발열모듈(20)에 따라 달라진다.

【0044】본 발명의 패널(100)은 2장 이상이 함께 사용되어 도로를 포장할 수 있으며, 포장면이 전반적으로 동일한 높이를 맞추도록 레벨링수단(레벨링 볼트), 인터록킹 연결부재(다웰바 등), 인양고리, 그라우팅홀 등이 적용되고 이 구성은 공지의 구성이므로 구체적인 설명을 생략한다.

【0045】발열모듈(20)은 CNT(Carbon Nano Tube, 탄소나노튜브)로서 열전도율과 전기전도도가 우수하고 강도특성도 뛰어난 것으로 알려져 있으며, 본 발명을 통해 도로 포장에 적용되는 것이다.

【0046】본 발명을 위한 발열모듈(20)은 그 형태를 기준으로 할 때 큐브형과 패널형으로 구분된다.

【0047】도 7에서 보이는 것처럼, 큐브형의 발열모듈(20-1)은 가로(폭)와 세로(길이) 및 두께(높이)가 동일한 정육면체 형태로 가공된 것이며, 다수개가 일정 간격을 두고 PC 몸체(10)에 매립된다.

【0048】도 8에서 보이는 것처럼, 패널형의 발열모듈(20-2)은 가로보다 세로가 더 긴 형태이며, 다수개가 일정 간격을 두고 PC 몸체(10)에 매립된다.

【0049】큐브형의 발열모듈(20-1)과 패널형의 발열모듈(20-2) 모두 두께(높이)는 피복두께에 따라 달라지며, 최대 피복두께를 80㎜로 할 때 두께는 50㎜이다.

【0050】발열모듈(20-1,20-2)의 설치 패턴은 도면에 도시된 것으로 한정되는 것은 아니며, 도 7과 도 8은 차량의 바퀴가 통과하는 부분에만 발열모듈(20-1,20-2)을 설치한 예이다.

【0051】발열모듈(20)은 전압을 인가받을 수 있도록 전선과 연결되어야 하고, 바람직하게 모든 발열모듈(20)이 전선과 직렬 또는 병렬로 연결된다.

【0052】도 9는 전선의 양극선(41)과 음극선(42)이 발열모듈(20)에 납땜으로 연결되는 직접식의 예를 도시한 것이고, 도 10은 발열모듈(20)에 양극용/음극용의 리드선(21,22)을 설치하여 리드선(21,22)과 전선의 양극선(41)과 음극선(42)을 연결하는 간접식의 예를 도시한 것이다.

【0053】간접식의 예에서 리드선(21,22)은 발열모듈(20)을 가공(큐브형, 패널형)할 때 일부분이 발열모듈(20) 안에 삽입되고 나머지 부분이 발열모듈(20)의 외부로 돌출되도록 설치되는 것이며, 전선과의 안정적인 접촉을 위하여 망의 형태가 바람직하다.

【0054】이와 같은 간접식의 연결방식은 발열모듈(20)과의 단선을 막을 수 있고 전선과 안정적으로 접속되어 오동작을 막는데 매우 유용하다.

【0055】상기 전선은 제어기를 통행 전원부의 전원을 인가받아 작동하며, 또한, 패널(100)은 모듈화되어 시공 현장에서 상기 제어기와 연결되어 발열모듈(20)이 작동하도록 구성되며, 예를 들어 상기 전선의 끝에 소켓이 연결되고 이 소켓이 PC 몸체(10)의 가장자리에 외부로 노출되도록 설치된다.

【0056】상기 전원부는 상용전원, 태양광 에너지 등의 신재생에너지, 배터리, 2차 전지 등이 사용 가능하다.

【0057】또한, 전원부는 패널(100)의 외부에 설치될 수도 있고, 또는 패널(100)의 PC 몸체(10)에 수납부를 형성하여 상기 수납부에 수납되는 것도 가능하다.

【0058】상기 제어기는 수동식과 자동식의 제어가 가능하다.

【0059】수동식의 제어는 관리자가 수동 스위치를 조작하여 제어기를 온 또는 오프 제어하는 것이다.

【0060】자동식의 제어는 기상 조건(온도, 비, 눈 등)을 근거로 하여 상기 제어기를 온 또는 오프 제어하는 것으로, 온도센서, 강우센서 등의 센서 및 상기

센서의 감지 값과 기준 값을 비교하여 상기 제어기를 제어하는 컨트롤러를 포함한다.

【0061】 또한, 상기 제어기는 원격 통제실의 서버와 무선통신하여 원격 제어를 통해 관리되는 것도 가능하다.

【0062】 발열모듈(20)은 매립홈(11)의 가공 후 삽입으로 설치되는 것이고 후술하는 보호층(30)에 의해 보호되더라도 매립홈(11) 안에서 흔들릴 수 있으며, 이러한 흔들림으로 인하여 패널(100)의 표면에서 돌출되는 등 손상을 일으킬 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 발열모듈(20)의 둘레부에 충진홈(23)을 포함한다.

【0063】 충진홈(23)은 발열모듈(20)의 둘레면에 외부를 향해 개방되는 홈으로서 둘레부를 따라 형성될 수 있고, 또는 반구형의 홈이 다수개 형성되는 형태도 가능하다.

【0064】 충진홈(23)에는 별도의 충진제(에폭시 등)가 충진되어 발열모듈(20)을 고정할 수 있고 또는 후술하는 보호층(30)의 재료가 충진될 수도 있다.

【0065】 보호층(30)은 발열모듈(20)을 차량의 하중으로부터 보호하는 것이며, 그 재료는 통상의 포장재, 몰탈 등이 가능하고, 상기의 재료에 열전도재가 첨가될 수도 있다.

【0066】 상기 열전도재는 CNT, 구리 등 열전도도가 우수한 재질이 사용된다.

【0067】 또한, 보호층(30)은 도 1에서 보이는 것처럼, PC 몸체(10)의 표면에 전체적으로 형성되는 포장의 형태, 발열모듈(20)의 상부만 덮는 매립홈(11)의 채움

형태가 가능하다.

【0068】 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법은 다음과 같다.

【0069】 본 발명은 보수공사와 신설공사 모두가 가능하고 보수공사를 예로 들어 설명한다. 상기 보수공사는 블랙아이스의 발생우려지역으로 예를 들어 터널의 진출입부, 구조물이나 지리적 여건으로 그늘진 곳 등이다.

【0070】 1. 포장면 정리.

【0071】 기존 포장(예를 들어 아스팔트 포장)을 제거한 후 제거된 포장구간의 면을 정리한다.

【0072】 2. 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 설치.

【0073】 패널(100)을 인양하여 포장구간 위로 운반한 후 포장면에 거치한다.

【0074】 패널(100)의 레벨링을 맞추고 이웃하는 패널(100)과 인터록킹한다.

【0075】 3. 그라우팅.

【0076】 패널(100)의 가장자리를 실링한 후 패널(100)의 그라우팅홀을 통해 패널(100)의 저부와 포장면 사이를 그라우팅한다.

【0077】 4. 발열모듈과 제어기 연결.

【0078】 패널(100)이 설치된 포장구역의 옆에 제어기와 전원부를 설치하고, 상기 제어기를 패널(100)의 전선과 접속한다.

【0079】 이상의 공정을 통해 패널(100)에 의한 도포 포장을 완료한다.

【0080】이상의 공정을 통해 시공된 도로 포장에 따르면, 도로 노면의 블랙아이스가 발생되는 기상조건에서 발열모듈(20)에 전압(예를 들어 30~60V))이 인가되면 발열모듈(20)이 발열한다(예를 들어 25℃).

【0081】발열모듈(20)의 열은 PC 몸체(10)의 표면에 전달되어 패널(100)의 표면 및 표면에서부터 형성된 크랙부분을 블랙아이스가 발생하는 온도보다 높은 온도로 조성한다.

【0082】따라서, 패널(100)의 표면에서부터 작은 틈에 물이나 눈이 스며들더라도 얼어붙지 못한다.

【0083】또한, 본 발명은 블랙아이스의 예방뿐만 아니라, 발열모듈(20)의 열을 통해 이미 얼어붙은 얼음도 녹일 수 있다.

【0084】결국, 본 발명의 패널(100)에 의해 포장된 도로는 블랙아이스로 인한 사고를 방지하게 된다.

【부호의 설명】

【0085】1 : 거푸집, 2 : 몰드재

10 : 프리캐스트 콘크리트 몸체, 11 : 매립홈

11-1 : 발열모듈 매립부, 11-2 : 전선 매립부

12 : 철근,

20 : 발열모듈, 20-1 : 큐브형 발열모듈

20-2 : 패널형 발열모듈, 21,22 : 리드선

30 : 보호층,

200 : 몰딩 지그,

210 : 지지부

220 : 몰드재 고정봉,

【청구범위】

【청구항 1】

프리캐스트 콘크리트 몸체(10)와;

상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 매립되며 전선과 접속되어 전압의 공급을 통해 발열하는 CNT 발열모듈(20)과;

상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 상기 CNT 발열모듈을 덮도록 형성되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하는 보호층(30)을 포함하고,

상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 상기 CNT 발열모듈과 상기 전선이 삽입되는 매립홈(11)을 포함하도록 프리캐스트 콘크리트로 제작되며,

상기 CNT 발열모듈은 상기 전선과 함께 상기 매립홈에 삽입되어 설치된 후 상기 보호층의 형성을 통해 매립되고 상기 전선을 통해 전원을 인가받아 발열하여 상기 PC 몸체의 표면을 일정 온도 이상으로 유지하는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 2】

청구항 1에 있어서, 상기 CNT 발열모듈은 상기 전선과 연결되도록 돌출되는 리드선을 포함하여 상기 리드선을 상기 전선에 연결하는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 3】

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 CNT 발열모듈은 정육면체의 큐브형

또는 폭보다 길이가 긴 패널형인 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 4】

청구항 3에 있어서, 상기 매립홈은 상호 간에 일정 간격을 두고 형성되며 상기 CNT 발열모듈이 매립되는 발열모듈 매립부, 이웃하는 발열모듈 매립부들을 연결하며 전선이 매립되는 전선 매립부를 포함하는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 5】

청구항 1에 있어서, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 바닥 거푸집에 몰드재가 고정된 거푸집에 콘크리트를 타설하여 양생하는 공정, 상기 거푸집을 탈형한 후 상기 몰드재를 통해 형성된 매립홈이 상부를 향하도록 상부와 하부를 뒤집는 공정을 통해 제조되는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 6】

청구항 1에 있어서, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 거푸집의 타설공간에 몰딩 지그를 통해 몰드재를 배열하고 콘크리트를 타설하여 양생한 후 상기 거푸집을 탈형하는 공정을 통해 상하 뒤집기 공정없이 상부에 매립홈이 배치되도록 제조되는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 7】

청구항 1에 있어서, 상기 발열모듈은 상기 매립홈에 삽입된 후 상기 매립홈에 채워지는 충진재가 충진되는 충진홈을 포함하여 고정되는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

【청구항 8】

청구항 1에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법으로서,

포장구역에 청구항 1에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 인양하여 거치하는 제1단계와;

상기 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널의 발열모듈을 제어기와 전기적으로 연결하는 제2단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법.

【요약서】

【요약】

본 발명은 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 관한 것으로, 발열모듈과 공장 제작형 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 겨울철 블랙아이스로 인한 교통사고를 줄이고 도로 포장의 내구성 확보로 수명을 연장하는 것을 목적으로 한다.

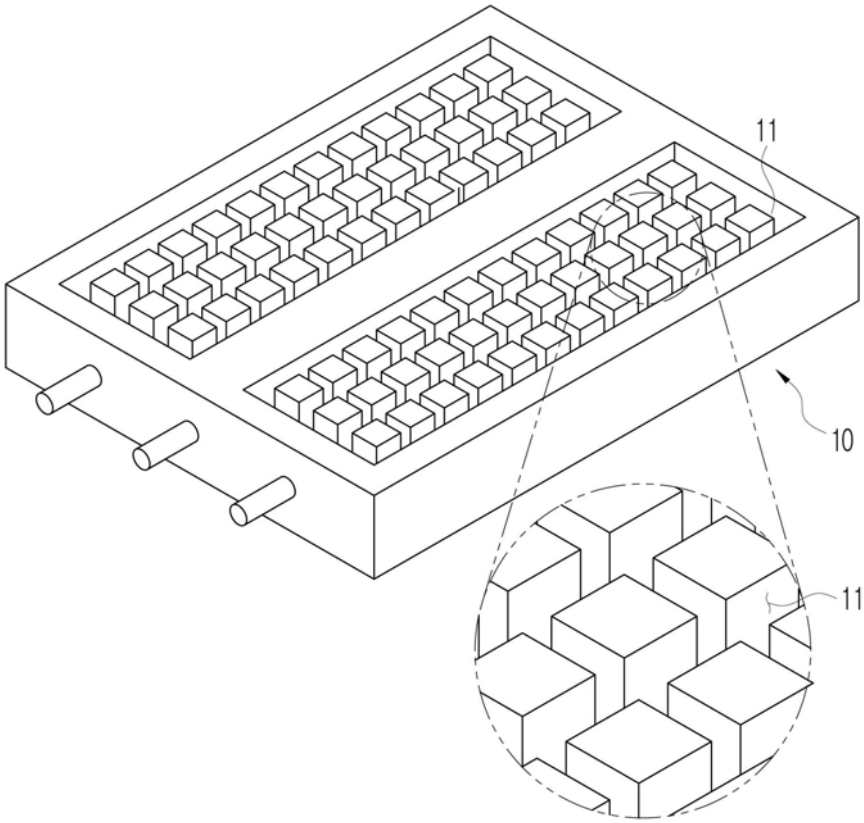
본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널은, 프리캐스트 콘크리트 몸체(10)와; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 매립되며 전선과 접속되어 전압의 공급을 통해 발열하는 CNT 발열모듈(20)과; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 상기 CNT 발열모듈을 덮도록 형성되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하는 보호층(30)을 포함하고, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 상기 CNT 발열모듈과 상기 전선이 삽입되는 매립홈(11)을 포함하도록 프리캐스트 콘크리트로 제작되며, 상기 CNT 발열모듈은 상기 전선과 함께 상기 매립홈에 삽입되어 설치된 후 상기 보호층의 형성을 통해 매립되고 상기 전선을 통해 전원을 인가받아 발열하여 상기 PC 몸체의 표면을 일정 온도 이상으로 유지한다.

【대표도】

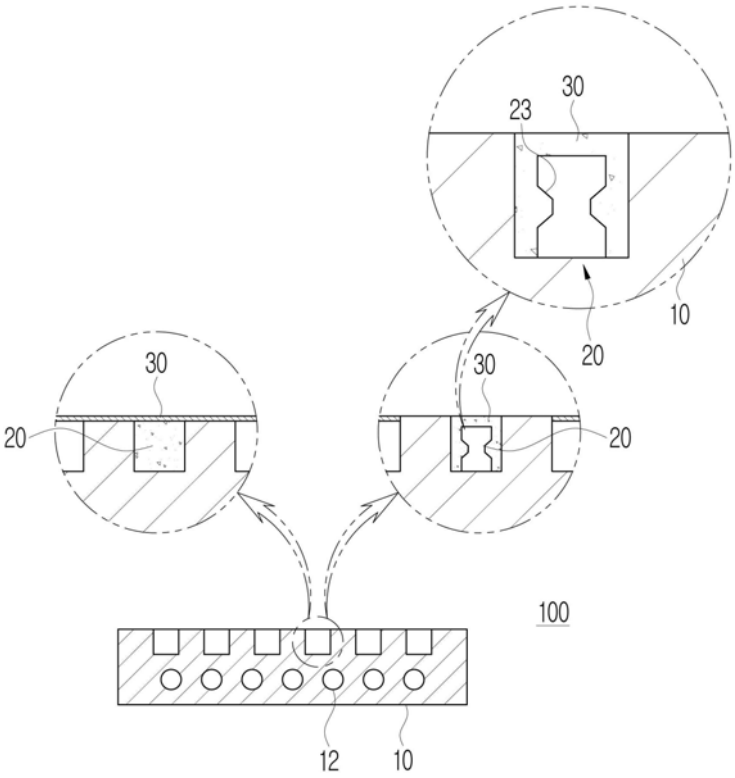
도 1

【도면】

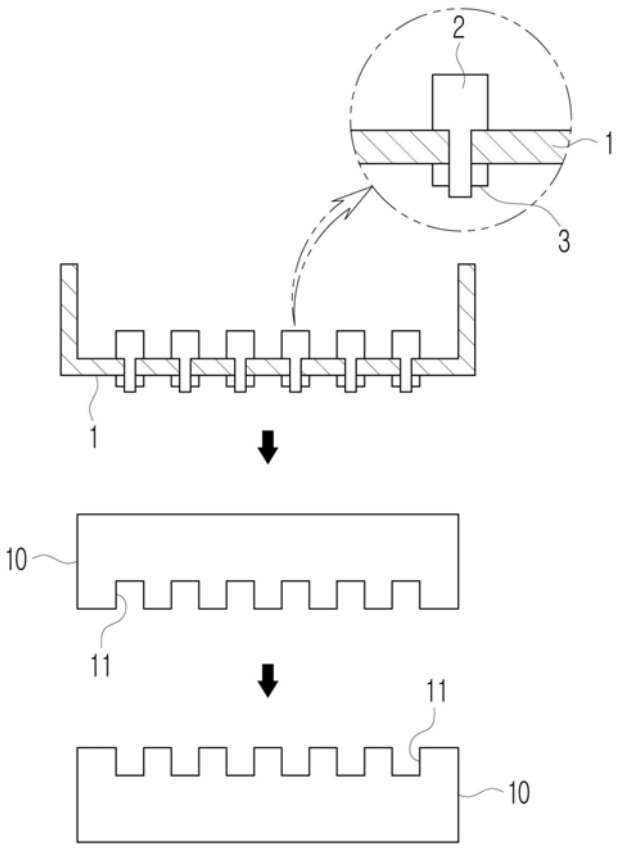
【도 1】



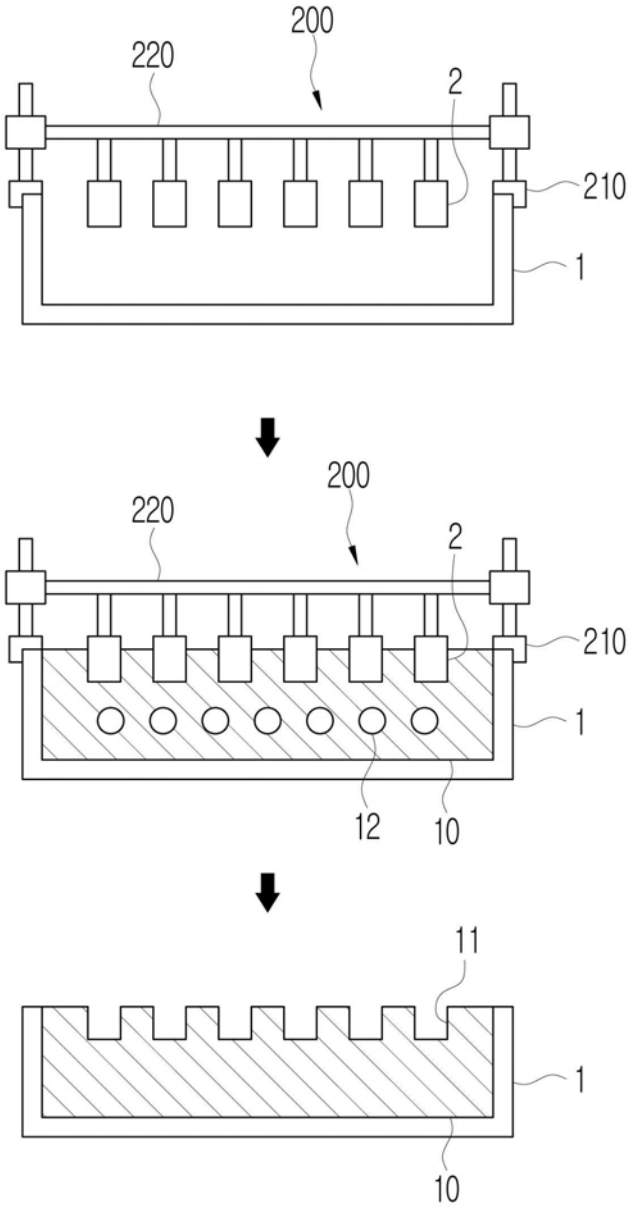
【도 2】



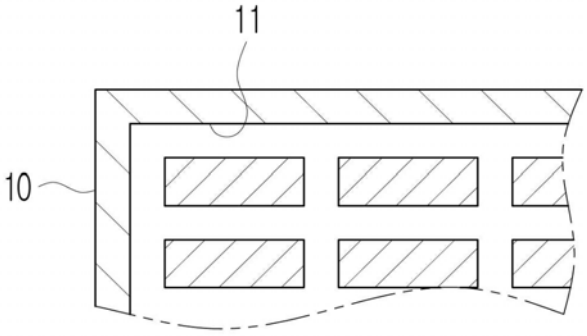
【도 3】



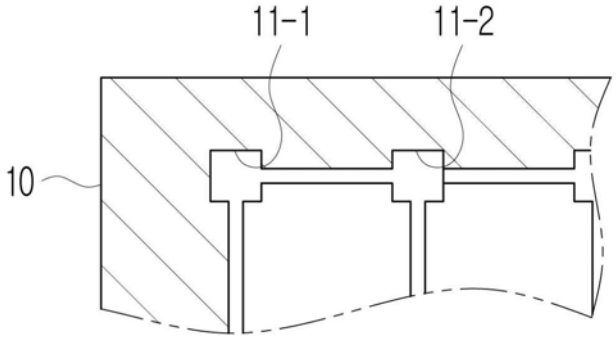
【도 4】



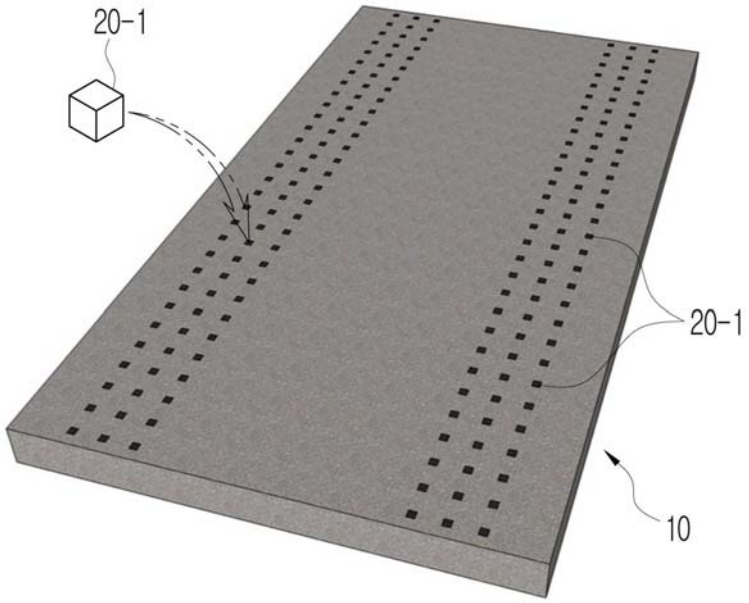
【도 5】



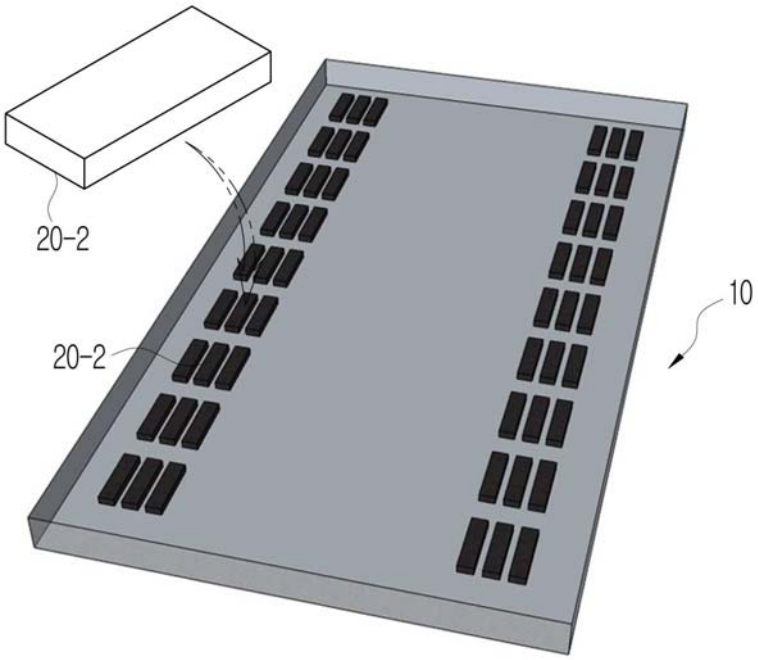
【도 6】



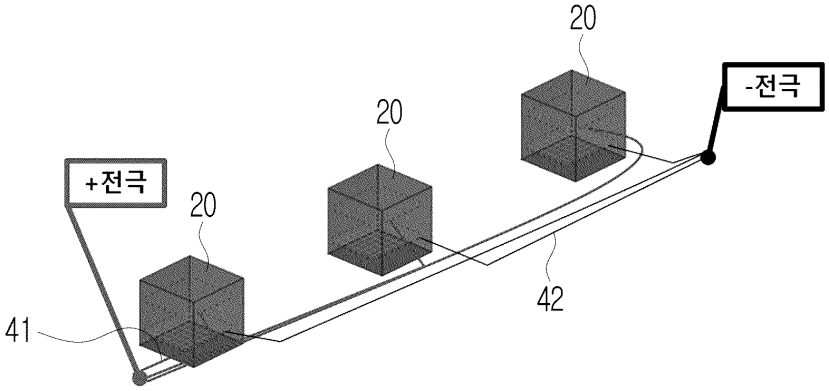
【도 7】



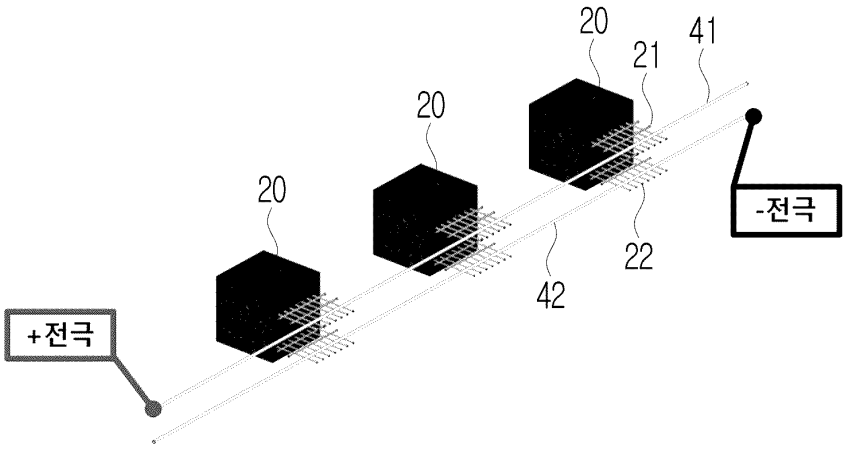
【도 8】



【도 9】



【도 10】



【서지사항】

【서류명】 보정서

【구분】 출원서 등 보정

【제출처】 특허청장

【제출인】

【명칭】 주식회사 동일기술공사

【특허고객번호】 1-1998-102091-8

【사건과의 관계】 출원인

【대리인】

【명칭】 특허법인 두성

【대리인번호】 9-2015-100121-0

【지정된변리사】 최병길, 임창수, 여운석, 박영복, 김선춘, 이익상

【포괄위임등록번호】 2015-102966-0

【사건의 표시】

【출원번호】 10-2020-0149683

【제출원인이 된 서류의 접수번호】 1-1-2020-1203131-30

【보정할 서류】 특허출원서

【보정할 사항】

【보정대상항목】 발명자

【보정방법】 정정

【보정내용】

【발명자】

【성명】 안승주

【성명의 영문표기】 AN, Seung Ju

【주민등록번호】 660213-1XXXXXX

【우편번호】 02240

【주소】 서울특별시 중랑구 면목로35길 63, 403동 501호 (면목동, 면목두산아파트)

【발명자】

【성명】 한상주

【성명의 영문표기】 HAN, Sang Joo

【주민등록번호】 440605-1XXXXXX

【우편번호】 06374

【주소】 서울특별시 강남구 자곡로 101, 607동 1003호 (자곡동, 래미안 강남힐즈)

【발명자】

【성명】 정원석

【성명의 영문표기】 JEONG, Won Seok

【주민등록번호】 720909-1XXXXXX

【우편번호】 13599

【주소】 경기도 성남시 분당구 수내로 148, 108동 1601호 (수내동, 파크타운)

【발명자】

【성명】 이희영

【성명의 영문표기】 LEE, Hee Young

【주민등록번호】 860908-1XXXXXX

【우편번호】 61706

【주소】 광주광역시 남구 효사랑길 14, 106동 803호 (봉선동, 포스코더샵아파트)

【발명자】

【성명】 김동휘

【성명의 영문표기】 KIM, Dong Hwi

【주민등록번호】 930727-1XXXXXX

【우편번호】 04724

【주소】 서울특별시 성동구 동호로 100, 115동 601호 (금호동3가, 두산아파트)

【발명자】

【성명】 김재훈

【성명의 영문표기】 KIM, Jae Hoon

【주민등록번호】 881108-1XXXXXX

【우편번호】 08764

【주소】 서울특별시 관악구 남부순환로167길 8(신림동)

【발명자】

【성명】 윤준수

【성명의 영문표기】 YOON, Jun Soo

【주민등록번호】 900103-1XXXXXX

【우편번호】 13567

【주소】 경기도 성남시 분당구 양현로166번길 20, 905동 304호 (이매동, 이매촌동신9단지아파트)

【발명자】

【성명】 박진오

【성명의 영문표기】 PARK, Jin O

【주민등록번호】 680720-1XXXXXX

【우편번호】 14247

【주소】 경기도 광명시 하안로 320, 1015동 606호 (하안동, 하안10단지고층주공아파트)

【발명자】

【성명】 박상헌

【성명의 영문표기】 PARK, Sang Heon

【주민등록번호】 810110-1XXXXXX

【우편번호】 16830

【주소】 경기도 용인시 수지구 수풍로 90, 103동 506호 (풍덕천동, 수지4차삼성아파트)

【발명자】

【성명】 김경수

【성명의 영문표기】 KIM, Kyung Soo

【주민등록번호】 900726-1XXXXXX

【우편번호】 03067

【주소】 서울특별시 종로구 혜화로10길 15-9(혜화동)

【취지】 위와 같이 특허청장(특허심판원장, 심판장)에게 제출합니다.

대리인 특허법인 두성 (서명 또는 인)

【수수료】

【보정료】 0 원

【기타 수수료】 0 원

【합계】 0 원

특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-2299784 호
Patent Number

출원번호 제 10-2020-0149683 호
Application Number

출원일 2020년 11월 10일
Filing Date

등록일 2021년 09월 02일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention

발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법

특허권자 Patentee

등록사항란에 기재

발명자 Inventor

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2021년 11월 12일

QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

특허청
Korean Intellectual Property Office

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

김 용 래

등 록 사 항

특 허 등록 제 10-2299784 호

Patent Number

특허권자 Patentees

주식회사동일기술공사(110111-*******)
서울특별시 송파구 송이로30길 7 (문정동)

경희대학교 산학협력단(134571-*******)
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

조선대학교 산학협력단(200171-*******)
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)

발명자 Inventors

안승주(660213-*******)
서울특별시 중랑구 면목로35길 63, 403동 501호 (면목동, 면목두산아파트)

한상주(440605-*******)
서울특별시 강남구 자곡로 101, 607동 1003호 (자곡동, 래미안 강남힐즈)

정원석(720909-*******)
경기도 성남시 분당구 수내로 148, 108동 1601호 (수내동, 파크타운)

이희영(860908-*******)
광주광역시 남구 효사랑길 14, 106동 803호 (봉선동, 포스코더샵아파트)

김동휘(930727-*******)
서울특별시 성동구 동호로 100, 115동 601호 (금호동3가, 두산아파트)

김재훈(881108-*******)
서울특별시 관악구 남부순환로167길 8(신림동)

윤준수(900103-*******)
경기도 성남시 분당구 양현로166번길 20, 905동 304호 (이매동, 이매촌동신9단지아파트)

등 록 사 항

특 허 등록 제 10-2299784 호

Patent Number

발명자 Inventors

박진오(680720-*******)
경기도 광명시 하안로 320, 1015동 606호 (하안동, 하안10단지고층주공아파트)

박상헌(810110-*******)
경기도 용인시 수지구 수풍로 90, 103동 506호 (풍덕천동, 수지4차삼성아파트)

김경수(900726-*******)
서울특별시 종로구 혜화로10길 15-9(혜화동)

발급번호 : 5-5-2021-059609712

특허등록원부

특 허 번 호	제 2299784 호

[권 리 란]

표시번호	등 록 사 항			
1번	출원연월일	2020년 11월 10일	출원번호	2020-0149683
	공고연월일	2021년 09월 08일	공고번호	-
	특허결정(심결)연월일	2021년 06월 14일	청구범위의 항수	6
	분류기호	E01C 11/26, E01C 5/06, E01C 5/00, H05B 3/06		
	발명의 명칭	발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법		
	존속기간(예정)만료일	2040년 11월 10일		
		2021년 09월 02일 등록		

[특 허 료 란]

제 01 - 03 년분 (2021.09.02 ~ 2024.09.02) 금 액 195,300 원(중견기업)	2021년 09월 02일 납입

[특 허 권 자 란]

(최종권리자)
주식회사동일기술공사 (110111-*******)(30/100)
서울특별시 송파구 송이로30길 7 (문정동)
경희대학교 산학협력단 (134571-*******)(40/100)
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
조선대학교 산학협력단 (200171-*******)(30/100)
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)

순위번호	등 록 사 항
1번	(등록권리자) 주식회사동일기술공사(110111-*******)(30/100) 서울특별시 송파구 송이로30길 7 (문정동) 2021년 09월 02일 등록
1번 부기1	(등록권리자의 표시변경등록) 접수 연월일 :2021년 11월 10일 접 수 번 호 :2021-0887240 변경 권리자 :주식회사동일기술공사(110111-*******) 서울특별시 송파구 송이로30길 7 (문정동) 변 경 사 항 변경전 : 변경후 :30/100 2021년 11월 10일 등록
2번	(권리의 일부이전등록) 접수 연월일 :2021년 11월 10일 접 수 번 호 :2021-0887240 등록 의무자 :주식회사동일기술공사(110111-*******)(70/100) 서울특별시 송파구 송이로30길 7 (문정동) 등록 권리자 :경희대학교 산학협력단(134571-*******)(40/100) 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내) 조선대학교 산학협력단(200171-*******)(30/100) 광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동) 등 록 원 인 :일부양도 등록의 목적 :권리의 일부이전등록 2021년 11월 10일 등록

이 등본(초본)은 등록원부와 틀림이 없음을 증명합니다.
(제 000335586 호)

2021년 11월 12일

특 허 청 장

◆ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)의 '특허넷-온라인제증명발급' 메뉴를 통해 발급번호 또는 문서하단의 바코드로 내용의 위·변조 여부를 확인해 주십시오. 단, 발급번호를 통한 확인은 90일까지 가능합니다.

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년09월08일
(11) 등록번호 10-2299784
(24) 등록일자 2021년09월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E01C 11/26 (2006.01) *E01C 5/00* (2006.01)
E01C 5/06 (2006.01) *H05B 3/06* (2006.01)
(52) CPC특허분류
E01C 11/265 (2013.01)
E01C 5/003 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0149683
(22) 출원일자 2020년11월10일
심사청구일자 2020년11월10일
(56) 선행기술조사문헌
KR101485442 B1*
KR1020180082861 A*
KR1020190023573 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
주식회사동일기술공사
서울특별시 송파구 송이로30길 7 (문정동)
(72) 발명자
안승주
서울특별시 중랑구 면목로35길 63, 403동 501호 (면목동, 면목두산아파트)
한상주
서울특별시 강남구 자곡로 101, 607동 1003호 (자곡동, 래미안 강남힐즈)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 두성

전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 고철승

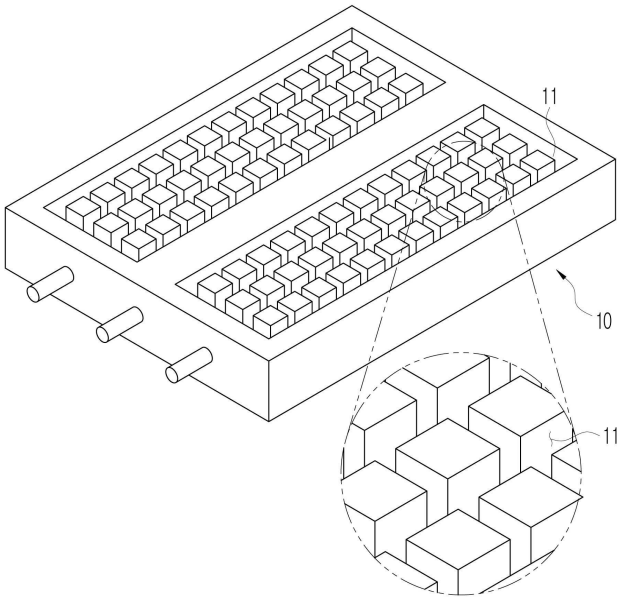
(54) 발명의 명칭 **발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법**

(57) 요 약

본 발명은 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 관한 것으로, 발열모듈과 공장 제작형 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 겨울철 블랙아이스로 인한 교통사고를 줄이고 도로 포장의 내구성 확보로 수명을 연장하는 것을 목적으로 한다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널은, 프리캐스트 콘크리트 몸체(10)와; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 매립되며 전선과 접속되어 전압의 공급을 통해 발열하는 CNT 발열모듈(20)과; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 상기 CNT 발열모듈을 덮도록 형성되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하는 보호층(30)을 포함하고, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 상기 CNT 발열모듈과 상기 전선이 삽입되는 매립홈(11)을 포함하도록 프리캐스트 콘크리트로 제작되며, 상기 CNT 발열모듈은 상기 전선과 함께 상기 매립홈에 삽입되어 설치된 후 상기 보호층의 형성을 통해 매립되고 상기 전선을 통해 전원을 인가받아 발열하여 상기 PC 몸체의 표면을 일정 온도 이상으로 유지한다.

(52) CPC특허분류
E01C 5/065 (2013.01)
H05B 3/06 (2013.01)
H05B 3/14 (2018.08)
E01C 2201/14 (2013.01)
H05B 2214/02 (2013.01)
H05B 2214/04 (2013.01)

(72) 발명자
정원석
경기도 성남시 분당구 수내로 148, 108동 1601호 (수내동, 파크타운)
이희영
광주광역시 남구 효사랑길 14, 106동 803호 (봉선동, 포스코더샵아파트)
김동휘
서울특별시 성동구 동호로 100, 115동 601호 (금호동3가, 두산아파트)
김재훈
서울특별시 관악구 남부순환로167길 8(신림동)
윤준수
경기도 성남시 분당구 양현로166번길 20, 905동 304호 (이매동, 이매촌동신9단지아파트)
박진오
경기도 광명시 하안로 320, 1015동 606호 (하안동, 하안10단지고층주공아파트)
박상헌
경기도 용인시 수지구 수풍로 90, 103동 506호 (풍덕천동, 수지4차삼성아파트)
김경수
서울특별시 종로구 혜화로10길 15-9(혜화동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615011610
과제번호	20CTAP-C157602-01
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술촉진연구사업
연구과제명	블랙아이스 방지(표면온도 5° C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 포장기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교
연구기간	2020.04.13 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

프리캐스트 콘크리트 몸체(10)와;

상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 매립되며 전선과 접속되어 전압의 공급을 통해 발열하는 CNT 발열모듈(20)과;

상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 상기 CNT 발열모듈을 덮도록 형성되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하는 보호층(30)을 포함하고,

상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 상기 CNT 발열모듈과 상기 전선이 삽입되는 매립홈(11)을 포함하되, 상기 매립홈은 상호 간에 일정 간격을 두고 형성되며 상기 CNT 발열모듈이 매립되는 발열모듈 매립부, 이웃하는 발열모듈 매립부들의 사이에 상기 발열모듈 매립부보다 적은 폭으로 상기 발열모듈 매립부들을 연결하도록 형성되며 전선이 매립되는 전선 매립부를 포함하고,

상기 보호층은 포장재 또는 몰탈로 이루어지며, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체의 표면에 전체적으로 형성되거나 상기 매립홈에 충진되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하며,

상기 CNT 발열모듈은 상기 발열모듈 매립부에 삽입되는 한편 상기 전선 매립부에 삽입되는 전선과 함께 설치된 후 상기 보호층의 형성을 통해 매립되고 상기 전선을 통해 전원을 인가받아 발열하여 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체의 표면을 일정 온도 이상으로 유지하되, 둘레부에 외부를 향해 개방되는 충진홈을 포함하고 상기 매립홈에 삽입된 후 상기 매립홈에 채워지는 보호층의 재료 또는 별도의 충진재가 상기 충진홈에 충진되어 고정되는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 CNT 발열모듈은 상기 전선과 연결되도록 돌출되는 리드선을 포함하여 상기 리드선을 상기 전선에 연결하는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 CNT 발열모듈은 정육면체의 큐브형 또는 폭보다 길이가 긴 패널형인 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

청구항 4

삭제

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 바닥 거푸집에 몰드재가 고정된 거푸집에 콘크리트를 타설하여 양생하는 공정, 상기 거푸집을 탈형한 후 상기 몰드재를 통해 형성된 매립홈이 상부를 향하도록 상부와 하부를 뒤집는 공정을 통해 제조되는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 거푸집의 타설공간에 몰딩 지그를 통해 몰드재를 배열하고 콘크리트를 타설하여 양생한 후 상기 거푸집을 탈형하는 공정을 통해 상하 뒤집기 공정없이 상부에 매립홈이 배치되도록 제조되는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널.

청구항 7

삭제

청구항 8

청구항 1에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법으로서,

포장구역에 청구항 1에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 인양하여 거치하는 제1단계와;

상기 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널의 발열모듈을 제어기와 전기적으로 연결하는 제2단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 프리캐스트 콘크리트 패널에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 발열모듈과 공장 제작형 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 겨울철 블랙아이스로 인한 교통사고를 줄이고 도로 포장의 내구성 확보로 수명을 연장하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 이 부분은 본 출원 내용과 관련된 배경 정보를 제공할 뿐 반드시 선행기술이 되는 것은 아니다.

[0003] 최근 겨울철 대형 교통사고의 주요요인으로 대두되고 있는 블랙아이스는 아스팔트나 콘크리트 표면의 작은 틈새로 물이나 눈이 스며들어 얼어붙는 현상으로 육안으로 확인이 되지 않아 교통사고를 유발할 가능성이 높다.

[0004] 도로교통공단의 교통사고 분석시스템에 따르면 2014~2018년 블랙아이스로 인한 결빙도로 사고는 약 6,500건으로 눈이 많이 쌓여 발생한 사고보다 약 1.8배 많았고, 부상자수는 2배, 사망자 수는 3배 이상 많고, 치사율은 1.9배 이상 높았다.

[0005] 블랙아이스로 인한 사고 방지를 위하여 제설재를 살포하고 있으나 이미 영하권의 날씨로 인해 도로가 결빙되어 교통체증이 크며 여러 사고들을 유발한다.

[0006] 뿐만 아니라 도로 아스팔트 포장의 경우 소성변형 및 피로균열로 인한 지속적인 파손이 발생되고 있다.

[0007] 아스팔트 포장에서 하부기층의 변형이 발상된 포장체에 대하여 상부 표층 덧 씌우기만(5㎝) 반복하여 표면상의 미관만을 고려한 유지관리를 실시하기 때문에 도로의 내구성은 물론 겨울철 블랙아이스 위험도 높아지고 있다.

[0008] 소성변형으로 인한 지반의 침하 및 내부균열에 대한 근본적인 보수보강이 필요하며, 사후 대응이 아닌 사전 예방적인 도로 융설 및 융빙 대책의 중요성이 대두되고 있다.

[0009] 현재까지 개발된 발열관련 도로의 결빙방지 기술로는 전열선법과 열 배관법 등이 적용되고 있으나 시공 또는 유지관리 측면에서 예상치 못한 여러 문제점이 도출되고 있다.

[0010] 기존의 결빙방지 기술인 전열선과 열 배관 방식은 전기나 기타 에너지원을 이용하여 발열하는 방식으로 시스템의 고장 발생 시 보수가 효과적으로 이루어지기 어렵고 재시공을 필요로 하는 등 기술적, 경제적으로 문제점이 발생한다.

[0011] 열선은 차량 통행량이 많은 구간에 대하여 연성포장인 아스팔트에 홈을 커팅하고 설치하는데, 대형차량 차륜에 의해 가해지는 압력으로 열선이 끊어지는 경우가 많기 때문에 실제 수명은 2~3년에 불과하여 반복적인 설치가 필요한 실정이다.

[0012] 제설법은 이미 눈이 적재된 후에 시작되므로 터널 입구 혹은 출구나 교량, 대형 교차로 등 블랙아이스에 의한 대규모 피해를 유발할 수 있는 지역이나 유동인구가 많거나 하향 경사구간 도로지역은 강설의 시점에서 융설로 인한 차량 통행성 확보가 어렵다.

[0013] 열선을 이용한 방식의 특허문헌으로 등록특허 제10-1202262호는 도로 포장면 아래에 중공된 공간으로 형성되는 설치관과 상기 설치관에 구비되는 열선을 포함하는 발열부; 상기 열선에 사용되는 전력을 공급하는 전원부; 상기 도로 포장면의 온도를 측정하는 온도측정센서; 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제1설정값 이하이면 상기 열선에 상기 전원부를 통하여 전력을 공급하고 상기 온도측정센서의 측정값이 미리 결정한 제2설정값

이상이면 상기 열선에 전력을 차단하는 제어부; 및 도로 포장면에 설치되며 상기 열선에 전력이 공급 될 때에 점등되고 전력이 차단 될 때 소등되는 안전등;을 포함하는 도로용 무인 제설장치가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 등록특허 제10-1202262호

(특허문헌 0002) 등록특허 제10-1705315호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 발열모듈과 공장 제작형 프리캐스트 콘크리트 패널의 조합을 통해 겨울철 블랙아이스로 인한 교통사고를 줄이고 도로 포장의 내구성 확보로 수명을 연장하는 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법을 제공하려는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널은, 프리캐스트 콘크리트 몸체와; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 매립되며 전선과 접속되어 전압의 공급을 통해 발열하는 CNT 발열모듈과; 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체에 상기 CNT 발열모듈을 덮도록 형성되어 상기 CNT 발열모듈을 보호하는 보호층을 포함하고, 상기 프리캐스트 콘크리트 몸체는 상기 CNT 발열모듈과 상기 전선이 삽입되는 매립홈을 포함하도록 프리캐스트 콘크리트로 제작되며, 상기 CNT 발열모듈은 상기 전선과 함께 상기 매립홈에 삽입되어 설치된 후 상기 보호층의 형성을 통해 매립되고 상기 전선을 통해 전원을 인가받아 발열하여 상기 PC 몸체의 표면을 일정 온도 이상으로 유지하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법에 의하면, 반복적으로 발생되는 겨울철 블랙아이스로 인한 대형 교통사고를 미연에 방지하는 효과가 있고, 공장 제작에 의한 모듈화를 통해 급속 시공이가 가능하므로 교통 통제시간을 최소화 하는 효과도 있다.

[0018] 또한, 도로를 고강도의 콘크리트로 포장하여 도로 포장의 수명을 연장하고 결국 유지보수비용을 절감하는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널의 단면도.

도 2는 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 매립홈을 보이기 위한 프리캐스트 콘크리트 몸체의 사시도.

도 3은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 프리캐스트 콘크리트 몸체의 제조 예시도.

도 4는 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 프리캐스트 콘크리트 몸체의 다른 제조 예시도.

도 5와 도 6은 각각 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 매립홈의 예시도.

도 7은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 큐브형 발열모듈이 적용된 예시도.

도 8은 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 패널형 발열모듈이 적용된 예시도.

도 9와 도 10은 각각 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널에 적용된 발열모듈과 전선

의 연결을 보인 예시도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 하기에서 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0021] 도 1에서 보이는 바와 같이, 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널(100)은, 프캐스트 콘크리트(precast concrete) 몸체(10)(이하 'PC 몸체'로 약칭함), PC 몸체(10)에 매립되며 전압의 공급을 통해 발열하여 PC 몸체(10)의 표면(자동차의 바퀴가 닿는 면)을 블랙아이스가 생기지 않는 온도 조건으로 조성하거나 눈과 얼음을 녹이는 발열모듈로서 바람직하게 CNT 발열모듈(20)(이하'발열모듈'이라 약칭함), 발열모듈(20)을 보호하는 보호층(30)을 포함하며, 발열모듈(20)에 전압을 인가하기 위한 전기장치에 대해서는 당업자에 의한 실시가 가능하므로 도면과 설명을 구체적으로 기재하지 않고 생략한다.

[0022] PC 몸체(10)는 통상의 프리캐스트 콘크리트 제품이며 도로의 포장을 위한 크기이고 내부에 철근(12)이 배근된 철근 콘크리트 제품이고, 단, 발열모듈(20)의 매립을 위한 구조를 포함한다.

[0023] 바람직하게, 도 2에서 보이는 것처럼, PC 몸체(10)에는 설치 상태를 기준으로 하여 도로의 노면을 향해 개방되는 매립홈(11)을 갖도록 제작된다.

[0024] 매립홈(11)은 도 5에서 보이는 것처럼, 발열모듈(20)과 전선이 매립되는 형태인데, 발열모듈(20)과 전선에 관계없이 전체적으로 동일한 크기로 이루어질 수 있고, 또는, 도 6에서처럼, 발열모듈(20)이 매립되는 발열모듈 매립부(11-1) 및 전선이 매립되는 전선 매립부(11-2)가 서로 다른 크기로 형성되는 것도 가능하다. 도 6의 매립홈(11)은 다수개의 발열모듈(20)이 발열모듈 매립부(11-1)에 매립되어 상호 간에 일정 거리를 두고 이격되면서 전선이 전선 매립부(11-2)에 매립되는 방식에 유용하다.

[0025] 전선 매립부(11-2)는 상기 전선이 발열모듈(20)보다 부피가 작은 것에 맞춰 발열모듈 매립부(11-1)보다 적은 크기(폭)로 형성된다.

[0026] 매립홈(11)은 PC 몸체(10)를 먼저 제작한 다음 홈을 가공하는 후가공도 가능하지만 불필요한 작업이고 매립홈(11)의 후가공시 PC 몸체(10)에 손상을 줄 수 있으므로 콘크리트 타설 시 함께 제작하는 것이 바람직하다.

[0027] 매립홈(11)을 갖는 PC 몸체(10)를 제작하는 방법으로는 매립홈(11)이 저부에 형성되도록 하여 PC 몸체(10)를 뒤집는 방법, 매립홈(11)이 상부에 배치되도록 제작하는 방법이 있다.

[0028] 좀 더 구체적으로 설명하면, 도 3에서 보이는 것처럼, 거푸집(1)은 바닥 거푸집 및 둘레의 벽체 거푸집에 의해 내부에 상부를 향해 개방되는 타설공간이 형성되는 구조(상기 바닥 거푸집과 벽체 거푸집은 분리형과 일체형 모두가 가능하고, 탈형을 위하여 분리형인 것이 바람직하다)이며, 상기 바닥 거푸집에는 매립홈(11)의 형성을 위한 몰드재(2)가 고정된다.

[0029] 몰드재(2)는 매립홈(11)의 형상 및 크기와 동일한 형태이고, 상기 바닥 거푸집의 바닥면에 고정되어 상기 바닥 거푸집의 바닥면에 돌출된 돌기이며, 즉, 몰드재(2)가 있는 부분은 콘크리트가 채워지지 않게 되는 것이다.

[0030] 몰드재(2)는 콘크리트의 타설압력에 의해 변형되지 않는 강도의 재질(steel, 고무 등)로 이루어지며 그 형상은 매립홈(11)의 형상에 맞춰 다양하게 제작된다. 또한, 콘크리트의 양생 후 PC 몸체(10)를 분리할 때 더 신속하게 분리되고 몰드재(2)와 PC 몸체(10)의 매립홈(11)이 손상되지 않도록 몰드재(2)의 표면은 박리(박리 처리는 콘크리트 제조 기술에서 널리 통용되는 기술이 가능하다) 처리되는 것이 바람직하다.

[0031] 또한, 몰드재(2)는 교체가 가능하도록 바람직하게 볼트와 너트의 체결구(3)를 통해 거푸집(1)에 분리 가능하게 고정된다.

[0032] 즉, 도 3에서 보이는 것처럼, 거푸집(1)의 타설공간에 콘크리트를 타설하고 양생한 후 거푸집(1)을 탈형하면 저부에 매립홈(11)이 있는 PC 몸체(10)가 제작된다.

[0033] 이렇게 제작된 PC 몸체(10)의 상하를 뒤집어 후속 작업을 한다.

[0034] 도 4는 매립홈(11)이 상부에 배치되도록 하는 제작하는 예를 도시한 것이며, 몰드재(2)를 갖는 몰딩 지그(200)

를 이용하여 PC 몸체(10)를 제작한다.

[0035] 예를 들어 몰딩 지그(200)는 거푸집(1)의 벽체 거푸집 또는 지면에 지지되는 한 쌍의 지지부(210), 지지부(210)에 연결되며 몰드재(2)가 고정되는 몰드재 고정봉(220)으로 구성된다.

[0036] 지지부(210)는 상기 벽체 거푸집에 지지되어 조임 볼트 등을 통해 고정되는 등 다양하게 구성 가능하다.

[0037] 몰드재 고정봉(220)은 길이방향의 양쪽이 한 쌍의 지지부(210)에 각각 연결되며 몰드재(2)가 고정된다. 몰드재(2)는 다양한 종류와 교체를 위하여 몰드재 고정봉(220)에 분리 가능하게 고정된다.

[0038] 몰딩 지그(200)는 거푸집(1)에서 분리되는 것을 통해 몰드재(2)를 탈형할 수 있고 또는 몰드재 고정봉(220)을 높이 조절 가능하게 구성하여 높이 조절을 통해 탈형할 수도 있다.

[0039] 몰드재 고정봉(220)의 높이 조절은 탈형 뿐만 아니라 매립홈(11)의 깊이를 조절할 수 있는 이점도 있다.

[0040] 이상의 구성에 따르면, 몰드재(2)를 매립홈(11)의 형성을 위한 높이로 설치한 후 거푸집(1)의 타설공간에 콘크리트를 타설한다. 이 때, 콘크리트의 타설 높이는 몰드재(2)의 일부분이 외부로 노출되는 높이이다.

[0041] 콘크리트의 양생 후 몰딩 지그(200)를 분리 또는 상승시켜 몰드재(2)를 빼내면 PC 몸체(10)가 완성된다.

[0042] PC 몸체(10)는 매립홈(11)이 상부를 향해 개방되고 외부에 노출되기 때문에 뒤집기 작업없이 후속 작업이 가능하다.

[0043] 매립홈(11)의 간격은 발열모듈(20)의 간격인 것이며, 즉, 발열모듈(20)의 발열량에 따라 발열모듈(20)들의 간격이 결정될 것이고, 발열량이 다양할 수 있으므로 매립홈(11)의 간격은 발열모듈(20)에 따라 달라진다.

[0044] 본 발명의 패널(100)은 2장 이상이 함께 사용되어 도로를 포장할 수 있으며, 포장면이 전반적으로 동일한 높이를 맞추도록 레벨링수단(레벨링 볼트), 인터록킹 연결부재(다웰바 등), 인양고리, 그라우팅홀 등이 적용되고 이 구성은 공지의 구성이므로 구체적인 설명을 생략한다.

[0045] 발열모듈(20)은 CNT(Carbon Nano Tube, 탄소나노튜브)로서 열전도율과 전기전도도가 우수하고 강도특성도 뛰어난 것으로 알려져 있으며, 본 발명을 통해 도로 포장에 적용되는 것이다.

[0046] 본 발명을 위한 발열모듈(20)은 그 형태를 기준으로 할 때 큐브형과 패널형으로 구분된다.

[0047] 도 7에서 보이는 것처럼, 큐브형의 발열모듈(20-1)은 가로(폭)와 세로(길이) 및 두께(높이)가 동일한 정육면체 형태로 가공된 것이며, 다수개가 일정 간격을 두고 PC 몸체(10)에 매립된다.

[0048] 도 8에서 보이는 것처럼, 패널형의 발열모듈(20-2)은 가로보다 세로가 더 긴 형태이며, 다수개가 일정 간격을 두고 PC 몸체(10)에 매립된다.

[0049] 큐브형의 발열모듈(20-1)과 패널형의 발열모듈(20-2) 모두 두께(높이)는 피복두께에 따라 달라지며, 최대 피복두께를 80㎜로 할 때 두께는 50㎜이다.

[0050] 발열모듈(20-1,20-2)의 설치 패턴은 도면에 도시된 것으로 한정되는 것은 아니며, 도 7과 도 8은 차량의 바퀴가 통과하는 부분에만 발열모듈(20-1,20-2)을 설치한 예이다.

[0051] 발열모듈(20)은 전압을 인가받을 수 있도록 전선과 연결되어야 하고, 바람직하게 모든 발열모듈(20)이 전선과 직렬 또는 병렬로 연결된다.

[0052] 도 9는 전선의 양극선(41)과 음극선(42)이 발열모듈(20)에 납땜으로 연결되는 직접식의 예를 도시한 것이고, 도 10은 발열모듈(20)에 양극용/음극용의 리드선(21,22)을 설치하여 리드선(21,22)과 전선의 양극선(41)과 음극선(42)을 연결하는 간접식의 예를 도시한 것이다.

[0053] 간접식의 예에서 리드선(21,22)은 발열모듈(20)을 가공(큐브형, 패널형)할 때 일부분이 발열모듈(20) 안에 삽입되고 나머지 부분이 발열모듈(20)의 외부로 돌출되도록 설치되는 것이며, 전선과의 안정적인 접촉을 위하여 망의 형태가 바람직하다.

[0054] 이와 같은 간접식의 연결방식은 발열모듈(20)과의 단선을 막을 수 있고 전선과 안정적으로 접속되어 오동작을 막는데 매우 유용하다.

[0055] 상기 전선은 제어기를 통행 전원부의 전원을 인가받아 작동하며, 또한, 패널(100)은 모듈화되어 시공 현장에서 상기 제어기와 연결되어 발열모듈(20)이 작동하도록 구성되며, 예를 들어 상기 전선의 끝에 소켓이 연결되고 이

소켓이 PC 몸체(10)의 가장자리에 외부로 노출되도록 설치된다.

[0056] 상기 전원부는 상용전원, 태양광 에너지 등의 신재생에너지, 배터리, 2차 전지 등이 사용 가능하다.

[0057] 또한, 전원부는 패널(100)의 외부에 설치될 수도 있고, 또는 패널(100)의 PC 몸체(10)에 수납부를 형성하여 상기 수납부에 수납되는 것도 가능하다.

[0058] 상기 제어기는 수동식과 자동식의 제어가 가능하다.

[0059] 수동식의 제어는 관리자가 수동 스위치를 조작하여 제어기를 온 또는 오프 제어하는 것이다.

[0060] 자동식의 제어는 기상 조건(온도, 비, 눈 등)을 근거로 하여 상기 제어기를 온 또는 오프 제어하는 것으로, 온도센서, 강우센서 등의 센서 및 상기 센서의 감지 값과 기준 값을 비교하여 상기 제어기를 제어하는 컨트롤러를 포함한다.

[0061] 또한, 상기 제어기는 원격 통제실의 서버와 무선통신하여 원격 제어를 통해 관리되는 것도 가능하다.

[0062] 발열모듈(20)은 매립홈(11)의 가공 후 삽입으로 설치되는 것이고 후술하는 보호층(30)에 의해 보호되더라도 매립홈(11) 안에서 흔들릴 수 있으며, 이러한 흔들림으로 인하여 패널(100)의 표면에서 돌출되는 등 손상을 일으킬 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 발열모듈(20)의 둘레부에 충진홈(23)을 포함한다.

[0063] 충진홈(23)은 발열모듈(20)의 둘레면에 외부를 향해 개방되는 홈으로서 둘레부를 따라 형성될 수 있고, 또는 반구형의 홈이 다수개 형성되는 형태도 가능하다.

[0064] 충진홈(23)에는 별도의 충진재(에폭시 등)가 충진되어 발열모듈(20)을 고정할 수 있고 또는 후술하는 보호층(30)의 재료가 충진될 수도 있다.

[0065] 보호층(30)은 발열모듈(20)을 차량의 하중으로부터 보호하는 것이며, 그 재료는 통상의 포장재, 몰탈 등이 가능하고, 상기의 재료에 열전도재가 첨가될 수도 있다.

[0066] 상기 열전도재는 CNT, 구리 등 열전도도가 우수한 재질이 사용된다.

[0067] 또한, 보호층(30)은 도 1에서 보이는 것처럼, PC 몸체(10)의 표면에 전체적으로 형성되는 포장의 형태, 발열모듈(20)의 상부만 덮는 매립홈(11)의 채움 형태가 가능하다.

[0068] 본 발명에 의한 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법은 다음과 같다.

[0069] 본 발명은 보수공사와 신설공사 모두가 가능하고 보수공사를 예로 들어 설명한다. 상기 보수공사는 블랙아이스의 발생우려지역으로 예를 들어 터널의 진출입부, 구조물이나 지리적 여건으로 그늘진 곳 등이다.

[0070] 1. 포장면 정리.

[0071] 기존 포장(예를 들어 아스팔트 포장)을 제거한 후 제거된 포장구간의 면을 정리한다.

[0072] 2. 발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 설치.

[0073] 패널(100)을 인양하여 포장구간 위로 운반한 후 포장면에 거치한다.

[0074] 패널(100)의 레벨링을 맞추고 이웃하는 패널(100)과 인터록킹한다.

[0075] 3. 그라우팅.

[0076] 패널(100)의 가장자리를 실링한 후 패널(100)의 그라우팅홀을 통해 패널(100)의 저부와 포장면 사이를 그라우팅한다.

[0077] 4. 발열모듈과 제어기 연결.

[0078] 패널(100)이 설치된 포장구역의 옆에 제어기와 전원부를 설치하고, 상기 제어기를 패널(100)의 전선과 접속한다.

[0079] 이상의 공정을 통해 패널(100)에 의한 도포 포장을 완료한다.

[0080] 이상의 공정을 통해 시공된 도로 포장에 따르면, 도로 노면의 블랙아이스가 발생되는 기상조건에서 발열모듈(20)에 전압(예를 들어 30~60V))이 인가되면 발열모듈(20)이 발열한다(예를 들어 25℃).

[0081] 발열모듈(20)의 열은 PC 몸체(10)의 표면에 전달되어 패널(100)의 표면 및 표면에서부터 형성된 크랙부분을 블랙아이스가 발생하는 온도보다 높은 온도로 조성한다.

[0082] 따라서, 패널(100)의 표면에서부터 작은 틈에 물이나 눈이 스며들더라도 얼어붙지 못한다.

[0083] 또한, 본 발명은 블랙아이스의 예방뿐만 아니라, 발열모듈(20)의 열을 통해 이미 얼어붙은 얼음도 녹일 수 있다.

[0084] 결국, 본 발명의 패널(100)에 의해 포장된 도로는 블랙아이스로 인한 사고를 방지하게 된다.

부호의 설명

[0085] 1 : 거푸집, 2 : 몰드재

10 : 프리캐스트 콘크리트 몸체, 11 : 매립홈

11-1 : 발열모듈 매립부, 11-2 : 전선 매립부

12 : 철근,

20 : 발열모듈, 20-1 : 큐브형 발열모듈

20-2 : 패널형 발열모듈, 21,22 : 리드선

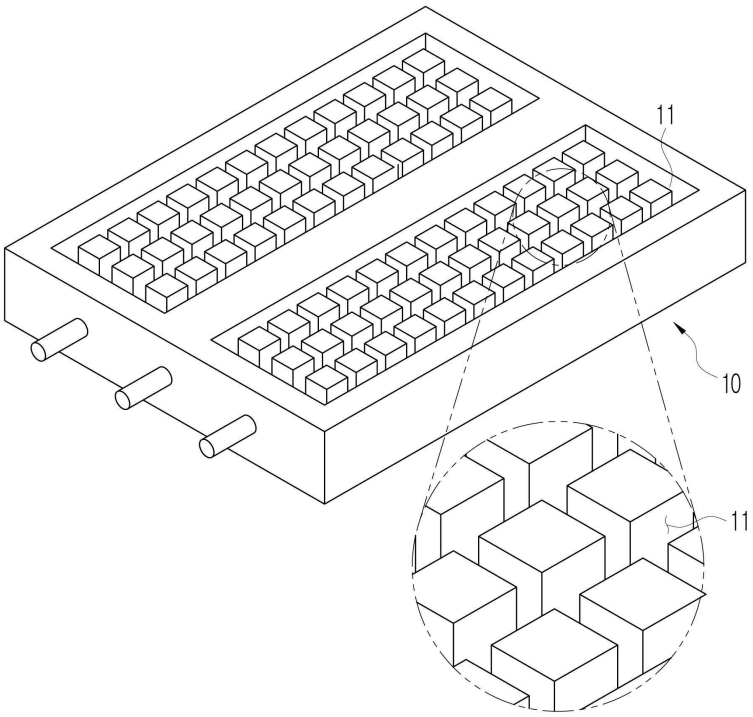
30 : 보호층,

200 : 몰딩 지그, 210 : 지지부

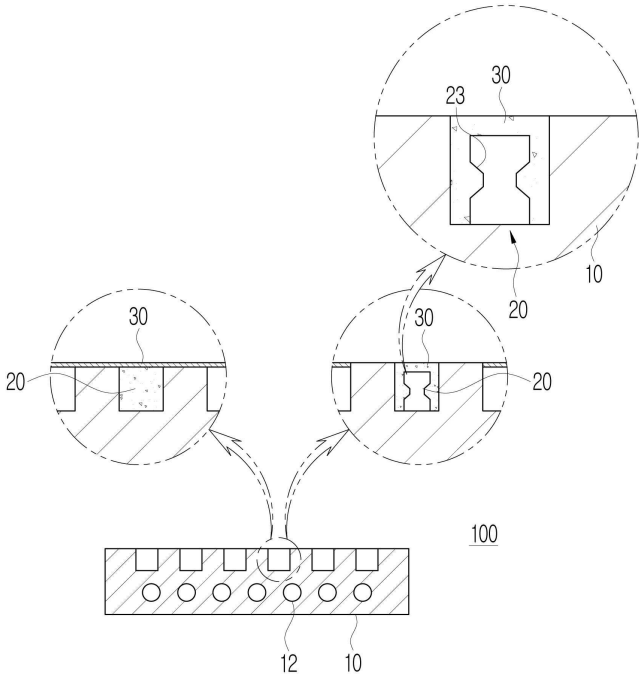
220 : 몰드재 고정봉,

도면

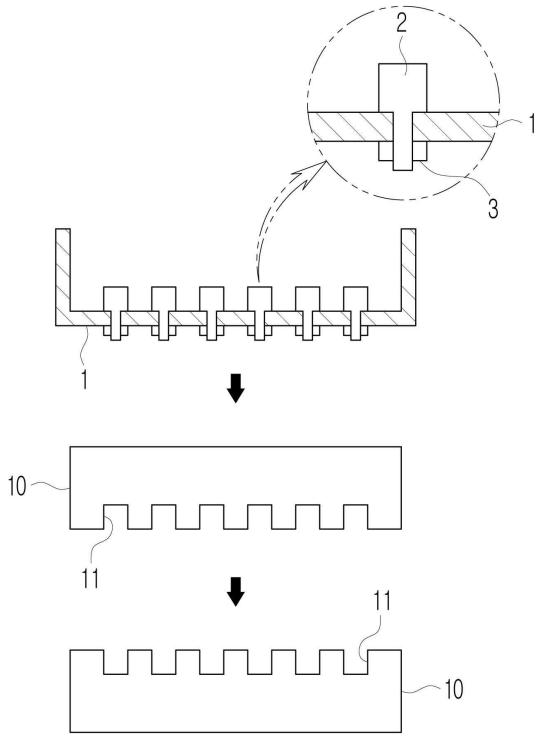
도면1



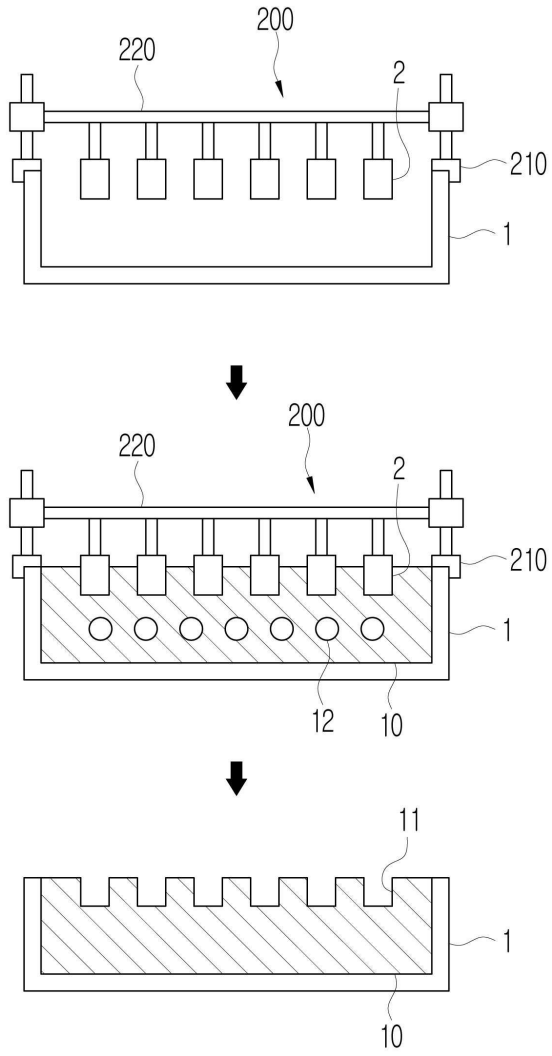
도면2



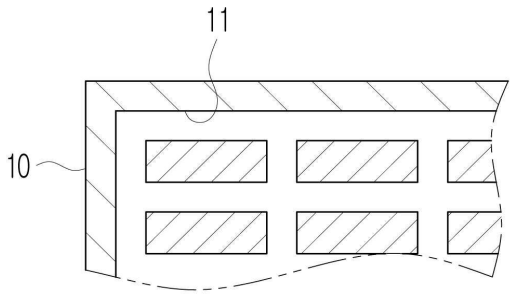
도면3



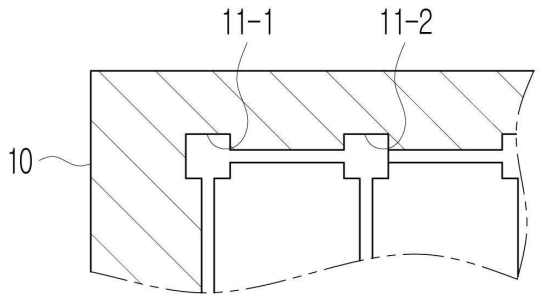
도면4



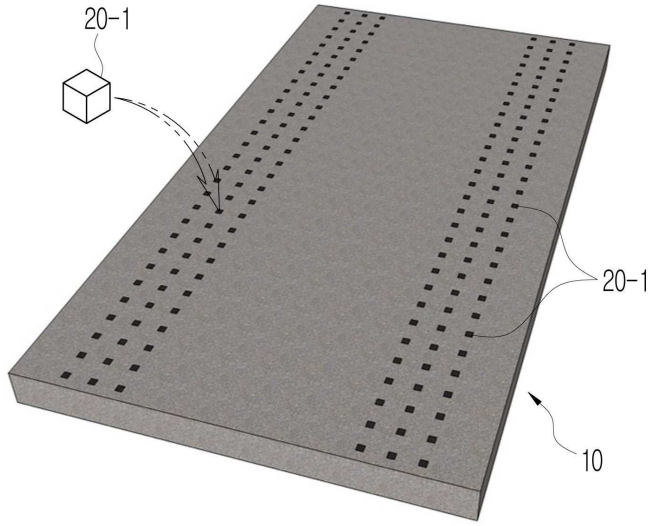
도면5



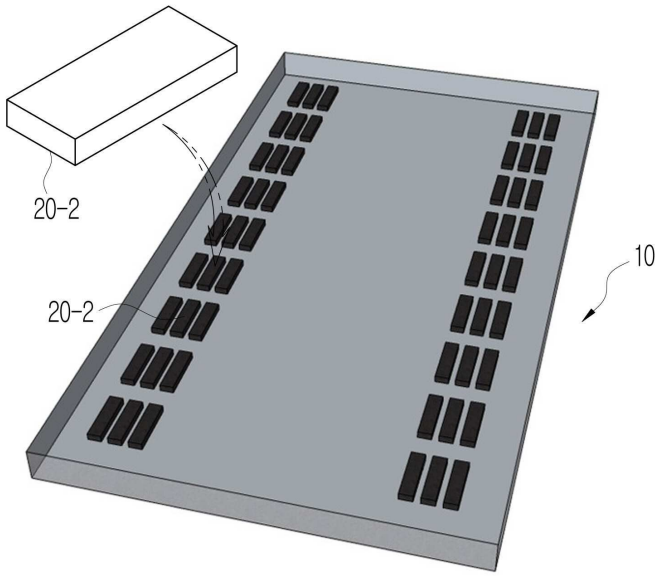
도면6



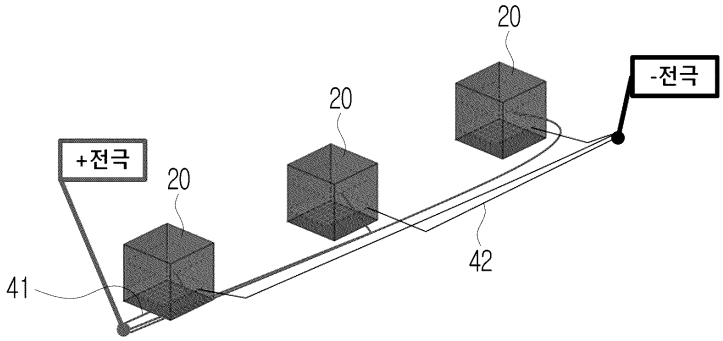
도면7



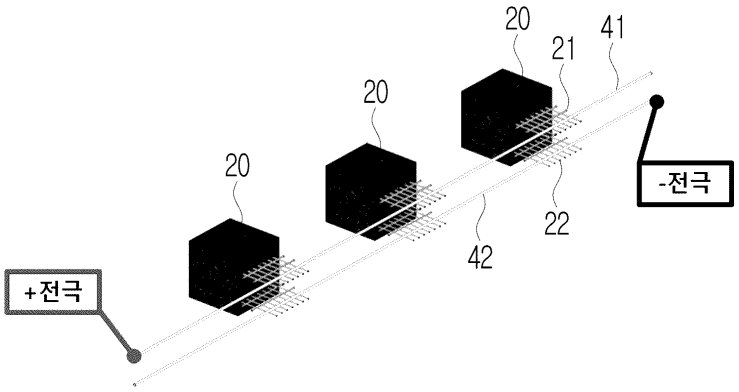
도면8



도면9



도면10



2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-게재논문원본-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

탄소 나노 재료를 혼입한 나노 보도블럭의 발열성능

Heating Performance of Nano Sidewalk Block Incorporating Carbon Nanomaterial

김영환* · 유원준** · 김동휘** · 정원석*** · 이희영****

Kim, Younghwan* · YU, Wonjun** · Kim, Donghwi** · Chung, Wonseok*** · Lee, Heeyoung*****

Abstract

Recently, freezing accidents have increased in winter as the temperature of sub-zero has rapidly decreases. Lots of studies are being conducted to prevent freezing accidents in the winter. This study was conduted the heating and electrical performance of nano sidewalk blocks mixed with multi-walled carbon nanotubes (MWCNT). The parameters was curing day, MWCNT concentration, and supply voltage. The size of the specimen was 200×100×60mm^3 of the interlocking block. As a result, the heating performance of specimens increased 12.3times as the MWCNT concentration and supply voltage increased.

Key Words : Carbon nano material MWCNT, Sidewalk block, Heating performance

요 지

최근, 영하의 온도가 급격하게 감소함에 따라 겨울철 결빙사고가 증가하고 있다. 겨울철 결빙사고를 해결하기 위한 연구는 많이 수행되고 있지만, 보도블럭의 빙판길 결빙사고를 해결하기 위한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 결빙사고 예방을 위한 기초연구로써 다중벽 탄소나노튜브(Multi-Walled Carbon Nanotube, MWCNT)를 혼합한 나노 보도블럭의 발열성능에 대해 연구하고자 한다. 매개변수는 양생일, MWCNT 혼합농도, 공급전압이며, 실험체는 크기가 200×100×60mm^{3}인 인터록킹 블록형이다. 실험결과, 발열성능은 MWCNT 혼합농도와 공급전압이 증가할수록 최대 12.3배 향상되었다.

핵심용어 : 탄소나노재료, MWCNT, 보도블럭, 발열성능

1. 서 론

최근, 지구온난화와 이상기후로 겨울철 영하의 온도가 급격하게 감소함에 따라 겨울철 사고가 증가하고 있는 추세이다. 겨울철 영하의 온도에서 도로의 경우에는 도로결빙, 블랙아이스 등으로 인한 다수의 차량사고가 발생하며, 사람이 다니는 인도의 경우에는 빙판길로 인한 결빙 사고가 발생한다. 서울 소방 재난본부의 조사에 따르면 지난해 겨울철 결빙사고로 인한 피해자는 해가 거듭될수록 증가하고 있다. 시멘트 기반 재료에 다중벽 탄소 나노 튜브(Multi-Walled Carbon Nanotube, MWCNT)를

*조선대학교 토목공학과 (E-mail:mabula@hanmail.net)
Member, Doctor Course, Department of Civil Engineering, Chosun University.
**정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 석사과정
Member, Master Course, Department of civil Engineering, Kyunghee University.
***정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 교수
Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kyunghee University.
****교신저자. 정회원 조선대학교 토목공학과 조교수(Tel: +82-63-230-7087, Fax: +82-2-123-4567, E-mail: heeyoung0908@chosun.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Chosun University.

혼합하는 연구는 겨울철 도로 빙판길 사고를 해결하기 위하여 수행되고 있으며 MWCNT를 혼입한 시멘트 기반 재료의 역학적 성능 향상에 대한 연구가 많이 수행되었다(Morsy *et al.*, 2011; Hamzaoui *et al.*, 2012). 최근에는 탄소나노튜브(Carbon Nanotube, CNT)가 금속 재료인 구리에 비해 열전도율이 7.5배, 전기전도율이 100배 우수하기 때문에 시멘트 기반 재료와 혼합하여 전기전도성 및 발열 성능에 대한 연구가 진행 중이다. Nan *et al.* (2004)은 탄소나노뷰트를 혼합한 시멘트 복합체의 열전도도와 CNT의 관계를 공식화하였다. Li *et al.* (2007)은 황산과 질산을 함께 혼합한 시멘트 기반 CNT-복합체의 전기 저항에 대해 연구하였다. 연구 결과, 전자 현미경을 통하여 황산과 질산을 함께 혼합한 CNT-복합체와 혼합하지 않은 CNT-복합체 모두 CNT가 균일하게 분산된 것을 확인하였다. Zhang *et al.* (2011)은 MWCNT를 혼입한 시멘트 복합체의 도로 융빙 시스템에 대해 연구하였다. 영하의 온도에서 얼음을 녹이는 실험을 진행하였고 MWCNT가 3.0wt% 혼입하면 2.83W/m·K의 열전도층을 생성하여 도로 융빙 시스템이 가능한 것으로 분석되었다. Kim et al(2014)은 실리카퓸과 CNT를 혼합한 시멘트 복합체의 전기적 특성에 대해 연구하였다. 실험 결과, 소량의 실리카퓸은 응집된 CNT와 혼합하여 기계적으로 작은 크기로 분해하기 때문에 CNT-시멘트 복합체의 전기적 성능을 향상시켰다. Konst and Aza(2014)는 CNT와 Carbon Nano Fiber (CNF)를 혼합한 시멘트 복합체의 전기적 특성과 압저항 감도에 대해 연구하였다. 0.1wt%의 CNT와 CNF를 혼합한 복합체에서 가장 높은 압저항 감도가 나타났다. CNT와 CNF를 첨가하는 것에서 전기적 특성이 개선되었다. Kim et al(2016)은 CNT의 혼합 농도를 매개변수로 선정하여 시멘트 복합체의 발열 성능에 대해 연구하였다. CNT의 혼합 농도는 시멘트 무게 대비 1.0wt%, 2.0wt%이고 시멘트 복합체의 크기는 50×50×50mm^{3}이다. 연구 결과, 2.0wt% 복합체는 10V 전압을 공급하면 67.8℃의 발열량이 나타났고 CNT의 혼합 농도가 증가할수록 발열 성능은 개선되었다. Lee *et al.* (2017)은 서로 다른 종류의 CNT를 혼입한 시멘트 복합체의 발열성능에 대하여 연구하였다. CNT 종류는 Single-walled Carbon Nanotube (SWCNT)와 MWCNT 이다. 연구 결과, SWCNT를 혼입한 시멘트 복합체의 발열량이 최대 64.2℃로, 동일한 조건에서 MWCNT를 혼입한 시멘트 복합체에 비해 3.3배 우수하였다. García *et al.* (2017)은 MWCNT를 혼입한 다양한 시멘트 복합체의 전기전도성에 대해 연구하였다. 시멘트 복합체의 종류는 시멘트 페이스트, 모르타르, 콘크리트이고, MWCNT 혼합 농도는 시멘트 중량 대비 1.0wt%이다. 실험 결과, 동일한 농도를 혼합하는 경우에는 시멘트 페이스트, 모르타르 콘크리트 순으로 전기전도성이 우수하였다. Lee *et al.* (2018)은 MWCNT를 활용한 시멘트 복합체의 열적 특성에 대해 연구하였다. 매개변수는 MWCNT 혼합 방법, MWCNT 농도를 선정하였다. MWCNT 혼합 방법은 모래에 코팅하는 방법과 수용액으로 혼합하는 방법이고, MWCNT 농도는 시멘트 무게 대비 0.125wt%, 0.25wt%이다. 실험결과, 발열 성능은 모래에 코팅하는 방법이 수용액으로 혼합하는 것보다 2배 우수하였고 MWCNT 농도가 증가할수록 다수의 CNT-network가 형성되었기 때문에 증가한 것으로 분석되었다. Park *et al.* (2018)은 MWCNT를 혼입한 시멘트 복합체의 효율적인 전압 공급 방법에 대해 연구하여 도로결빙 방지를 위한 발열 가능 건설재료의 기초연구를 수행하였다. 실험체의 크기는 200×40×40mm^{3}이고 매개변수는 전압 공급 위치이다. 실험 결과, 동일한 접안을 공급하면 전압 공급 위치를 분산하고 간격이 좁을수록 발열 효율에 유리한 것으로 분석된다.

앞서 설명했듯이 탄소 나노 재료를 혼합한 시멘트 기반 복합체의 발열성능에 대한 연구는 진행되고 있다. 하지만 시멘트 기반 복합체는 구조물에서 활용되는 페이스트와 모르타르, 콘크리트에 대한 연구만 수행되었다. 또한 시멘트 재료인 보도블럭에 대한 연구는 투수성 및 강도 등의 연구만 특정되어 진행되고 있는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 빙판길에 사용되는 보도블럭에 나노재료를 혼입함으로써 자체 발열성능을 지니게 되는 나노 보도블럭에 대해 연구하고자한다. 열화상카메라를 이용하여 발열시 시편의 온도를 측정하여 이미지화하고자 하며 보도블럭의 공급대비 소비전력을 분석하여 공급전압과 소비전력의 상관관계를 연구하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 실험 매개변수

보도블럭 실험체는 Fig 1과 같이 크기가 200×100×60mm^{3}인 인터록킹 블록 I 형으로 선정하였다. 실험체의 두께는 국내 KSF 4419 기준인 “보차도용 콘크리트 인터로킹 블록”에 의거하여 보도용의 두께 60mm로 선정하였다(Korean Standards Association., 2016). 나노 보도블럭 실험체는 30cm 높이를 기준으로 두 개의 층으로 나누어진다. 첫 번째 층은 나노재료가 혼합된 층이고 두 번째 층은 나노재료가 혼합되지 않은 층이다. 나노 보도블럭의 매개변수는 MWCNT 혼합 농도와 양생일, 공급 전압으로 선정하였다. MWCNT 혼합 농도는 시멘트 중량대비 0.0wt%, 0.5wt%, 1.wt%이고 양생일은 초기 양생 7일과 압축강도 기준인 28일, 공급 전압은 10V, 30V이다. 매개변수에 따른 나노발열 보도블럭 실험체는 Table 1에 정리하였다.

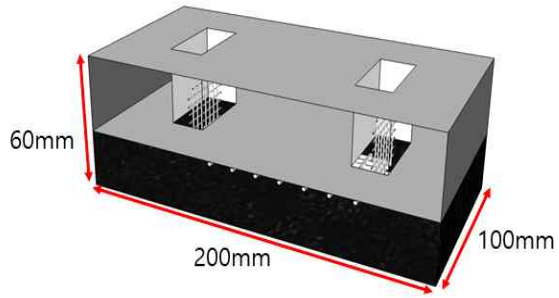


Fig. 1. Specimen of Nano Sidewalk Block

Table 1. Parameter of Nano Sidewalk Block

Specimen name	Curing days	MWCNT concentration (%)	Voltage(V)
B-7D-0.0	7D	0.0	10V/30V
B-7D-0.5		0.5	
B-7D-1.0		1.0	
B-28D-0.0	28D	0.0	
B-28D-0.5		0.5	
B-28D-1.0		1.0	

2.2 사용 재료

나노 보도블럭 실험체는 탄소나노재료, 시멘트, 모래를 사용하여 제작한다. 본 연구에서는 다양한 탄소나노재료 중에서 전기적·열적 성능이 우수한 MWCNT를 혼입하여 수행한다. 실험에 사용되는 MWCNT는 순도 99%로 기능화 된 수용액 상태로 시멘트 재료에서 분산성을 확보하는데 유리한 것으로 나타났다(Sobolkina *et al.*, 2012; Al-Dahawi *et al.*, 2016). MWCNT 수용액은 22kHz 초음파를 활용하여 폴리아크릴산(Polyacrylic acid)에서 2시간 동안 분산되었다(Lee *et al.*, 2020).

Table 2는 본 연구에서 사용된 MWCNT의 특성이다. MWCNT의 평균 직경은 1nm~10nm이고 길이는 100nm~1cm이다. MWCNT의 밀도는 1.33g/cm로 전기 전도도가 0.17~2×10^{5}S/cm 이고 열전도도는 3,000W/m·K이다. MWCNT는 구리에 비해 전기전도도는 약 100배 이상, 열전도도는 7.5배 우수하다. 나노 보도블럭에 사용된 시멘트는 일반적인 포틀랜드 시멘트이며, 사용된 모래는 KSL ISO 679 표준 규격의 비중이 2.6~2.67, 균등 계수는 1.0~1.93인 표준사이다(Korean Standards Association, 2011).

2.3 실험체 제작

본 연구는 나노 보도블럭에 전압을 공급하기 위하여 MWCNT가 혼입된 첫 번째 층에 Stainless steel mesh를 100mm 간격으로 설치하였다. 두 번째 층은 기존에 설치된 Mesh를 보호하기 위해 20×40×30mm^3 크기의 캡을 설치하였다.

Thermalcouple은 공급 전압에 의해 발생하는 나노 보도블럭의 중심부 온도를 측정하기 위하여 MWCNT가 혼입된 첫 번째 층에 삽입하였고, 나노 보도블럭의 열확산도를 확인하기 위하여 두 번째 층에도 삽입하였다.

Table 2. Properties of MWCNT

Material	structure	Modulus of Elasticity	Electrical conductivity	Thermal conductivity	Purity
MWCNT	Diameter : 1nm~10nm length : 100nm~1cm	0.27~0.95 TPa	0.17~ 2×105 S/cm	3,000 W/m·K	99%

나노 보도블럭의 배합비는 물/시멘트비를 50%로 선정하고, 표준사는 시멘트 중량 대비 2.5배를 혼합하였다. 나노 보도블럭의 배합비는 Table 3과 같다.

Table 3. Mixing Ratio of Nano-Sidewalk Block

W/C (%)	MWCNT Solution(g)	Cement (g)	Sand (g)
50	384	768	1920

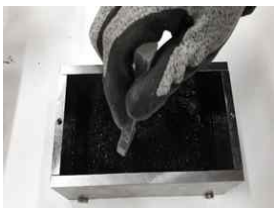
Fig 2는 나노 보도블럭의 제작과정이다. 나노 보보들럭은 배합비에 맞게 재료를 계량한 후에 수용액으로 분산된 MWCNT를 3분간 배합하였다. 배합이 완료되면 높이 30cm가 되도록 몰드에 3회 나누어서 타설하며 1회당 약 30회 다짐을 실시한 후에 stainless steel mesh와 thermalcouple를 삽입하였다. MWCNT가 혼합된 첫 번째 층 타설이 완료되면 상온에서 1일 양생 후에 두 번째 층 타설을 진행하였다. 두 번째 층 타설은 앞서 언급한 순서와 동일하게 수행하였고 일반 모르타르로 타설하였다.



(a) Measuring materials



(b) MWCNT Solution Misxing (3min)



(c) First Compaction



(d) Installing Stainless Steel Mesh



(e) Inserting Thermalcouple



(f) Second Compaction

Fig. 2. Specimen Fabrication Progress

2.4 발열 성능 실험

나노 보도블럭 실험체의 발열 성능 실험은 전압을 공급함으로써 진행된다. 전압 공급은 Fig 3과 같이 직류 전압 공극기 (DC Power supply, EX-200)를 나노 보도블럭에 삽입된 stainless steel mesh에 (+), (-)전극을 연결함으로써 수행된다. 전압을 공급한 시간은 모두 동일하게 60분이다. 공급 전압에 의해 발생되는 나노 발열 보도블럭의 온도 변화는 중심부에 설치된 Thermalcouple를 정적데이터로거(TDS-303)에 연결하여 측정되고 공급되는 전류가 외부로 흐르는 것을 방지하기 위해서 절연 고무판 위에서 진행하였다. 또한 실험체의 표면온도를 육안으로 확인하기 위해 열화상 카메라(Testo 882)를 사용하여 측정하였다.

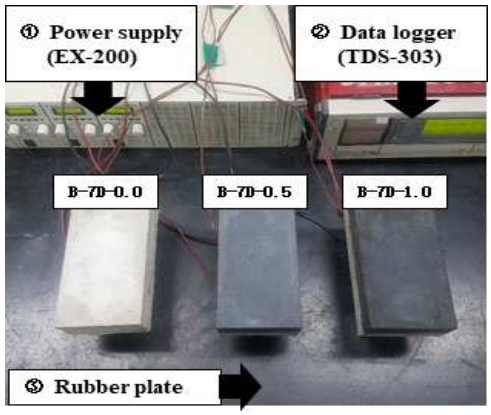


Fig. 3. Thermal conductivity Test Set-up

3. 실험 결과

3.1 발열 실험 분석

Fig 4는 양생 7일 나노 보도블럭의 매개변수에 따른 시간-온도 그래프이다. 10V 전압을 공급하는 경우, 혼합농도에 따른 온도변화량은 0.0wt%가 4.2℃, 0.5wt%는 5.2℃, 1.0wt%는 6.6℃ 상승하였다. 30V 전압을 공급하는 경우에는 0.0wt%가 21.3℃로 Mesh 간격이 조밀하게 설치되어 있기 때문에 열선과 같은 원리로 온도변화량이 증가한 것으로 분석된다. 0.5wt%는 28.2℃로 0.0wt%보다 6.9℃ 상승하였고, 1.0wt%는 45.1℃로 가장 높은 온도변화량이 발생하였다. 하지만 1.0wt%는 높은 발열량으로 인한 나노 발열 보도블럭 내부에 균열이 발생하고 CNT-network가 높은 온도인하여 파괴되었기 때문

에 최고 발열량이 발생한 이후에는 다시 감소하는 현상이 나타난 것으로 분석되었다. 나노 보도블럭의 발열성능은 MWCNT 혼합농도가 증가할수록 다수의 CNT-network가 형성되어 발열성능이 향상된 것으로 판단된다.

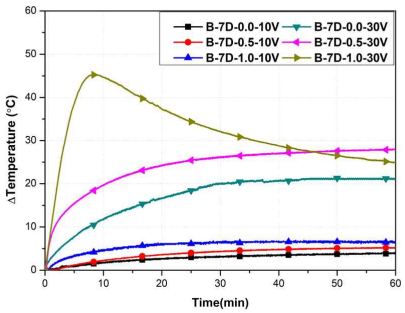


Fig. 4. Temperature Change of MWCNT layer at 7 days

Fig 5는 양생 7일 나노 보도블럭의 두 번째 층에서 발생한 시간에 따른 온도변화량이다. 나노 보도블럭에 10V 전압을 공급하는 경우, 두 번째 층의 온도변화량은 0.0wt%가 1.9℃, 0.5wt%는 2.1℃, 1.0wt%는 2.3℃ 증가하였다. 30V 전압을 공급하는 경우에는 0.0wt%가 8.9℃로 0.5wt%는 12.4℃로 0.0wt%보다 3.5℃ 증가하였다. 1.0wt%는 16.4℃로 양생 7일 나노 보도블럭 중에서 가장 높게 나타났다. 나노 보도블럭의 두 번째 층 온도변화량은 첫 번째 층의 MWCNT 혼입농도가 증가할수록 상승하였다. 본 연구는 나노 보도블럭 내부에 분포된 MWCNT의 양이 증가하기 때문에, 첫 번째 층의 열확산도가 증가하여 두 번째 층에서도 온도변화량이 나타난 것으로 판단된다.

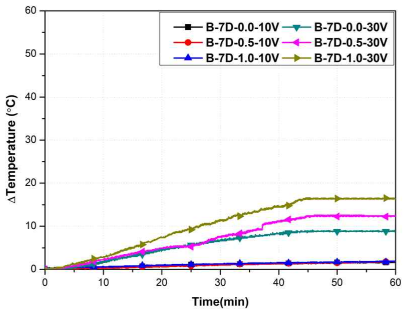


Fig. 5. Temperature Change of OPC layer at 7 days

매개변수에 따른 양생 28일 나노 보도블럭의 온도변화량은 Fig 6에 나타나있다. 혼합농도에 따른 발열량은 0.0wt%가 1.3℃, 0.5wt%가 2.2℃, 1.0wt%가 2.6℃ 발생하였다. 10V 전압을 공급하는 경우에는 발열량이 전체적으로 5℃를 넘지 않았고 양생 7일보다 최대 4.0℃ 감소하였다. 30V 전압을 공급한 나노 보도블럭은 0.0wt%가 16.3℃로 양생 7일보다 5.0℃ 감소하였다. 0.5wt%는 20.0℃로 0.0wt%보다 3.7℃ 증가하였지만, 동일한 농도로 혼합한 양생 7일 보다 8.2℃ 감소하였다. 1.0wt%는 32.2℃로 양생 28일 나노 보도블럭 중에서 가장 우수하게 발생하였지만 동일한 농도의 양생 7일 실험체보다 12.9℃ 감소하였다. 그러나 양생 28일 된 나노 보도블럭은 양생 7일에서 발생한 최고 온도 발열량 이후 다시 감소하는 현상은 발생하지 않고 일정하게 유지하였다. 이는 나노 보도블럭 내부에서 균열이 발생하지 않았기 때문에 일정하게 유지되는 것으로 분석되었다.

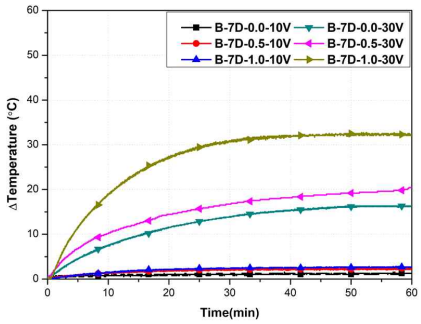


Fig. 6. Temperature Change of MWCNT layer at 28 days

10V 전압을 공급하는 경우, 양생 28일 나노 보도블럭의 두 번째 층에서 발생한 온도변화량은 Fig 7이다. 혼합 농도에 따른 온도변화량은 0.0wt%가 0.8℃, 0.5wt% 가 1.2℃, 1.0wt% 가 1.5℃로 나타났다. 전체적으로 3℃이하로 발생하였다. 10V 전압을 공급 시, 양생 28일 나노 보도블럭의 두 번째 층 온도변화량은 전체적으로 3℃이하로 발생하였다. 30V 전압을 공급한 나노보도블럭의 두 번째 층 온도변화량은 0.0wt%가 5.1℃로 양생 7일보다 3.4℃ 감소하였다. 0.5wt%는 8.7℃로 0.0wt%보다 3.6℃ 증가하였지만, 동일한 농도의 양생 7일보다는 3.7℃ 감소하였다. 1.0wt%는 12.8℃로 양생 28일 실험체에서 가장 우수하게 발생했지만 동일한

혼합농도의 양생 7일보다 3.6℃ 감소하였다. 양생 28일 나노 보도블럭의 두 번째 층 온도변화량은 전체적으로 양생 7일 실험체보다 감소하였다. 이 결과는 양생 28일 나노 보도블럭의 발열성능과 열확산도가 수분의 영향으로 감소하였기 때문에 두 번째 층의 온도변화량도 감소한 것으로 판단된다.

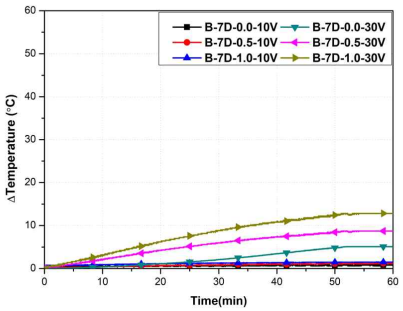


Fig. 7. Temperature Change of OPC layer at 28 days

Table 4는 매개변수에 따른 나노 보도블럭의 최대 온도변화량을 정리한 것이다. 양생 7일 나노 보도블럭은 'B-7D-1.0'의 45.1℃가 가장 높은 온도변화량으로 측정되었고 양생 28일은 'B-28D-1.0'의 32.2℃가 가장 우수하였다. 나노 보도블럭의 발열성능은 공급전압과 MWCNT 혼합농도가 증가할수록 개선되었다. 이는 전기전도성과 온도가 비례관계이기 때문에 전기전도성과 관계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 공급전압과 MWCNT 혼합농도가 증가함에 따라 나노 보도블럭의 전기전도성이 상승하였기 때문에 발열성능이 개선된 것으로 분석된다. 또한 나노 보도블럭은 양생일이 증가할수록 발열량은 감소하였다. 이 결과는 나노 발열 보도블럭 실험체에 존재하는 수분의 영향이 감소하여 양생 28일의 발열성능이 모두 감소한 것으로 판단된다(El-Enein *et al*., 1995; McCarter *et al*., 2000).

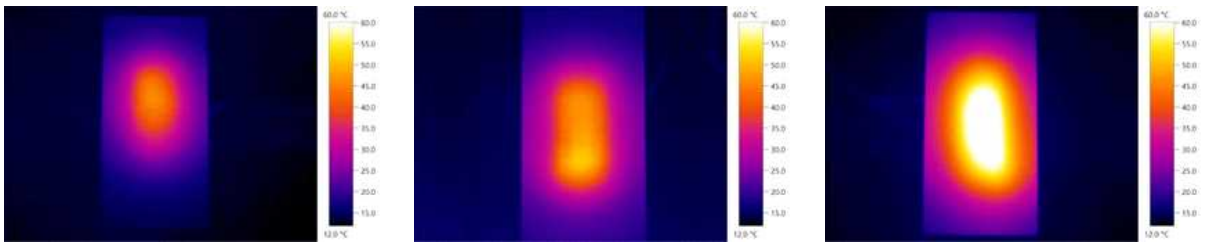
Fig 8은 30V 전압을 공급할 때 촬영한 매개변수에 따른 나노 보도블럭의 열화상 이미지이다. 열화상 촬영은 육안으로 발열성능을 확인하기 위해 수행하였다. 열화상 이미지는 열화상 카메라(Testo 882)로 최대온도가 발생한 보도블럭의 표면을 촬영하였다. 표면 온도는 전압을 공급하기 전 보도블럭의 중심온도에서 공급 전압에 의해 발생되는 온도변화량을 더하여 측정된다. 공급하기 전의 보도블럭의 온도는 평균적으로 16~18℃로 측정되었다.

양생 7일된 나노 보도블럭의 MWCNT 혼합농도에 따른 열화상이미지는 Fig 8(a)~(c)이다. 0.0wt%의 표면온도는 37.3℃로 mesh가 설치된 위치부터 발열성능이 발생하여 주변으로 열이 확산되는 것으로 나타났다. 0.5wt%의 표면온도는 44.2℃로 측정되었고 동일한 전압의 0.0wt%보다 발열이 넓게 확산되어 열 분포도가 증가한 것으로 나타났다. 1.0wt%의 표면온도는 61.3℃로 양생 7일 나노 보도블럭 중에서 가장 우수하였다. 1.0wt% 혼입된 실험체는 실험체 전체적으로 넓게 발열량이 발생한 것으로 나타났기 때문에 열 분포도가 가장 우수한 것으로 판단된다. 나노 보도블럭의 발열성능은 MWCNT 혼합농도가 증가할수록 향상되는 것을 열화상 이미지를 통해 육안으로 확인하였고 발열성능에 의해 넓은 열분포도가 발생했기 때문에 두 번째 층에서의 온도변화량이 증가하는 것을 확인하였다.

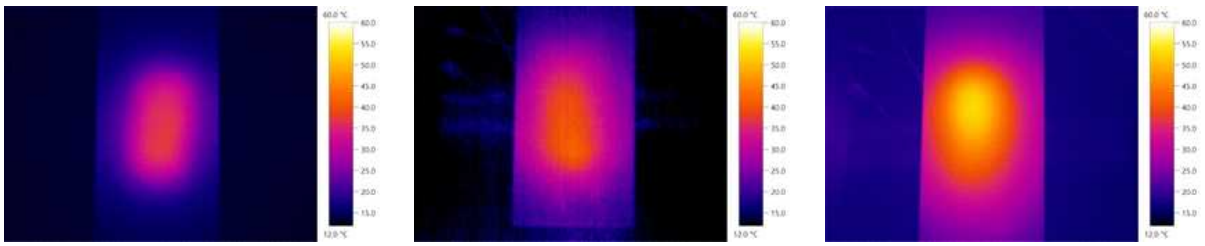
Fig 8(d)~(f)는 양생 28일된 나노 보도블럭의 열화상 미이지 결과이다. 0.0wt%의 표면온도는 32.3℃로 동일한 농도의 양생 7일보다 온도 변화량이 감소한 것을 열화상 이미지를 통해 육안으로 알 수 있었다. 0.5wt%의 표면온도는 36.1℃로 측정되었고 1.0wt%의 표면온도는 48.4℃로 전압을 공급하기 전의 온도보다 3.0배 증가하였다. 양생 28일된 나노 보도블럭 중에서 1.0wt%의 발열량과 열분

Table 4. Maximum Temperature at MWCNT layer by Voltage

Specimen name	Curing days	MWCNT concentration (%)	Temperature (℃)	
			10V	30V
B-7D-0.0	7D	0.0	4.2	21.3
B-7D-0.5		0.5	5.2	28.2
B-7D-1.0		1.0	6.6	45.1
B-28D-0.0	28D	0.0	1.3	16.3
B-28D-0.5		0.5	2.2	20.0
B-28D-1.0		1.0	2.6	32.2



(a) B-7D-0.0 (b) B-7D-0.5 (c) B-7D-1.0



(d) B-28D-0.0 (e) B-28D-0.5 (f) B-28D-1.0

Fig. 8. Thermal Image of Nano-Sidewalk Block (30V)

포도가 가장 우수하였지만 동일한 농도의 양생 7일 보다는 1.4배 감소하였다.

열화상 이미지를 통해 나노 보도블럭의 MWCNT 혼합농도가 증가할수록 발열성능과 열분포도가 증가한다는 것을 육안으로 확인하였다. 열화상 이미지는 나노 보도블럭의 발열성능이 증가할수록 뚜렷하고 선명하게 나타났으며 mesh가 설치된 중심부로부터 온도변화가 발생하였다. 나노 보도블럭은 양생일이 증가할수록 수분의 영향으로 열분포도와 발열성능이 감소하는 것을 확인하였다.

3.2 소비 전력 분석

나노 보도블럭의 소비전력은 다음과 같이 3개의 식에 의해서 산정된다. 식 1은 소비전력을 계산하는 공식으로, 소비전력은 공급전압과 전류를 곱함으로써 계산된다. 여기서, P는 소비전력, V는 공급전압, I는 전류를 의미한다. 또한 1시간 동안 소비된 전력은 식 2와 같이 1Wh로 정의가 되고 소비전력에 3,600초를 나누어 주면 식 3과 같이 1시간당 소비되는 전력을 산정할 수 있다(Lee *at al.*, 2020).

$$P = V \times I\,(W) \quad (1)$$

$$3{,}600\,W(J) = 1\,Wh \quad (2)$$

$$x\,Wh = V \times I/3{,}600 \quad (3)$$

Table 5는 10V 전압을 공급한 나노 보도블럭의 1시간 당 소비전력을 정리한 것이다. 10V 전압을 공급한 나노 보도블럭이 소비전력은 'B-7D-1.0'의 2.47×10^{-4}Wh가 가장 우수하였고 가장 낮은 소비전력은 'B-28D-0.0'의 0.33×10^{-4}Wh이다. 동일한 전압을 공급하는 경우, 나노 보도블럭의 전류량은 MWCNT의 혼합농도가 증가할수록 증가하였다. 따라서 MWCNT 혼입농도가 증가할수록 나노 보도블럭에 흐르는 전류량이 증가하기 때문에 발열량도 증가하고 소비전력도 증가한 것으로 판단된다. 하지만, 나노 보도블럭의 전류량은 양생일이 증가할수록 감소하였다. 전류량의 감소는 나노 보도블럭의 발열성능도 감소시키고 소비전력도 감소시키는 것으로 판단된다.

Table 5. Power Consumption of Specimen (10V)

Specimen name	Curing days	Current (I)	Electrical Power (Wh)
B-7D-0.0	7D	0.047	1.31×10^{-4}
B-7D-0.5		0.071	1.97×10^{-4}
B-7D-1.0		0.089	2.47×10^{-4}
B-28D-0.0	28D	0.012	0.33×10^{-4}
B-28D-0.5		0.025	0.69×10^{-4}
B-28D-1.0		0.029	0.81×10^{-4}

Table 6은 30V 전압을 공급한 나노 보도블럭의

소비전력을 정리한 것이다. 양생 7일 나노 보도블럭의 소비전력은 'B-7D-1.0'의 2.10×10^{-3}Wh가 가장 우수하고 양생 28일은 'B-28D-1.0'의 1.87×10^{-3}Wh이다. 30V 전압을 공급한 나노 보도블럭의 소비전력은 10V 전압보다 최대 8.5배 증가하였다. 이 결과는 소비전력이 공급전압에 비례하기 때문에 전압이 증가할수록 상승한 것으로 분석되었다.

Table 6. Power Consumption of Specimen (30V)

Specimen name	Curing days	Current (I)	Electrical Power (Wh)
B-7D-0.0	7D	0.154	1.28×10^{-3}
B-7D-0.5		0.184	1.43×10^{-3}
B-7D-1.0		0.252	2.10×10^{-3}
B-28D-0.0	28D	0.142	1.18×10^{-3}
B-28D-0.5		0.151	1.26×10^{-3}
B-28D-1.0		0.224	1.87×10^{-3}

5. 결론

매개변수에 따른 나노 보도블럭의 발열실험 결과를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫 번째는 MWCNT 혼입 농도가 증가할수록 나노 보도블럭의 발열성능이 향상되었다. 나노 보도블럭의 가장 우수한 발열량은 'B-7D-1.0-30V'의 45.1℃로 0.0wt%보다 최대 6.8배, 0.5wt%보다 최대 2.63배 증가하였다. 이 결과는 나노 보도블럭 내부에 전기 전도성와 열전도성을 가진 다수의 MWCNT가 분포되어있기 때문에 발열성능이 향상된 것으로 판단된다.

두 번째는 첫 번째 층의 MWCNT 혼입농도가 증가할수록 MWCNT가 혼입되지 않은 두 번째 층의 온도변화량도 증가하였다. 두 번째 층의 온도변화량은 'B-7D-1.0-30V'가 16.4℃로 가장 우수하였고 0.0wt% 보다 최대 7.5배, 0.5wt%보다 최대 2.5배 증가하였다. 두 번째 층의 온도변화량은 MWCNT 혼입농도가 증가할수록 첫 번째 층의 발열성능이 향상되고 다수의 MWCNT로 인한 나노 보도블럭의 열전도성이 증가했기 때문에 상승한 것으로 분석된다.

세 번째는 나노 보도블럭의 매개변수에 따른 발열성능은 열화상 이미지를 통해 확인할 수 있다. 나노 보도블럭은 공급 전압과 MWCNT 혼입농도가 증가할수록 증가하였고 이를 열화상 이미지를 통해 육안으로 확인할 수 있었다. 열화상 이미지는 나노 발열 보도블럭의 발열성능이 증가할수록 선명해지고 뚜렷해졌기 때문에 육안으로 발열성능을 판단할 수 있다.

네 번째는 양생일이 증가할수록 나노 보도블럭의 발열성능은 감소하였다. 온도변화량이 가장 크게 감소한 나노 보도블럭은 'B-7D-1.0-30V'의 45.1℃에서 'B-28D-1.0-30V의 32.2℃'로 12.9℃가 감소하였다. 양생일이 증가할수록 나노 발열 보도블럭의 발열 성능이 감소한 원인은 보도블럭 내부에 존재하는 수분의 영향이 감소하였기 때문이다.

다섯 번째는 나노 보도블럭의 소비전력은 공급전압과 MWCNT 혼합농도가 증가할수록 증가하였지만 양생일이 증가할수록 감소하였다. 가장 우수한 소비전력은 'B-7D-1.0-30V'의 2.10×10^{-3}Wh로 동일한 전압을 공급한 0.0wt% 보다 최대 1.64배, 0.5wt% 보다 최대 1.46배 우수하였다. 소비전력은 공급전압과 전류량의 곱으로 산정되기 때문에 전류량이 증가하면 소비전력도 증가하게 된다. 나노 발열 보도블럭의 전류량은 MWCNT 혼입농도가 증가할수록 증가하였고 이에 따라 소비전력과 발열성능도 증가한 것으로 분석된다. 하지만 나노 발열 보도블럭의 전류량은 양생일이 증가할수록 수분의 영향이 감소했기 때문에 감소한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 20CTAP-C157602-01).

Reference

Al-Dahawi, A., Öztürk, O., Emami, F., Yıldırım, G., Şahmaran, M. (2016). Effect of mixing methods on the electrical properties of cementitious composites incorporating different carbon-based materials. Construction and Building Materials, 104, 160-168.

El-Enein, S. A., Kotkata, M. F., Hanna, G. B., Saad, M., El Razek, M. A. (1995). Electrical conductivity of concrete containing silica fume. Cement and concrete research, 25(8), 1615-1620.

Hamzaoui, R., Bennabi, A., Guessasma, S., Khelifa,

crystals

MDPI

Article

Correlation Analysis of Heat Curing and Compressive Strength of Carbon Nanotube–Cement Mortar Composites at Sub-Zero Temperatures

Heeyoung Lee [1], Jongkyeong Seong [2] and Wonseok Chung [2,*]

[1] Department of Civil Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-Daero, Dong-gu, Gwangju 61452, Korea; heeyoung0908@chosun.ac.kr
[2] Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deokyoung-daero, Giheung-gu, Yongin-si 17104, Korea; jongkyeong0621@gmail.com
* Correspondence: wschung@khu.ac.kr; Tel.: +82-31-201-2550; Fax: +82-31-202-8854

Abstract: Concrete curing under sub-zero temperatures causes various problems, such as initial cracking and a decrease in mechanical strength. This study investigated the effect of sub-zero ambient temperature and multi-walled carbon nanotube (MWCNT) content on the heat and strength characteristics of heat-cured MWCNT cementitious composites. The experimental parameters were the application of heat curing, MWCNT content, use of an insulation box to achieve a closed system, and ambient temperature. The results showed that the internal temperature change of the MWCNT cementitious composite increased with the ambient temperature and MWCNT content. When an insulation box was installed, the maximum temperature change of the MWCNT cementitious composite during curing increased. Furthermore, heat curing increased the compressive strength of the cementitious composite. Moreover, a microstructure analysis using field-emission scanning electron microscopy verified the formation of a MWCNT network among the cement hydrates.

Keywords: multi-walled carbon nanotube; cement composite; exothermic curing; compressive strength; sub-zero temperature

check for updates

Citation: Lee, H.; Seong, J.; Chung, W. Correlation Analysis of Heat Curing and Compressive Strength of Carbon Nanotube–Cement Mortar Composites at Sub-Zero Temperatures. *Crystals* **2021**, *11*, 1182. https://doi.org/10.3390/cryst11101182

Academic Editor: Shujun Zhang

Received: 9 September 2021
Accepted: 24 September 2021
Published: 28 September 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Concrete is widely used in the construction of infrastructures such as roads, dams, and retaining walls. When designing and constructing concrete structures, their safety and durability are significant factors to be considered. In particular, a safe work environment is indispensable to minimize accidents during the construction of concrete structures, and thus, these structures should be maintained to manage material separation and cracks in the early stage of construction. However, it is difficult for concrete to maintain durability when cured under sub-zero conditions, because moisture freezes within the concrete, resulting in initial cracks and strength reduction due to the nonuniform hydration reaction in cement. This phenomenon causes a reduced safety of structures, because the optimum strength of the resulting concrete is not fully achieved. Heat curing and heat generation curing methods are generally used for concrete pouring at sub-zero temperatures. The former is performed by supplying heat to a heat protection structure over cured concrete during pouring, but this method cannot efficiently transfer heat to large structures. Furthermore, heat protection structures can be easily damaged by wind and snow, resulting in heat loss. In addition, it may be impossible to install a heat protection structure over a concrete floor slab that has been cured in one piece depending on the size. The existing heat generation curing method directly supplies heat through wires buried inside the concrete, which is easier to use than heat curing, which requires external devices such as heat protection structures and heat suppliers. However, heat generation curing using buried wires can cause problems, such as partial cutting or peeling of the wires during construction.

Heat-generating concrete that can overcome the limitations of the hot wire burying method has been actively researched. Zhang et al. [1] investigated the deicing of cementitious composites mixed with multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs). The experiments were conducted in a refrigerator at ambient temperatures of −30 °C, −20 °C, and −10 °C. The experimental results showed that the time required to melt ice increased with decreasing ambient temperature, and a heat conductive layer was generated when 3 wt% of MWCNTs was mixed into the composite. Won et al. [2] investigated the thermal characteristics of a conductive heated packaging system, composed of a base concrete layer, including a copper plate, a conductive cementitious composite layer, and a protective concrete layer, with deicing features. Graphite (5 wt%) was added to the conductive cementitious composite relative to the cement weight. The experimental parameter was the distance between the copper plates. The experimental results showed that the temperature distribution was uniform when the distance between the copper plates was 1000–1250 mm. Kim et al. [3] studied the electric and thermal properties of cementitious composites mixed with CNTs. The specimens were fabricated with CNT contents of 0.1 wt%, 0.3 wt%, 0.6 wt%, 1.0 wt%, and 2.0 wt% relative to the cement weight. The supply voltage was 3–10 V, and the experiment was conducted for 1 h. The experimental results showed that the exothermic performance of the cementitious composite mixed with CNTs improved as the CNT content increased. The temperature of the specimen with a 2.0 wt% CNT content was 67.8 °C. Lee et al. [4] investigated the electric and thermal properties of cementitious composites mixed with MWCNTs. The experimental parameters were the mixing method and MWCNT content. The mixing method involved coating fine aggregates with MWCNTs and adding cement to an aqueous solution in which MWCNTs were dispersed. The composites were mixed with 0.125 wt% and 0.25% wt% MWCNTs relative to the cement weight. The experiment was conducted for 6000 s, and the supply voltages were 50 V and 100 V. The experimental results showed that coating fine aggregates with MWCNTs yielded a much better exothermic performance than that achieved by adding cement to the aqueous solution.

In a study on the early age compressive strength of concrete, Al-Khaiat et al. [5] investigated the initial compressive strength and durability of lightweight concrete. The experimental parameters included the underwater curing period and exposure to the salt damage environment. The authors conducted compressive and tensile strength experiments, measured the modulus of rupture and the moisture penetration depth, and monitored the drying shrinkage. Sukumar et al. [6] examined the initial compressive strength of self-compacting concrete (SCC) composites mixed with fly ash. The specimens were fabricated using a mix of cement, fly ash, and a high-performance water-reducing agent. The compressive strength was examined in terms of the SCC age. The experimental results showed that the compressive strength of SCC at the age of 12 h exceeded 10% of that at the age of 28 d. The compressive strength at the age of 1 d was approximately 18–20% that at the age of 28 d. Furthermore, the rate of increase in the compressive strength according to age was higher for SCC than that of general concrete. Assi et al. [7] investigated the initial compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete according to the active solvent type and curing conditions. A sodium hydroxide solution mixed with silica fume and a sodium hydroxide solution mixed with sodium silicate were used as the active solvents. The experimental results showed that the initial compressive strength of the geopolymer concrete using sodium hydroxide solution mixed with silica fume was the highest at 105.1 MPa. In contrast, the curing condition had an insignificant effect on the compressive strength of the geopolymer concrete. Li and Zhao [8] studied the effect of a combination of fly ash and ground granulated blast furnace slag on the compressive strength of high-strength concrete. The experimental results showed that the specimen mixed with fly ash had a high long-term compressive strength but a low initial compressive strength. The specimen mixed with both fly ash and blast furnace slag showed improved initial compressive strength because of the increase in the initial hydration reaction rate of cement.

Curing is the most influential factor for the concrete strength. Many researchers have studied the physical and chemical properties of concrete cured under various temperatures. Kim et al. [9] modeled the compressive strength of concrete according to the curing period and temperature and found that concrete exposed to a high temperature exhibits a high initial compressive strength but low long-term compressive strength. Lura et al. [10] studied the autogenous deformation and self-induced stress of early age concrete according to the curing temperature and cement type. The selected curing temperatures were 10, 20, 30, and 40 °C, and the cement types were ordinary Portland cement and blast furnace slag cement. They tested the autogenous deformation, measured the self-induced stress, conducted a compressive strength test, and measured the modulus of elasticity. The curing temperature did not significantly affect the autogenous deformation, but the faster contraction and self-induced stress resulting from higher curing temperatures increased the cracking risk. Arioz [11] investigated the physical and mechanical properties of concrete exposed to high temperatures based on the relative compressive strength, which is a comparison of the compressive strengths of concrete that was exposed or not to a high temperature. The relative compressive strength was estimated by testing the compressive strength after measuring the weight loss rate, which was determined by comparing the weights of the concrete before and after exposure to a high temperature. The experimental results showed that the weight loss rate of the concrete increased, and the relative compressive strength of the concrete decreased with the exposure temperature. Husem et al. [12] experimentally investigated the changes in the compressive strength of concrete cured at low temperatures of 10 °C, 5 °C, 0 °C, and −5 °C. A compressive strength test was performed 7 and 28 d after specimen fabrication. The compressive strength of concrete cured for 7 d at temperatures below 10 °C was lower than that of concrete fabricated under standard curing conditions. Furthermore, an analysis performed at 28 d showed that the compressive strength loss of concrete was larger for a curing temperature lower than that of standard curing conditions.

In a study on the strength characteristics of a cementitious composite mixed with a carbon-based nanomaterial, Chaipanich et al. [13] mixed a fly ash-based cementitious composite with CNTs and tested its compressive strength. CNTs were mixed at 0.5 wt% and 1.0 wt% relative to the weight of the fly ash–cement composite. The specimens were fabricated using a cement paste and mortar. The compressive strength test results showed that the fly ash–cement mortar mixed with 1.0 wt% CNT had the highest compressive strength (51.8 MPa), and the addition of CNTs improved the compressive strength of the fly ash–cement mortar. Manzur et al. [14] studied the compressive strength of MWCNT cementitious composites according to the size of the MWCNTs. The smaller the MWCNT, the greater was the compressive strength of the MWCNT cementitious composite, because the microstructures were formed more efficiently in the specimen. Li et al. [15] examined the mechanical properties of an MWCNT cementitious composite fabricated by adding MWCNTs to a cementitious composite. The MWCNTs used in this experiment were surface-treated with a solution of sulfuric acid and nitric acid before being mixed with the specimen. Then, the flexural strength and compressive strength of the MWCNT cementitious composite were measured experimentally. The scanning electron microscopy analysis results showed that the MWCNTs dispersed in the MWCNT cementitious composite interconnected the cement matrices, thus increasing the load transfer efficiency. In addition, the MWCNTs increased the compressive strength by filling the pores inside the MWCNT cementitious composite and enhanced the flexural strength by acting as a bridge interconnecting the internal cracks and pores. AI-Rub et al. [16] and Mohsen et al. [17] mixed cement with MWCNTs and analyzed the mixing time, dynamic characteristics, and strength according to the porosity. Tyson et al. [18] studied the mechanical properties of cementitious composites mixed with CNTs and carbon nanofibers (CNFs). The experimental parameters were the type, content, and curing period of the carbon nanomaterial. The CNT and CNF contents were set to 0.1 wt% and 0.2 wt% relative to the cement weight, respectively, and the curing periods were set to 7, 14, and 28 d. The flexural strength, elastic modulus, and fracture toughness of the nano-cementitious composite after 7 and 14 d

of curing were lower than those of the general cementitious composite. By contrast, the nano-cementitious composite after 28 d of curing showed improved physical properties due to enhanced bonding between the nanomaterial and cement matrix.

Several studies on the strength and thermal properties of cementitious mortar composites mixed with carbon-based nanomaterials have been conducted independently; however, there is a paucity of studies on the heat curing of early age concrete using nano-cementitious mortar composites. Furthermore, previous studies analyzing the strength and durability of cementitious composites according to the curing temperature were conducted mostly at room temperature, and studies analyzing the effects of heat at sub-zero temperatures are limited. Therefore, the heat curing of cementitious mortar composites mixed with MWCNTs as heating elements was investigated, and their heat and strength characteristics were analyzed according to the ambient sub-zero temperature and MWCNT content. For elucidating the internal structure of the MWCNT cementitious composites, field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM) was used to analyze the network formed between the MWCNTs and cement hydrates.

2. Experimental Methods

In this study, heat curing experiments on MWCNT cementitious mortar composites were conducted using the ambient sub-zero temperature and MWCNT content as parameters. A test mold composed of a curing part sandwiched between heating parts was used, as shown in Figure 1. Table 1 lists the parameters for the curing part in the heat curing experiment. The parameters used in this study were those optimized in previous studies [4,19,20]. The ambient temperatures were set to −20 °C, −10 °C, and 0 °C in a temperature-controllable chamber, and the MWCNT content of the curing part was set to 0.1 wt% and 1.0 wt% relative to the cement weight [19,20]. The heat curing experiment was conducted separately for the MWCNT cementitious composites used in their heating and curing parts. For the heating parts, the MWCNT cementitious composite was fabricated by mixing cement with 1.0 wt% MWCNT relative to the cement weight; after which, the composite was dry-cured for 91 d [19,21–23]. For the curing part, the MWCNT cementitious composite was mixed with different contents of MWCNTs and poured between the heating parts. To analyze the initial compressive strength of the curing part of the MWCNT cementitious composite according to the ambient temperature and MWCNT content, the compressive strength was tested at 7 and 28 d after the heating experiment (Figure 2). A microstructure analysis of the CNT cementitious composite was conducted using field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM) to examine the effects of CNTs on the thermal conductivity [20,24–31].

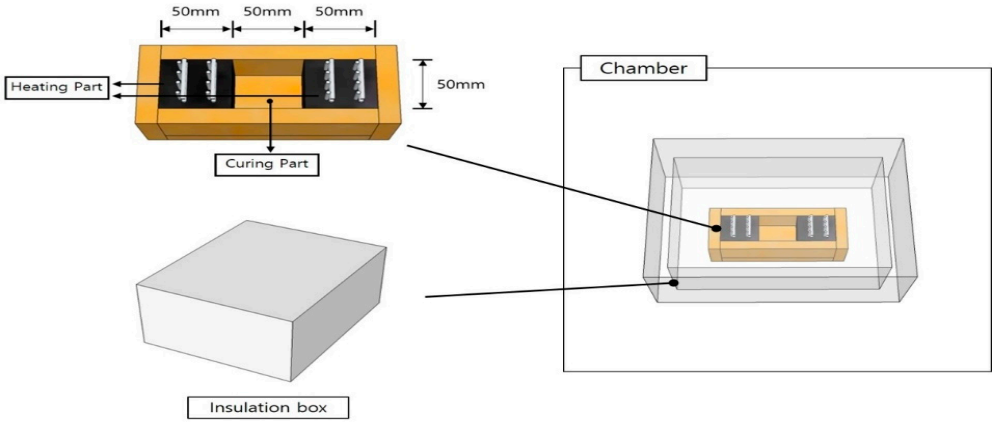


Figure 1. Test mold of the cementitious composites specimens.

Table 1. Test parameters.

Specimen Name	MWCNT Content of the Curing Part(wt%)	Ambient Temperature(°C)
NHT-OPC-0.0-0	0.0	0
HT-OPC-0.0-0	0.0	
HT-MW-0.1-0	0.1	
HT-MW-1.0-0	1.0	
NHT-OPC-0.0-10	0.1	−10
HT-OPC-0.0-10	1.0	
HT-MW-0.1-10	0.0	
HT-MW-1.0-10	0.1	
NHT-OPC-0.0-20	1.0	−20
HT-OPC-0.0-20	0.0	
HT-MW-0.1-20	0.1	
HT-MW-1.0-20	1.0	

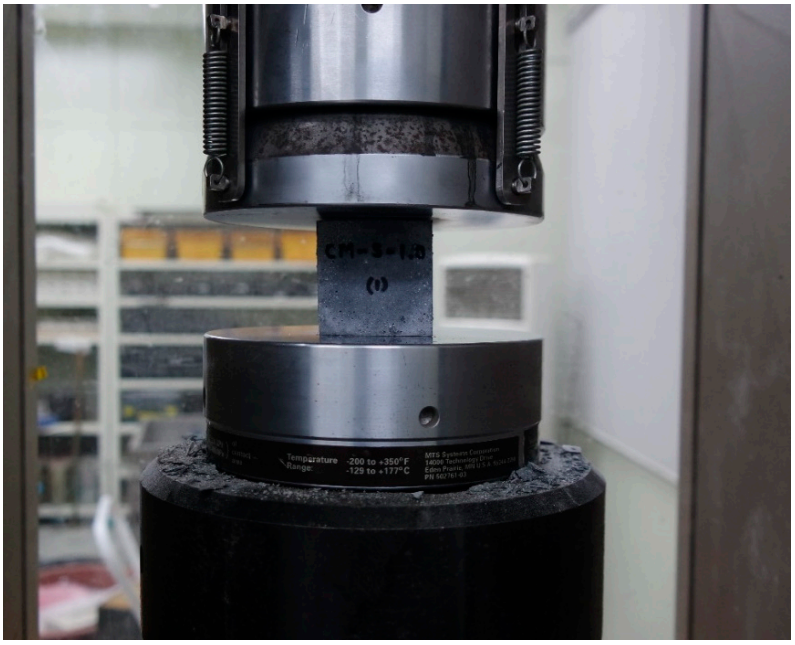


Figure 2. Setup of the compressive strength test of the specimens.

The specimen notations are based on the application of heat curing, MWCNT mixing, MWCNT content, and ambient temperature. For simplicity, the following annotations are used hereafter. First, "HT" indicates a heat-cured specimen, and "NHT" a specimen that was left at ambient temperature without heat curing. Second, "OPC" indicates ordinary Portland cement (OPC) without MWCNTs, and "MW" a cementitious composite mixed with MWCNTs. Third, numbers 0.0, 0.1, and 1.0 indicate the MWCNT content relative to the cement weight. Finally, numbers 0, 10, and 20 indicate ambient temperatures of 0 °C, −10 °C, and −20 °C, respectively. For example, NHT-OPC-0.0-0 denotes OPC not heat cured but left at an ambient temperature of 0 °C. Similarly, HT-MW-1.0-20 denotes a 1.0 wt% MWCNT cementitious composite heat cured at −20 °C. The MWCNT cementitious composite was fabricated in accordance with the cement mortar compressive strength test standard ASTM C 109 with a size of 50 × 50 × 50 mm^3, and 60 specimens were fabricated (five specimens for each parameter set) [32,33]. The curing of the MWCNT cementitious

composite was performed by dry-curing to minimize the effect of moisture on both the heating and curing parts.

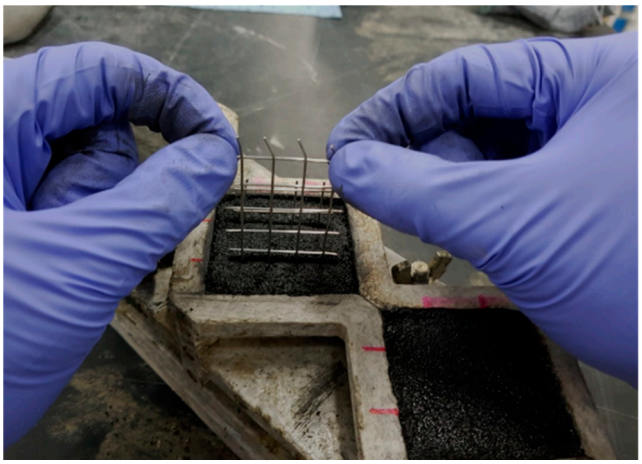
The specimens were fabricated using grade 1 OPC and typical sand following the ISO 679 standard [33]. The mean diameter of the MWCNTs used in this experiment was 9.5 nm, and the mean length was 1.5 µm. To ensure dispersibility, the MWCNTs were ultrasonically dispersed in a polyacrylic acid copolymer using 22-kHz ultrasonic waves for 2 h [33–37]. Figure 3 shows the fabrication process of the test specimens. The mold was divided into three 50-mm parts; the two parts at both ends were set as heating parts, and the center was set as the curing part. The water/cement ratio applied for the fabrication of the specimens was 0.5, and the mixing ratio of water, cement, and sand was set to 1:2:5. As shown in Figure 3a, the MWCNT solution, cement, and sand were weighed according to the mixing ratio. The cement and sand were dry-mixed for 2 min to ensure material homogeneity; then, the MWCNT solution was added to the cement sand and mixed for 3 min (Figure 3b). After mixing, the MWCNT cementitious composite was poured into the mold in three parts and compacted 30 times each. A stainless-steel mesh was inserted into the cementitious composite of the heating parts, and a voltage was supplied to the mesh. A thermocouple was inserted into both the heating and curing parts, and the internal temperatures were measured [38]. Two stainless steel meshes were inserted at 20-mm intervals in the MWCNT cementitious composite, as shown in Figure 3c. The thermocouple was inserted 24-mm deep at the center of the specimen (Figure 3d). The MWCNT cementitious composite was demolded after 24 h of curing and then dry-cured for 91 d to minimize the effect of moisture (Figure 3e). The MWCNT cementitious composites of the heating parts were installed in the mold, as shown in Figure 3f. The cementitious composite of the curing part was poured between the MWCNT cementitious composites in the heating parts. In addition, the cementitious composite of the curing part was compacted in three layers, as shown in Figure 3g, and the thermocouple was inserted at a depth of 25 mm to measure the internal temperature during the heat curing experiment (Figure 3h).

The heat curing experiment was performed by adjusting the ambient temperature in the chamber. The properties of the chambers used are listed in Table 2. To simulate the actual concrete curing environment, the specimen was covered by an insulation box built in advance. A voltage was supplied for 4 h by connecting a power supply (EX-200) to the electrode installed in the MWCNT cementitious composites of the heating parts. The internal temperatures of the cementitious composites of the heating and curing parts were measured by connecting the thermocouple inserted at the center of the specimen to a static data logger (TDS-303). The specimens were placed inside the chamber, as shown in Figure 4.



(**a**) (**b**)

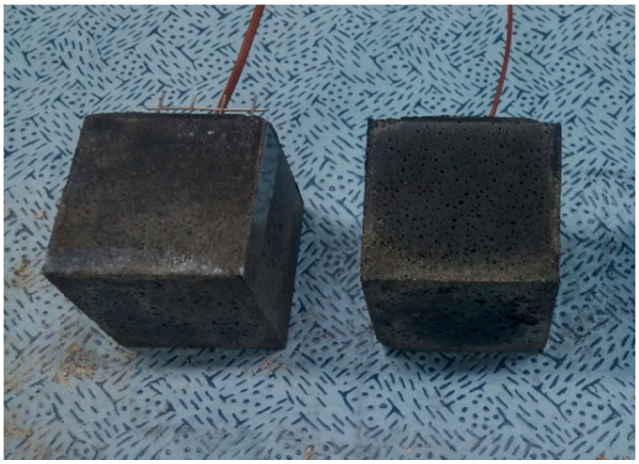
Figure 3. *Cont.*



(**c**)



(**d**)



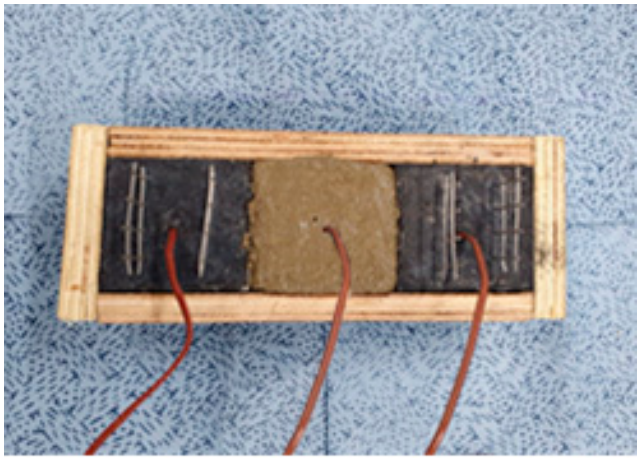
(**e**)



(**f**)



(**g**)



(**h**)

Figure 3. Fabrication process of the test specimens. (**a**) Measuring. (**b**) Mixing (3 min). (**c**) Installing a stainless-steel mesh. (**d**) Installing a thermocouple in the heating part. (**e**) Curing of the heating part (91 d). (**f**) Installing the heating part. (**g**) Tamping of the curing part. (**h**) Installing a thermocouple in the curing part.

Table 2. Chamber specifications.

Property	Unit	Value
Maximum temperature	°C	−20
Minimum temperature	°C	100
Humidity range	%	30–90
Capacity/volume	m^3	0.28
Power requirements	V	200–208

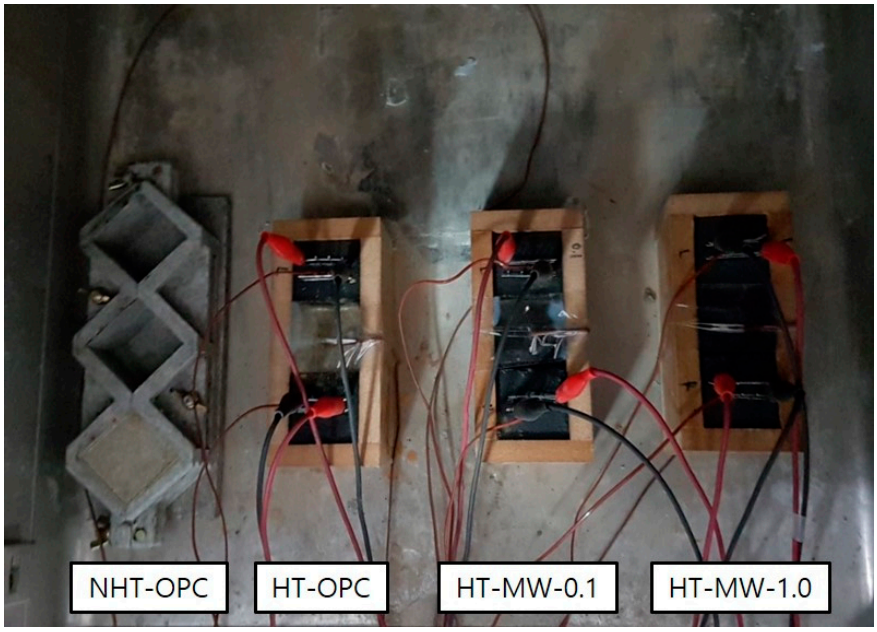
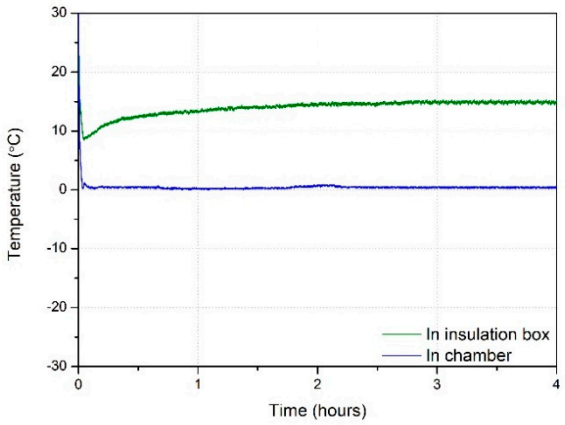


Figure 4. Setup of the heat curing experiment.

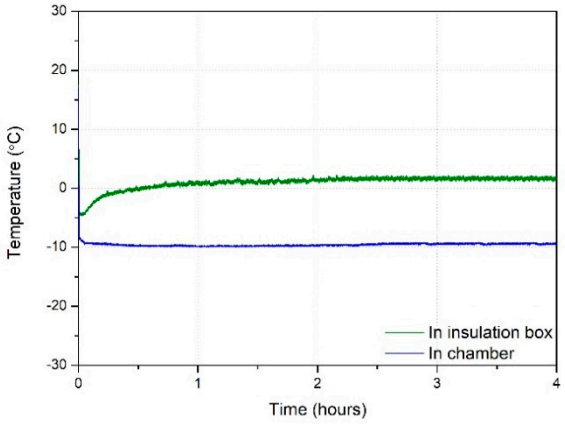
3. Experimental Results

3.1. Results of Heat Curing Experiment

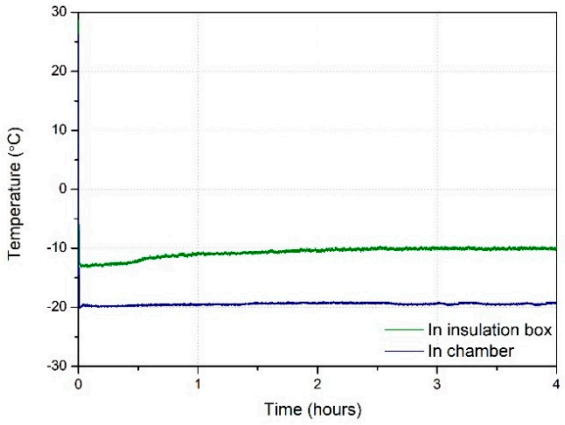
Once the temperature of the chamber was set, it was regulated by the activation of a cooler when the heating part caused the temperature to increase. Owing to this, maintaining a constant temperature for this experiment was difficult. When heat curing is performed in the field, a closed system is created using a cast or heat protection to prevent temperature differences between the inner and outer portions of the cement due to heat loss to the ambient environment. Such temperature differences can cause initial cracking, thus weakening the cement. In this study, to analyze the heat curing of cement composites at sub-zero temperatures, the gap due to the temperature change inside the chamber was eliminated by using an insulation box. Figure 5 shows the temperature changes inside and outside the insulation box during the heat curing experiment. The internal temperature of the insulation box increased gradually with time. When the ambient temperatures were −20 °C, −10 °C, and 0 °C, the temperatures inside the box were −10.2 °C, 1.7 °C, and 14.7 °C, respectively. The MWCNT cementitious composites inside the box increased the internal temperature of the box by generating heat during voltage supply. The temperature inside the insulation box was higher than the ambient temperature by 10 °C or more, and the internal temperature increase improved as the ambient temperature increased.



(**a**)



(**b**)

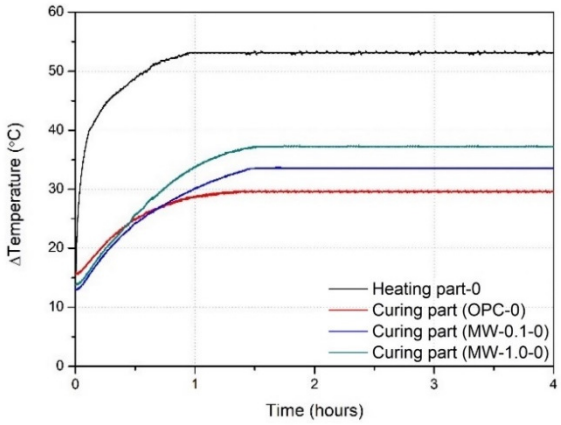


(**c**)

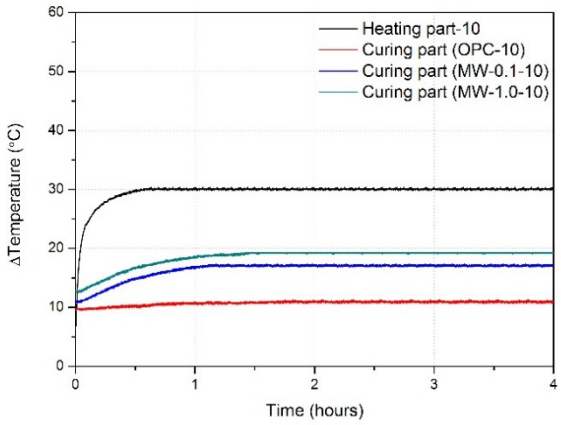
Figure 5. Temperature versus time at a chamber temperature of (**a**) 0 °C, (**b**) −10 °C, and (**c**) −20 °C inside and outside the insulation box.

Figure 6 shows the internal temperature graphs of the heating and curing parts of the MWCNT cementitious composite specimens during heat curing without the insulation box at ambient temperatures of 0 °C, −10 °C, and −20 °C. The internal temperatures

of the heating part increased by 53.2 °C, 30.1 °C, and 20.6 °C when curing at ambient temperatures of 0 °C, −10 °C, and −20 °C, respectively. The internal temperatures of the curing part of the OPC, a 0.1 wt% MWCNT cementitious composite, and a 1.0 wt% MWCNT cementitious composite increased as follows: by 29.3 °C, 32.5 °C, and 37.3 °C at an ambient temperature of 0 °C; by 11 °C, 17 °C, and 19.3 °C at an ambient temperature of −10 °C; and by 8.7 °C, 10 °C, and 14.3 °C at an ambient temperature of −20 °C. At the first ambient temperature, the internal temperature increases of the 0.1 wt% and 1.0 wt% MWCNTs were higher than that of OPC by 10.9% and 27.3%, respectively. At −10 °C, the corresponding temperatures increased by 54.5% and 75.5%, respectively, in the curing part. Finally, when the ambient temperature was –20 °C, the internal temperature increases of the 0.1 wt% and 1.0 wt% MWCNTs were higher than that of OPC by 14.9% and 64.4%, respectively, in the curing part. The internal temperature change of the cementitious composite in the curing part was sensitive to the heating temperature of the MWCNT cementitious composite in the heating part and the ambient temperature. When the same voltage was supplied to the MWCNT cementitious composite in the heating part, the internal heating temperature increased with the MWCNT content. As the MWCNT content increased, the heat transferred from the MWCNT cementitious composite in the heating part to that in the curing part increased. Thus, the internal temperature of the cementitious composite in the curing part also increased.

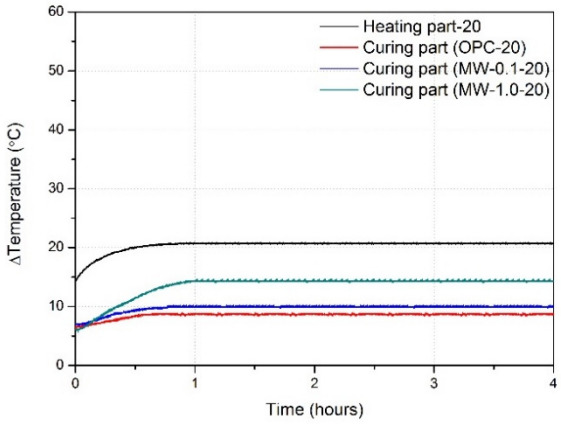


(**a**)



(**b**)

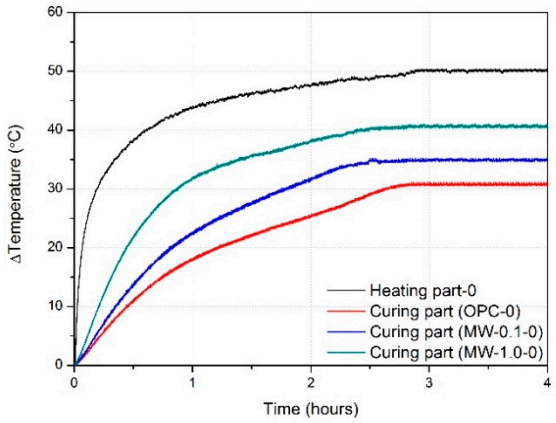
Figure 6. *Cont.*



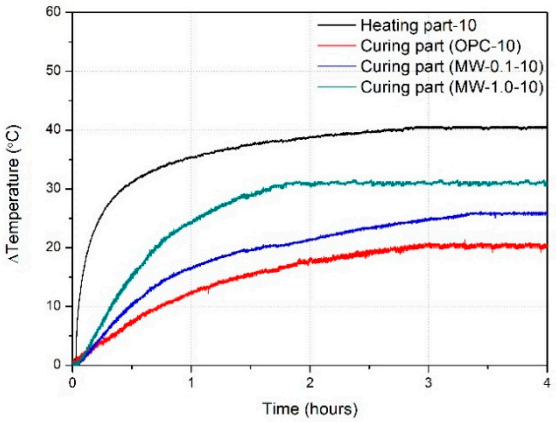
(**c**)

Figure 6. Temperature variation of the specimens with heat curing versus time at a chamber temperature of (**a**) 0 °C, (**b**) −10 °C, and (**c**) −20 °C.

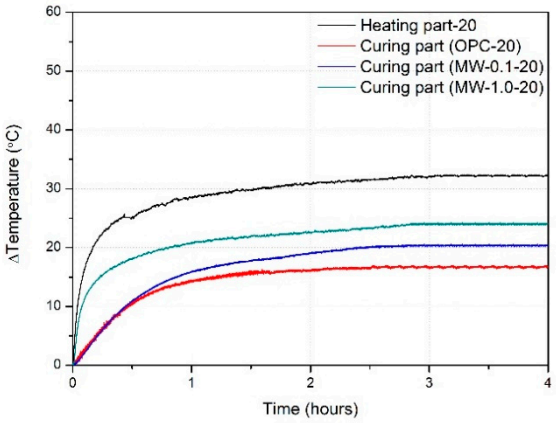
Figure 7 shows the internal temperature graphs of the heating and curing parts of the MWCNT cementitious composite specimens during heat curing with the insulation box at ambient temperatures of 0 °C, −10 °C, and −20 °C. The internal temperature of the heating part increased by 50.2 °C, 40.4 °C, and 32.4 °C when curing at ambient temperatures of 0 °C, −10 °C, and −20 °C, respectively. The internal temperatures of the curing part of the OPC, 0.1 wt% MWCNT cementitious composite, and 1.0 wt% MWCNT cementitious composite increased as follows: by 30.8 °C, 35.0 °C, and 40.8 °C at an ambient temperature of 0 °C; 20.0 °C, 25.8 °C, and 30.7 °C at an ambient temperature of −10 °C; and 16.7 °C, 20.4 °C, and 24.1 °C at an ambient temperature of −20 °C. Compared with the case without the insulation box, the internal temperature changes of the curing part of the OPC, 0.1 wt% MWCNT cementitious composite, and 1.0 wt% MWCNT cementitious composite increased by 5.1%, 7.7%, and 9.4% at an ambient temperature of 0 °C; 81.8%, 51.8%, and 59.1%% at an ambient temperature of −10 °C; and 92.0%, 104.0%, and 68.5%% at an ambient temperature of −20 °C. The installation of the insulation box created an environment similar to a closed system with no heat loss. The temperature change inside the insulation box increased, because the insulation box increased the heating effect of the heat generated in the heating part of the MWCNT cementitious composite (Figure 5). The increased internal temperature of the specimen increased the surface temperature, which, in turn, increased the heating temperature of the heating part of the MWCNT cementitious composite. Consequently, the internal temperature increase of the cementitious composite in the curing part was enhanced.



(**a**)



(**b**)



(**c**)

Figure 7. Temperature variation of the specimens with heat curing in the insulation box at a chamber temperature of (**a**) 0 °C, (**b**) −10 °C, and (**c**) −20 °C.

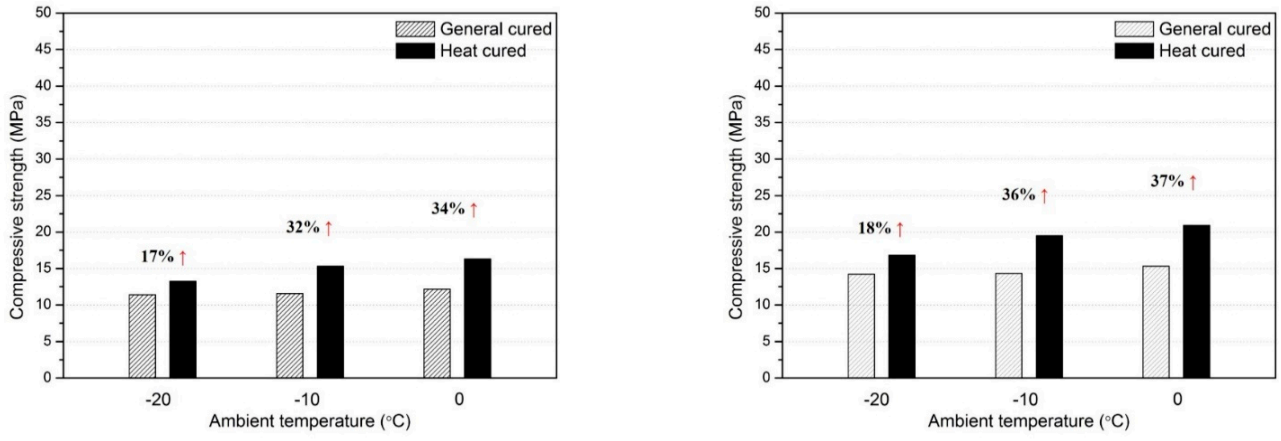
3.2. Results of Compressive Strength Test

Table 3 summarizes the results of the compressive strength test for the curing specimen. The specimen was cured in the chamber for 7 and 28 d. Figure 8 shows a graph of

the compressive strength improvement effect of the heat-cured curing part of the OPC. Figure 8a,b shows the results of the compressive strengths of the cement mortar 7 and 28 d after heat curing, respectively. The strengths of the heat-cured specimens were 13.3 MPa, 15.3 MPa, and 16.3 MPa for the 7-d compressive strength test and 16.8 MPa, 19.5 MPa, and 20.9 MPa for the 28-d compressive strength test at ambient temperatures of −10 °C, −20 °C, and 0 °C, respectively. As the ambient temperature increased, the compressive strength also increased. Heat curing resulted in an increase in the compressive strength by 17%, 32%, and 34% for the 7-d test and by 18%, 36%, and 37% for the 28-d test at ambient temperatures of −10 °C, −20 °C, and 0 °C, respectively. The compressive strength improvement effect of heat curing was the lowest at an ambient temperature of −20 °C. The heating temperature of the heating part of the MWCNT cementitious composite increased with the increasing ambient temperature. At sub-zero temperatures, the compressive strength of the heat-cured specimen was higher than that of the specimen that was not heat-cured. Hydration does not occur in a specimen exposed to sub-zero temperatures because of the freezing of internal moisture, which leads to the expansion of the pores inside the specimen. By contrast, the internal temperature of the heat-cured specimen was maintained at 8 °C or higher, and the moisture was not frozen, thus improving the compressive strength.

Table 3. Compressive strength of the specimens.

Specimen Name	Compressive Strength (MPa)			
	Uninsulated		Insulated	
	7 d	28 d	7 d	28 d
HT-OPC-0.0-0	16.31	20.87	17.83	22.30
HT-MW-0.1-0	16.05	20.38	19.21	24.2
HT-MW-1.0-0	13.24	17.68	21.36	27.35
HT-OPC-0.0-10	15.32	19.46	16.66	20.99
HT-MW-0.1-10	14.86	18.57	17.84	22.65
HT-MW-1.0-10	12.32	16.28	20.97	26.91
HT-OPC-0.0-20	13.25	16.83	13.52	17.17
HT-MW-0.1-20	12.51	15.76	15.72	19.81
HT-MW-1.0-20	10.86	14.57	20.58	26.34



(**a**) (**b**)

Figure 8. Compressive strength of the OPC specimens after (**a**) 7 days and (**b**) 28 days.

Figure 9 shows the results of the 7-d and 28-d compressive strength tests for the heat-cured part of the specimens without an insulation box at ambient temperatures of 0 °C, −10 °C, and −20 °C. The initial compressive strengths of the curing part for the 7-d test for the OPC, 0.1 wt% MWCNT cementitious composite, and 1.0 wt% MWCNT cementitious composite were as follows: 16.3 MPa, 16.1 MPa, and 13.2 MPa at an ambient temperature of 0 °C; 15.3 MPa, 14.9 MPa, and 12.3 MPa at an ambient temperature of −10 °C; and 13.3 MPa, 12.5 MPa, and 10.9 MPa at an ambient temperature of −20 °C. For the 28-d test, the initial compressive strengths of the curing part for the OPC and 0.1 wt% and 1.0 wt% MWCNT cementitious composites were as follows: 20.9 MPa, 20.4 MPa, and 17.7 MPa at an ambient temperature of 0 °C and 19.5 MPa, 18.6 MPa, and 16.3 MPa at an ambient temperature of −10 °C. For the 28-d test at an ambient temperature of −20 °C, the initial compressive strengths were 16.8 MPa and 14.6 MPa for the OPC and 1.0 wt% MWCNT cementitious composite, respectively. Consequently, the compressive strength of the specimens cured for 7 d decreased as the MWCNT content increased. Thus, as shown in Figure 9b, when the insulation box was not installed, the compressive strength of the specimens decreased by up to 16.4% as the MWCNT content increased.

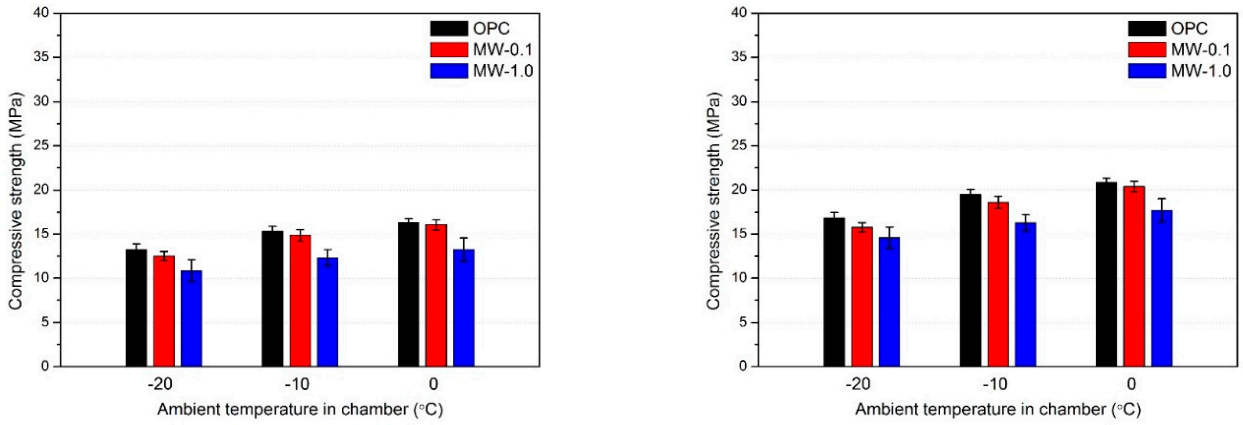


Figure 9. Compressive strength of the specimens without the insulation box after (**a**) 7 days and (**b**) 28 days.

Figure 10 shows the results of the compressive strength test for the heat-cured specimen with an insulation box. In contrast to the results shown in Figure 9, when the insulation box was installed, the initial compressive strength of the heat-cured specimens increased with the increasing MWCNT content. Figure 10a shows the results of the 7-d compressive strength test for the heat-cured specimen. When the ambient temperature was −20 °C, the compressive strength of the curing part of the specimen cured for 7 d was 13.5 MPa and 20.6 MPa for the OPC and 1.0 wt% MWCNT cementitious composite, respectively. At an ambient temperature of 0 °C, the compressive strengths were 17.8 MPa, 19.2 MPa, and 21.4 MPa for the OPC and 0.1 wt% and 1.0 wt% MWCNT cementitious composites, respectively. The results of the heat curing test showed that the temperature inside the box increased by 10 °C or more with respect to the ambient temperature, and the center temperature of the MWCNT cementitious composite increased by 10 °C or more, thus improving the heat curing effect. Figure 10b shows the results of the 28-d compressive strength test for the heat-cured specimens. The compressive strengths of the part cured for 28 d for the OPC, 0.1 wt% MWCNT cementitious composite, and 1.0 wt% MWCNT cementitious composite were as follows: 17.2 MPa, 19.8 MPa, and 26.3 MPa at an ambient temperature of −20 °C and 22.3 MPa, 24.2 MPa, and 27.3. MPa at 0 °C. As shown in Figure 10b, the insulation box improved the compressive strength of the specimens by up to 52.9% as the MWCNT content increased. However, the compressive strength of the specimens cured for 7 d decreased with the ambient temperature, regardless of

whether the insulation box was installed. The heating temperature of the heating part of the MWCNT cementitious composite decreased with the decreasing ambient temperature; as a result, the heat transferred to the cementitious composite of the curing part decreased. Consequently, the normal compressive strength was not developed, because the internal temperature of the cementitious composite of the curing part decreased with the ambient temperature. The MWCNTs act as connectors between the cement hydrates [39]. However, a high thermal conductivity can facilitate the leakage of heat from the heating part to the outside. Therefore, it was determined that, when the insulation box was not used, the MWCNT cementitious composite interfered with heat curing by leaking heat from the heating part, thus lowering the compressive strength compared to the OPC.

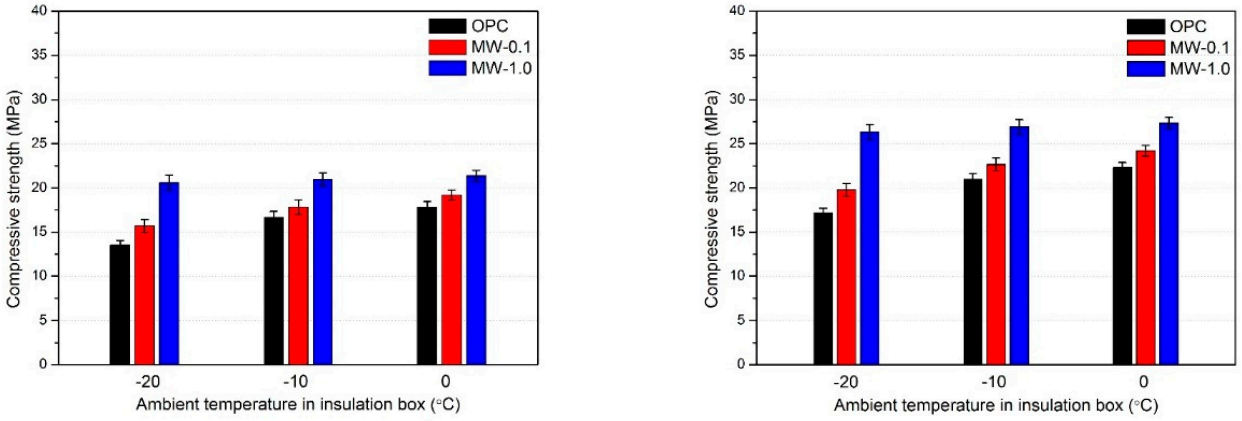
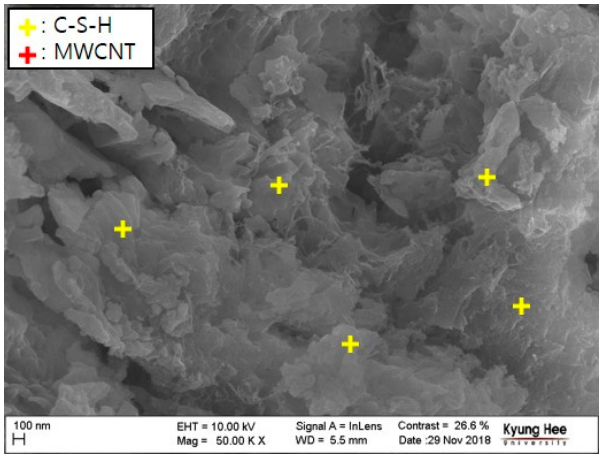


Figure 10. Compressive strength of the specimens with the insulation box after (**a**) 7 days and (**b**) 28 days.

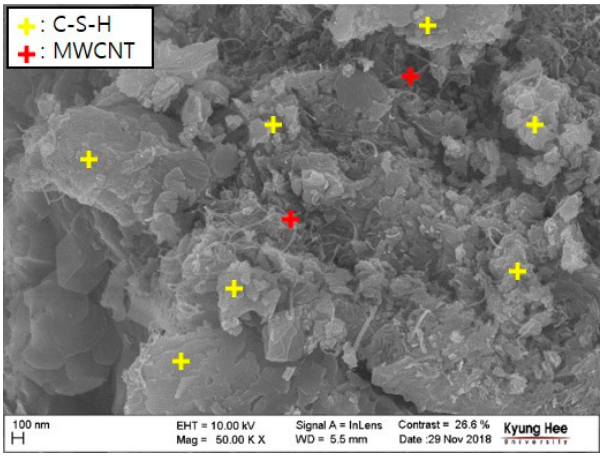
3.3. Results of Microstructure Analysis

Figure 11 shows the results of the FE-SEM analysis of the MWCNT cementitious composites, according to the MWCNT content. The yellow crosses indicate C–S–H (calcium–silicate–hydrate), and the red crosses indicate MWCNTs. Figure 11a shows the internal structure of the OPC without MWCNTs, and many pores were generated among the cement hydrates.

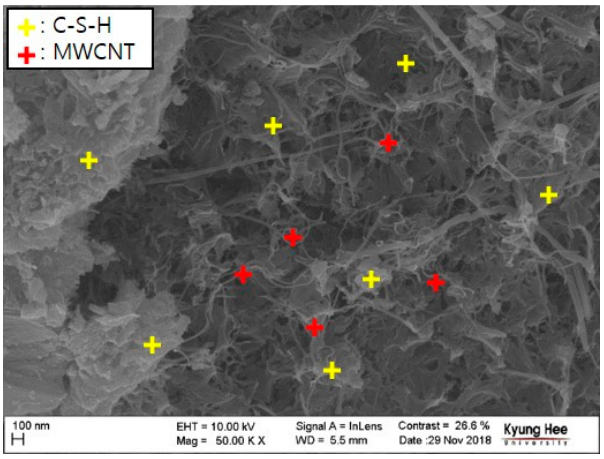
Figure 11b shows the internal structure of the 0.1 wt% MWCNT cementitious composite, which shows a small number of MWCNTs among the cement hydrates. There were fewer pores than OPC, but many pores were generated in the part without MWCNT. The image of the 1.0 wt% MWCNT cementitious composite, which was mixed with a large amount of MWCNTs, showed many MWCNTs distributed throughout the internal structure (Figure 11c). In the 1.0 wt% MWCNT cementitious composite, the evenly distributed MWCNTs acted as bridges for the interconnecting cement hydrates, thus increasing the heat and load transfer efficiency. The mixing of MWCNTs provided additional nucleation sites, thus promoting the generation of a larger amount of C–S–H compared to OPC [40–42]. C–S–H, which has a dense structure and high strength, improved the compressive strength of the MWCNT cementitious composite by filling the micropores inside the cementitious composite [43,44].



(**a**)



(**b**)



(**c**)

Figure 11. FE-SEM images of the (**a**) OPC, (**b**) MW-0.1, and (**c**) MW-1.0 specimens.

4. Conclusions

In this study, heat curing experiments were performed on MWCNT cementitious mortar composites under varying ambient temperatures and MWCNT contents. The strength improvement effect of the cured cementitious mortar composite under low ambient temperatures was verified through a compressive strength test. In addition, the effects of the MWCNT content on the heat and strength characteristics were analyzed using FE-SEM. From the results, the following conclusions are drawn.

1. The internal temperature change of the MWCNT cementitious mortar composites increased with the increasing ambient temperature and MWCNT content. At higher ambient temperatures, the heating temperature of the heating part of the MWCNT cementitious mortar composite increased, transmitting a large amount of heat to the curing part. Furthermore, owing to the excellent thermal conductivity of MWCNTs, the heat generated in the heating part spread more rapidly to the curing part of the MWCNT cementitious composite compared with the OPC. As the MWCNT content increased, the amount of MWCNTs dispersed inside the cementitious mortar composite increased, and the thermal conductivity of the composite improved.
2. The installation of an insulation box increased the maximum temperature change of the curing part of the MWCNT cementitious mortar composite. The insulation box created an environment similar to a closed system, in which heat generated in the heating part circulated, causing the internal temperature to increase. The temperature on the surface of the cementitious mortar composite also increased, which further increased the heating temperature of the heating part of the MWCNT cementitious mortar composite. Consequently, the maximum temperature change in the cementitious composite of the curing part increased.
3. The results of the compressive strength test under sub-zero temperatures showed that the heat-cured cementitious mortar composite of the curing part with an insulation box had a higher compressive strength than the OPC in the curing part. As the ambient temperature increased, the compressive strength of the cementitious mortar composite of the curing part improved by up to 47%. Inside the insulation box, the internal temperature of the cementitious composite of the heat-cured curing part was maintained at 8 °C or higher, thus preventing the freezing of moisture. Consequently, as the ambient temperature increased, the heating temperature of the MWCNT cementitious mortar composite of the heating part increased, which improved the compressive strength of the cementitious mortar composite of the curing part.
4. When the insulation box was not installed in the heat curing experiment, the compressive strength of the cementitious composite of the curing part decreased with the increasing MWCNT content. In contrast, when the insulation box was installed in the heat curing experiment, the compressive strength of the cementitious composite of the curing part increased by up to 52.9% with the increasing MWCNT content. The MWCNTs not only increased the load transfer efficiency by interconnecting the cement hydrates but also improved the compressive strength of the MWCNT cementitious mortar composites by filling the micropores. The installation of the insulation box created a closed system, and the increased temperature inside the box improved the strength of the MWCNTs. Therefore, it is essential to use an insulation box when using MWCNT cementitious mortar composites for heat curing.
5. The FE-SEM images of the internal microstructure of the MWCNT cementitious mortar composites confirmed the network connections between the MWCNTs and cement hydrates inside the cementitious composites. The thermal conductivity of the cementitious composites improved, because the high thermal conductivity of the MWCNTs interconnected the cement hydrates. Furthermore, the MWCNTs improved the compressive strength by promoting the formation of C–S–H and filling the micropores inside the cementitious mortar composites.

Author Contributions: H.L.: data curation, writing—reviewing and editing, and conceptualization. J.S.: formal analysis and investigation. W.C.: writing—original draft preparation, writing—reviewing and editing, and project administration. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by a grant from the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 20CTAP-C157602-01).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data is contained within the article.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Zhang, Q.; Li, H. Experimental investigation on the ice/snow melting performance of CNFP & MWCNT/cement-based deicing system. In Proceedings of the 6th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology, Dalian, China, 25–26 July 2011; pp. 25–26.
2. Won, J.P.; Kim, C.K.; Lee, S.J.; Lee, J.H.; Kim, R.W. Thermal characteristics of a conductive cement-based composite for a snow-melting heated pavement system. *Compos. Struct.* **2014**, *118*, 106–111. [CrossRef]
3. Kim, G.M.; Naeem, F.; Kim, H.K.; Lee, H.K. Heating and heat-dependent mechanical characteristics of CNT-embedded cementitious composites. *Compos. Struct.* **2016**, *136*, 162–170. [CrossRef]
4. Lee, H.; Song, Y.M.; Loh, K.J.; Chung, W. Thermal response characterization and comparison of carbon nanotube-enhanced cementitious composites. *Compos. Struct.* **2018**, *202*, 1042–1050. [CrossRef]
5. Al-Khaiat, H.; Haque, M.N. Effect of initial curing on early strength and physical properties of a lightweight concrete. *Cem. Concr. Res.* **1998**, *28*, 859–866. [CrossRef]
6. Sukumar, B.; Nagamani, K.; Raghavan, R.S. Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume fly ash. *Constr. Build. Mater.* **2008**, *122*, 394–1401. [CrossRef]
7. Assi, L.N.; Deaver, E.E.; ElBatanouny, M.K.; Ziehl, P. Investigation of early compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete. *Constr. Build. Mater.* **2016**, *112*, 807–815. [CrossRef]
8. Li, G.; Zhao, X. Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace slag. *Cem. Concr. Compos.* **2003**, *25*, 293–299. [CrossRef]
9. Kim, J.K.; Moon, Y.H.; Eo, S.H. Compressive strength development of concrete with different curing time and temperature. *Cem. Concr. Res.* **1998**, *28*, 1761–1773. [CrossRef]
10. Lura, P.; van Breugel, K.; Maruyama, I. Effect of curing temperature and type of cement on early-age shrinkage of high-performance concrete. *Cem. Concr. Res.* **2001**, *31*, 1867–1872. [CrossRef]
11. Arioz, O. Effects of elevated temperatures on properties of concrete. *Fire Saf. J.* **2007**, *42*, 516–522. [CrossRef]
12. Husem, M.; Gozutok, S. The effects of low temperature curing on the compressive strength of ordinary and high performance concrete. *Constr. Build. Mater.* **2005**, *19*, 49–53. [CrossRef]
13. Chaipanich, A.; Nochaiya, T.; Wongkeo, W.; Torkittikul, P. Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes–fly ash cement composites. *Mater. Sci. Eng. A* **2010**, *527*, 1063–1067. [CrossRef]
14. Manzur, T.; Yazdani, N.; Emon, M.; Bashar, A. Effect of carbon nanotube size on compressive strengths of nanotube reinforced cementitious composites. *J. Mater.* **2014**, *2014*, 1–8. [CrossRef]
15. Li, G.Y.; Wang, P.M.; Zhao, X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes. *Carbon* **2005**, *436*, 1239–1245. [CrossRef]
16. Al-Rub, R.K.A.; Ashour, A.I.; Tyson, B.M. On the aspect ratio effect of multi-walled carbon nanotube reinforcements on the mechanical properties of cementitious nanocomposites. *Constr. Build. Mater.* **2012**, *35*, 647–655. [CrossRef]
17. Mohsen, M.O.; Al-Nuaimi, N.; Al-Rub, R.K.A.; Senouci, A.; Bani-Hani, K.A. Effect of mixing duration on flexural strength of multi walled carbon nanotubes cementitious composites. *Constr. Build. Mater.* **2016**, *126*, 586–598. [CrossRef]
18. Tyson, B.M.; Abu Al-Rub, R.K.; Yazdanbakhsh, A.; Grasley, Z. Carbon nanotubes and carbon nanofibers for enhancing the mechanical properties of nanocomposite cementitious materials. *J. Mater. Civ. Eng.* **2011**, *23*, 1028–1035. [CrossRef]
19. Lee, H.; Park, S.; Cho, S.; Chung, W. Correlation analysis of heating performance and electrical energy of multi-walled carbon nanotubes cementitious composites at sub-zero temperatures. *Compos. Struct.* **2020**, *238*, 111977. [CrossRef]
20. Lee, H.; Park, S.; Park, S.; Chung, W. Enhanced Detection Systems of Filling Rates Using Carbon Nanotube Cement Grout. *Nanomaterials* **2020**, *10*, 10. [CrossRef] [PubMed]
21. Gomis, J.; Galao, O.; Gomis, V.; Zornoza, E.; Garcés, P. Self-heating and deicing conductive cement: Experimental study and modeling. *Constr. Build. Mater.* **2015**, *75*, 442–449. [CrossRef]
22. Tawfik, T.A.; Abd El-Aziz, M.A.; Abd El-Aleem, S.; Serag Faried, A. Influence of nanoparticles on mechanical and nondestructive properties of high-performance concrete. *J. Chin. Adv. Mater. Soc.* **2018**, *6*, 409–433. [CrossRef]
23. Cha, S.W.; Song, C.; Cho, Y.H.; Choi, S. Piezoresistive properties of CNT reinforced cementitious composites. *Mater. Res. Innov.* **2014**, *18* (Suppl. 2), S2-716. [CrossRef]
24. Liew, K.M.; Kai, M.F.; Zhang, L.W. Mechanical and damping properties of CNT-reinforced cementitious composites. *Compos. Struct.* **2017**, *160*, 81–88. [CrossRef]
25. Han, B.; Zhang, K.; Yu, X.; Kwon, E.; Ou, J. Fabrication of piezoresistive CNT/CNF cementitious composites with superplasticizer as dispersant. *J. Mater. Civ. Eng.* **2011**, *24*, 658–665. [CrossRef]
26. Lee, H.; Kang, D.; Song, Y.M.; Chung, W. Heating experiment of CNT cementitious composites with single-walled and multiwalled carbon nanotubes. *J. Nanomater.* **2017**, *2017*, 1–8. [CrossRef]

27. Wang, B.; Han, Y.; Zhang, T. Morphological properties of surface-treated carbon nanotubes in cement-based composites. *J. Nanosci. Nanotechnol.* **2012**, *12*, 8415–8419. [CrossRef]
28. Lu, L.; Ouyang, D.; Xu, W. Mechanical properties and durability of ultra high strength concrete incorporating multi-walled carbon nanotubes. *Materials* **2016**, *9*, 419. [CrossRef] [PubMed]
29. Siddique, R.; Mehta, A. Effect of carbon nanotubes on properties of cement mortars. *Constr. Build. Mater.* **2014**, *50*, 116–129. [CrossRef]
30. Carriço, A.; Bogas, J.A.; Hawreen, A.; Guedes, M. Durability of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete. *Constr. Build. Mater.* **2018**, *164*, 121–133. [CrossRef]
31. Lee, H.; Yu, W.; Loh, K.J.; Chung, W. Self-heating and electrical performance of carbon nanotube-enhanced cement composites. *Constr. Build. Mater.* **2020**, *250*, 118838. [CrossRef]
32. ASTM C 109. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in, or [50-mm] Cube Specimens)*; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2016.
33. ISO (International Organisation for Standardisation). *ISO 679. Cement–Test Methods–Determination of Strength*; ISO: Geneva, Switzerland, 2009.
34. Lee, H.; Jeong, S.; Park, S.; Chung, W. Enhanced mechanical and heating performance of multi-walled carbon nanotube-cement composites fabricated using different mixing methods. *Compos. Struct.* **2019**, *225*, 111072. [CrossRef]
35. Wang, B.; Han, Y.; Liu, S. Effect of highly dispersed carbon nanotubes on the flexural toughness of cement-based composites. *Constr. Build. Mater.* **2013**, *46*, 8–12. [CrossRef]
36. Kim, G.M.; Yang, B.J.; Cho, K.J.; Kim, E.M.; Lee, H.K. Influences of CNT dispersion and pore characteristics on the electrical performance of cementitious composites. *Compos. Struct.* **2017**, *164*, 32–42. [CrossRef]
37. Hu, Y.; Luo, D.; Li, P.; Li, Q.; Sun, G. Fracture toughness enhancement of cement paste with multi-walled carbon nanotubes. *Constr. Build. Mater.* **2014**, *70*, 332–338. [CrossRef]
38. Lee, H.; Kang, D.; Kim, J.; Choi, W.C. Void detection of cementitious grout composite using single-walled and multi-walled carbon nanotubes. *Cem. Concr. Compos.* **2019**, *95*, 237–246. [CrossRef]
39. Lee, H.; Jeong, S.; Cho, S.; Chung, W. Enhanced bonding behavior of multi-walled carbon nanotube cement composites and reinforcing bars. *Compos. Struct.* **2020**, 112201. [CrossRef]
40. Naqi, A.; Abbas, N.; Zahra, N.; Hussain, A.; Shabbir, S.Q. Effect of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) on the strength development of cementitious materials. *J. Mater. Res. Technol.* **2019**, *8*, 1203–1211. [CrossRef]
41. Thomas, J.J.; Jennings, H.M.; Chen, J.J. Influence of nucleation seeding on the hydration mechanisms of tricalcium silicate and cement. *J. Phys. Chem. C* **2009**, *113*, 4327–4334. [CrossRef]
42. Morsy, M.S.; Alsayed, S.H.; Aqel, M. Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar. *Constr. Build. Mater.* **2011**, *25*, 145–149. [CrossRef]
43. Bharj, J.; Singh, S.; Chander, S.; Singh, R. Role of dispersion of multiwalled carbon Nanotubes on compressive strength of cement paste. World Academy of Science, Engineering and Technology. *Int. J. Math. Comput. Phys. Electr. Comput. Eng.* **2014**, *8*, 340–343.
44. Nochaiya, T.; Chaipanich, A. Behavior of multi-walled carbon nanotubes on the porosity and microstructure of cement-based materials. *Appl. Surf. Sci.* **2011**, *257*, 1941–1945. [CrossRef]

R., Leklou, N. (2012). Optimal carbon nanotubes concentration incorporated in mortar and concrete. In Advanced Materials Research (Vol. 587, pp. 107-110). Trans Tech Publications.

KCS 14 20 10, Concrete, Korean Construction Specification (2016).

Kim, G. M., Naeem, F., Kim, H. K., Lee, H. K. (2016). Heating and heat-dependent mechanical characteristics of CNT-embedded cementitious composites. Composite Structures, 136, 162-170.

Kim, H. K., Nam, I. W., Lee, H. K. (2014). Enhanced effect of carbon nanotube on mechanical and electrical properties of cement composites by incorporation of silica fume. Composite Structures, 107, 60-69.

Konsta-Gdoutos, M. S., Aza, C. A. (2014). Self sensing carbon nanotube (CNT) and nanofiber (CNF) cementitious composites for real time damage assessment in smart structures. Cement and Concrete Composites, 53, 162-169.

KSF 4419, Concrete interlocking block for sidewalk and road, Korean Standards Association (2016).

KSL ISO 679, Methods of testing cements determination of strength, Korean Standards Association (2011).

KSL 5201, Portland cement, Korean Standards Association (2016).

Oh, S., Jung, S. H., Chung, W., & Choi, Y. C. (2018). Investigation of the Effects of CNT Dosages on the Hydration and Heating Properties of Cement Composites with Low Water-to-binder Ratio. Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection, 22(6), 182-188.

Lee, H., Kang, D., Song, Y. M., Chung, W. (2017). Heating experiment of CNT cementitious composites with single-walled and multiwalled carbon nanotubes. Journal of Nanomaterials, 2017.

Lee, H., Yu, W., Loh, K. J. Chung, W. (2020). Self-heating and electrical performance of carbon nanotube-enhanced cement composites. Construction and Building Materials, 250, 118838.

Lee, H., Park, S., Cho, S., Chung, W. (2020). Correlation analysis of heating performance and electrical energy of multi-walled carbon nanotubes cementitious composites at sub-zero temperatures. Composite Structures, 238, 111977.

Lee, H., Song, Y. M., Loh, K. J., Chung, W. (2018). Thermal response characterization and comparison of carbon nanotube-enhanced cementitious composites. Composite Structures, 202, 1042-1050.

Li, G. Y., Wang, P. M., Zhao, X. (2007). Pressure-sensitive properties and microstructure of carbon nanotube reinforced cement composites. Cement and Concrete Composites, 29(5), 377-382.

McCarter, W. J., Starrs, G., Chrisp, T. M. (2000). Electrical conductivity, diffusion, and permeability of Portland cement-based mortars. Cement and Concrete Research, 30(9), 1395-1400.

Morsy, M. S., Alsayed, S. H., Aqel, M. (2011). Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar. Construction and Building Materials, 25(1), 145-149.

Nan, C. W., Liu, G., Lin, Y., Li, M. (2004). Interface effect on thermal conductivity of carbon nanotube composites. Applied Physics Letters, 85(16), 3549-3551.

Park, S., Lee, H., Chung, W. (2018). Experimental Study on Voltage Supply Efficiency of Nano Cement Composite for Prevention of Road Icing. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 18(6), 221-228.

Sobolkina, A., Mechtcherine, V., Khavrus, V., Maier, D., Mende, M., Ritschel, M., Leonhardt, A. (2012). Dispersion of carbon nanotubes and its influence on the mechanical properties of the cement matrix. Cement and Concrete Composites, 34(10), 1104-1113.

Zhang, Q., Li, H. (2011). Experimental investigation on the ice/snow melting performance of CNFP & MWCNT/cement-based deicing system. In Proceedings of the 6th International Workshop

Composite Structures 265 (2021) 113781

Contents lists available at ScienceDirect

Composite Structures

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compstruct

Effect of curing time on thermal response characterization of carbon-nano cementitious composites

Heeyoung Lee [a], Jongkyeong Seong [b], Wonseok Chung [b,*]

[a] Chosun University, South Korea
[b] Kyung Hee University, South Korea

ARTICLE INFO

Keywords:
Multi-walled carbon nanotube (MWCNT)
Heating performance
Cementitious
Dry curing condition
Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM)
Thermogravimetric analysis (TGA)
X-ray diffraction (XRD)

ABSTRACT

Introducing small amounts of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) into cement-based materials changes the thermal and electrical characteristics of the composites. The heat generation of cement materials can be enhanced by incorporating MWCNTs. The thermal response of cement composites incorporating MWCNTs under dry curing conditions was experimentally investigated by varying the curing time and MWCNT concentrations of the composite. The temperature change in each specimen was measured by connecting the electrode to the power supply and supplying a constant voltage. The heat generation of the MWCNT cementitious composite increased with the number of curing days. In addition, the heat generation of the composite increased in a quadratic form with increasing MWCNT concentration. The electrical resistance of the composite depended on the progress of the hydration reaction. In the case of cementitious composites containing relatively high concentrations of MWCNTs, the electrical resistance decreased as the number of curing days increased.

1. Introduction

Global climate change has led to frequent occurrences of irregular climate events, such as local snowfall and continuous cold waves. These irregular climate events paralyze traffic and cause traffic accidents through black ice. Black ice is a major cause of traffic accidents in winter because it is difficult for drivers to identify owing to its similar color as the road. Such problems stemming from irregular climate events should be prevented through periodic road surface inspections, snow melting, and de-icing. Researchers are actively investigating materials capable of self-heating to address these issues.

Nano-engineered cementitious composites are capable of self-heating because of the incorporation of nanomaterials that are conductive in cement. Cement incorporating nanomaterials such as carbon black and carbon fiber have a markedly lower electrical resistance than ordinary cement. When an electrical current passes through this low-resistance nano-engineered cementitious composite, heat is generated. Nano-engineered cementitious composites can melt snow and ice through self-heating. Snow melting and deicing structures are currently applied using chlorinated snow melting materials and snow removal vehicles, among other approaches. However, these operations cause damage to structures and environmental pollution. By contrast, nano-engineered cementitious composites do not require any chemicals, thus minimizing structural damage and environmental pollution.

The strength of nanocomposite materials has been analyzed in the literature. Tyson et al. [1] studied the mechanical properties of cementitious composites incorporating carbon nanotubes (CNTs) and carbon nanofibers (CNFs). Varying the type, concentration, and curing time of the carbon nanomaterial, the researchers selected CNT and CNF concentrations of 0.1 wt% and 0.2 wt% and curing times of 7, 14, and 28 days. At 7 and 14 days of curing, the flexural strength, elastic modulus, and fracture toughness of the CNT and CNF cementitious composites were weaker than those of the standard cementitious composite; however, these physical properties improved after 28 days of curing, owing to the bond strengthening between the nanomaterial and cement matrix. In addition, Al-Rub et al. [2] incorporated multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) into cementitious composites and investigated their mechanical properties. The MWCNT length, concentration, and curing time were varied as the parameters, and the MWCNT lengths were classified as long and short, based on their aspect ratio. MWCNT concentrations of 0.04 wt%, 0.1 wt%, and 0.2 wt% relative to the cement and curing times of 7, 14, and 28 days were employed. The MWCNT cementitious composites showed improved flexural strength and ductility after 28 days of curing in

Abbreviations: CNT, carbon nanotube; MWCNT, multi-walled CNT; CNF, carbon nano fiber; FE-SEM, field emission; TGA, thermogravimetric analysis; XRD, X-ray diffraction.

* Corresponding author at: Department of Civil Engineering, College of Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deokyoung-Daero, Giheung-Gu, Yongin-Si, Gyeonggi-Do 17104, South Korea.
E-mail address: wschung@khu.ac.kr (W. Chung).

https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113781
Received 10 August 2020; Revised 16 February 2021; Accepted 22 February 2021
Available online 27 February 2021
0263-8223/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

comparison to the standard cementitious composite. The mechanical performance of long MWCNTs at low concentrations was similar to that of short MWCNTs at high concentrations. Furthermore, the cementitious composite containing 0.2 wt% short MWCNTs exhibited the best physical properties after 28 days of curing. The short MWCNTs not only dispersed well in the cementitious composite, they also filled in the nano-sized pores, thus improving the physical properties of the nano-engineered cementitious composite. Li et al. [3] studied the effects of improvements in the compressive and flexural strengths of MWCNT cementitious composites. The researchers concluded that MWCNTs undergo interfacial interactions and form networks with cement hydrates between the cracks and pores of the internal microstructure owing to a bridging effect, thus improving the strength. The researchers incorporated seven types of MWCNTs, having various outer diameters and lengths, into cementitious composites and then measured their compressive strengths after 7 and 28 days of curing. The MWCNT cementitious composites with outer diameters of 20 nm or less exhibited the highest compressive strength. The smaller the MWCNTs that were applied, the more efficiently they filled in the microstructures in the cementitious composite, thereby improving the compressive strength of the composite.

Many researchers have studied the effect of loads on roads and bridges when considering the piezoelectric effect of carbon nanomaterials and invented a self-diagnosis system that detects cracks and twists therein. Konsta–Gdoutos et al. [4] investigated the self-sensing characteristics of cementitious composites incorporating CNTs and CNFs. Using carbon nanomaterial concentrations of 0.1 wt% and 0.3 wt% relative to cement, the researchers analyzed the piezo resistance through electrical resistance tests and periodic loading. The results revealed that adding CNTs and CNFs lowered the electrical resistance of the nano-engineered cementitious composite, and the cementitious composite containing 0.1 wt% CNTs showed the best electrical performance. Yu et al. [5] analyzed the piezo resistance characteristics of CNT cementitious composites to ascertain the feasibility of using CNT cementitious composites as embedded stress sensors in roads, banks, bridges, and other structures. As the experimental parameters, a CNT surface modification and CNT concentration were used, and the piezo resistance was measured in each case. The piezo resistances of the CNT cementitious composites changed with a trend similar to that of the compressive stress. In addition, the sensitivity of the stress response of the composite improved as the CNT concentration increased. Sasmal et al. [6] investigated the electrical conductivity of CNF and CNT cementitious composites, allowing the monitoring of structures in real time. For the experimental parameters, the ratio (S/C) between the carbon nanomaterial and surfactant was set to 0.4, 0.5, 0.6, and 0.7. The experimental results showed that the piezo resistance of the CNF cementitious composite was more sensitive than that of the CNT composite. Azhari et al. [7] compared the compressive load detection performance of a nano-engineered cementitious composite incorporating both CNTs and CNFs with that of a composite containing only CNFs. Under an arbitrary load, the nano-engineered cementitious composite containing both CNTs and CNFs exhibited a better signal quality and improved the sensitivity compared to the CNF composite.

Nano-construction composite materials, which combine carbon nanomaterials and construction materials, have been studied with the aim of improving the electrical conductivity and heat-generating performance. Lee et al. [8] investigated the thermal response of MWCNT cementitious composites according to the concentration and mixing method. MWCNT concentrations of 0.1 wt% and 1.0 wt% relative to cement were used, and both dry and wet mixing methods were employed. The composite containing 1.0 wt% MWCNTs in an aqueous solution showed the best heat-generating performance. Undispersed powder MWCNTs aggregated inside the composite. However, the MWCNT aqueous solution that had been ultrasonically dispersed beforehand was evenly distributed within the composite, thus improving the performance. Kim et al. [9] developed CNT-incorporated cementitious composites as self-heating elements and investigated their heat generation and mechanical properties. The CNTs used in the experiment were mixed with MWCNTs at concentrations of 0.1, 0.3, 0.6, 1.0, and 2.0 wt% relative to cement, and a DC voltage was supplied at 3, 5, 8, and 10 V. Accordingly, as the CNT concentration increased, the heat-generating performance improved, and mixing of less than 0.6 wt% MWCNTs into the composite was found to be optimal. Lee et al. [10] analyzed the heat generation characteristics of CNT cement mortar according to the type of CNT used. Using the experimental parameters of the CNT type, the CNT concentration, curing days, and supply voltage, 0.0625 wt% and 0.125 wt% CNT concentrations were incorporated. The curing required 7 and 28 days, and DC voltages of 50 and 100 V were applied. The experimental results showed that single-walled (SW) CNTs are more effective than MWCNTs in terms of the heat-generating performance of the CNT cement mortar. In addition, as the CNT concentration increased, the heat-generating performance of the CNT cement mortar improved. Although the heat-generating performance decreased as the curing time increased, the heat-generating performance of the SWCNT cement mortar was superior to that of the MWCNT cement mortar after 28 d of curing. Lee et al. [11] fabricated nanocomposites incorporating MWCNTs into polypropylene and investigated their mechanical, thermal, and electrical characteristics. The MWCNT nanocomposite showed substantial changes in its thermal and electrical behaviors when the MWCNT concentration was 2.0 wt%. These changes were caused by to the formation of a 3D electrical network structure, when the MWCNT concentration was between 1.0 wt% and 2.0 wt%. In addition, Chang et al. [12] investigated the feasibility of self-heating concrete using NC heat-generating elements. In the experiment, 6 W of power was applied to the CNF-attached mortar with dimensions of 100 mm × 50 mm × 50 mm, and the internal and surface temperatures of the cementitious composite were measured. The surface temperature of the cementitious composite reached a temperature higher than the freezing point of water within a 2-h period. By analyzing the heating performance and power input, this study confirmed the feasibility of a self-heating system of concrete using CNFs. Li et al. [13] studied a self-melting road system consisting of a high-efficiency heat source using carbon nanofiber/polymer (CNFP) and MWCNT cementitious composites. CNFP showed excellent electrical and thermal performances at temperatures of ≤ 0 °C. Moreover, the MWCNT cementitious composites showed a superior thermal conductivity compared to cementitious composites filled with other conductive materials, such as carbon nanomaterials. CNFPs can be used as an efficient heat source for self-melting road systems, and MWCNT composites can be used as excellent heat-conductive layers. Zhao et al. [14] studied self-heating systems embedded in carbon fiber heating wires (CFHWs) in concrete slabs for roads on which snow melting and deicing can be applied. A heating experiment was conducted in a chamber at − 25 °C by supplying a current of 1.8 A to a concrete slab with dimensions of 400 mm × 200 mm × 50 mm in which CFHWs were installed. The temperature of the concrete slab surface increased at a rate of approximately 0.17 °C/min and exceeded 0 °C after 2.5 h, rising to a maximum of 8.6 °C. The study confirmed the deicing effect of a concrete slab embedded with CFHWs at temperatures of below 0 °C. Wu et al. [15] analyzed the electrical and thermal performance of electrically conductive concrete incorporating steel fibers, CNFs, and steel fiber–graphite. Researchers have studied the factors affecting the electrical conductivity. In the experiment, cementitious composites with dimensions of 150 mm × 150 mm × 150 mm were fabricated, the resistance was measured, and the electrical and thermal performances of the composites were compared. The optimal conductive concrete mixture included 1% steel fiber, 0.4% CNF, and 4% steel fiber-graphite. In addition, the temperature of the cementitious composite increased by 8.7 °C at 27 V and 21.8 °C at 44 V. Won et al. [16] investigated a road pavement system for snow melting by mixing graphite

with concrete. The authors fabricated heat-generating concrete pavement by adding electrically conductive stainless-steel fibers and CNFs and analyzed the thermal conductivity of the pavement system by measuring the surface and internal temperatures. For the experimental parameters, the spacing between the copper electrodes was set to 1, 1.25, and 1.5 m. As the spacing between the copper electrodes increased, the internal temperature of the concrete pavement decreased to 15 ˚C, 7.4 ˚C, and 3.8 ˚C, respectively. The decrease in the internal temperature was attributed to the increase in the electrical resistance of the concrete pavement as the electrode spacing increased. Conversely, the surface temperatures of all concrete pavements ranged from 4.1 ˚C to 4.5 ˚C because the protective concrete layer has a constant thermal conductivity, unlike the internal cementitious composite of the conductive base. Gomis et al. [17] analyzed the heat generation of cementitious composites incorporating carbon materials into a cement paste. During this experiment, the water/cement ratio and supply voltage were varied, and the corresponding calorific values and weight reduction rates were measured. The results indicate that the calorific value of the CNF cementitious composite was superior. Moreover, the surface temperature of the cementitious composite increased with an increase in the moisture content.

Existing studies on nano-engineered cementitious composites have primarily involved an analysis of the strength and piezo resistance according to the curing time; however, there has been insufficient research on the relationship between the curing time and thermal response. In addition, owing to a lack of relevant standards and regulations on the curing methods of cementitious composites incorporating carbon nanomaterials, a water curing method, which is derived from the mortar compressive strength test, is also used. However, the water curing method increases the moisture content in cementitious composites, temporarily increasing the electrical conductivity; thus, it is difficult to analyze the thermal response characteristics of nano-engineered cementitious composites.

In this study, the thermal responses of MWCNT cementitious composites were investigated according to the curing time, and the relationship between the MWCNT concentration and heat-generating performance was then assessed. The thermal response of the cementitious composites was analyzed by examining the internal microstructures of the cementitious composites. Curing times of 3, 7, 14, 28, and 91 days and MWCNT concentrations of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 wt% were used. To elucidate the relationship between the curing time and heat-generating performance, a heat-generating experiment was conducted at low and high MWCNT concentrations of 0.1% and 1.0%, respectively. In addition, the relationship between the electrical properties and curing time was analyzed based on the electrical resistance testing. The relationship between the power consumption and heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites was derived from an electrical resistance test.

To elucidate the internal structure of the MWCNT cementitious composites, field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) was used to analyze the network formed between the MWCNTs and the cement hydrates. The degree of dispersion and concentration of MWCNTs incorporated inside the MWCNT cementitious composite were quantitatively analyzed using a thermogravimetric analysis (TGA). In addition, the effect of incorporating MWCNTs on the hydration reaction of the cementitious composite was examined using X-ray diffraction (XRD).

2. Experimental program

2.1. Experimental overview

In this study, MWCNT cementitious composites were fabricated using various curing times and MWCNT concentrations. Table 1 lists the parameters used in the thermal response characterization test.

Table 1
Test parameters.

Group	Specimen name	MWCNT concentration (wt%)	Curing time (days)
Group 1	OPC-0.0-3	0.0	3
	MW-0.1-3	0.1	
	MW-1.0-3	1.0	
	OPC-0.0-7	0.0	7
	MW-0.1-7	0.1	
	MW-1.0-7	1.0	
	OPC-0.0-14	0.0	14
	MW-0.1-14	0.1	
	MW-1.0-14	1.0	
	OPC-0.0-28	0.0	28
	MW-0.1-28	0.1	
	MW-1.0-28	1.0	
	OPC-0.0-91	0.0	91
	MW-0.1-91	0.1	
	MW-1.0-91	1.0	
Group 2	OPC-0.0-91	0.0	91
	MW-0.2-91	0.2	
	MW-0.4-91	0.4	
	MW-0.6-91	0.6	
	MW-0.8-91	0.8	
	MW-1.0-91	1.0	

Three experiments were conducted for each parameter. For Group 1, the heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites was analyzed according to the curing time. The MWCNT concentrations were 0, 0.1, and 1.0 wt% relative to the cement weight, and the cementitious composites were cured for 3, 7, 14, 28, and 91 days. For Group 2, cementitious composites were produced using the curing time that yielded the best thermal response (i.e., 91 curing days) with MWCNT concentrations of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 wt%. As the hydration reaction progressed, the internal structure of the cement mortar became dense. According to Bentz et al. [17], cement mortar hydration is completed after 91 days of curing. Thus, the cementitious composites were dry-cured for 91 days to minimize the effects of moisture [17–19]. A DC voltage of 30 V was applied to all specimens.

FE-SEM was used to elucidate the MWCNT distributions in the MWCNT cementitious composites and the formation of electrical networks between the cement hydrates according to the MWCNT concentration [20–25]. TGA was used to quantitatively examine the dispersibility of MWCNTs in the MWCNT cementitious composite. Furthermore, an XRD analysis was conducted to determine the effect of incorporating MWCNTs on cement hydrate production [26–31].

The nomenclature of the cementitious composites denotes the MWCNT incorporation, MWCNT concentration, and curing time. First, OPC refers to ordinary Portland cement mortar without MWCNT incorporation, and MW indicates a cementitious composite incorporated with MWCNTs. Second, the numbers 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 indicate the MWCNT concentration relative to the cement weight. Finally, the numbers 3, 7, 14, 28, and 91 refer to the number of curing days of the cementitious composites. For example, OPC-0.0–28 is an ordinary cement mortar cured for 28 days, and MW-1.0-91 is an MWCNT cementitious composite cured for 91 days and incorporated with 1.0 wt% of MWCNTs relative to the cement weight.

2.2. Cementitious composite fabrication and experimental method

The dimensions of the MWCNT cementitious composites used in heat-generating performance experiments have not been standardized; therefore, the composites were fabricated with dimensions of 50 mm × 50 mm × 50 mm^3 in accord with ASTM C 109, the standard for cement mortar compressive strength experiments (Fig. 1) [32].

The cementitious composites were fabricated using Type I ordinary Portland cement and KS L ISO 679 standard sand [33,34]. Table 2 summarizes the physical properties of the MWCNTs used in the

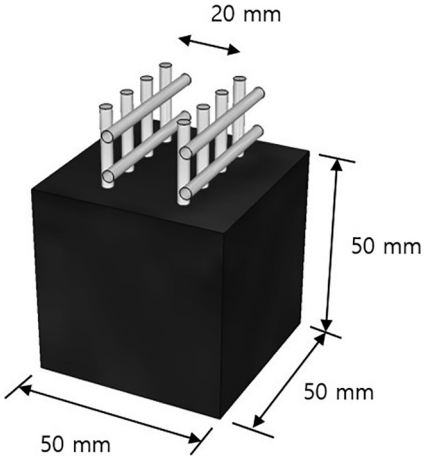


Fig. 1. Shape of MWCNT cement composite specimen.

Table 2
Specific characterization of MWCNTs.

Property	Unit	Value	Measurement method
Average diameter	10^{-9} m	9.5	Transmission electron microscopy (TEM)
Average length	μm	1.5	TEM
Carbon purity	%	90	TGA
Transition metal oxide	%	<1%	Inductively coupled plasma mass spectrometry
Surface area	m^2/g	250–300	Brunauer–Emmett–Teller surface area analysis
Volume resistivity	Ω·cm	10^{-4}	Internal test method (resistivity on powder)

experiments. The average diameter of the MWCNTs was 9.5 nm and the average length was 1.5 μm. To ensure the dispersibility, the MWCNT aqueous solution was dispersed in a polyacrylic acid copolymer for 2 h using 22-kHz ultrasound [35–37].

A water/cement ratio of 0.5 was employed to fabricate the cementitious composites, and the mixing ratio of water, cement, and sand was set to 1:2:5. Fig. 2 depicts the fabrication process of the MWCNT cementitious composite. As shown in Fig. 2 (a), for the mixing materials, the MWCNTs, aqueous solution, cement, and sand were weighed according to the mixing ratio. The cement and sand were dry-mixed for 2 min to ensure the homogeneity of the material (Fig. 2 (b)). The MWCNT aqueous solution was added to the dry-mixed cement–sand and mixed for 3 min (Fig. 2 (c)). The completely mixed MWCNT cementitious composites were poured into molds in three parts and compacted 30 times (Fig. 2 (d)). As shown in Fig. 2 (e), two stainless steel meshes were inserted at 20-mm intervals into each cementitious composite [38]. A thermocouple was inserted at the center of the specimen at a depth of 25 mm (Fig. 2 (f)). The cementitious composite was demolded after 24 h of curing (Fig. 2 (g)). To minimize the effects of moisture, the demolded cementitious composites were dry-cured at an ambient temperature of 20 ± 2 °C and a relative humidity (RH) of 95% for the designated curing time (Fig. 2 (h)) [17,19].

The heat-generating performance was analyzed by supplying a DC voltage of 30 V for 2 h to each MWCNT cementitious composite, as shown in Fig. 3 (a). A voltage supply (EX-200) was connected to the electrode inserted into the MWCNT cementitious composite. To ensure safety, a heat-generating performance experiment was conducted on an insulating rubber sheet. To measure the internal temperature of the cementitious composite, a thermocouple installed at the center of the cementitious composite was connected to a static data logger (TDS-303). The surface temperature was analyzed by photographing the surface of the cementitious composite with a thermal imaging camera 2 h after the start of the experiment. Fig. 3(b) shows a photograph of the setup of the electrical resistance experiment of the cementitious composite. During this experiment, a digital multimeter (KEITHLEY 2701) was used to supply a constant current to both electrodes of the cementitious composite, and the voltage drop was measured [39].

For the FE-SEM, a thermal field emission-type electron gun (LEO SUPRA 55) was used to apply a strong electric field around a pointed tip to enable electrons to pass through and out of the gun. The electron beam had a uniform energy from the point source, and by forming bright and small intersections, higher-resolution images can be obtained compared to those obtained by SEM using thermionic electron guns. For nonconducting samples such as cement and concrete, as electrons accumulate in the sample and push the electron beam, platinum or gold coating should be applied prior to analysis.

A thermogravimetric analyzer (TGA Q5000 IR) was used to measure the change in weight when a certain amount of heat was applied to the sample, and a thermobalance was used to measure the relative change in mass according to temperature compared to a standard sample when heated. With the TGA, the measured changes in mass are used to identify various physical aspects of the sample, such as the thermal properties and strength.

An X-ray diffractometer (D8 Advance) was used to irradiate the mineral samples with X-rays and analyze the crystal structure. When certain conditions are satisfied for the lattice plane inside the crystal structure, the incident X-rays are scattered by the atoms of the lattice plane, and the scattered X-rays produce constructive or destructive interference and show unique diffraction patterns (Bragg's law). In the XRD analysis, the diffraction angle (θ) was examined through a diffraction experiment using X-rays of specific wavelengths to obtain information about numerous interplanar spacings inside the sample lattice. The interplanar spacings were then analyzed to determine the lattice structure of the sample.

3. Experimental results

3.1. Thermal response characterization according to curing time

Fig. 4 shows the heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites as a function of the curing time. All cementitious composites cured for less than 28 days showed a decreasing heat-generating performance with an increase in the curing time (Table 3), which may have occurred because of the generation of additional heat due to the residual moisture inside the composites. Moreover, the internal hydration reaction was not completed in the cementitious composites that were cured for less than 28 days, thus reducing the increase in the maximum temperature. After curing for 28 days or longer, the ordinary cement mortar and 0.1 wt% MWCNT cementitious composite did not show changes in the maximum temperature increase. However, the maximum temperature increase in the 1.0 wt% MWCNT cementitious composite increased further beyond 28 days of curing. For the 1.0 wt% MWCNT cementitious composites, the maximum temperature increases of MW-1.0–28 and MW-1.0–91 were 27.9 °C and 34.9 °C, respectively. The heat-generating performance of the MWCNT cementitious composite cured for 91 days was 25% better than that of the composite cured for 28 days. The MWCNTs dispersed inside the MWCNT cementitious composite formed a network between the hydrates by filling in the pores. MWCNTs have an excellent electrical conductivity; they serve as a bridge that transfers the current inside the composite when a voltage is supplied, thereby improving the electrical conductivity of the MWCNT cementitious composite. An electrical network was formed inside the 1.0 wt% MWCNT cementitious composite after 14 days of curing. With the incorporation of 1.0 wt% MWCNTs, the MWCNTs were evenly dispersed and enhanced the connectivity between the cement hydrates, thereby improving the heat-generating performance [40].



(a) Material measurement



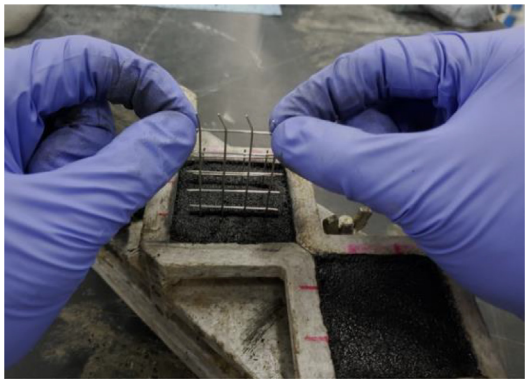
(b) Cement and sand pre-mixing (2 min)



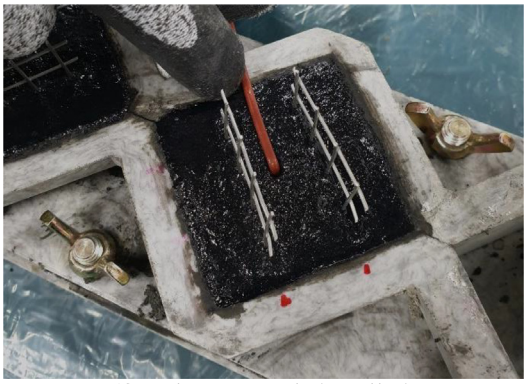
(c) MWCNT solution mixing (3 min)



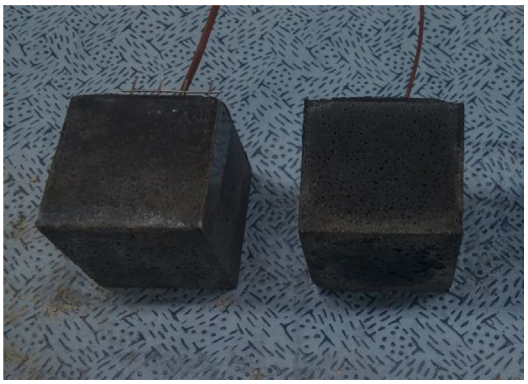
(d) Tamping by three layers



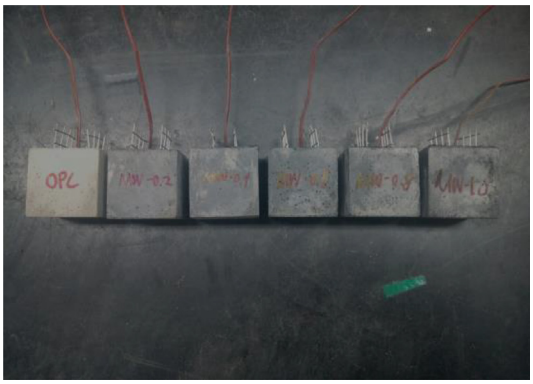
(e) Stainless-steel mesh installation



(f) Thermocouple installation



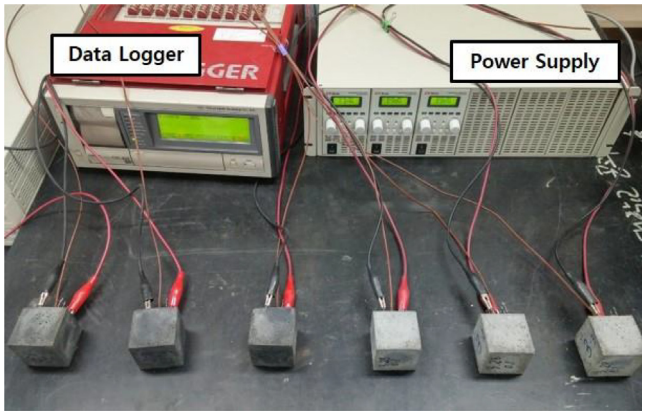
(g) Form removal



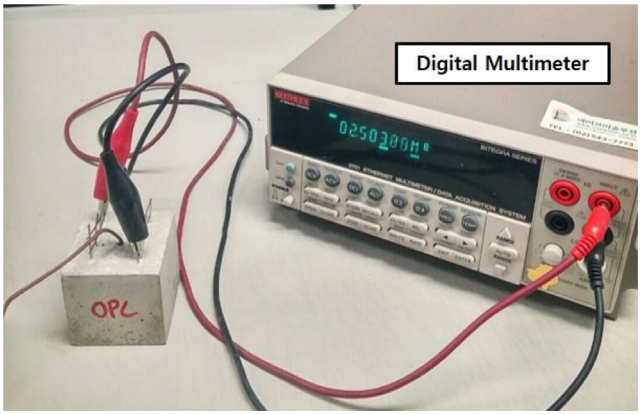
(h) Dry curing

Fig. 2. Specimen production process.

Table 3 summarizes the electrical resistance according to the curing time of the MWCNT cementitious composites. The electrical resistances of the ordinary cement mortars at the beginning of the curing were $1.28 \times 10^3\Omega$ for OPC-0.0-3 and $2.02 \times 10^3\Omega$ for OPC-0.0-7, whereas those of the 0.1 wt% MWCNT cementitious composites were $1.92 \times 10^3\Omega$ for MW-0.1-3 and $2.83 \times 10^3\Omega$ for MW-0.1-7, and the



(a) Heating test



(b) Electrical resistance test

Fig. 3. Measurement of temperature variation using the power supply.

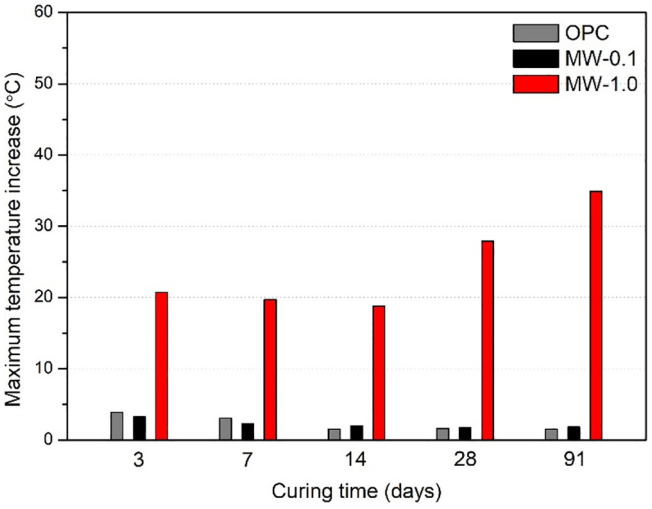


Fig. 4. Maximum temperature change of the specimens according to curing time.

electrical resistances of the 1.0 wt% MWCNT cementitious composites were $3.43 \times 10^2\Omega$ for MW-1.0-3 and $3.22 \times 10^2\Omega$ for MW-1.0-7. The electrical resistances of the ordinary cement mortar for MW-1.0-3 and MW-1.0-7 were 4- and 6-times higher than those of the 1.0 wt% MWCNT cementitious composites, respectively. In addition, the electrical resistances of the 0.1 wt% MWCNT cementitious composites at the beginning of the curing were 6- and 9-times higher than those of

Table 3
Thermal performance and electrical resistance for the MWCNT cementitious composites according to curing time.

Specimen	Thermal performance (°C)	Electrical resistance(Ω)
OPC-0.0-3	3.9	1.28×10^3
MW-0.1-3	3.3	1.92×10^3
MW-1.0-3	20.73	0.34×10^3
OPC-0.0-7	3.1	2.02×10^3
MW-0.1-7	2.3	2.83×10^3
MW-1.0-7	20.03	0.32×10^3
OPC-0.0-14	1.57	8.36×10^3
MW-0.1-14	1.97	5.24×10^3
MW-1.0-14	19.27	0.31×10^3
OPC-0.0-28	1.63	6.74×10^3
MW-0.1-28	1.77	7.11×10^3
MW-1.0-28	27.9	0.29×10^3
OPC-0.0-91	1.57	8.45×10^3
MW-0.1-91	1.83	5.99×10^3
MW-1.0-91	34.9	0.27×10^3

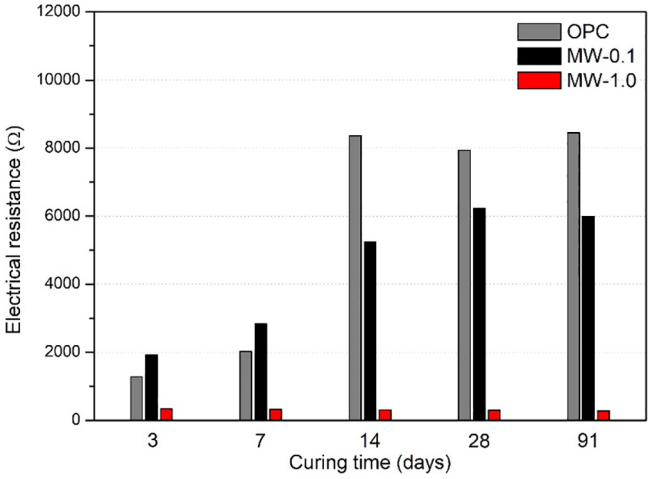


Fig. 5. Electrical resistance according to curing time.

the 1.0 wt% MWCNT cementitious composites. It is suspected that the MWCNT cementitious composites with relatively high MWCNT concentrations decreased the electrical resistance owing to the effects of the electrical network formed inside the composites.

Fig. 5 shows the electrical resistances of the MWCNT cementitious composites according to the curing time. The ordinary cement mortar and 0.1 wt% MWCNT cementitious composites show relatively low resistances until 7 days of curing. Conversely, the resistance increased dramatically after 14 days of curing. The electrical resistance at the beginning of the curing was reduced owing to the effect of residual moisture inside the composites. After 14 days of curing, as the hydration reactions progressed, the moisture content decreased, leading to a relatively high resistance. The 1.0 wt% MWCNT cementitious composites showed the internal formation of uniform electrical networks regardless of the progress of the hydration; consequently, as the curing time increased, the electrical resistance decreased.

3.2. Thermal response characterization according to MWCNT concentration

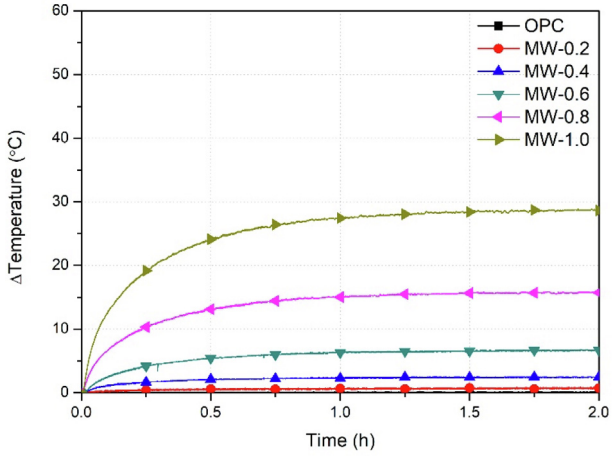
For Group 2, the MWCNT cementitious composites with the best heat-generating performance (91 curing days) in Group 1 were selected, and their heat-generating performance was analyzed according to the MWCNT concentration. To determine the optimal concentration for improving the heat-generating effect of the MWCNT

cementitious composites, the MWCNT concentrations were selected at intervals of 0.2 wt%. The changes in temperature were measured to examine the heat-generating performance of the cementitious composites, and a resistance test was conducted to analyze the relationship between the power and heat-generating performance. In addition, a thermal imaging camera was used to examine the surface temperatures of the MWCNT cementitious composites and analyze the heating state.

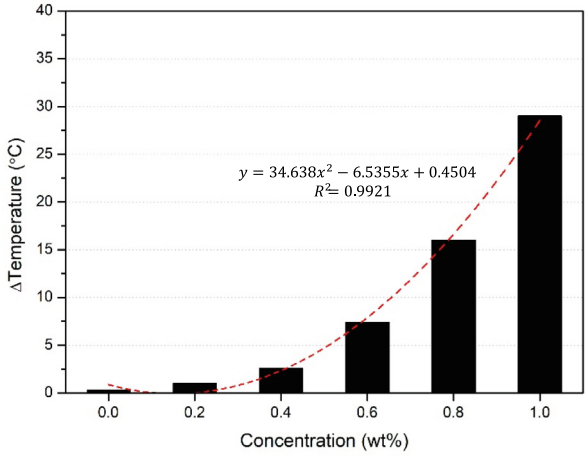
Fig. 6 presents the heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites according to the MWCNT concentration. Fig. 6(a) shows the changes in temperature with respect to the voltage supply time. The temperature changes in the MWCNT cementitious composites converged to a constant value after 1 h of voltage supply. Fig. 6(b) presents the heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites according to the MWCNT concentration. The MWCNT cementitious composites with MWCNT concentrations of 0.4 wt% or less show negligible maximum temperature increases. However, for the MWCNT cementitious composites with MWCNT concentrations of 0.6 wt% or higher, the maximum temperature increase sharply rises as the MWCNT concentration increases. The maximum temperature increase of the OPC-0.0–91 cementitious composite is extremely low at 0.27 °C (Table 4). Similarly, the maximum temperature increases of the MW-0.2–91 and MW-0.4–91 cementitious composites are negligible, at 0.27 °C and 2.57 °C, respectively. The maximum temperature increase of the MW-0.6–91 cementitious composite is 7.42 °C, which is 27-times larger than that of ordinary cement mortar. MW-1.0–91 exhibited the greatest maximum temperature increase of 29.03 °C, which is 108-times that of OPC-0.0–91. The MWCNT cementitious composites showed a clear formation of electrical networks when MWCNTs were incorporated at concentrations of ≥ 0.6 wt%. MWCNTs, which have an excellent electrical conductivity, improved electrical network inside the MWCNT cementitious composites, and an electrical conductivity imparted to the cement mortar, which is an insulator.

Table 4
Thermal performance of the MWCNT cement composites according to MWCNT concentration.

Specimen name	MWCNT concentration (wt%)	Electric current (A)	Thermal performance (℃)
OPC-0.0-91	0	0.003	0.27
MW-0.2-91	0.2	0.003	1
MW-0.4-91	0.4	0.012	2.57
MW-0.6-91	0.6	0.044	7.42
MW-0.8-91	0.8	0.085	16.03
MW-1.0-91	1.0	0.163	29.03



(a) Temperature variation over time



(b) Maximum temperature change versus concentration

Fig. 6. Temperature variation of the specimens.

Fig. 7 depicts the weight reduction rates of the MWCNT cementitious composites in the heat-generating performance experiment. To analyze the weight reduction rates, the weights of the cementitious composites before the heat-generating performance experiment were compared with their weights after the experiment. The weight reduction rates of the OPC-0.0–91 and MW-0.2–91 cementitious composites were both 0.02%. The MW-0.2–91 cementitious composite with the lowest MWCNT concentration showed no difference in the weight reduction rate compared to ordinary cement mortar. By contrast, in the cementitious composites with MWCNT concentrations of 0.4 wt % or more, the weight reduction rate increases sharply. The weight reduction rate of the MW-1.0–91 cementitious composite was 0.12%, which is 6-times higher than that of OPC-0.0–91. The weight reduction of the cementitious composite was caused by the decrease in moisture owing to the cement hydration reaction. The incorporation of MWCNTs catalyzed the cement hydration reaction, increasing the weight reduction rate with the increase in the MWCNT concentration. The increase in the weight reduction rate with increase in the MWCNT concentration is consistent with the results of Rashad [41].

Fig. 8 shows the correlation between the current flowing through the MWCNT cementitious composite and the heat-generating performance. Here, R^2 is the coefficient of determination, an indicator of how similar the equation is to the actual data. The closer the value

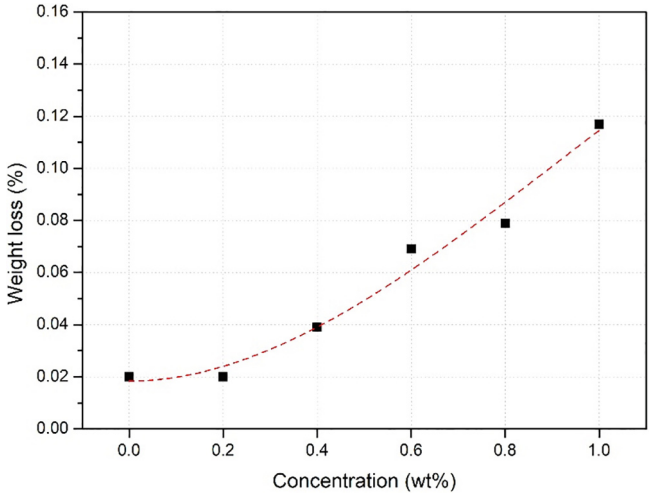


Fig. 7. Weight loss of the specimens.

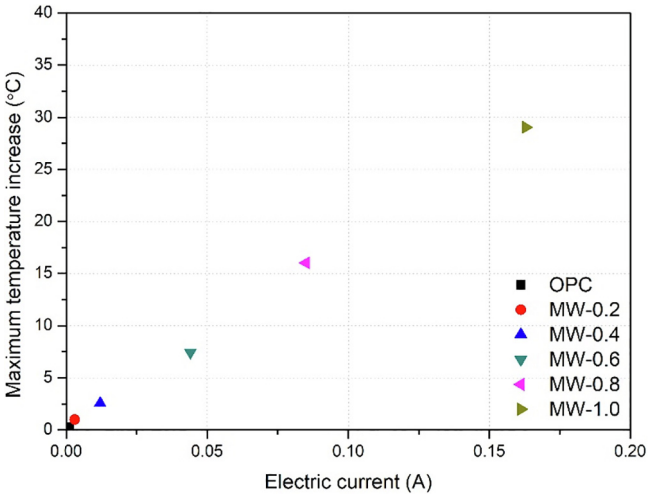
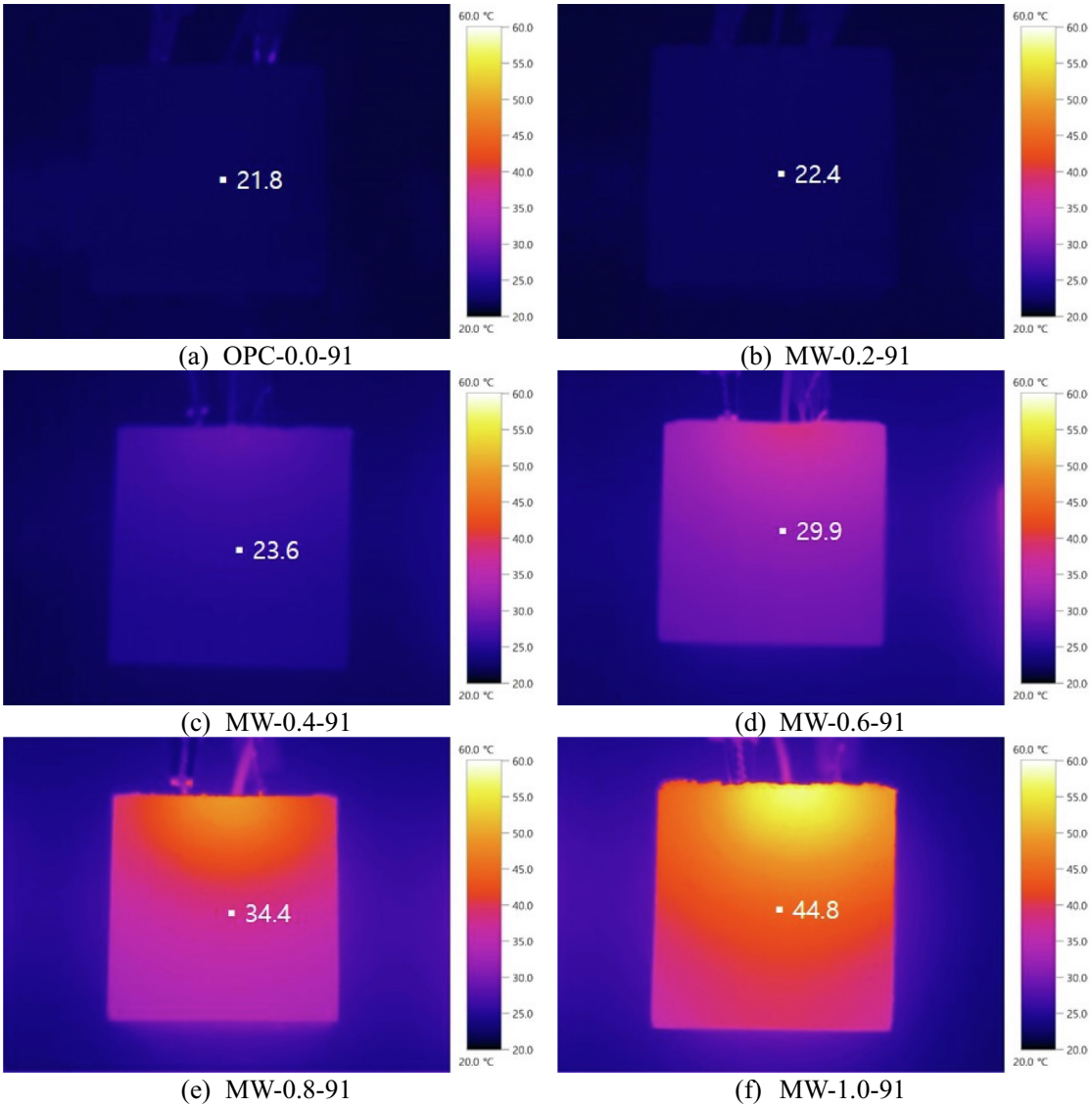


Fig. 8. Relationship between electric current and maximum temperature change.

of R^2 is to 1, the closer the actual data is to the equation. The currents were recorded from the power supply after the heat-generation experiment ended. The current of MW-0.2-91 is 0.003 A, which is the same as that of OPC-0.0-91 (Table 4). Although the current of MW-0.4-91 increased compared to that of OPC-0.0-91, the difference between their maximum temperature increases was negligible. The current of MW-0.6-91, which shows a superior heat-generating performance, was 0.044 A, which is higher than that of OPC-0.0-91. At 0.163 A, MW-1.0-91 exhibited the highest current among the cementitious composites. The heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites increased linearly with an increase in the current.

Fig. 9 shows a thermal image showing the absolute value of the surface temperatures of the MWCNT cementitious composites according to the MWCNT concentration. The thermal image was taken after 2 h of the heat-generating performance experiment, and the surface temperatures of the cementitious composites were measured as absolute values. The surface temperatures of the cementitious composites increased with an increase in the MWCNT concentration. The surface temperature of MW-0.2–91 is 22.4 °C, which does not differ considerably from that of OPC-0.0–91 (Fig. 9 (b)). In the cementitious



(a) OPC-0.0-91 (b) MW-0.2-91

(c) MW-0.4-91 (d) MW-0.6-91

(e) MW-0.8-91 (f) MW-1.0-91

Fig. 9. Thermal images of the MWCNT specimens.

composites with MWCNT concentrations of 0.4 wt% or more, the temperature around the electrode increased and heat was diffused throughout the surface (Fig. 9 (c)–(f)).

Fig. 10 shows the electrical resistances of the MWCNT cementitious composites according to the MWCNT concentration. The electrical resistance of OPC-0.0-91 was the highest, at $2.85 \times 10^6\Omega$, and for the MWCNT cementitious composites, the electrical resistance decreased with an increase in the MWCNT concentration (Table 4). The electrical resistance of MW-0.2-91 ($1.70 \times 10^4\Omega$) is lower than that of OPC-0.0-91. Meanwhile, the electrical resistance of MW-0.4-91, $2.20 \times 10^3\Omega$, is approximately 1,000-times lower than that of OPC-0.0-91. The electrical resistances of the cementitious composites with MWCNT concentrations of 0.6 wt% or more are significantly reduced, falling below $1,000\Omega$. This phenomenon was caused by the electrical network formed inside the MWCNT cementitious composites, which increased with an increase in the MWCNT concentration.

Eq. (1) yields the power consumption through the relationship between the supply voltage and current or the supply voltage and electrical resistance, i.e.,

$$P = V \times I = \frac{V^2}{R} \tag{1}$$

where P is the power consumption, and V, I, and R are the supply voltage, current, and electrical resistance, respectively.

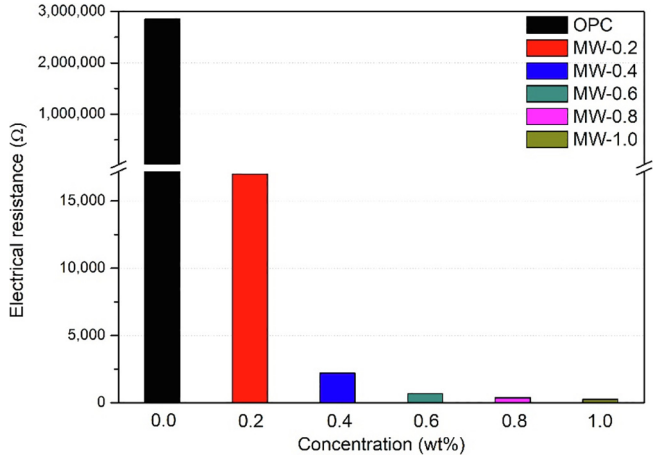


Fig. 10. Electrical resistance versus MWCNT concentration.

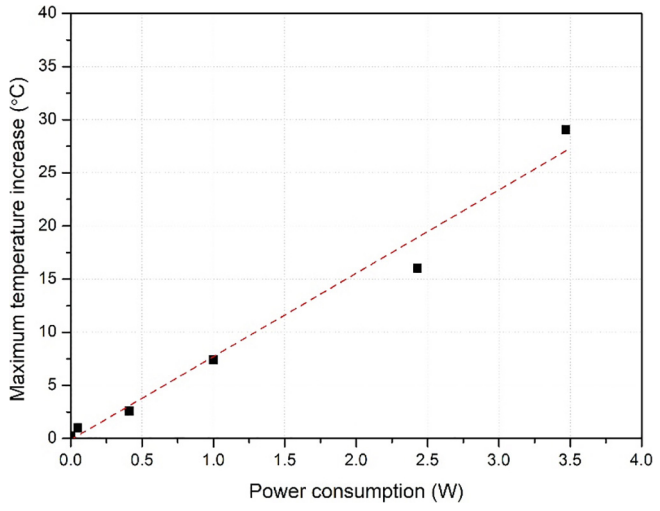


Fig. 11. Maximum temperature change versus power consumption.

Fig. 11 depicts the relationship between the power consumption and heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites. The power consumption was calculated through an electrical resistance experiment, as shown in Eq. (1). The power consumption of the MWCNT cementitious composites increased with an increase in the MWCNT concentration. To investigate the heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites, their maximum temperature increases were analyzed. From the experimental results, the correlation between the heat-generating performance and power consumption of the MWCNT cementitious composites was derived, as shown in Eq. (2):

$$\Delta T_{max} = 7.8393 \times P \tag{2}$$

where ΔT_{max} is the maximum temperature change inside the cementitious composite, and P is the power consumption calculated from the experimental values. The heat-generating performance is linearly proportional to the power consumption. The relationship between the maximum temperature change and power consumption (Eq. (2)) can be used to determine the optimal heat-generating performance of the MWCNT cementitious composite through power consumption.

3.3. Internal microstructure analysis results

Fig. 12 shows the FE-SEM images of the MWCNT cementitious composites according to the MWCNT concentration. The red crosses indicate MWCNTs, and the yellow crosses and blue dotted lines indicate the cement hydrates (ettringite and calcium silicate hydrate). The FE-SEM image of the ordinary cement mortar (Fig. 12 (a)) shows that no MWCNTs were present.

Fig. 12 (b), (c), (d), (e), and (f) show the microstructures at MWCNT concentrations of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 wt%, respectively. As the MWCNT concentration increased, the number of MWCNTs dispersed in the MWCNT cementitious composites increased, as did the connectivity between the MWCNTs and cement hydrates. The electrical conductivity of the MWCNT cementitious composites improved owing to the bridging effect connecting the MWCNTs and the cement hydrates. At MWCNT concentrations of 0.2 wt% and 0.4 wt%, MWCNTs are observable in the FE-SEM results, but there is no obvious improvement in the heat-generating performance. At MWCNT concentrations of 0.6 wt% or more, relatively large amounts of MWCNTs were dispersed in the MWCNT cementitious composites. The heat-generating performance improvement of the MWCNT cementitious composite can be attributed to the increase in MWCNT concentration from a minimum of 0.6 wt%.

Fig. 13 shows the TGA results of the MWCNT cementitious composites according to the MWCNT concentration. For the TGA, each MWCNT cementitious composite was ground into a powder, after which 30 g of a randomly collected powder sample was heated to 1000 °C at a rate of 10 °C/min. The experimentally obtained TGA curve decreased sharply at 400–450 °C and 750–850 °C. At 400–450 °C, calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$) was thermally decomposed by dehydration, and at 750–850 °C, calcium carbonate ($CaCO_3$) was thermally decomposed by decarboxylation. All the curves show similar trends at temperatures of below 750 °C and different trends at above 750 °C. The ordinary cement mortar shows a gentle decreasing curve, whereas the MWCNT-incorporated sample shows a dramatic reduction in thermal weight at a heating temperature of approximately 800 °C. These findings confirm that the thermal decomposition temperature of the MWCNTs was 800 °C.

Fig. 14 shows the XRD analysis results of the MWCNT cementitious composites according to the MWCNT concentration. An XRD analysis is a method for assessing the degree of diffraction of irradiated X-rays. Both the incident and reflection angles were considered. Calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$) and silica (SiO_2) were observed at 2θ = 20–21°. Graphite and silica are evident at 2θ = 26°–27°, and calcium carbonate ($CaCO_3$) is apparent at 2θ = 39–40°. Calcium hydroxide was also

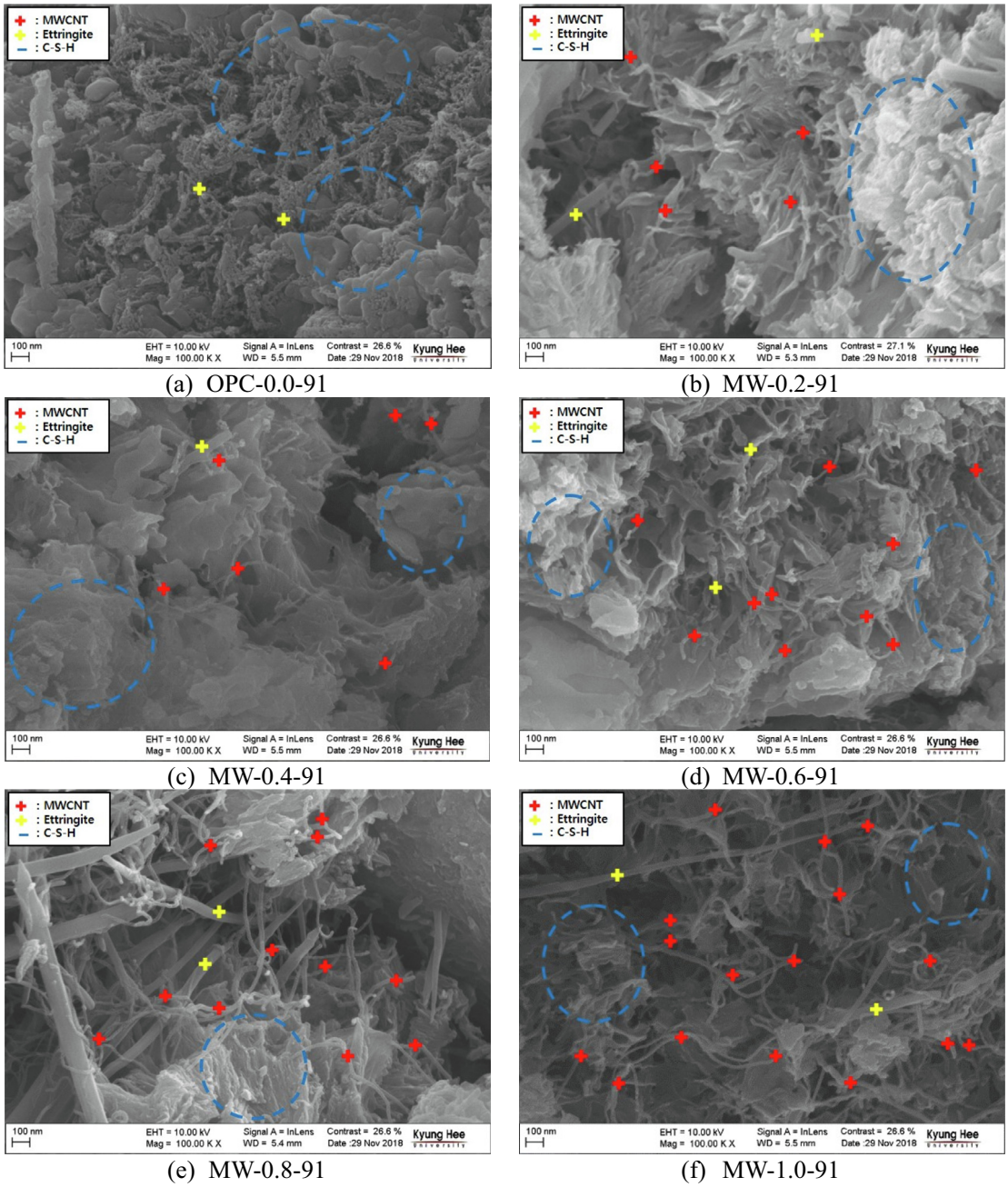


Fig. 12. FE-SEM images.

observed at 2θ = 49°–50°, and calcium silicate hydrate (C-S-H) is evident at 2θ = 60°–61°. In addition, $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, and C-S-H were detected in both ordinary cement mortar and MWCNT cementitious composites. The incorporation of MWCNTs did not affect the hydrates generated during the hydration reaction of the cement mortar.

4. Conclusions

In this study, thermal response and electrical resistance characterizations were conducted for MWCNT cementitious composites capable of heat generation. The effects of the curing time and MWCNT concentration on the electrical and thermal performance of the MWCNT cementitious composites were analyzed by verifying the internal microstructures of the composites through FE-SEM, TGA, and XRD. The following conclusions were derived from the experimental results.

1. The heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites increased with an increase in the curing time. At curing times of <14 days, the effect of residual moisture inside the cementitious composite was dominant. Consequently, the maximum temperature change of the cementitious composites increased as the curing time decreased to below 14 days. At curing times of > 14 days, the effect of the residual moisture decreased as the cement hydration progressed, and the influence of the MWCNTs became dominant. Cement hydration was completed after 91 days of curing, inducing the formation of electrical and thermal networks of MWCNTs.
2. The maximum temperature increase was examined in the MWCNT cementitious composites for the best heat-generating performance (91 curing days), and the cementitious composites with higher MWCNT concentrations demonstrated a better heat generation.

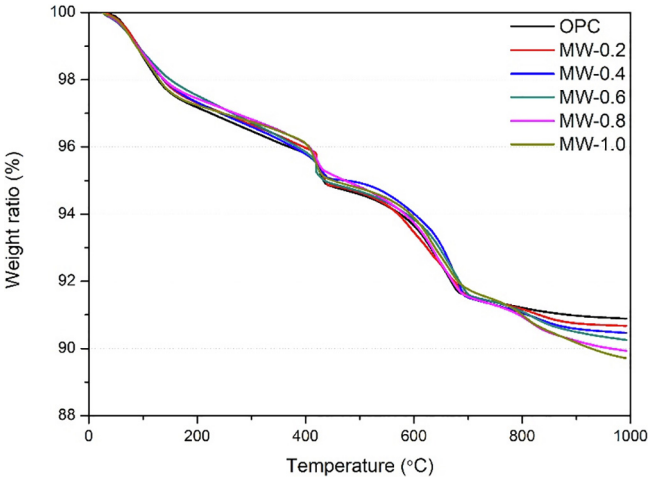


Fig. 13. TGA curves of MWCNT cement composites.

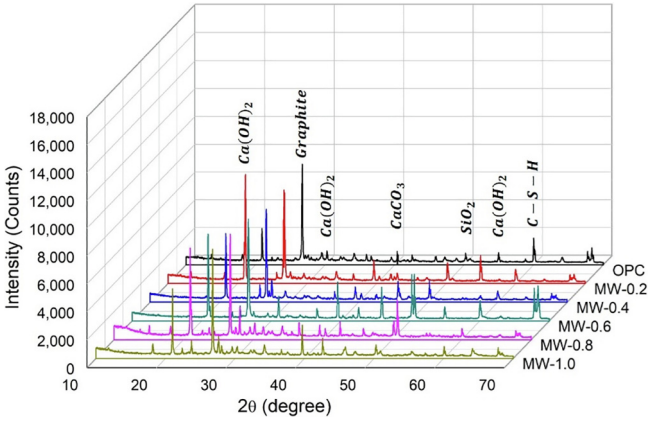


Fig. 14. XRD patterns of the specimens.

As the number of MWCNTs dispersed in the MWCNT cementitious composites increased, the electrical and thermal networks between the cement hydrates improved. It is expected that the MWCNT cementitious composites will show the best heat-generating performance with MWCNT concentrations of 1.0 wt% or higher and relatively long curing times (91 days).

3. The current flowing through the MWCNT cementitious composites was proportional to the heat-generating performance and increased as the MWCNT concentration increased; the resistance decreased as the MWCNT concentration increased. Thus, the current is inversely proportional to the resistance and is linearly proportional to the heat-generating performance. The power consumption and heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites were confirmed to have a linear relationship. Accordingly, the heat-generating performance of the MWCNT cementitious composites could be predicted based on the MWCNT concentration.
4. FE-SEM images of the internal microstructures of the MWCNT cementitious composites were captured. The images indicate that in the MWCNT cementitious composites, electrical and thermal networks formed between the MWCNTs and cement hydrates in the internal structure owing to the bridging effect. According to the TGA results, the differences in the thermal weight reduction rates according to the MWCNT concentration could not be determined. The difference in the cement hydrate weights between the MWCNT cementitious composite and OPC was negligible. The MWCNT cementitious composites showed a reduced weight at temperatures of 750 °C or higher, unlike in ordinary cement mortar. This finding indicates that the thermal decomposition temperature of the MWCNTs dispersed in the MWCNT cementitious composites was 750 °C or greater.
5. The MWCNTs had no effect on the hydrates generated by the hydration reactions inside the cementitious composites. The XRD analysis results revealed no differences between the hydrates of the ordinary cement mortar without MWCNTs and the MWCNT cementitious composites. Chemical reactions did not occur between the MWCNTs and cement constituents, and electrical and thermal networks formed owing to the physical coupling between the MWCNTs and cement hydrates.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

This work was supported by a Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (Grant 20CTAP-C157602-01).

References

[1] Tyson BM, Abu Al-Rub RK, Yazdanbakhsh A, Grasley Z. Carbon nanotubes and carbon nanofibers for enhancing the mechanical properties of nanocomposite cementitious materials. J Mater Civil Eng 2011;23(7):1028–35.
[2] Al-Rub RKA, Ashour AI, Tyson BM. On the aspect ratio effect of multi-walled carbon nanotube reinforcements on the mechanical properties of cementitious nanocomposites. Constr Build Mater 2012;35:647–55.
[3] Li GY, Wang PM, Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes. Carbon 2005;43(6):1239–45.
[4] Konsta-Gdoutos MS, Aza CA. Self sensing carbon nanotube (CNT) and nanofiber (CNF) cementitious composites for real time damage assessment in smart structures. Cement Concrete Comp 2014;53:162–9.
[5] Yu X, Kwon E. A carbon nanotube/cement composite with piezoresistive properties. Smart Mater Struct 2009;18(5):055010.
[6] Sasmal S, Ravivarman N, Sindu BS, Vignesh K. Electrical conductivity and piezoresistive characteristics of CNT and CNF incorporated cementitious nanocomposites under static and dynamic loading. Compos Part A Appl S 2017;100:227–43.
[7] Azhari F, Banthia N. Cement-based sensors with carbon fibers and carbon nanotubes for piezoresistive sensing. Cement Concr Compos 2012;34(7):866–73.
[8] Lee H, Jeong S, Park S, Chung W. Enhanced mechanical and heating performance of multi-walled carbon nanotube-cement composites fabricated using different mixing methods. Compos Struct 2019;111072.
[9] Kim GM, Naeem F, Kim HK, Lee HK. Heating and heat-dependent mechanical characteristics of CNT-embedded cementitious composites. Compos Struct 2016;136:162–70.
[10] Lee H, Kang D, Song YM, Chung W. Heating experiment of CNT cementitious composites with single-walled and multiwalled carbon nanotubes. J Nanomater 2017;3691509.
[11] Lee SH, Cho E, Jeon SH, Youn JR. Rheological and electrical properties of polypropylene composites containing functionalized multi-walled carbon nanotubes and compatibilizers. Carbon 2007;45(14):2810–22.
[12] Chang C, Ho M, Song G, Mo YL, Li H. A feasibility study of self-heating concrete utilizing carbon nanofiber heating elements. Smart Mater Struct 2009;18(12):127001.
[13] Li H, Zhang Q, Xiao H. Self-deicing road system with a CNFP high-efficiency thermal source and MWCNT/cement-based high-thermal conductive composites. Cold Reg Sci Technol 2013;86:22–35.
[14] Zhao H, Wu Z, Wang S, Zheng J, Che G. Concrete pavement deicing with carbon fiber heating wires. Cold Reg Sci Technol 2011;65(3):413–20.
[15] Wu J, Liu J, Yang F. Three-phase composite conductive concrete for pavement deicing. Constr Build Mater 2015;75:129–35.
[16] Won JP, Kim CK, Lee SJ, Lee JH, Kim RW. Thermal characteristics of a conductive cement-based composite for a snow-melting heated pavement system. Compos Struct 2014;118:106–11.
[17] Gomis J, Galao O, Gomis V, Zornoza E, Garcés P. Self-heating and deicing conductive cement. Experimental study and modeling. Constr Build Mater 2015;75:442–9.
[18] Bentz DP, Hansen AS, Guynn JM. Optimization of cement and fly ash particle sizes to produce sustainable concretes. Cement Concr Compos 2011;33(8):824–31.

[19] T.A. Tawfik, M.A. Abd EL-Aziz, S. Abd El-Aleem, A. Serag Faried, Influence of nanoparticles on mechanical and nondestructive properties of high-performance concrete. J. Chinese Adv. Mater. Soc. 6(4) (2018) 409–433.
[20] Liew KM, Kai MF, Zhang LW. Mechanical and damping properties of CNT-reinforced cementitious composites. Compos Struct 2017;160:81–8.
[21] Han B, Zhang K, Yu X, Kwon E, Ou J. Fabrication of piezoresistive CNT/CNF cementitious composites with superplasticizer as dispersant. J Mater Civil Eng 2011;24(6):658–65.
[22] Lu L, Ouyang D, Xu W. Mechanical properties and durability of ultra high strength concrete incorporating multi-walled carbon nanotubes. Materials 2016;9(6):419.
[23] Wang B, Han Y, Zhang T. Morphological properties of surface-treated carbon nanotubes in cement-based composites. J Nanosci Nanotechnol 2012;12(11):8415–9.
[24] Carriço A, Bogas JA, Hawreen A, Guedes M. Durability of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete. Constr Build Mater 2018;164:121–33.
[25] Siddique R, Mehta A. Effect of carbon nanotubes on properties of cement mortars. Constr Build Mater 2014;50:116–29.
[26] Fakhim B, Hassani A, Rashidi A, Ghodousi P. Preparation and microstructural properties study on cement composites reinforced with multi-walled carbon nanotubes. J Compos Mater 2015;49(1):85–98.
[27] Jin Z, Pramoda KP, Xu G, Goh SH. Dynamic mechanical behavior of melt-processed multi-walled carbon nanotube/poly (methyl methacrylate) composites. Chem Phys Lett 2001;337(1–3):43–7.
[28] Musso S, Tulliani JM, Ferro G, Tagliaferro A. Influence of carbon nanotubes structure on the mechanical behavior of cement composites. Compos Sci Technol 2009;69(11–12):1985–90.
[29] Cui X, Han B, Zheng Q, Yu X, Dong S, Zhang L, et al. Mechanical properties and reinforcing mechanisms of cementitious composites with different types of multiwalled carbon nanotubes. Compos Part A Appl S 2017;103:131–47.
[30] Mendoza O, Sierra G, Tobón JI. Effect of the reagglomeration process of multi-walled carbon nanotubes dispersions on the early activity of nanosilica in cement composites. Constr Build Mater 2014;54:550–7.
[31] Chaipanich A, Nochaiya T, Wongkeo W, Torkittikul P. Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes–fly ash cement composites. Mater Sci Eng A 2010;527(4–5):1063–7.
[32] ASTM C 109. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in, or [50-mm] cube specimens). ASTM International 2016.
[33] Korean Standard KS L ISO 679. Methods of Testing Cements–Determination of Strength. Korean Agency for Technology and Standards (KATs) 2006.
[34] ISO (International Organisation for Standardisation). ISO 679. Cement–Test methods–Determination of strength 2009.
[35] Wang B, Han Y, Liu S. Effect of highly dispersed carbon nanotubes on the flexural toughness of cement-based composites. Constr Build Mater 2013;46:8–12.
[36] Kim GM, Yang BJ, Cho KJ, Kim EM, Lee HK. Influences of CNT dispersion and pore characteristics on the electrical performance of cementitious composites. Compos Struct 2017;164:32–42.
[37] Lee H, Song YM, Loh KJ, Chung W. Thermal response characterization and comparison of carbon nanotube-enhanced cementitious composites. Compos Struct 2018;202:1042–50.
[38] Kim HK, Park IS, Lee HK. Improved piezoresistive sensitivity and stability of CNT/cement mortar composites with low water–binder ratio. Compos Struct 2014;116:713–9.
[39] Lee H, Kang D, Kim J, Choi K, Chung W. Void detection of cementitious grout composite using single-walled and multi-walled carbon nanotubes. Cement Concrete Compos 2019;95:237–46.
[40] Chen X, Wu S. Influence of water-to-cement ratio and curing period on pore structure of cement mortar. Constr Build Mater 2013;38:804–12.
[41] Rashad AM. Effect of carbon nanotubes (CNTs) on the properties of traditional cementitious materials. Constr Build Mater 2017;153:81–101.

J. Korean Soc. Hazard Mitig.
Vol. 21, No. 5 (Oct. 2021), pp.175~182
https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2021.21.5.175

ISSN 1738-2424(Print)
ISSN 2287-6723(Online)
www.kosham.or.kr

시설물방재

MWCNT를 혼입한 발열체의 크기에 따른 발열 효율 분석

Heating Performance of MWCNT Module according to Size Effect

박소현* · 안승주** · 이희영*** · 김동휘**** · 정원석*****

Park, Sohyeon*, An, Sungju**, Lee, Heeyoung***, Kim, Donghwi****, and Chung, Wonseok*****

Abstract

Black ice is a road-freezing phenomenon that occurs on the surfaces of roads and is caused by sub-zero temperatures. Black ice is dangerous to vehicular traffic because it is difficult for a driver to detect its presence on roads. Further, it causes vehicles to lose traction on roads, thus causing accidents. Therefore, this study aims to solve this problem by utilizing a heating module with multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and analyzing the heating efficiency according to the size effect of the heating module. The heating modules were divided into cubes (50 × 50 × 50 mm^3) and cuboids (100 × 300 × 60 mm^3). The parameters considered were the size of the heating module, number of curing days, and supply voltage. The maximum temperature change of the cubes was 75.7 ℃, and the maximum temperature change of the cuboids was 78% of the cube. The thermal images demonstrated that the cuboids exhibited better thermal dispersibility than that exhibited by the cubes. Therefore, the heating efficiency of the cuboids was inferred to be excellent. Thus, the cuboid heating module can be used to reduce the risk of accidents occurring caused by black ice.

Key words : Multi-Walled Carbon Nanotube, Black Ice, Heating Module, Heating Performance, Module Size

요 지

도로살얼음은 겨울철 급격한 기온 변화에 따라 도로 표면에 발생하는 도로 결빙 현상이다. 이러한 도로살얼음은 차량 통행에 위협이 되며 사고 발생위험을 증가시킨다. 기존에는 노면 온도가 2 ℃ 이하일 경우 주로 제설제를 살포하였으나, 제설제는 도로의 노후화를 촉진시킨다. 따라서 본 연구는 Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT)가 혼입된 발열체를 활용하여 문제를 해결하고자 하며, 발열체의 크기에 따른 발열 효율을 분석하고자 한다. 발열체는 크기가 50 × 50 × 50 mm^3인 큐브형과 100 × 300 × 60 mm^3인 큐보이드형으로 구분하였다. 매개변수는 발열체의 크기, 양생일, 공급 전압으로 선정하였다. 큐브형의 최대 발열량은 75.7 ℃이고 큐보이드형은 큐브형의 78%까지 최대 발열량이 발생하였다. 열화상 이미지를 분석한 결과, 큐보이드형은 큐브형보다 열 분산성이 더 우수함을 확인하였다. 따라서 큐보이드형의 발열 효율은 우수한 것으로 분석되며, 큐보이드형 발열체는 도로살얼음으로 인한 피해를 감소시키는데 효과적일 것으로 판단된다.

핵심용어 : Multi-Walled Carbon Nanotube, 도로살얼음, 발열체, 발열 성능, 발열체크기

1. 서 론

도로살얼음은 도로에서 발생하는 결빙 현상을 의미하며, 육안으로 감지하기가 어렵기에 심각한 차량 사고를 유발할 수 있다. 기존에는 도로살얼음 문제 해결을 위하여 열선을 설치하거나 제설제를 분사하는 방법들이 제시되어왔다. 하지만 열선 설치의 경우에는 초기 비용이 많이 소요되며, 도로살얼음을 예방하기 위해서 과도한 양의 전기를 사용하

*정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 석사과정(E-mail: sohynpark@khu.ac.kr)
Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Kyung Hee University
**동일기술공사 전무(E-mail: badasajada@naver.com)
Managing Director, Dong Il Engineering Consultants
***정회원, 조선대학교 토목공학과 교수(E-mail: heeyoung0908@chosun.ac.kr)
Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chosun University
****정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 석사(E-mail: 0727donghwi@khu.ac.kr)
Member, Master, Department of Civil Engineering, Kyung Hee University
*****교신저자, 정회원, 경희대학교 사회기반시스템공학과 교수(Tel: +82-31-201-3897, Fax: +82-31-202-8854, E-mail: wschung@khu.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kyung Hee University

여야 한다. 제설제는 염화칼슘 성분이 도로의 노후화를 촉진하여 도로의 생애주기가 짧아지고 유지보수 비용이 많이 소요된다. 이러한 이유로 최근에는 도로살얼음 문제를 해결하기 위한 대안책을 마련하고자 다양한 실험을 수행하고 있다. Kwon et al. (2020)은 나노재료 기반의 도로코팅제를 제작하고 Joule heating을 이용하여 코팅 자체 발열 기능을 가진 다기능성 도로 코팅제를 개발하였다. 또한 Kim et al. (2020)은 블랙아이스 식별을 위한 이미지 센서와 LED 광원을 합친 응용기술을 기존 기술과 결부하여 연구를 수행하였다.

최근에는 앞서 설명한 방법 이외의 겨울철 도로 결빙 현상 해결을 위하여 나노 재료인 Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT)와 시멘트 기반 재료를 혼합하여 콘크리트 구조물에서 자체적으로 발열을 발생시키고, 역학적 성능을 향상시키는 연구가 수행되고 있다(Morsy et al., 2011; Hamzaoui et al., 2012). Nan et al. (2004)은 탄소나노튜브를 혼합한 시멘트 복합체의 열전도도와 CNT의 관계를 공식화하였다. Zhang and Li (2011)은 MWCNT를 혼입한 시멘트 복합체의 도로 융빙 시스템에 대해 연구를 수행하였다. 이 연구는 영하의 온도에서 얼음을 녹이는 실험을 진행하였고 MWCNT가 3.0 wt% 혼입하면 2.83 W/m・K의 열전도층을 생성하여 도로 융빙 시스템이 가능한 것으로 분석되었다. Kim et al. (2014)은 CNT와 실리카퓸을 혼합한 시멘트 복합체의 전기적 특성에 대해 연구하였다. 실험 결과, 소량의 실리카퓸은 응집된 CNT와 혼합하여 기계적으로 작은 크기로 분해하기 때문에 CNT-시멘트 복합체의 전기적 성능을 향상시켰다. Konsta-Gdoutos and Aza (2014)는 CNT와 Carbon Nano Fiber (CNF)를 혼합한 시멘트 복합체의 전기적 특성과 압저항 감도에 대해 연구하였다. 0.1 wt%의 CNT와 CNF를 혼합한 복합체에서 가장 높은 압저항 감도가 나타났다. CNT와 CNF를 첨가하는 것에서 전기적 특성이 개선되었다. Kim et al. (2016)은 CNT의 혼합 농도를 매개변수로 선정하여 시멘트 복합체의 발열 성능에 대해 연구하였다. CNT의 혼합 농도는 시멘트 무게 대비 1.0 wt%, 2.0 wt%이고 시멘트 복합체의 크기는 50 × 50 × 50 mm^3이다. 연구 결과, 2.0 wt% 복합체는 10 V 전압을 공급하면 67.8 ℃의 발열량이 나타났고 CNT의 혼합 농도가 증가할수록 발열 성능은 개선되었다. Kim and Ban (2017)은 100 × 100 × 5 mm^3의 CNT Plate를 500 × 150 × 150 mm^3 크기의 시멘트 콘크리트에 삽입하여 -10 ℃의 온도 조건에서 발열 성능을 검증하였다. 매개변수는 CNT Plate의 매립 간격을 150, 200, 300 mm로 하여 단일 매립의 시편과의 온도를 비교하였다. CNT Plate를 단일 매립한 경우 시편 온도가 -7.5 ℃이었다. CNT Plate의 간격을 150 mm, 200 mm로 2개 설치한 시편의 경우 최대 10 ℃ 이상의 온도를 유지하였다. García-Macías et al. (2017)은 MWCNT를 혼입한 다양한 시멘트 복합체의 전기전도성에 대하여 연구하였다. 시멘트 복합체의 종류는 시멘트 페이스트, 모르타르, 콘크리트로 선정하였고, MWCNT 혼합 농도는 시멘트 중량 대비 1.0 wt%로 통일하였다. 실험 결과, 동일한 농도를 혼합한 경우에는 시멘트 페이스트, 모르타르 콘크리트 순으로 전기전도성이 우수하였다. Lee et al. (2018)은 MWCNT를 활용한 시멘트 복합체의 열적 특성에 대해 연구하였다. 매개변수는 MWCNT 혼합 방법, MWCNT 농도를 선정하였다. MWCNT 혼합 방법은 모래에 코팅하는 방법과 수용액으로 혼합하는 방법이고, MWCNT 농도는 시멘트 무게 대비 0.125 wt%, 0.25 wt%로 진행하였다. 실험결과, 발열 성능은 모래에 코팅하는 방법이 수용액으로 혼합하는 것보다 2배 우수하였고 MWCNT 농도가 증가할수록 다수의 CNT-network가 형성되었기 때문에 증가한 것으로 분석되었다. Park, Lee et al. (2018)은 MWCNT를 혼입한 시멘트 복합체의 효율적인 전압 공급 방법에 대해 연구하여 도로결빙 방지를 위한 발열 가능 건설재료의 기초연구를 수행하였다. 실험체의 크기는 200 × 40 × 40 mm^3이고 매개변수는 전압 공급 위치이다. 실험 결과, 동일한 전압을 공급하면 전압 공급 위치를 분산하고 간격이 좁을수록 발열 효율에 유리한 것으로 분석되었다.

앞서 설명했듯이 MWCNT를 혼입한 나노 시멘트 복합체의 전기전도성 및 발열 성능에 대한 연구는 진행되고 있지만, 나노 시멘트 복합체의 크기에 따른 발열 성능에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이러한 이유로 본 연구는 MWCNT를 혼입한 발열체의 크기에 따른 발열 성능을 연구하고자 한다. 발열체는 크기에 따라 큐브형과 큐보이드형으로 제작하였고, 매개변수는 양생일과 공급 전압으로 선정하였다. 제작한 발열체는 양생일과 크기에 따라 발열체의 종류를 구분하여 전압을 공급한다. 공급 전압에 따른 최대 발열량은 설치한 열전대를 정적 데이터로거에 연결을 통하여 계측한다. 또한 발열체의 온도는 열화상 카메라로 촬영하여 측정하였고, 열화상 이미지 분석을 수행하여 열 분산성과 발열 면적을 파악하고자 하며, 발열 효율은 양생일과 발열체 크기에 따라 분석한다.

2. 실험 방법

나노재료를 혼입한 발열체는 크기에 따른 발열 효율을 분석하기 위하여 큐브형과 큐보이드형으로 구분하였다. 큐브형 발열체는 Fig. 1(a)와 같이 크기를 50 × 50 × 50 mm^3로 선정하였다. 발열체의 크기는 선행연구 Seong et al. (2018)과 Park, Park et al. (2018)에서 사용한 ASTM C 109에 의거하여 동일하게 설정하였다(ASTM C109/C109M-20b, 2020). 큐보이드형 발열체는 Fig. 1(b)와 같이 크기를 100 × 300 × 60 mm^3로 설정하였다. 큐브형과 큐보이드형 발열체의 매개변수는 양생일과 공급 전압으로 설정하였다. 양생일은 7일과 28일로 선정하고 건기양생으로 진행하였다. 전압은 큐브형의 경우 10 V, 20 V, 30 V, 40 V, 큐보이드형의 경우 30 V, 50 V,

100 V, 150 V, 200 V을 공급하였다. 전압 공급 시간은 동일시간대에서의 전압 간 발열량을 비교하기 위하여 60분으로 고정하였다. MWCNT 혼합 농도는 시멘트 중량대비 1.0 wt%로 통일하였다. 선행연구 Seong (2020)에 따르면 MWCNT를 혼입하지 않은 시편과 MWCNT를 혼입한 시편의 발열 성능

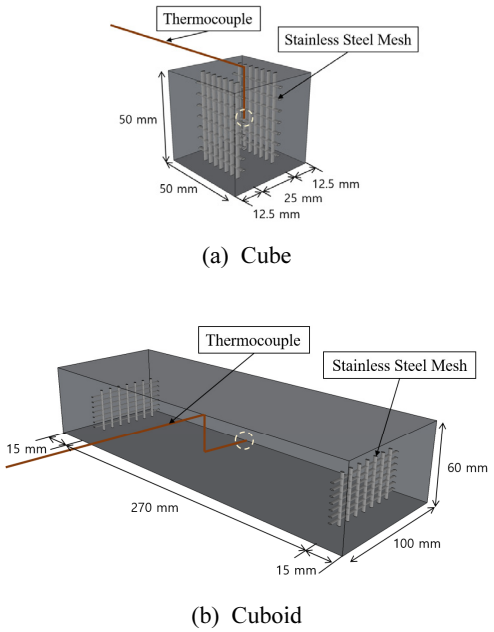


Fig. 1. Specimen

차이를 분석한 결과, MWCNT를 혼입한 시편의 최대 온도증가량은 MWCNT를 혼입하지 않은 Control 시편에 비하여 최대 108배 높게 나타났다. 따라서 MWCNT를 혼입하지 않은 콘크리트는 발열이 발생하지 않는 것으로 선행연구에서 보고되어 본 연구에서는 Control 시편 제작 및 발열 분석을 진행하지 않고 MWCNT를 혼입한 시편으로만 연구를 진행하였다. 매개변수에 따른 발열체는 Table 1에 정리하였다.

본 연구는 발열체를 제작할 시 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 모래는 KSL ISO 679 (2011) 표준 규격의 비중이 2.6~2.67, 균등 계수는 1.0~1.93인 표준사를 활용하였다(KSL 5201, 2016). 실험에 사용한 나노 재료는 전기적・열적 성능이 우수한 MWCNT를 사용하였다. MWCNT의 평균 직경은 1 nm~10 nm이고, 길이는 100 nm~1 cm이다. MWCNT의 밀도는 1.33 g/cm로 전기 전도도가 0.17~2 × 10^5 S/cm이고 열전도도는 3,000 W/m・K이다. MWCNT는 구리에 비해 전기전도도는 약 100배 이상, 열전도도는 7.5배 우수하다. Sobolkina et al. (2012)과 Al-Dahawi et al. (2016)에 따르면 MWCNT는 순도 99%로 기능화 된 수용액 상태일 때 시멘트 재료에서 분산성 확보가 유리하였다. 따라서 MWCNT 수용액은 선행연구(Lee et al., 2017; Lee, Park et al., 2020; Lee, Yu et al., 2020)를 함께 참고하여 22 kHz 초음파를 활용하여 폴리아크릴산(Polyacrylic acid)에서 2시간 동안 분산시킨 후 사용하였다.

본 연구는 Fig. 1과 같이 각 발열체에 전압을 공급하기 위하여 큐브형과 큐보이드형 각각에 스테인레스 스틸 메쉬

Table 1. Test Parameters

Specimen name	Module type	Curing days (day)	Voltage (V)
Cube-7D-10V	Cube	7	10
Cube-7D-20V			20
Cube-7D-30V			30
Cube-7D-40V			40
Cube-28D-10V		28	10
Cube-28D-20V			20
Cube-28D-30V			30
Cube-28D-40V			40
Cuboid-7D-30V	Cuboid	7	30
Cuboid-7D-50V			50
Cuboid-7D-100V			100
Cuboid-7D-150V			150
Cuboid-7D-200V			200
Cuboid-28D-30V		28	30
Cuboid-28D-50V			50
Cuboid-28D-100V			100
Cuboid-28D-150V			150
Cuboid-28D-200V			200

를 삽입하였다. 큐브형의 경우 mesh 사이의 간격이 25 mm가 되도록 중앙에 설치하였다. 큐보이드형의 경우 300 mm 변의 양 끝으로부터 각 15 mm 떨어진 위치에 삽입하였다. 열전대는 전압을 공급함에 따라 상승하는 발열체의 온도를 측정하기 위하여 설치하였다. 설치 위치는 열전대의 단부가 큐브형과 큐보이드형 발열체의 정중앙으로 선정하였다(Fig. 1). 발열체의 제작 배합비는 물/시멘트비를 50%로 선정하고, 표준사는 시멘트 중량 대비 2.5배를 혼합하였다. 발열체의 배합비는 물 0.5, 시멘트 1, 모래 2.5 그리고 MWCNT는 0.01로 설정하였다.

Fig. 2는 발열체의 제작과정이다. 발열체는 선정한 배합비에 따라 재료를 계량한 후 2분간 건비빔을 진행하였다. 이후 수용액 형태로 분산된 MWCNT를 추가로 넣어 3분간 배합하였다. 배합이 완료된 후에는 큐브형의 경우 높이가 약 150~200 mm가 되도록 몰드에 3회 나누어서 타설하며 한 층에서 각 다짐봉 면적당 약 40회 다짐을 실시한 후 스테인레스 스틸 메쉬와 열전대를 삽입하였다. 큐보이드형의 경우 높이가 약 200 mm가 되도록 몰드에 5회 나누어 타설하며 마찬가지로 한 층에서 각 다짐봉 면적당 약 40회씩 다짐을 실시한 후 스테인레스 스틸 메쉬와 열전대를 삽입하였다.

발열 실험은 큐브형과 큐보이드형 발열체에 전압을 공급하여 발열 성능을 확인하였다. 전압 공급은 Fig. 3의 직류 전압 공급기(DC Power Supply, EX-200)를 이용하며, 큐브형과 큐보이드형 발열체 각각에 삽입된 스테인레스 스틸 메쉬에 물린 악어클립에 (+)전극과 (-)전극을 연결하였다. 전압 공급 시간은 60분으로 통일하였다. 전압 공급에 따른 발열체의 온도 변화는 중심부에 설치된 열전대를 정적 데이터 로거(Static Data Logger, TDS-303)에 연결하여 측정하였다. 모든 실험은 공급되는 전류가 외부로 흐르는 것을 방지하기 위해서 절연 고무판 위에서 진행하였다. 또한 발열체의 표면 온도와 온도 분포는 열화상 카메라(Thermal Imaging Camera, Testo 882)를 사용하여 분석하였다. 본 연구에서는 시간-온도 그래프는 전압 공급 시 초기 외기 온도를 고려하여 최종 발열 값에서 초기 외기 온도 값을 뺀 상대 온도 변화량(ΔT)으로 제시하였으며, 열화상 이미지 분석은 초기 외기 온도를 그대로 반영한 절대 온도를 분석하였다. 또한 본 논문은 동일 실험을 각 3회씩 진행했을 시 측정값들이 평균점을 기준으로 ±6% 이내에 분포하는 것으로 확인되었기에 평균값을 그래프로 나타내었다.



(a) Measuring (b) Dry mixing

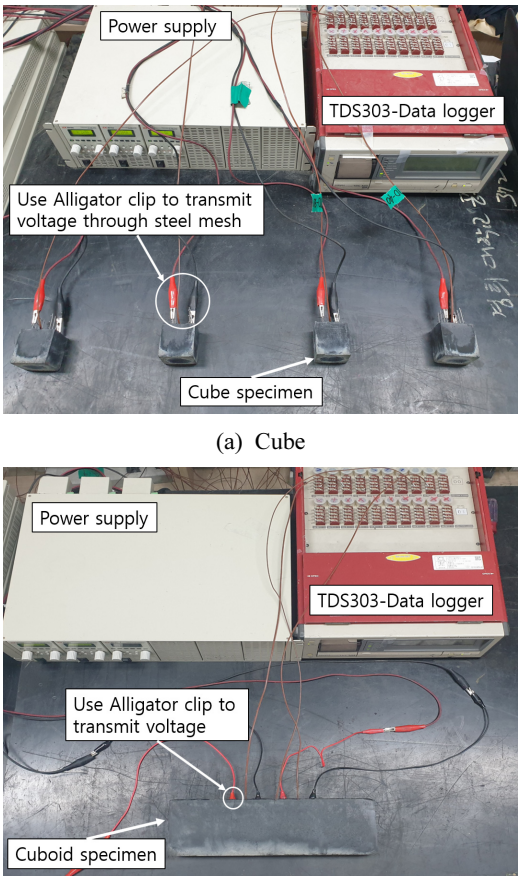
(c) Wet mixing with MWCNT (d) Compaction

(e) Installing stainless steel mesh (f) Installing thermocouple

Fig. 2. Fabrication Process of Specimens

3. 실험 결과

Fig. 4는 양생 7일과 28일의 큐브형 발열체의 시간-온도 그래프이다. 양생일이 7일인 큐브형 발열체(Fig. 4(a))은 전



(a) Cube

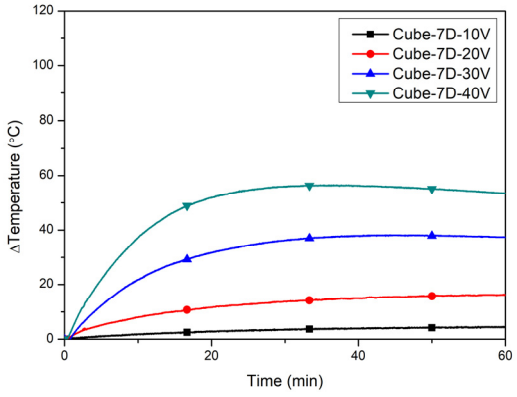
(b) Cuboid

Fig. 3. Heating Test Set-Up

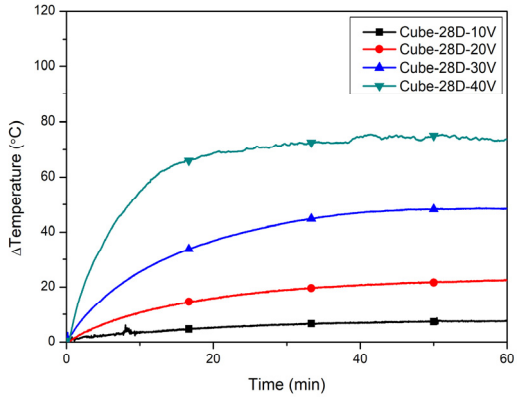
압 10 V를 공급했을 때 5.6 ℃, 20 V를 공급했을 때 16.9 ℃, 30 V를 공급했을 때 38.2 ℃, 40 V를 공급했을 때 56.5 ℃의 최대 발열량이 발생하였다. 실험 결과, 큐브형 발열체의 최대 발열량은 공급 전압이 커질수록 증가하는 것으로 분석되었다. 10 V와 20 V를 공급하는 경우에는 균열이 발생하지 않고, 안정적으로 온도가 유지되었다. 30 V를 공급했을 경우에는 온도구배가 상승하였고, 약 40분부터는 큐브형 발열체에 균열이 발생하였다. 40 V를 공급했을 경우에는 약 35분부터 균열이 발생하였다. 양생일이 7일인 큐브형 발열체는 30 V와 40 V를 공급할 시 온도 변화량이 급격하게 증가하여 균열이 발생한 것으로 판단된다. 양생 28일 큐브형 발열체(Fig. 4(b))에 10 V 전압을 공급했을 경우에는 최대 발열량이 11.2 ℃, 20 V에서는 24.2 ℃, 30 V에서는 48.6 ℃, 40 V에서는 75.7 ℃가 발생하였다. 큐브형 발열체의 양생 7일와 28일을 비교한 결과, 20 V 이하에서는 온도 상승이 저조하나 30 V 이상에서는 상대적으로 급격한 온도 변화를 보이며 상승함을 확인하였다. 또한 공급 전압이 증가함에 따라 큐브형에서의 온도 상승률은 10 V 대비 20 V로 전압상승 시 최대 2배 이상 증가하였다.

Fig. 5는 큐보이드형 발열체에 대한 실험 결과이다. 양생 7일 큐보이드형 발열체(Fig. 5(a))는 30 V 전압을 공급했을 때 1.2 ℃, 50 V의 전압을 공급했을 때 3.2 ℃, 100 V의 전압을 공급했을 때 12.3 ℃, 150 V의 전압을 공급했을 때 31.9 ℃, 200 V의 전압을 공급했을 때 53.6 ℃가 상승하였다. 양생 28일 큐보이드형 발열체(Fig. 5(b))는 30 V 전압을 공급했을 때 1.1 ℃, 50 V의 전압을 공급했을 때 3.8 ℃, 100 V의 전압을 공급했을 때 12.7 ℃, 150 V의 전압을 공급했을 때 32.2 ℃, 200 V의 전압을 공급했을 때 59.8 ℃ 상승하였다. 큐보이드형 발열체의 발열 성능은 큐브형과 마찬가지로, 7일 양생한 발열체보다 28일 양생한 발열체의 발열 성능이 더 뛰어남을 확인하였다. 또한 공급 전압에 따른 온도 변화량은 7일 양생한 큐보이드형에서 50 V와 100 V의 상승률로 비교했을 때 최대 2.8배 상승함을 확인하였다.

발열 효율 측면에서는, 큐보이드형 발열체에 일반적으로 일상에서 사용하는 220 V 이하의 전압인 200 V를 공급했을 시 28일 양생 시편 기준 59.8 ℃의 발열을 보이며 도로살얼음 방지를 위한 충분한 발열 성능을 갖추었음을 확인하였다. 큐브형과 큐보이드형에 동일하게 30 V를 공급했을 경우에는 큐브형이 큐보이드형에 비하여 발열 성능이 28일 양생 기준으로 약 47 ℃로 7일 양생 기준보다 약 10 ℃ 더 높게

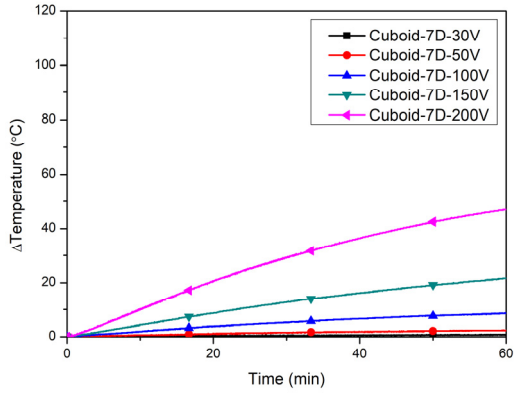


(a) Curing 7 days

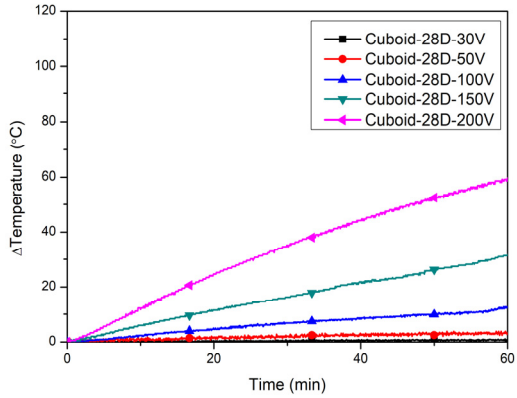


(b) Curing 28 days

Fig. 4. Results of Cube Heating Test

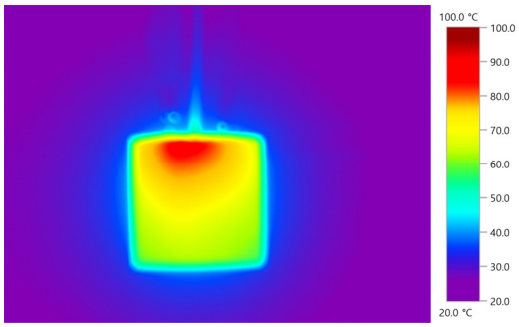


(a) Curing 7 days

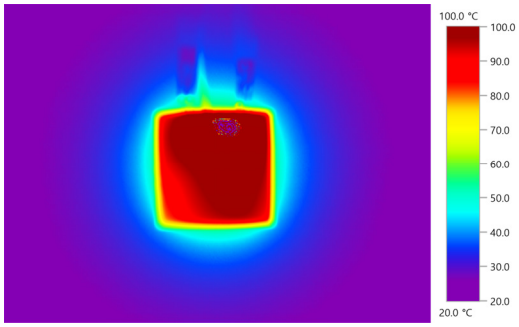


(b) Curing 28 days

Fig. 5. Results of Cuboid Heating Test

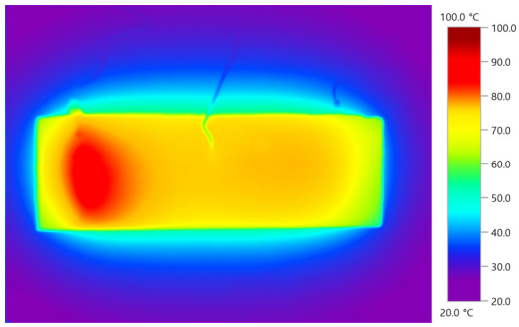


(a) Curing 7 days

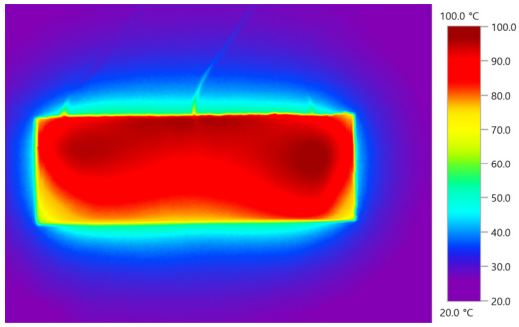


(b) Curing 28 days

Fig. 6. The Thermal Image of the Cube Heating Module



(a) Curing 7 days



(b) Curing 28 days

Fig. 7. The Thermal Image of the Cuboid Heating Module

나타났다. 시간이력에 따른 온도 상승 양상을 분석한 결과, 큐브형에서는 초기 약 10분간의 온도 변화량이 가파르게 나타났고, 그 이후로는 점차 완만하게 수렴하는 형태임을 확인하였다. 큐보이드형에서는 큐브형에 비하여 초기 온도 변화량이 완만하며, 전압을 공급하는 60분 동안 꾸준히 온도가 상승하는 직선에 가까운 형태를 보였다. 큐브형은 발열체의 부피가 작기에 발열체 전체로 열을 전달하는 데 짧은 시간이 필요하여 초기 온도가 빠르게 상승하였다. 큐보이드형은 발열체의 부피가 상대적으로 크기에 발열체 전체로 열을 전달하는데 상대적으로 시간이 오래 걸린 것으로 분석되었다. 발열체의 부피가 클수록 온도 전달에 걸리는 시간이 필요하므로, 초기 온도구배가 더 완만한 것으로 판단된다.

Figs. 6과 7은 양생 7일과 28일의 큐브형과 큐보이드형 발열체의 발열실험 중 촬영한 열화상 이미지이다. 열화상 이미지를 통해 발열체의 양생일 증가에 따른 열의 분포 형태와 표면 온도를 육안으로 확인하였다.

발열 형태는 큐브형과 큐보이드형 발열체 모두 스틸 메쉬가 설치된 지점부터 발열이 시작되며 주변으로 열이 확산되는 형태를 보였다. 양생일에 따른 발열 형태 비교 결과는 7일 양생한 큐브형과 큐보이드형 발열체가 28일 양생한 발열체에 비해 발열 면적이 좁음을 확인하였다. 28일 양생한 큐브형과 큐보이드형 발열체는 발열 면적이 양생 7일보다 더 넓음을 확인하였다.

크기에 따른 발열 형태 비교 결과는 큐브형 발열체의 발열 성능이 큐보이드형 발열체에 비하여 우수하고 열의

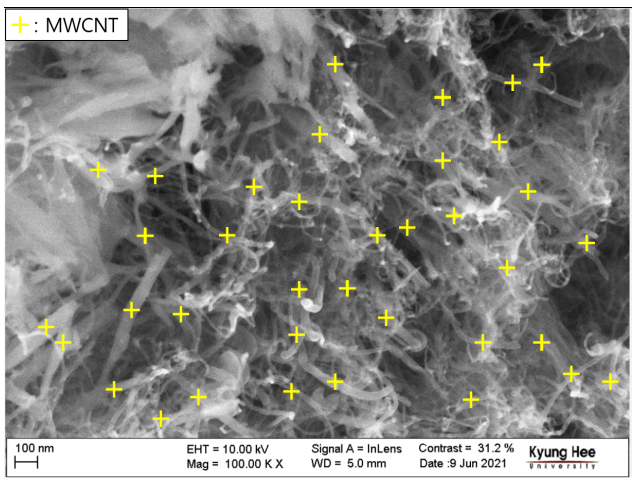


Fig. 8. FE-SEM Image

분포도 더 응집되어 나타남을 확인하였다. 또한 큐보이드형은 큐브형에 비하여 스틸 메쉬 전극 사이 거리가 멀어짐에 따라 더 넓은 발열 면적을 가지게 되기 때문에, 열 분산성이 증가한 형태를 보였다. 도로살얼음 문제는 좁은 면적에서 높은 온도의 발열 성능을 가지는 것보다, 넓은 면적의 결빙구간을 영상 온도로 유지하는 것이 해결하기에 효율적이다. 따라서 발열체는 넓은 발열 면적과 열 분산성을 가지며 융빙이 가능한 온도의 발열 성능을 유지하여야 한다. 이러한 관점에서 큐보이드형 발열체는 전압 공급 시 넓은 발열

면적을 가지게 됨에 따라 충분한 발열 효율을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 FE-SEM 촬영 이미지를 확인한 결과, MWCNT가 배합과정에서 응집현상 없이 분산이 우수하게 형성된 것을 확인하였다(Fig. 8).

4. 결 론

본 연구는 나노재료를 혼입한 발열체의 크기에 따른 발열 효율 분석을 위한 발열 실험을 수행하였다. 발열 실험 수행 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

(1) MWCNT를 혼입한 발열체는 7일 양생 시편보다 28일 양생한 시편의 발열 성능이 더 우수하였다. 28일 양생 시편이 7일 양생 시편 대비 큐브형에서 최대전압 40 V 공급 시 최대 34%, 큐보이드형에서 최대전압 200 V 공급 시 최대 12% 증가하였다. 따라서 양생 초기의 발열체는 전압 공급 시 수분 영향으로 인하여 온도 변화량이 낮게 발생한 것으로 판단된다.

(2) 큐브형과 큐보이드형의 크기는 전압 공급 시 온도 상승량에 영향을 미치는 요소임을 확인하였다. 크기가 다른 각 시편에 동일한 30 V 전압을 공급했을 때, 큐브형은 온도 변화량이 최대 48.6 ℃까지 나타나며 큐보이드형 보다 44배 높은 온도 변화량이 발생하였다. 이러한 이유는 전압을 공급할 시 발열체 크기 차이로 인하여 큐보이드형 발열체에서 더 많은 에너지가 소모되기 때문으로 분석되었다.

(3) 열화상 이미지 분석 결과, 큐브형의 경우에는 발열 면적이 협소하기 때문에 열 분산성이 낮고, 큐보이드형의 경우에는 열 분산성이 높았다. 따라서 큐보이드형은 넓은 발열 면적으로 인하여 열 분산성이 우수한 것으로 분석되었다.

(4) 큐브형과 큐보이드형 발열체는 일정 수준 이상의 발열 성능을 확보하였으나, 발열 면적을 분석하였을 시 큐보이드형의 열 분산성이 우수한 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구는 큐보이드형 발열체가 도로살얼음을 해결하기에 효과적인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(No.21CTAP-C157603-02).

References

Al-Dahawi, A., Öztürk, O., Emami, F., Yıldırım, G., and Şahmaran, M. (2016). Effect of mixing methods on the electrical properties of cementitious composites incorporating different carbon-based materials. *Construction and Building Materials,* Vol. 104, pp. 160-168.

ASTM C109/C109M-20b. (2020). *Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube specimens).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

García-Macías, E., D'Alessandro, A., Castro-Triguero, R., Pérez-Mira, D., and Ubertini, F. (2017). Micromechanics modeling of the electrical conductivity of carbon nanotube cement-matrix composites. *Composites Part B: Engineering,* Vol. 108, pp. 451-469.

Hamzaoui, R., Bennabi, A., Guessasma, S., Khelifa, R., and Leklou, N. (2012). Optimal carbon nanotubes concentration incorporated in mortar and concrete. In *Advanced Materials Research* (Vol. 587, pp. 107-110). Trans Tech Publications Ltd.

Kim, G.M., Naeem, F., Kim, H.K., and Lee, H.K. (2016). Heating and heat-dependent mechanical characteristics of CNT-embedded cementitious composites. *Composite Structures*, Vol. 136, pp. 162-170.

Kim, H., and Ban, H. (2017). An experimental approach to investigate the heat transferring effect of carbon nanotube on the concrete slab. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol. 18, No. 12, pp. 59-63.

Kim, H.K., Nam, I.W., and Lee, H.K. (2014). Enhanced effect of carbon nanotube on mechanical and electrical properties of cement composites by incorporation of silica fume. *Composite Structures,* Vol. 107, pp. 60-69.

Kim, J.Y., Lee, H.J., and Paik, J.R. (2020). Survey of distinction of black ice using sensors. *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference,* Vol. 28, No. 1, pp. 79-81.

Konsta-Gdoutos, M.S., and Aza, C.A. (2014). Self sensing carbon nanotube (CNT) and nanofiber (CNF) cementitious composites for real time damage assessment in smart structures. *Cement and Concrete Composites,* Vol. 53, pp. 162-169.

KSL 5201. (2016). *Portland cement*. Korean Standards Association.

KSL ISO 679. (2011). *Methods of testing cements determination of strength.* Korean Standards Association.

Kwon, W.R., Lee, S.J., and Jang, S.H. (2020). Development of Self-heating Transport Road Coating for De-icing. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers,* pp. 71-72.

Lee, H., Kang, D., Song, Y.M., and Chung, W. (2017). Heating experiment of CNT cementitious composites with single-walled and multiwalled carbon nanotubes.

Journal of Nanomaterials, Vol. 2017, pp. 12 pages.

Lee, H., Park, S., Cho, S., and Chung, W. (2020). Correlation analysis of heating performance and electrical energy of multi-walled carbon nanotubes cementitious composites at sub-zero temperatures. *Composite Structures,* Vol. 238, 111977.

Lee, H., Song, Y.M., Loh, K.J., and Chung, W. (2018). Thermal response characterization and comparison of carbon nanotube-enhanced cementitious composites. *Composite Structures,* Vol. 202, pp. 1042-1050.

Lee, H., Yu, W., Loh, K.J., and Chung, W. (2020). Self-heating and electrical performance of carbon nanotube-enhanced cement composites. *Construction and Building Materials*, Vol. 250, 118838.

Morsy, M.S., Alsayed, S.H., and Aqel, M. (2011). Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar. *Construction and Building Materials,* Vol. 25, No. 1, pp. 145-149.

Nan, C.W., Liu, G., Lin, Y., and Li, M. (2004). Interface effect on thermal conductivity of carbon nanotube composites. *Applied Physics Letters,* Vol. 85, No. 16, pp. 3549-3551.

Park, S., Lee, H., and Chung, W. (2018). Experimental Study on Voltage Supply Efficiency of Nano Cement Composite for Prevention of Road Icing. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation,* Vol. 18, No. 6, pp. 221-228.

Park, S., Park, S., Cho, S., Lee, H., and Chung, W. (2018). Experimental Study on Heating Performance of MWCNT Cementious Composites by Supplied Voltage. *Journal of the Korea Concrete Institute,* Vol. 30, No. 2, pp. 593-594.

Seong, J., Park, S., Lee, H., and Chung, W. (2018). A study on heating performance of MWCNT cementitous composites by curing days. *Journal of the Korea Concrete Institute,* Vol. 30, No. 2, pp. 477-478.

Seong, J.K. (2020). *Thermal response and strength properties of CNT cement composites according to curing conditions.* Master's thesis, KyungHee University.

Sobolkina, A., Mechtcherine, V., Khavrus, V., Maier, D., Mende, M., Ritschel, M., and Leonhardt, A. (2012). Dispersion of carbon nanotubes and its influence on the mechanical properties of the cement matrix. *Cement and Concrete Composites,* Vol. 34, No. 10, pp. 1104-1113.

Zhang, Q., and Li, H. (2011). Experimental investigation on the ice/snow melting performance of CNFP & MWCNT/cement-based deicing system. *Proceedings of the 6th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures Technology,* Dalian, China, pp. 25-26.

Received	August 17, 2021
Revised	August 19, 2021
Accepted	August 30, 2021

2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-설치 가이드라인 및 시공지침서-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교 조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY (주)동일기술공사 DONG IL Engineering Consultants Co., Ltd.

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

블랙아이스 방지를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 포장기술 (프리캐스트)

(설치 가이드라인 및 시공지침서)

2021. 12

경희대학교 KYUNG HEE UNIVERSITY
(주)동일기술공사 부설기술연구소 DONG-IL Institute of Construction Technology

목 차

1. 일반 사항 ····· 1
1.1 적용범위 ····· 1
1.2 참조규격 ····· 1
1.3 제출물 ····· 1

2. 현장조사 기준 및 허용오차 ····· 2
2.1 현장조사 적용범위 ····· 2
2.2 현장조사 기준 ····· 3
2.3 기존포장 노출면 상태 및 크기 조사 ····· 3

3. 재 료 ····· 4
3.1 품질기준 ····· 4
3.2 재료의 시험 및 승인 ····· 8
3.3 재료의 저장 ····· 8

4. 패널 제작 및 시공 ····· 10
4.1 교체 패널 크기 결정 ····· 10
4.2 거푸집 제작 ····· 10
4.3 철근 배근 및 리프팅 앵커 설치 작업 ····· 10
4.4 연결장치 볼트 및 반단면 후프의 설치 ····· 10
4.5 발열모듈 설치 BLOCK OUT 작업 ····· 11
4.6 콘크리트 타설 및 표면 거칠기 작업 ····· 11
4.7 타이닝 작업 및 스펀지(Sealing Tape) 부착 작업 ····· 12
4.8 기존 패널 제거 작업 ····· 12
4.9 하부층 평탄화 작업 및 비닐 설치 작업 ····· 13
4.10 패널 안착 및 높낮이 조절 작업 ····· 13
4.11 줄눈 부분 백업재 삽입 및 그라우팅 작업 ····· 13
4.12 면삭 ····· 13
4.13 신축 줄눈부 시공 ····· 14
4.14 현장 발열모듈 전력인입 ····· 14
4.15 시공의 제한 ····· 14

5. 품질관리 및 검사 ····· 15
5.1 프리캐스트 포장용 배합설계 기준 ····· 15
5.2 품질관리 일반 ····· 15
5.3 품질관리 검토사항 ····· 16
5.4 시험시공 평가 및 본 시공 ····· 18

“블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술” 설치 가이드라인 및 시공지침서

1. 일반사항

1.1 적용범위

1) 본 가이드 라인은 “블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술”과 관련하여 공장 또는 현장에서 제작된 프리캐스트 콘크리트 패널 급속 포장공법을 이용하여 기존 아스팔트 포장 보수공사에 적용한다.
2) 본 지침에 규정되어 있지 않은 사항은 한국콘크리트학회의 「콘크리트구조설계 기준」 및 「콘크리트 표준시방서」에 따른다.

1.2 참조규격

KS F 2401 굳지 않은 콘크리트의 시료채취 방법
KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험방법
KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법
KS F 2408 콘크리트의 휨 강도 시험방법
KS F 2409 굳지 않은 콘크리트의 단위용적 질량 및 공기량 시험방법(질량방법)
KS F 2502 굵은 골재 및 잔 골재의 체가름 시험 방법
KS F 2540 콘크리트 양생용 액상 피막 형성제
KS F 2560 콘크리트용 화학혼화재
KS F 4009 레디믹스트 콘크리트

1.3 제출물

1.3.1 시공계획서 제출

본 공사에 대한 시공계획서를 제출하여 감독원의 확인을 받은 후 공사를 착수하여야 한다.

1.3.2 작성방법

시공계획서에는 아래 사항을 포함하여 작성하여야 한다.

1) 공사개요
2) 세부공정표 자재, 인력 및 장비계획을 포함한다.
3) 공종별 공정계획
4) 품질관리 계획 : 품질관리조직, 관리목표 및 실사방법, 목표미달 시 조치방안 등
5) 안전관리계획 및 환경관리 계획
6) 발열모듈 설치를 위한 외부 전기 인입시설 및 내부 태양광등의 자체전력 생산을 위한 세부계획.
7) 타 공사 및 타 공종과의 협의 및 조정이 필요한 사항
8) 설계도서의 조정 및 변경이 필요한 사항
9) 기타사항

2. 현장조사 기준 및 허용오차

2.1 현장조사 적용범위

1) 본 가이드라인은 "블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술"에서 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 아스팔트 포장체 긴급보수에 있어 패널 제작 및 현장 설치를 위한 기초자료 수집 및 분석에 적용 한다.
2) 현장조사에 있어 발열모듈 설치를 위한 외부 전기 인입시설 및 내부 태양광등의 자체 전력생산을 위한 현장 조사를 실시하여 전력수급에 대한 안전성을 확보하여야 한다.
3) "블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술"로 현장 포장조건에 대한 겨울철 년 평균 기온등 동결에 대한 사전 조사를 실시한다.
4) 프리캐스트 콘크리트 패널 현장 설치 시 발생(예상) 될 수 있는 문제점을 사전에 검토 분석하고, 이를 토대로 현장 장비투입, 시공방법 등의 결정에 필요한 사항을 정하기 위한 현장조사 이며, 본 현장조사 데이터를 이용 프리캐스트 패널의 크기, 단면 두께 등을 결정하기 위한 자료이며 도급자는 그 성과물을 발주부서(감독자)에 제출하여야 한다.

2.2 현장조사 기준

1) 현장조사 시에는 기존 아스팔트 포장에 대한 조사를 시행하며, 기존 아스팔트 포장 중앙부에 지름 50.0㎜~100.0㎜의 코어드릴을 이용하여 천공하여 조사를 한다.
2) 천공된 구멍을 이용하여 기존포장의 두께 및 하부기층 상태(기층유무, 경사도 종류) 등을 확인한다.
3) 천공 구멍의 깊이는 쇄석기층이 출현될 때까지 천공하고 하부기층의 상태를 정밀하게 조사한다.
4) 코어 및 드릴링 조사에 의한 기존포장 두께 외에 균열 및 파손상태를 사전에 파악 기존 포장층 제거 시 현장 파쇄 및 상차와 일괄인양에 대하여 사전에 계획 할 수 있도록 한다.
5) 현장조사 데이터를 기준으로 프리캐스트 콘크리트 패널이 제작되며, 제작된 패널을 해당위치에 조립 및 설치를 전제로 현장조사 기준을 정한다.
6) 프리캐스트 패널 현장설치 시 운영중인 도로에 설치되므로 중랑물 설치에대한 계획 및 교통저리에 대한 조사를 실시한다.

2.3 기존포장 노출면 상태 및 크기 조사

1) 줄눈 크기를 포함한 줄눈 중심선 간 수평거리 및 대각선 거리를 측정하여 정확한 프리캐스트 패널의 계획이 이루어 질 수 있도록 하여야 한다.
2) 현장에서 크기 측정 시 패널의 크기 외에 설치될 위치표기를 정확히 하여 패널의 설치 위치 변동이 발생되지 않도록 하여야 한다.
3) 현장에서는 기존 포장의 경사(종단 및 횡단)를 조사하여 패널 설치 시 우선 설치 순서를 결정하며, 그라우팅 방향을 결정 하여야 한다.
   (패널설치 방향 : 레벨이 낮은 곳에서 높은 곳으로 설치)
   (그라우팅 방향 : 레벨이 낮은 곳에서 높은 곳으로 주입)
4) 현장에서는 기존 포장의 경사(종단 및 횡단)를 조사하여 패널 설치 시 우선 설치 순서를 결정하며, 융설수가 승강장으로 집수되지 않도록 배수 방향을 결정 하여야 한다.
4) "블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술"로 현장 포장조건에 대한 겨울철 년 평균 기온등 동결에 대한 조사를 실시하며, 포장의 표면 경사도(종단 및 횡단)를 전 구간에 대하여 실시한다.

3. 재 료

3.1 품질기준

3.1.1 시멘트

프리캐스트 포장에 사용되는 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(1종)이어야 하며, 표-1 의 품질기준을 만족하여야 한다. 시멘트는 최근 1년 이내에 생산되고 덩어리가 없는 것이어야 한다.

표-1. 시멘트의 품질기준

구 분	시험 방법	기 준	
분말도(cm^2/g)	KS L 5106	2800이상	
응결시간(분)	KS L 5103	초 결	60분 이상
		종 결	10시간 이하
압축강도 MPa(kgf/cm^2)	KS L 5105	3일	12.5(125)이상
		7일	22.5(225)이상
		28일	42.5(425)이상

3.1.2 물

1) 물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 콘크리트의 품질에 나쁜 영향을 미치는 유해물이 함유되지 않아야 한다.
2) 혼합수는 콘크리트의 응결경화, 강도의 발현, 체적변화, 워커빌리티 등의 품질에 나쁜 영향을 미치는 물질의 함유량을 초과되지 않아야 한다.
3) 혼합수의 품질에 대하여 의심나는 경우에는 수질시험을 하여 유해물의 함유량을 조사하고, 그의 사용여부를 판단하여야 한다.

3.1.3 잔골재

1) 잔골재는 깨끗하고, 강하고, 내구적이고, 알맞은 입도를 가지며, 먼지, 흙, 유기불순물, 염화물 등의 유해물이 KS에 규정된 허용치 이상을 함유해서는 안된다.
2) 잔골재는 대소의 알이 알맞게 혼합되어 있는 것으로서, 잔골재의 입도는 표-2 를 표준으로 하며 골재의 체가름 시험은 KS F 2502에 따른다.

표-2. 잔골재의 입도표준

표준체(㎜)	10㎜	4.75㎜ (#4)	2.36㎜ (#8)	1.18㎜ (#16)	600㎛ (#30)	300㎛ (#50)	150㎛ (#100)
체를 통과한 것의 중량백분율 (%)	100	95~100	80~100	50~85	25~60	10~30	2~10

3) 잔골재의 물리적 품질기준은 표-3을 따르며, 잔골재의 유해물 함유량의 허용값은 표-4를 따른다.

표-3. 프리캐스트용 잔골재의 물리적 품질기준

구 분	시험 방법	기 준
비 중(절대건조)	KS F 2504	2.5 이상
흡 수 율 (%)	KS F 2504	3.0 이하
안 정 성 (%)	KS F 2512	10 이하

표-4. 프리캐스트용 잔골재의 유해물 함유량의 허용 값(중량 백분율)

구 분	시험 방법	기 준(%)
No.200체(0.08mm)에 통과량	KS F 2511	3.0 이하
점토덩어리 함유량	KS F 2512	1.0 이하
비중 2.0의 액체에 뜨는 것	KS F 2513	0.5 이하

3.1.4 굵은 골재

1) 굵은 골재는 깨끗하고 강하고, 내구적이고, 알맞은 입도를 가지며 얇은 석편, 가느다란 석편, 유기불순물, 염화물 등의 유해물이 함유되지 않아야 하며, 골재의 최대치수는 19mm로 한다.
2) 굵은 골재의 물리적 품질기준은 표-5를 따르며, 굵은 골재의 유해물 함유량의 허용값은 표-6을 따른다.

표-5. 프리캐스트 포장용 굵은 골재의 물리적 품질기준

구 분	시험 방법	기 준
비 중	KS F 2503	2.5 이상
흡 수 량 (%)	KS F 2503	3.0 이하
다져진 상태의 단위중량(kg/m3)	KS F 2505	1,100 이상
안정성시험(%)(황산나트륨사용)	KS F 2507	12.0 이하
마모감량(%)	KS F 2508	35 이하

표-6. 프리캐스트 포장용 굵은 골재의 유해물 함유량 허용 값

구 분	시험 방법	기 준
점토덩어리 함유량(%)	KS F 2512	0.25 이하
연 한 석 편 (%)	KS F 2516	5.0 이하
골재씻기시험 손실율(%) (No.200번체 통과량)	KS F 2511	1.0 이하
비중 2.0의 액체에 뜨는 것(%)	KS F 2513	0.5 이하

3.1.5 프리캐스트 폴리머 초속경 그라우트 충진재

1) 프리캐스트 폴리머 초속경 그라우트 충진재는 표-7의 품질기준을 만족하여야 한다.

표-7. 프리캐스트 폴리머 초속경 그라우트 충진재 품질기준

시 험 항 목		단 위	품질 관리 기준안	검 수 방 법
흐 름		mm	280 이상	KS F 4044
응결시간	초 결	분	30 ± 10 분	KS L 5103
	종 결		45 ± 15 분	
압축강도	3 시간	kgf/cm^2	250.0 이상	KS F 4042 (부착강도는 콘크리트 시편사용)
	28 일		400.0 이상	
휨 강 도	3 시간		35.0 이상	
	28 일		45.0 이상	
부착강도	3 시간		8 이상	
	28일		15 이상	
염 화 물 량		kg/m^3	0.3 이하	KS F 2715
팽 창 율	1 일	%	0.0 ~ 0.3 이내	KS F 2433
	28일		0.0 ~ 0.3 이내	
최종 블리이딩율		%	0.5 이하	KS F 2433
염분침투저항성(28일)		Coulombs	1,000 이하	KS F 2711

3.1.6 섬유보강재(PVA)

1) PVA(polyvinyl alcohol) 섬유인 섬유보강재는 콘크리트와 모르타르의 소성 및 건조수축균열을 억제시키는 동시에 인장강도, 인성 및 내충격성, 피로저항성 등을 증진시킴으로 역학적 성질을 개선하여 내구성을 증진시키며, 미세균열에 대하여 안전성을 확보한다.
2) PVA(polyvinyl alcohol) 섬유 보강제의 배합은 콘크리트/모르타르 1.0㎥에 대하여 0.9kg을 배합하며, 1포의 중량은 3.0kg이다.

표-8. 프리캐스트 섬유보강재(PVA) 기준

구 분	시험 방법	기 준
길이		6±1mm
신율	KS K 0412	4~10%
비중	KS M 3016	1.2 이상
직경	SEM측정	26㎛ 이하
융점	KS K 0328	220℃ 이상
인장강도	KS K 0412	883.0MPa 이상
탄성계수	KS K 0412	24.5gGPa 이상

3.1.7 발열모듈 몰드 및 전력(설치)인입 케이블

1) 발열모듈은 프리캐스트를 제작할 시 사용한 시멘트계 건설재료를 활용하여 제작한다.
2) 발열모듈에 혼입되는 나노재료는 MWCNT (Multi-walled carbon nanotube)와 같이 발열 성능과 전기전도성이 우수한 탄소계열 나노재료를 권장한다. 해당 탄소계열 나노재료들은 시멘트계 건설재료와 혼합하였을 시 내부에 네트워크를 형성하여 뛰어난 발열 성능과 전기전도성이 발현된다.
3) MWCNT의 평균 직경은 1 nm~10 nm이고 길이는 100 nm~1 cm이다. MWCNT의 밀도는 1.33 g/cm로 전기 전도도가 0.17~2×105 S/cm이고 열전도도는 3,000 W/m·K이다.
4) 발열모듈의 배합은 MWCNT 혼입 농도를 시멘트 중량대비 1.0wt%로 하며, 모래는 시멘트 대비 2.5배를 배합한다.
5) 발열 모듈 크기는 300×100×60 mm3를 기준으로 각 가로·세로·높이를 조정하여 제작이 가능하다.
6) 발열모듈의 최적 발열 효율을 위하여 전압 공급 시 사용하는 전극 재료는 Stainless steel mesh와 같이 전류 흐름이 원활한 전도체를 사용한다. 경우에 따라 Copper plate등의 전도체도 사용할 수 있다.

3.2 재료의 시험 및 승인

3.2.1 시멘트

1) 모든 시멘트는 감독원의 검사를 받은 후 사용하여야 한다. 계약상대자와 시멘트 공급자는 시료채취 및 검사에 필요한 모든 시설을 제공하여야 한다.
2) 검사에 합격한 시멘트일지라도 품질의 변동이 예상되어 재시험을 한 결과 품질 기준에 맞지 않을 경우에는 새로운 시멘트로 대체하여야 한다.
3) 해당공사의 공사계획에 맞추어 공급원 승인 요청서류를 작성하여 제출하여야 한다.

3.2.2 골재

1) 골재는 깨끗하고, 내구적이고, 알맞은 입도를 가져야 하며, 먼지, 흙, 유기불순물, 염화물 등의 유해량을 함유되지 않아야 한다.
2) 해당공사의 공사계획에 맞추어 공급원 승인 요청서류를 작성하여 제출하여야 한다.

3.2.3 물

1) 물은 기름, 산, 유기불순물, 혼탁물 등 콘크리트나 강재에 나쁜 영향을 미치는 유해물질을 함유하거나 바닷물을 사용할 수 없다.
2) 수질이 의심스러울 경우에는 감독원의 승인을 받아야 한다.

3.3 재료의 저장

3.3.1 시멘트

1) 시멘트는 방습구조의 사일로 또는 창고에 품종별로 구분하여 저장하여야 한다.
2) 시멘트 사이로의 용량은 1일 평균 작업량의 3일분 이상을 저장할 수 있는 크기이어야 한다.
3) 포대시멘트는 지상 30cm 이상 되는 마루에 쌓아올려서 검사나 반출에 편리하도록 배치하여 저장하여야 하며 쌓는 포대수는 12 포대 이하이어야 한다.
4) 저장 중에 약간이라도 굳은 시멘트를 공사에 사용도지 않아야 하며, 제조일로부터 3개월 이상 된 시멘트는 사용하기 전에 시험을 실시하여 품질을 확인하여야 한다.
5) 포대시멘트를 일시적으로 야적하고자 할 때는 감독원의 승인을 받아야 하며, 야적된 포대시멘트는 방습포로 덮어야 한다.
6) 벌크시멘트(Bulk Cement)는 저압력(0.035~0.070MPa) 압축공기를 이용하여 20m 높이까지 배출해 낼 수 있는 공기압 벌크탱크에 저장 및 사용을 하여야 한다. 또한 공기압 벌크탱크는 중력에 의하여 계량 홉퍼로 배출될 수 있도록 가급적 높게 설치되어야 하며, 외기 온도에 영향을 받지 않도록 적절한 보온 조치를 취하여야 한다.

3.3.2 골재

1) 잔골재, 굵은 골재 및 종류와 입도가 다른 골재는 각각 구분하여 따로 저장하여야 한다. 굵은 골재의 최대치수가 25mm 이상인 경우에는 적당한 체로 2종 이상으로 체가름 하여 따로 따로 저장하여야 한다.
2) 골재의 반입, 저장 및 취급 시에는 대소의 입자가 분리하지 않도록 또 먼지, 잡물 등이 혼입하지 않도록 주의하여야 한다.
3) 골재의 저장설비는 적당한 배수시설을 설치하고 표면수가 균일하게 되도록 하여야 하며, 또한 사용에 편리하도록 하여야 한다.
4) 골재의 저장설비는 겨울에는 빙설의 혼입이나 동결을 방지하기 위한 적절한 설비를 갖추어야 한다.
5) 여름에는 골재의 건조나 온도의 상승을 방지하기 위하여 직사광선을 막는 적당한 시설을 갖추어야 한다.

3.3.3 프리캐스트 포장용 초속경 그라우트 충진재

프리캐스트 포장용 초속경 그라우트 충진재는 직사광선, 대기온도, 저장기간, 공기유입 등에 따라 품질변화가 발생할 수 있는 초속경 재료이므로 저장 시 다음사항을 준수하여야 한다.

1) 프리캐스트 포장용 초속경 그라우트 충진재의 포장은 종이, 폴리에틸렌 재료 등의 포대를 사용하대 물과 공기가 유입되지 않도록 밀봉이 되어있어야 한다.
2) 장기 저장 시 굳어짐 현상(Creaming) 등이 생길 수 있으므로 1년 이상 저장된 것은 폐기한다.
3) 장기간 직사광선에 노출되어서는 안되고 비, 스팀 등으로부터 보호·저장되어야 한다.

3.3.4 철근

1) 철근은 창고 안에 보관하거나 또는 직접 바닥에 닿지 않게 받침대를 설치하고 덮개로 덮어서 보관하여야 한다.

3.3.5 CNT 재료 저장방법 필요

1) CNT 수용액은 약 10 ℃ 이하의 온도에서 냉장 보관되어야 한다.
2) CNT 수용액은 장기간 방치될 시 분산성이 감소하므로 6개월 이내에 사용하여야 하며, 6개월이 지난 CNT 수용액은 사용하지 않는 것을 권장한다.

4. 패널 제작 및 시공

4.1 교체 패널 크기 결정

1) 프리캐스트 패널을 이용하여 기존 아스팔트 포장체에 대한 보수를 수행할 경우, 먼저 교체할 포장면적을 현장 실측을 통하여 결정하여야 한다.
2) 현장 실측은 가로, 세로길이 뿐만 아니라 대각선 방향의 길이도 측정하여 프리캐스트 콘크리트 패널의 평면 모양을 결정한다.
3) 여러 위치에서 코어를 채취하여 기존 패널의 두께를 파악한 후 이보다 약간 작은 두께로 프리캐스트 패널의 두께를 결정한다.

4.2 거푸집 제작

1) 프리캐스트 패널에 대한 조사를 마친 후 설계에 맞게 거푸집을 제작하도록 한다.
2) 거푸집 제작 시 다웰바 및 타이바 기능을 위한 장치가 차지하는 공간을 확보한다.
3) 프리캐스트 패널 특성상 지지면과 패널 사이에 공극이 발생될 수 있으므로 그라우팅에 필요한 주입구를 설치하도록 한다.

4.3 철근 배근 및 리프팅 앵커 설치 작업

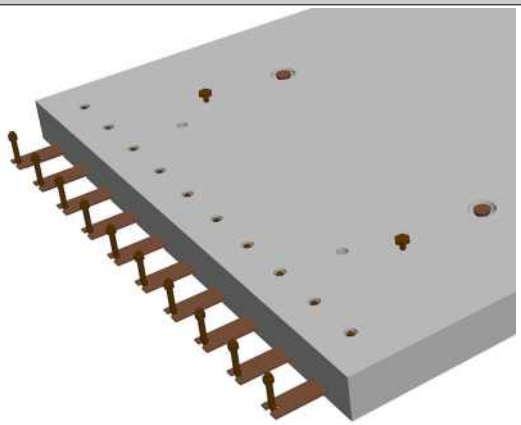
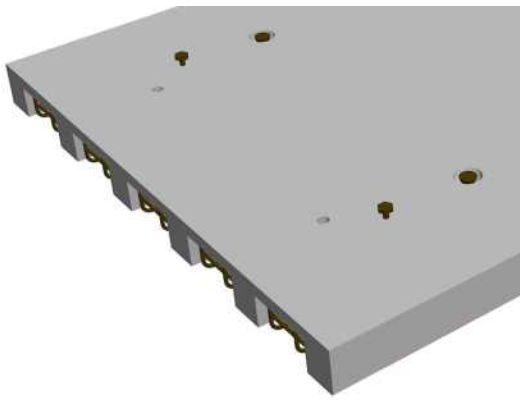
1) 철근은 설계에 따라 배근하여야 한다. 이 때 철근 배근은 상 하단으로 2단 배근하도록 하고, 일반적으로 최소 철근만을 배근하도록 한다.
2) 철근 배근을 마친 후 최적 리프팅 지점에 리프팅 앵커를 설치하도록 한다.
3) 최적 리프팅 지점은 PCI 규정에 의거하여 프리캐스트 패널 양중시 자중에 의해 작용되는 최대 정모멘트 및 부모멘트가 같은 값을 갖는 종·횡방향 위치에 설치한다.
4) 리프팅 앵커 설치 시 콘크리트 타설 중에 앵커 부분을 보호하기 위하여 러버플러그를 앵커 헤드에 씌워놓는다.
5) 리프팅 앵커는 패널 자중을 고려하여 결정하여야 한다.

4.4 연결장치 볼트 및 반단면 후프의 설치

1)프리캐스트 패널 상호간 연결을 위해 볼트(종방향) 및 타이바(횡방향)를 연결시켜주는 연결 장치를 설계한다.
2)연결 장치는 포장 상태를 감안하여 프리캐스트 패널에 삽입시키는 형태와 별도로 제작하여 반단면 후프에 거치시키는 형태 등 연결 형태를 감안 설계한다.
3)볼트 및 반단면 후프 상세도는 아래와 같다

4)볼트식 연결방식에서의 볼트는 풀림방지를 위하여 풀림방지 너트(테프론)를 사용 하여야 한다

5)볼트식 연결방식에서 볼트를 최종적으로 조일 경우 디지털 토크랜치를 이용하여 조임을 실시하며 조임력은 19.6~24.5N·m의 일정한 조임력을 도입하여야 한다.

볼트식 연결방법	반단면 후프식 연결방법
	

4.5 발열모듈 설치 BLOCK OUT 작업

1) 프리캐스트 콘크리리트 표면에 발열모듈 몰드설치를 위하여 강제 거푸집을 이용하여 BLOCK OUT을 실시한다.
2) 발열모듈이 설치될 BLOCK OUT의 크기와 위치는 차량의 차륜을 고려하여 설치한다.
3) 발열모듈이 차량하중(정지 및 출발)으로 분리되지 않도록 거푸집 내부에는 요철을 설치하여야 한다.
4) 프리캐스트 패널을 이용한 급속포장으로 발열모듈은 공장에서 출하 전에 설치하여 현장에서의 작업을 최소화 하여야 한다.

4.6 콘크리트 타설 및 표면 거칠기 작업

1) 거푸집 제작 및 기타 설치 작업이 완료된 후 콘크리트를 타설하도록 한다.
2) 콘크리트 타설 시 리프팅 앵커가 전도되지 않도록 각별한 주의를 필요시 하며 그라우팅 주입구가 설치되는 경우 기울어지지 않도록 주의하여야 한다.
3) 콘크리트 타설이 완료되면 표면 평탄화 작업을 하고 카펫 등을 이용하여 표면 거칠기 작업을 실시한다.

4.7 타이닝 작업 및 스펀지(Sealing Tape) 부착 작업

1) 횡방향 거친면 마무리는 평탄마무리가 끝나고 콘크리트 포장의 표면에 물기가 없어지면 거친면마무리를 실시한다.
2) 거친면 마무리 방법에는 그루빙 (grooving)에 의한 방법, 타이닝기에 의한 기계마무리, 마대처리 또는 비, 솔 등을 사용하는 인력마무리 등이 있다. 타이닝기를 사용할 때 홈의 깊이는 3mm~6mm를 표준으로 하고 홈의 간격은 20mm~30mm로 규정에 적합하여야 한다.
3) 종방향 거친면 마무리는 장비에 의한 평탄마무리 직후 슬리폼 페이버에 부착된 타이닝기를 이용하여 실시하여야 한다. 이때 홈의 깊이는 3mm~6mm를 표준으로 하고, 홈의 간격은 20mm 이내로 하여야 한다.
   또한, 형성된 홈의 함몰방지를 위하여 콘크리트의 슬럼프는 10mm~60mm 이내가 되도록 관리하여야 하며, 포설장비는 낮은 슬럼프에도 적합한 작업능력을 갖는 기종을 선택하여야 한다.
4) 거친면 마무리 완료 후 노면배수 상태를 조사하여 필요할 때에는 배수용 그루빙을 감독자와 협의하여 시행 할 수있다.
5) 특별히 마찰계수를 증진시킬 필요가 있을 경우에는 감독자의 지시에 따라 홈의 형식, 깊이 및 간격 등을 조정할 수 있다.
6) 임의 간격 횡방향 타이닝은 도로의 중심선과 수직으로 시공하며, 일정간격을 두지 않고 설계 도면에 따라 10mm~40mm간격으로 시공하고, 깊이는 3mm~6mm로 한다.
7) 그라우팅 주입시 재료가 밖으로 빠져나가는 것을 방지하기 위하여 패널 밑면에 스펀지(Sealing Tape)를 부착하도록 한다.

4.8 기존 패널 제거 작업

1) 기존 아스팔트 포장체 제거 시 시공 상의 오차를 고려하여 프리캐스트 패널보다 20mm~30mm 크게 커팅한다.
2) 커팅 장비는 콘크리트의 표면을 지정된 깊이까지 절삭할 수 있는 장비이어야 하며, 장비의 가동으로 생기는 이물질 또는 먼지 등을 수집하거나 처분할 수 있어야 하며, 작업의 능률 및 환경차원에서 효율적인 장비이어야 한다.
3) 커팅 작업 시 기존 포장체 해체가 용이하도록 하고 커팅 된 아스팔트 포장체에 브레이커 작업 후 크레인 또는 백호를 이용하여 들어내어 제거한다.

4.9 하부층 평탄화 작업 및 비닐 설치 작업

1) 천공 작업이 완료되면 패널이 안착될 구간의 하부지반을 정리한다.
2) 하부지반 정리 작업 시 부분적인 높낮이 차가 발생하지 않도록 정밀 측량하여 평탄화한다.
3) 하부층의 평탄화 작업이 완료되면 프리캐스트 패널이 안착될 부분에 비닐을 깔아 설치한다.

4.10 패널 안착 및 높낮이 조절 작업

1) 운반된 프리캐스트 패널은 크레인을 이용하여 안착시키도록 한다.
   이 때 프리캐스트 패널과 주변 패널의 다웰바 기능을 위한 장치 또는 공간이 서로 정확히 맞는지 확인하면서 천천히 안착시킨다.
2) 프리캐스트 패널이 안착되면 높낮이 조절 장비를 이용하여 주변 패널과의 높낮이 조절 작업을 실시한다.

4.11 줄눈 부분 백업재 삽입 및 그라우팅 작업

1) 프리캐스트 패널의 높낮이 조절이 완료되면 프리캐스트 패널과 주변 포장 사이의 줄눈 부분에 그라우팅 재료가 올라오지 못하도록 백업재를 삽입한다.
2) 백업재가 삽입되면 다웰바 기능을 하는 장치의 설치를 완료하고 원활한 하중전달이 될 수 있도록 한다. 또한 하부지반에 그라우팅 작업을 실시하여 균등하고 충분한 하부지지력이 확보될 수 있도록 한다.
3) 프리캐스트 포장용 그라우트 주입 장비는 각 재료를 정량으로 혼합할 수 있는 장비이고, 생산과 주입이 연속적으로 이루어질 수 있는 생산능력을 가져야 한다.
4) 생산하기 전에 감독원 입회하에 검·교정을 하여야 한다.
5) 프리캐스트 패널과 주변 패널 사이의 줄눈 부분에 실런트를 주입하여 시공을 완료한다.

4.12 면삭

프리캐스트 패널 설치 시 평탄성 확보에는 현장타설과 틀리게 어려움이 발생하므로 일부 높이차에 대하여 5~10.0mm 허용을 두고 있으며, 높이차 발생에 대하여는 면삭을 실시한다.

1) 현장에서 프리캐스트 패널 설치 시 높이차가 발생된 부분에 대하여는 면삭을 실시할 수 있으며, 지나친 높이차로 인하여 운행에 지장이 없도록 하여야 한다.
2) 면삭시에는 모서리의 파손이 최소화 될 수 있도록 하여야 하며, 모재와 같은 모따기를 실시하여야 한다.
3) 면삭은 줄눈 시공전에 실시하여 시공줄눈이 정밀 시공될 수 있도록 한다.

4.13 신축 줄눈부 시공

신축 줄눈부의 시공은 교통소통을 고려하여 패널설치 시간과 연동하여 설치하지 않으며, 추후 교통지장이 없는 시간대를 고려하여 교통정체에 대한 민원발생을 최소화 하여야 한다.

신축 줄눈은 패널과 패널 사이에는 20mm(길이) × 30mm(높이)이고, 기존 아스팔트와 패널의 접속부에는 신축 줄눈을 설치하지 않는다.

신축 줄눈은 실런트 또는 바인더(BJ-200)와 골재 혼합물을 이음부에 주입 설치하며 신축과 누수에 안전성이 확보가 되어야 하며, 아래와 같이 신축줄눈 시공시 관리하여야 한다.

1) 골재 가열 : 골재는 150-180℃로 가열한다.
(현장에서는 50kg을 젯트 바나로 2분-3분정도 가열한다.)
2) 바인더(BJ-200) 용해 : 바인더(BJ-200)는 150-200℃로 가열하여 용해한다. 현장에서는 바인더가열로 가열하기 때문에 온도가 규정치 이상 올라가지 않도록 한다.
3) 혼합 골재 만들기 : 바인더(BJ-200)와 골재의 혼합 비율은 1 : 5 - 1 : 10 이다.
(현장에서는 골재 50kg에 바인더(BJ-200) 8kg 정도를 혼합한다.)

4.14 현장 발열모듈 전력인입

1) MWCNT와 같은 탄소계열 나노재료가 혼입된 수용액은 발열모듈 제작 시 발열 성능과 강도를 확보하기 위하여 분산성이 확보되어야 하며, 시멘트 무게 대비 1wt% 농도로 혼입되어야 한다.
2) 전압을 공급하기 위한 전극은 발열모듈에 전압이 안정적으로 공급될 수 있는 위치에 설치하여야 한다.
3) 케이블은 원활한 전압 공급을 위하여 전극과의 접촉 상태가 불량하지 않도록 연결하여야 한다.
4) 케이블 매립 시공 시 케이블이 흐트러져 있는 경우 차량하중 등의 외부하중에 의한 절단이 발생할 수 있으므로 가지런히 정리하여 시공한다.

4.15 시공의 제한

1) 시공자는 기상조건을 감독에게 보고하여야 한다.
2) 비가 오거나, 기온이 4℃ 이하이거나, 그라우트 주입시에 4℃ 이하로 내려갈 가능성이 있는 경우에는 시공하지 않아야 한다.

5. 품질관리 및 검사

5.1 프리캐스트 포장용 배합설계 기준

프리캐스트 패널용 배합설계는 강도발현성, 내구성능 등이 충분히 발휘되며 적합한 작업성을 갖는 범위 내에서 이루어져야 하며 배합관리기준은 표-8과 같다.

표-9. 프리캐스트 포장 배합설계 기준

항 목	시험 방법	단 위	기 준
휨강도	KS F 2408	MPa(kgf/cm^2)	4.5(45)
물/시멘트 비		%	30 ~ 40
굵은 골재 최대 치수		mm	25
슬럼프 범위	KS F 2403	cm	8 ~ 14
공기량 범위	KS F2409	%	5 ~ 7

5.2 품질관리 일반

품질시험은 재료 관리 및 콘크리트 배합, 비비기, 다짐, 마무리 등의 적정성을 판정하기 위한 시료를 채취하며 프리캐스트 포장 콘크리트의 품질관리를 위한 시험기준 및 빈도는 표-9와 같다.

표-10. 프리캐스트 포장 콘크리트의 품질관리를 위한 시험기준 및 빈도

항 목	시험 방법	시험 빈도	단 위	기 준
휨강도	KS F 2408	50m3당 1회 이상	MPa (kgf/cm^2)	4.0(40)
슬럼프 범위	KS F 2403	1일 1회 이상	cm	8 ~ 14
공기량 범위	KS F 2409	1일 1회 이상	%	5 ~ 7

5.3 품질관리 검토사항

5.3.1 패널 수령 시

품질관리 체크리스트(패널 수령시)

공 사 명			
검 사 일 자		검 사 자	(인)

순번	점 검 사 항	확 인	내용 및 조치 사항
1	품질보증서는 수령하였는가?		
2	품질보증서상 소요 강도는 만족하는가?		
3	패널의 크기(두께, 길이, 넓이)는 설계와 동일한가?		
4	패널의 모서리부 파손은 없는가?		
5	패널에 균열 발생은 없는가?		
6	패널의 표면상태(스폴링, 평탄성 등)는 양호한가?		
7	패널의 레벨링 볼트 및 리프팅 앵커 상태는 양호한가?		
8	패널하부 그라우팅 재료 유실 방지를 위한 스펀지 부착 상태는 양호한가?		
9	다웰바 및 포켓의 상태는 양호한가?		
10	운송된 프리캐스트 부재의 결함부위를 수정 작업할 경우에 재질이 손상되지 않는가?		
11	프리캐스트 패널의 양중위치가 적절하게 설치되었는가?		
12	부재는 현장조립 순서를 고려하여 적치되는가?		
13	부재는 지면에 닿지 않도록 적절한 위치에 받침목을 사용하는가		
14	각 부재들은 현장조립에 용이하도록 표시되어 있는가?		
15	프리캐스트 패널의 반입규격을 고려하여 운반로를 점검하고 필요시 대책을 수립하였는가?		
16	발열 모듈을 설치한 후 전압 공급이 양호한지 점검하였는가?		
기타사항			

5.3.2 시공 시

품질관리 체크리스트(시공시)

공 사 명			
검 사 일 자		검 사 자	(인)

순번	점 검 사 항	확 인	내용 및 조치 사항
1	기존 포장 절삭 넓이가 적합한가?		
2	기존 포장 절삭 깊이가 적합한가?		
3	절삭면 평탄 작업이 적절히 수행되었는가?		
4	다웰바가 적절하게 연결 되었는가?		
5	줄눈간격이 적절하게 패널이 안치 되었는가?		
6	패널 설치후 단차는 허용범위 이내 인가?		
7	그라우팅 재료는 적절하게 준비되었는가?		
8	그라우팅 주입방법(정압) 및 충진완료 확인이 되었는가?		
9	그라우팅 재료가 적절한 강도를 발현하였는가?		
10	포장 이음부 충진재의 준비가 적절한가?		
11	포장 이음부에 충진재가 적절하게 충진되었는가?		
12	줄눈부 실링이 적절하게 되었는가?		
13	전체적인 마무리 상태는 양호한가?		
14	설치한 발열 모듈이 문제없이 성능을 발휘하는지 확인하였는가?		
기타사항			

5.4 시험시공 평가 및 본 시공

프리캐스트 패널의 신속한 공사를 위해 본 공사 전 시험시공을 원칙으로 한다.

1) 시험 시공 장소는 운행과 공사기간에 대한 지장이 없는 공간으로 하여 본 공사 시 발생될 수 있는 모든 문제에 대한 시공 안전성을 확보하여야 한다.
2) 작업효율을 포함한 전단면 설치에 따른 문제점 점검 및 예정 일정계획에 맞도록 프리캐스트 패널의 거치 및 조립, 운행개방 차질여부, 중량물 설치로 인한 작업자가 위험노출 여부, 기타 추가로 보완 시행되어야 될 사항 등 세부적으로 검토 되어야 한다.

2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-유지관리지침서-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

블랙아이스 방지를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 포장기술 (프리캐스트)

(유지관리 지침서)

2021. 12

경희대학교 KYUNG HEE UNIVERSITY
(주)동일기술공사 부설기술연구소 DONG-IL Institute of Construction Technology

목 차

1. 프리캐스트 유지관리 ····· 1

1.1 유지관리 개요 ····· 1

1.2 유지관리 검측 주기 ····· 1

1.3 유지관리 항목 ····· 1

2. 유지관리 방법 ····· 1

2.1 미끄럼저항 ····· 1

2.2 균열 ····· 4

2.3 단차 ····· 9

2.4 줄눈부 파손 ····· 9

2.5 평탄성 ····· 13

2.6 하중전달률 ····· 14

2.7 발열모듈 및 전력케이블의 성능 저하 ····· 16

1. 프리캐스트 유지관리

1.1 유지관리 개요

"블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술"과 관련하여 기존 아스팔트 포장 제거 후 급속으로 프리캐스트 패널설치 보수공사 및 유지관리에 적용한다.

1.2 유지관리 검측 주기

"블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술" 시공한 후 패널의 안정성과 공용성 검토를 위하여 시공 직후 검측 및 12개월, 24개월, 주기로 검측을 실시하며, 필요시 추가적인 검측을 수행하여야 한다.

1.3 유지관리 항목

1) 미끄럼저항 2) 균열 3) 단차 4) 줄눈부 파손 5) 평탄성 6) 하중전달율
7) 발열모듈 및 전력 케이블의 성능 저하

2. 유지관리 방법

2.1 미끄럼저항

2.1.1 미끄럼저항 관리기준

1) 도로의 노면은 적정 미끄럼 마찰력을 확보하여야 안전성이 유지되나, 사용기간의 경과에 따라 노면의 마찰계수는 떨어지게 되며, 어느 한계 이하에서는 노면 미끄럼에 의한 사고의 위험성이 있게 된다.

따라서 이러한 구간에 대해서는 마찰계수를 조사하여 적정 조치를 취하여야 한다.

2) 도로 노면의 마찰력은 최소 요구 마찰계수를 만족하는지 판단하는 것이 중요하다. 노면이 제공해야 할 최소한의 마찰력은 도로의 기하구조 및 교통조건에 따라 다르므로 표-10의 최소 마찰계수 기준표에서 도로 및 교통조건에 따라 도로를 S1 ~ S4의 4개 등급으로 분류하였다.

3) 과거의 노면 미끄럼에 의한 사고기록에 따라 위험도 등급을 3등급으로 구분하여 적용하도록 제시하고 있다.

표1.0 최소 마찰계수 기준표 (국토교통부, 2016)

구 분	정 의	최소 요구 마찰계수			마찰계수의 종류
		위험도 1	위험도 2	위험도 3	
S1 (마찰력 확보가 매우 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/시 이상인 도로의 교통신호 또는 횡단보도 접근부 2) 도시 지역도로의 교통신호, 횡단보도 또는 비슷한 위험개소의 접근부 3) 5% 이상의 내리막 경사에서 곡선 반경이 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에서 정한 값보다 작게 설계된 곳 4) 고속도로로서 S2의 1), 2)항에 해당하는 구간	57 37	67 44	77 50	BPN SN
S2 (마찰력 확보가 중요한 구간)	1) 설계 속도 60km/시 이상이 되는 도로로써 곡선 반경이 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙"에서 정한 값보다 작게 설계된 곳 2) 5% 이상의 내리막 경사가 100m 이상인 곳 3) 고속도로 일반구간 4) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 도로의 주요 교차로 접근부	47 31	57 37	67 44	BPN SN
S3 (평균 조건)	직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 다음에 해당되는 도로 1) 주요 간선도로 또는 자동차 전용도로 2) 상업용 자동차 교통량이 250대/차로/일 이상인 일반도로	32 21	47 31	57 37	BPN SN
S4 (마찰력이 중요하지 않은 구간)	교통량이 적은 도로의 일반 직선 구간	32 21	42 27	47 31	BPN SN

프리캐스트 콘크리트 포장은 노면 마찰을 증대시키기 위하여 표면에 타이닝을 적용하고 있으나 <그림 1>과 같은 타이닝의 마모에 따른 표면 마찰력 감소가 있을 수 있으므로 이에 대한 관리가 필요하다.



그림 1. 타이닝 마모

2.1.2 미끄럼저항 측정 방안

1) 구간별 요구되는 최소 마찰계수 선정
측정 구간에 대하여 도로의 기하구조, 속도, 미끄럼 사고의 빈도 등을 고려하여 최소 마찰 기준표에서 각 구간에 요구되는 최소 마찰계수를 구한다. 위험도의 결정은 기본적으로 각 기관의 주관적인 판단에 의하되 다음 기준을 참고로 한다.

위험도 1 : 노면 미끄럼에 의한 사고가 거의 없는 경우 또는 사고기록이 아직 정리되지 않은 경우
위험도 2 : 노면 미끄럼에 의한 사고가 가끔씩 발생하는 경우
위험도 3 : 노면 미끄럼에 의한 사고가 빈번한 경우

2) 최소 마찰계수 기준표를 이용하는 방법은 먼저 도로의 기하구조, 설계 속도,도로 등급, 교통량 등을 고려하여 S 등급을 구하고, 미끄럼 사고 기록을 참고로 각 구간의 위험도를 구한 뒤 해당되는 최소 마찰계수를 읽으면 된다.

3) 위험도 결정시 객관적인 기준이 필요한 경우에는 교통사고 중 노면이 습윤한 상태에서 발생된 사고 건수에 따라 결정할 수도 있다. 참고로 표-11 는 노면 습윤시 사고 건수에 따른 잠정적인 위험도 결정 기준표를 제시한 것이다.

표-1.1 노면 습윤시 사고 건수를 고려한 위험도 결정 기준

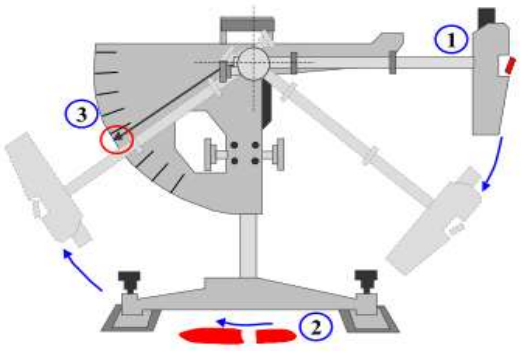
위험도	연간 교통사고 중 노면 습윤 시 발생된 사고 주건수)
1	1 건 이 하
2	2 ~ 3 건
3	4 건 이 상

주) 사고 건수는 동일 구간(100m 이내)에서 발생한 노면 습윤시 중상 및 사망사고 건수를 말한다.

2) 슬래브별 마찰계수 조사
각 슬래브에서 표면마모가 가장 심하게 발생하는 휠패스부에서 2개소 이상 마찰계수 실험을 실시한다. 실험은 BPT(British Pendulum Tester) 또는 PFT(Pavement Friction Tester)를 사용하는 것을 기본으로 한다.
최소 마찰계수 기준표의 BPN은 BPT 장비의 실험 결과값을 나타내며, SN은 PFT 장비의 실험 결과값을 나타낸다. BPT는 여러 마찰력 측정 장비 중 가장 사용이 간단하고 비용이 적게 드는 장비로서, 장비의 구조 및 사용

방법은 KS F 2375(노면의 미끄럼저항성 시험 방법)에 제시되어 있다.

※ 미끄럼 저항성 실험은 자동차 타이어와 도로면 사이의 마찰력은 도로포장에서 주행 안전성에 중요한 영향을 미치는 요소로 BPT 시험(KS F 2375)을 통해 미끄럼 저항성을 평가한다.



BPT 시험 모식도



시험전경

그림 2. BPT(British pendulum Tester) 시험

3) 미끄럼방지를 위한 보수 여부 판단

총 슬래브에서 조사된 실제 마찰계수의 30% 이상이 최소 마찰계수 기준표에 제시된 값보다 작을 경우 미끄럼저항 향상을 위한 보수를 수행한다.

2.2 균열

2.2.1 균열 발생원인 및 종류

슬래브의 균열은 콘크리트 인장응력이 슬래브의 인장강도에 다다를 경우 발생하게 되며 차량하중의 반복, 콘크리트의 수축팽창, 지반 지지력 저하, 줄눈에서의 하중 전달 불량 등으로 인하여 발생하게 된다. 프리캐스트 슬래브에 발생 가능한 균열의 종류는 다음과 같다.

1) 가로균열 2) 세로균열 3) 우각부 균열 4) D 균열

2.2.2 균열 형상 및 관리기준

1) 가로 균열

(1) 콘크리트 포장에 있어서 가로균열은 차량 진행 방향으로 슬래브 중심선에 거의 직각방향으로 발생하는 균열을 말하며 그림-3 과 같은 형태로 발생한다. (보통 슬래브 중앙부에 발생하여 인접면과 단차를 이루는 경우도 있다.)

(2) 가로 균열은 육안으로 균열의 발생을 확인하며, 균열자 등을 이용하여 균열의

폭을 측정한다. 균열 발생 시 균열지도를 주기적으로 작성하여 균열의 진전을 기록하도록 하고, 손상 수준은 다음과 같이 구분한다.

- 양호 : 균열 폭 < 3 mm, 스폴링 발생이 없는 상태
- 보통 : 3 mm < 균열 폭 < 6 mm 이거나, 스폴링 < 75 mm인 경우
- 심함 : 6 mm ≤ 균열 폭 이거나, 75 mm ≤ 스폴링이 발생된 경우



그림 3. 가로균열

2) 세로 균열

콘크리트 포장의 세로균열은 차량 진행 방향의 슬래브 중심선에 거의 평행하게 발생하는 균열을 말하며, 세로 균열의 손상 수준은 다음과 같이 구분한다.

- 양호 : 균열 폭 < 3 mm, 스폴링 발생이 없는 상태
- 보통 : 3 mm < 균열 폭 < 13 mm, 스폴링 < 75 mm
- 심함 : 13 mm ≤ 균열 폭, 75 ≤ 스폴링



그림 4. 세로균열

3) 우각부 균열

(1) 콘크리트 포장의 우각부 균열은 슬래브 세로줄눈과 가로줄눈의 교차부 및 줄눈과 길어깨 인접부에서 양쪽 또는 한방향으로 삼각형 형태로 45°각도를 이루며 발생하는 사선방향의 균열로 줄눈 콘크리트포장에서 가장 많이 발생하는 균열 중의 하나이다.

(2) 우각부 균열은 슬래브 두께 전체에 걸쳐 발생하고 만일 두께를 관통하지 않는 경우 우각부 스폴링으로 구분한다. 우각부 균열의 손상 수준은 다음과 같이 구분한다.

- 양호 : 우각부 균열 10% 이상에 스폴링 없는 경우
- 보통 : 우각부 균열 10% 이상에 경미한 스폴링이 있거나, 단차 < 13 mm
- 심함 : 우각부 균열 10% 이상에 심한 스폴링이 있거나, 13 mm ≤ 단차



그림 5. 우각부 균열

4) D 균열

콘크리트 포장의 D균열은 줄눈이나 균열에 평행하게 또는 줄눈과 줄눈이 서로 만나거나 균열이 만나는 모서리에서 변색과 많은 미세한 균열로 발생하며 슬래브 표면에 점진적으로 형성되어 종국에는 전 슬래브로 확대되는 균열이다. D균열의 손상 수준은 다음과 같이 구분한다.

- 양호 : 내구성 균열 발생 면적 < 3㎡
- 보통 : 3 ㎡ < 균열 발생 면적 < 10㎡, 골재 탈리가 없는 경우
- 심함 : 10 ㎡ ≤ 균열 발생 면적, 골재 탈리가 발생한 경우

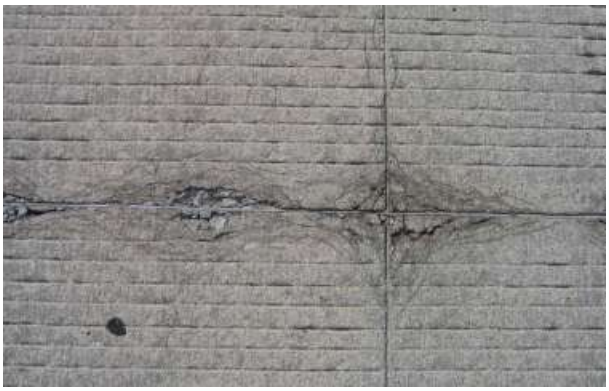


그림 6. D균열

2.2.3 균열 보수 방안형상 및 관리기준

1) 가로균열, 세로균열, 우각부 균열

- 전단면 보수
- 균열실링

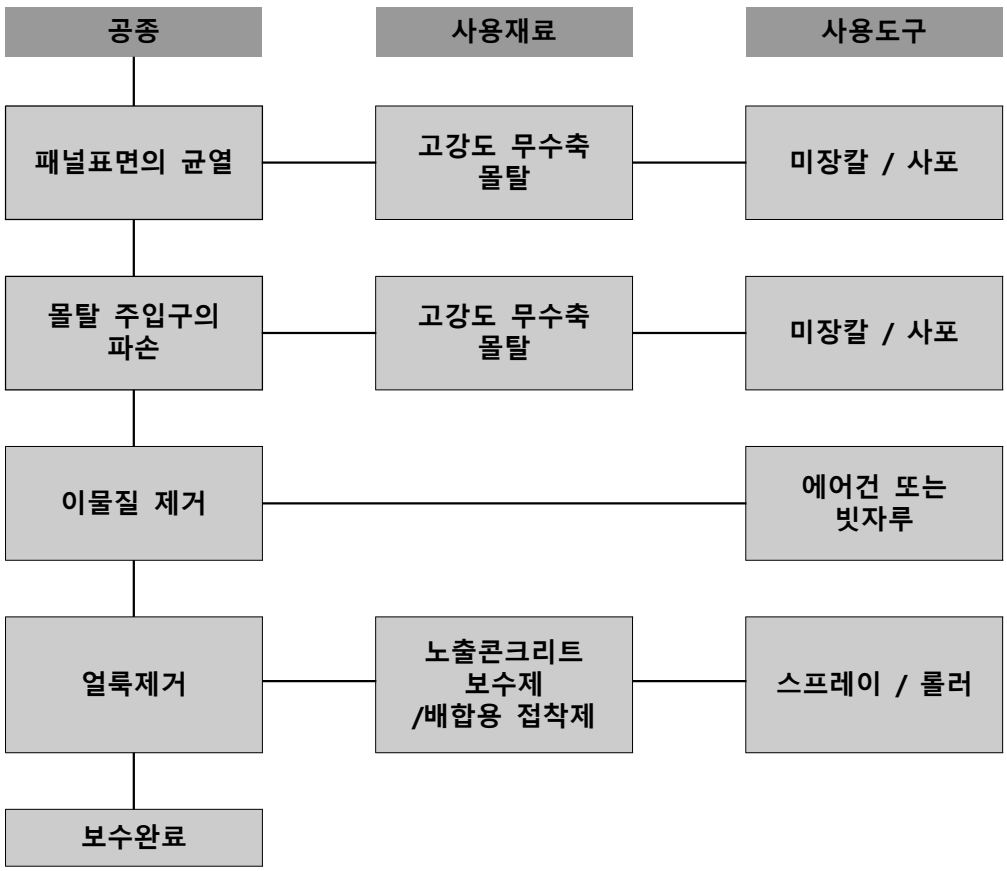
2) D 균열

- 전단면 보수
- 부분단면 보수

현장에 제품의 설치가 마무리 된 후 다음과 같은 방법으로 보수를 실시하며 상세 내용은 다음과 같다.

3) 보수 시공순서

-. 보수 부위는 다음과 같이 시공한다.



4) 시공방법

(1) 패널 표면의 균열

- 0.5mm 이상의 균열은 Epoxy 수지를 이용하여 보수한다.

- 기타 균열은 콘크리트 접착제 도포 후 고강도 몰탈로 Putting 보수한다

(2) 몰탈 주입구등의 파손

- 파손된 부위는 접착제 도포 후 고강도 몰탈로 Putting 보수한다.

(3) 패널 표면의 얼룩

- 균열 및 파손에 대한 1차 보수 완료 후 패널 표면의 양생시 발생한 얼룩에 대한 보수를 진행한다.

- 표면 오염물질 및 먼지등을 제거 한후 노출 콘크리트용 보수제(crm-1000)과 배합용 접착제(방수프로)를 일정 비율로 혼합한다.

- 배합된 보수제를 스프레이 또는 롤러를 이용하여 도보작업을 진행한다.

5)주의사항

1) 스프레이 및 롤러 작업 시 물은 과량으로 첨가하지 말아야한다.

2) 반드시 1차 균열 및 파손 보수 완료 후 전체 얼룩제거 공정에 들어간다.

3) 얼룩제거 공정시 항공등 부위등 매입물에 오염이 발생하지 않도록

6) 폭 1mm내외 미세균열

1) 구조적 기능에 영향이 없는 균열로 별도의 보수가 필요 없으나, 미관상 이유로 보수가 필요할 경우 <그림 7>과 같이 간편 균열 보수재(크랙스틱 등)로 보수한다.

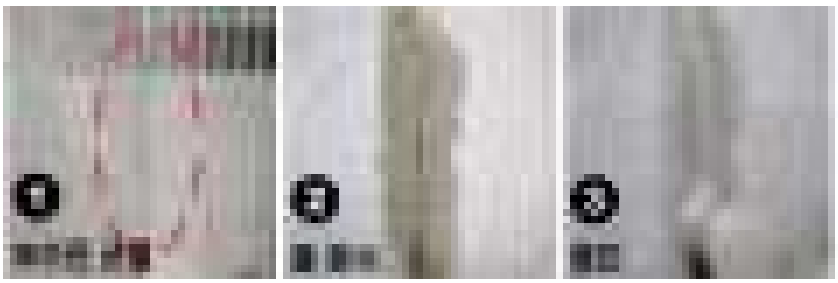


그림 7. 미세균열 보수(크랙스틱)

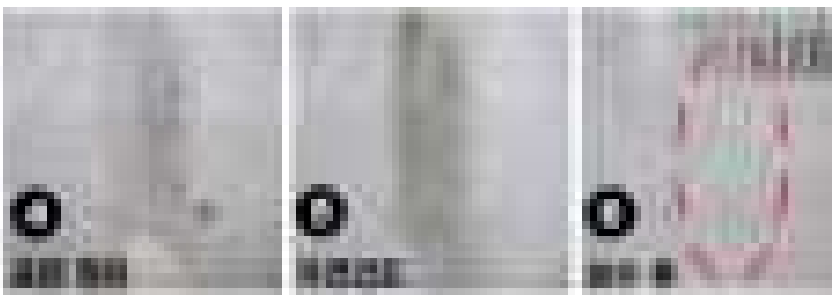


그림 7. 미세균열 보수(크랙스틱)

2.3 단차

2.3.1 단차 정의 및 기준

1) 프리캐스트 콘크리트 포장의 노면단차는 줄눈이나 균열에서 서로 인접하고 있는 슬래브 사이의 경계면 그리고 프리캐스트와 인접 포장과의 수직변위가 발생한 것을 말한다.
2) 단차는 중차량에 의한 펌핑(슬래브 하부의 물과 흙이 상부 하중에 의해 줄눈부 및 균열부에서 뿜어 올려지는 현상)으로 하부에 침식·침투 물질이 축적되어 발생한다.
3) 시공 원인에 의한 파손의 형태로 주로 하중전달의 부족으로 알려져 있으며, 확장공사 구간 및 하부 배수시설 등 다짐이 곤란한 지역에서 많이 발생한다.
4) 줄눈부에 인접한 슬래브간의 높이차는 현장타설 콘크리트는 2mm이하(한국도로공사, 2012)이며, 프리캐스트 패널의 경우 설치시 15mm까지 허용하나, 차량운영 및 유지관리를 고려하여 5mm이하로 한다(그라운딩 실시).

2.3.2 단차 측정 방안

1) 프리캐스트 슬래브 간의 단차 측정은 버니어켈리퍼스와 일정한 높이를 갖는 거치대를 이용하여 수행한다.

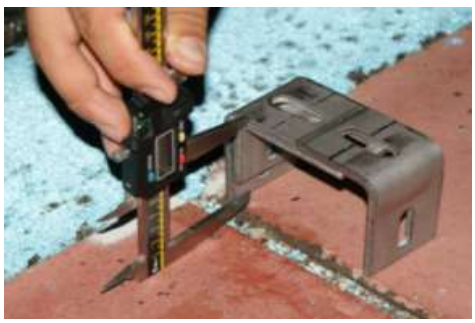


그림 8. 프리캐스트 슬래브 간의 단차 측정

2.3.3 단차 보수 방안

1) 다이아몬드 그라인딩 2) 시멘트 그라우트 언더실링 3) 슬래브 재킹

2.4 줄눈부 파손

2.4.1 줄눈부 파손 정의 및 유형

1) 줄눈폭 측정 목적

(1) 정거장 및 교차로 구간은 차량의 가감속으로 인하여 프리캐스트 슬래브

가 하부지반에 정확히 안착하지 못하고 차량 진행방향과 평행하게 밀림이 발생할 가능성이 있다.

(2) 슬래브의 밀림이 발생하여 줄눈 간격이 커지면 다웰바의 하중 전달율이 감소할 우려가 있고 승차감이 저하되기 때문에 프리캐스트 슬래브 간의 줄눈 폭을 측정한다.

2) 줄눈재 파손 및 줄눈손상 정의

(1) 프리캐스트 콘크리트 포장의 줄눈재 파손은 줄눈재료 등이 적절치 못한 이유로 여러 형태로 파손되어 줄눈 기능을 발휘하지 못하는 현상으로 정의된다<그림 9>.

(2) 콘크리트 슬래브의 균열발생을 방지하는 역할을 하는 줄눈 자체가 포장 손상의 원인이 되고 있기때문에 콘크리트 포장 시공시 줄눈재의 역할과 사용 재료의 기준에 대한 기술자의 정확한 이해가 필요하다.

(3) 줄눈손상은 비압축성 물질이나 물이 줄눈으로 침투가 가능한 상태를 말하며 줄눈재 벗겨짐 및 돌출, 잡초 성장, 채움재의 경화, 부착파손, 채움재 손실로 나타난다. 줄눈부의 손상에 의해 발생되는 포장의 파손은 다음과 같다.

◦ 줄눈부 수분침투

- 콘크리트 재료의 동결·융해에 따른 내구성 상실 ☞ 내구성 균열 발생

- 다웰바 부식 ☞ 콘크리트와 다웰바가 완전 부착 ☞ 하중전달효율 감소 ☞ 콘크리트 성능 저하

◦ 줄눈부 이물질 침투

- 기온 하강 ☞ 슬래브 수축 ☞ 줄눈 벌어짐 ☞ 이물질 침투

- 기온 상승 ☞ 슬래브 팽창 ☞ 줄눈 줄어듬 ☞ 이물질에 의한 파손 발생



그림 9. 줄눈재 파손



그림 10. 스폴링

3) 스폴링

(1) 줄눈 콘크리트 포장의 스폴링은 가로 방향 및 세로 방향 줄눈 단부에서

포장이 파손되는 현상을 말하며, 이로 인하여 줄눈재 파손, 평탄성 저하 등이 발생한다.

(2) 스폴링은 줄눈부 혹은 균열부 부근에서 포장 슬래브가 조각으로 쪼개지면서 파손되는 형태로 발생한다.

(3) 스폴링은 주로 줄눈부에서 발생되며, 줄눈의 시공 및 유지관리 부적절로 줄눈부에 이물질이 침투하여 비압축성 물질에 의해 슬래브의 팽창시 과도한 응력을 발생시키거나, 교통하중의 반복적인 재하로 인한 손상이 가속화 되어 발생하는 것이 일반적이다.

(4) 하중전달기구(Dowel Bar)의 부식 및 슬래브와의 거동이 일치하지 않는 약한 콘크리트에 응력이 집중되어 파손이 발생할 수 있다.

2.4.2 줄눈부 파손 측정

1) 프리캐스트 포장의 진출입부에서 아스팔트 포장과 프리캐스트 포장간의 간격 및 포장 간의 줄눈폭을 정밀 측정한다.
2) 줄눈폭 측정은 버니어켈리퍼스를 이용하여 측정하고 결과를 기록한다. 줄눈재의 손상 및 스폴링 파손은 육안으로 확인하여 보수여부를 판단한다.



(a) 버니어켈리퍼스, (b) 줄눈폭 측정

그림 11. 슬래브 줄눈 간격 측정

2.4.3 줄눈부 유지보수 시공

1) 줄눈부는 신축거동이 발생되며, 실런트 계열의 충진제를 사용하므로 5~7년 주기로 유지관리를 하여야 한다
2) 줄눈부 유지관리 시공은 조인트부 커팅, 기존 실링테이프(백업제) 제거, 모죽임, 표면청소, 이물질 제거, 백업제 삽입, 프라이머 도포, 실런트 주입 순으로 보수를 실시한다.

2.4.4 줄눈부 유지보수 시공사진

조인트부 커팅	기존 실링 테이프 제거
	
모죽임(헌치작업)	표면청소
	
홈 이물질 제거	백업제 작업
	
프라이머 도포	조인트 설치(회색 실런트 주입)
	

2.5 평탄성

2.5.1 평탄성 정의

평탄성은 자동차 주행시의 승차감, 안정성 및 포장 파손의 직접적인 영향인자로서 도로 이용자 입장에서 도로 상태를 평가하는 가장 중요한 사항이다. 이러한 포장의 평탄성은 포장 공용성 평가요소 중 가장 중요한 사항으로서 포장의 품질관리나 유지관리시에 중요하게 다루어져야 한다.

2.5.2 평탄성 측정 방안 및 관리기준

1) 충전재 주입 후 충전재가 충분히 경화한 후 표면의 평탄성을 측정하여야 한다.
2) 버스전용차로 정차대 구간 중 높이 변동이 발생되지 않는 가로등 및 신호등 기초를 기준점으로 <그림 12>와 같이 높이측량을 실시하며, <그림 13>과 같이 슬래브 시종점부 좌우 양단에서 측정한다. 높이 측량 후 결과를 기록한다.



그림 12. 높이 측량 예시

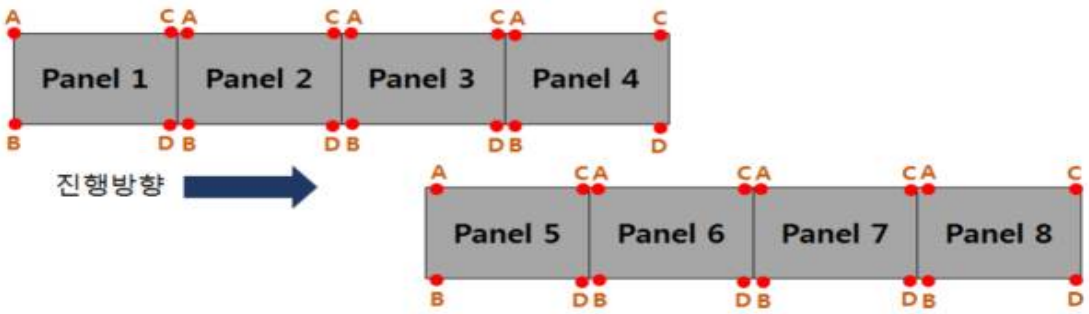


그림 13. 높이 측량 위치

2.5.3 평탄성 향상을 위한 보수 방안

(1) 다이아몬드 그라인딩
(2) 시멘트 그라우트 언더실링
(3) 슬래브 재킹

2.6 하중전달율

2.6.1 하중전달율 정의

1) 프리캐스트 패널의 충전재가 밀실하게 충전되지 않아 하부층에 간극이 발생하거나 줄눈부 다웰바 설치 위치에 충전이 제대로 이루어지지 않을 경우 차량 하중의 전달율이 떨어져 공용성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 이용하여 충격하중 재하시험을 수행하고 줄눈부의 하중전달율을 측정해야한다.
2) 충격하중 재하시험은 하중이 재하된 슬래브의 처짐량(줄눈에서 15cm, 재하판 중심부의 처짐량)과 하중이 재하되지 않은 슬래브의 처짐량(줄눈에서 15cm)을 측정하여 두 처짐량의 비율을 비교함으로써 줄눈에서의 하중전달율을 측정할 수 있는 시험방법이다.



그림 14. FWD 충격하중 재하시험

2.6.2 하중전달율 측정 및 관리기준

1) FWD를 이용하여 하중전달율(LTE: Load Transfer Efficiency)을 구하는 방법은 횡방향 줄눈부에 재하판(지름 30cm)을 위치하고, 반대편 슬래브에 위치한 첫 번째 센서(재하판 중심으로부터 약 30cm 이격)를 위치시킨다.
2) 하중을 재하시키고 재하판의 중심부의 처짐량과 줄눈 반대편 첫 번째 센서의 처짐량을 이용하여 아래 식과 같이 LTE를 산정한다.

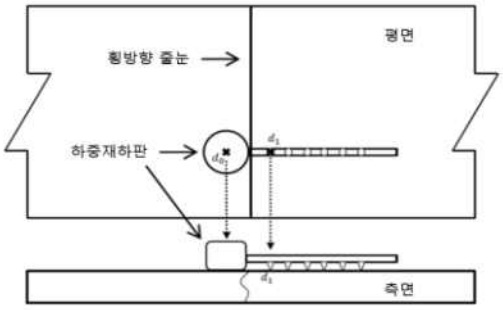


그림 15. FWD 시험 방법

$$LTE(\%) = \frac{d_1}{d_0} \times 100$$

여기서, d_0 = 재하판 중심부의 처짐량,

d_1 = 줄눈 반대편 첫 번째 센서의 처짐량

3) 줄눈부 하중전달율에 따른 보수기준은 다소 차이가 있을 수 있으나, 표-12 와 같이 70% 이하일 경우 보수를 하여 하중전달율을 향상시키도록 해야 한다.

표-12. 하중전달효율의 평가기준

LTE, percent(%)	Radius of Relative Stiffness, (λK)
	20in(50cm)
90 ~ 100	Acceptable
70 ~ 90	**Acceptable**
50 ~ 70	Fair
< 50	Poor

※ 출처 : FAA(미연방 항공청) AC 150/5370-11B, 줄눈형식에 따른 공항 콘크리트 포장 하중전달율 비교, 한국도로학회 논문집, 제 16권 3호

2.6.3 하중전달율 향상 방안

(1) 시멘트 그라우트 언더실링
(2) 부분단면 보수
(3) 하중전달 장치(다웰바) 재설치

2.7 발열모듈 및 전력케이블의 성능 저하

2.7.1 발열모듈 및 전력케이블의 성능 저하

1) 발열모듈은 전압 공급으로 인해 내부 온도가 급격하게 상승하면 균열이 발생할 수 있다. 급격한 온도 상승으로 인한 균열은 발열모듈의 성능을 저하시키므로 온도 상승량을 10분에 30 ℃ 이하로 설정하여야 한다.
2) 전극과 케이블 사이의 접촉 상태가 불량한 경우에는 전압 공급이 원활하게 이뤄지지 않는다. 따라서 전극과 케이블은 손상되지 않도록 모듈 내부에 완전히 매설되어야 하며, 케이블에 심한 외부 충격이 가해지지 않도록 주의해야 한다.
3) 발열 모듈은 빗물과 같은 수분이 내부로 침투할 시 누전이 발생할 수 있으므로, 균열과 같은 파손으로 인한 수분 침투 여부를 정기적으로 점검해야 한다.

2.7.2 발열모듈 및 전력케이블의 성능 측정 및 관리기준

1) 발열모듈은 전압 공급 시 온도가 30 ℃ 이상 상승할 시 정상적인 범주 안에 포함되는 것으로 판단할 수 있다. 온도 변화량은 열화상 카메라를 활용하여 측정 가능하며, 표면온도를 측정하여 확인한다.
2) 발열모듈의 온도는 전압 공급 시 10분 이내에 10 ℃ 이상의 상승량이 측정되어야 문제가 없는 것으로 판단할 수 있으며, 열화상 카메라를 활용하여 측정할 수 있다.



그림 2.7.2 열화상 카메라를 통한 촬영

3) 발열모듈은 주기적으로 발열성능을 검측할 필요가 있으며, 현저한 발열성능 저하가 확인된 경우에는 유지보수가 필요하다.

2.7.3 발열모듈 및 전력케이블의 보수 방안

1) 관리기준을 충족하지 못하는 발열모듈은 해당 부분을 제거한 후에 재시공해야 한다.
2) 발열모듈은 누전을 방지하기 위하여 물이 고여 있지 않도록 발열모듈이 삽입된 프리캐스트 콘크리트 표준시방서를 참고하여 제작하여야 한다.

2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-구조계산서-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

프리캐스트 패널 구조계산서 (1)

(시공중 프리캐스트 패널 양중시 단면 및 케이블 안전성 검토)

2021. 11

설 계 목 차

1. 프리캐스트 패널(6,000X1,600X250) 양중고리위치 검토

2. 프리캐스트 패널 양중시 단면력 산정

3. 프리캐스트 패널 양중시 단면안전성 검토

4. 높낮이 볼트(그라우팅 주입전) 지지안전성 검토

5. 프리캐스트 패널 양중케이블 안전성 검토

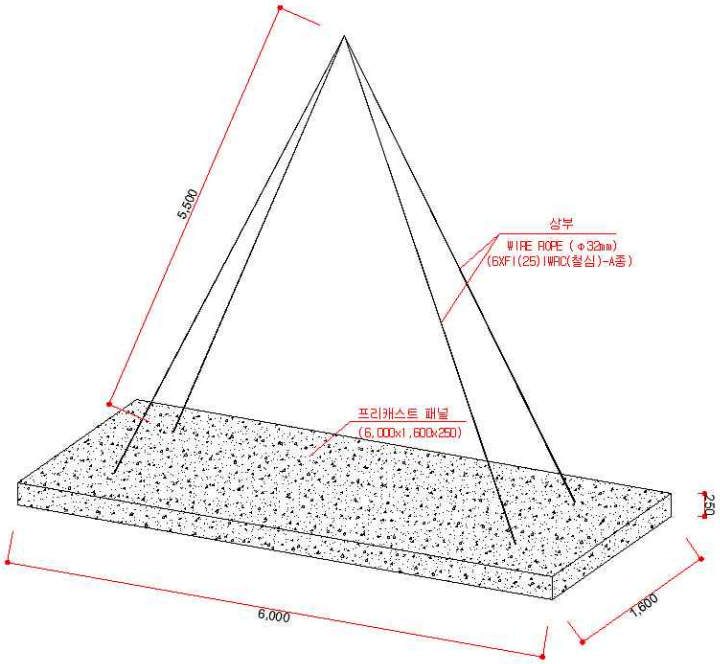
1. 프리캐스트 패널 (6,000X1,600X250) 양중고리위치 검토

1.1 목 적

- 프리캐스트 패널 양중시 하중분배가 균일하도록 양중고리 위치 산정

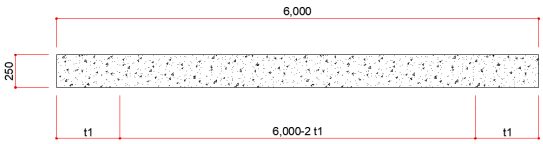
1.2 프리캐스트 패널 양중 개념도

① 양중(Lifting) 개념도



1.3 종방향 및 횡방향 양중프레임 설치위치 설정

① 종향향 거리 (t1)



$$\frac{Wt1^2}{2} = \frac{W(6-2t1)^2}{8} - \frac{Wt1^2}{2}$$

$$Wt1^2 = \frac{W(6-2t1)^2}{8}$$

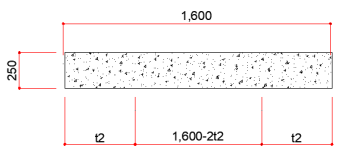
$$8t1^2 = 36 - 24t1 + 4t1^2$$

$$4t1^2 + 24t1 - 36 = 0$$

$t1$을 구하면

$$t1 = 1.24m = 1{,}240mm$$

② 횡향향 거리 (t2)



$$\frac{Wt2^2}{2} = \frac{W(1.6-2t2)^2}{8} - \frac{Wt2^2}{2}$$

$$Wt2^2 = \frac{W(1.6-2t2)^2}{8}$$

$$8t2^2 = 2.56 - 6.4t2 + 4t2^2$$

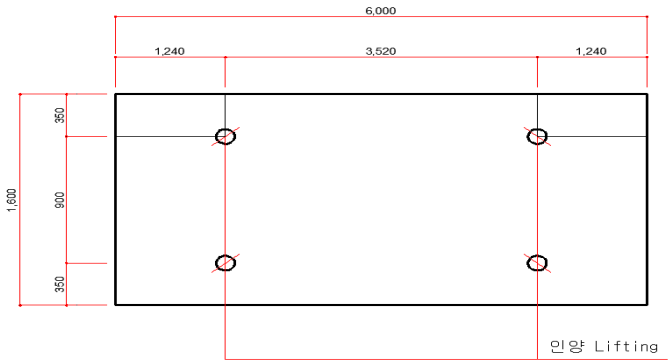
$$4t2^2 + 6.4t2 - 2.56 = 0$$

$t2$을 구하면

$$t2 = 0.331m = \text{약}\ 350mm$$

③ 설치위치 평면도2)

- **종방향 거리 (t1) : 1,240mm**
- **횡방향 거리 (t2) : 350mm**



2. 프리캐스트 패널 양중시 단면력 산정

2.1 목 적

- 프리캐스트 패널 양중시 작용하중에 따른 패널의 단면력 산정

2.2 설계하중 제원

① 하중제원

하중명	산출식
패널자중	- 1개당 패널하중 : 6.0m × 1.6m × 0.25m × 2.5 ton/m3 = 6.00 ton

② 모델링 하중적용

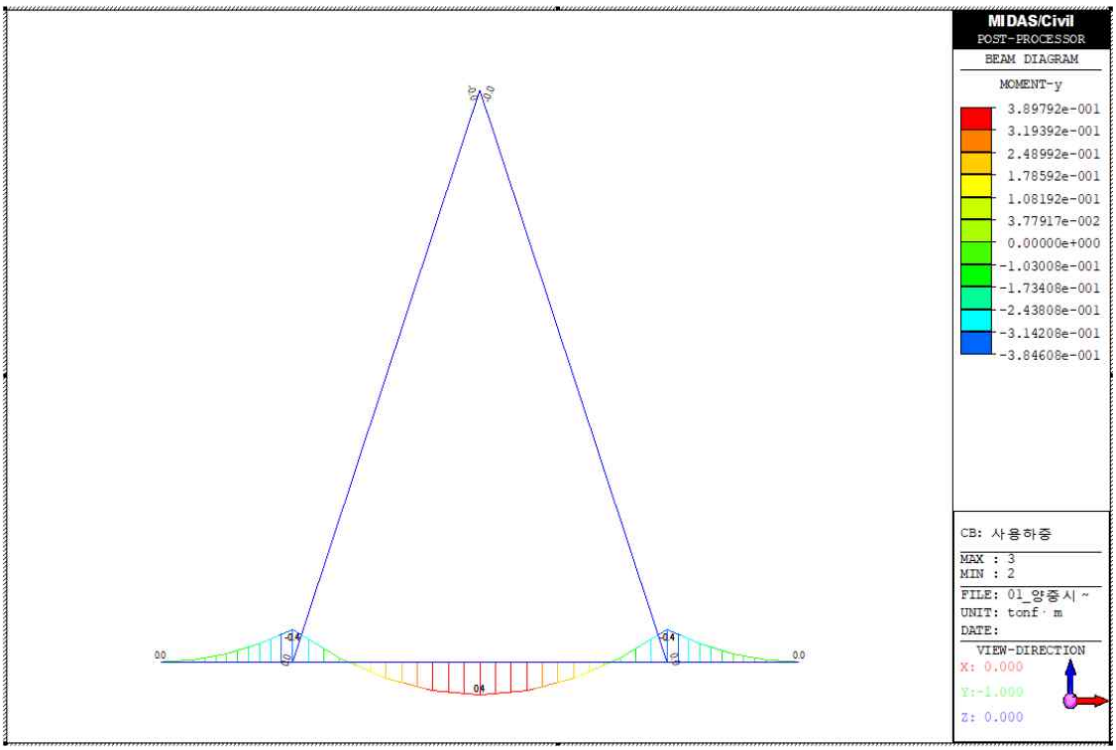
- MIDAS구조해석 프로그램을 이용하여 패널에 작용하는 단면력 산정
- 2차원 프레임 해석으로 종단상으로 전체 하중의 50%까지 받도록 하중적용

하중명	하중적용
패널자중	- 등분포 하중으로 치환하여 패널에 적용 **- 등분포치환자중 : (6.00ton / 6.0m) × 0.5 = 0.50 ton/m**

2.3 단면력 산정

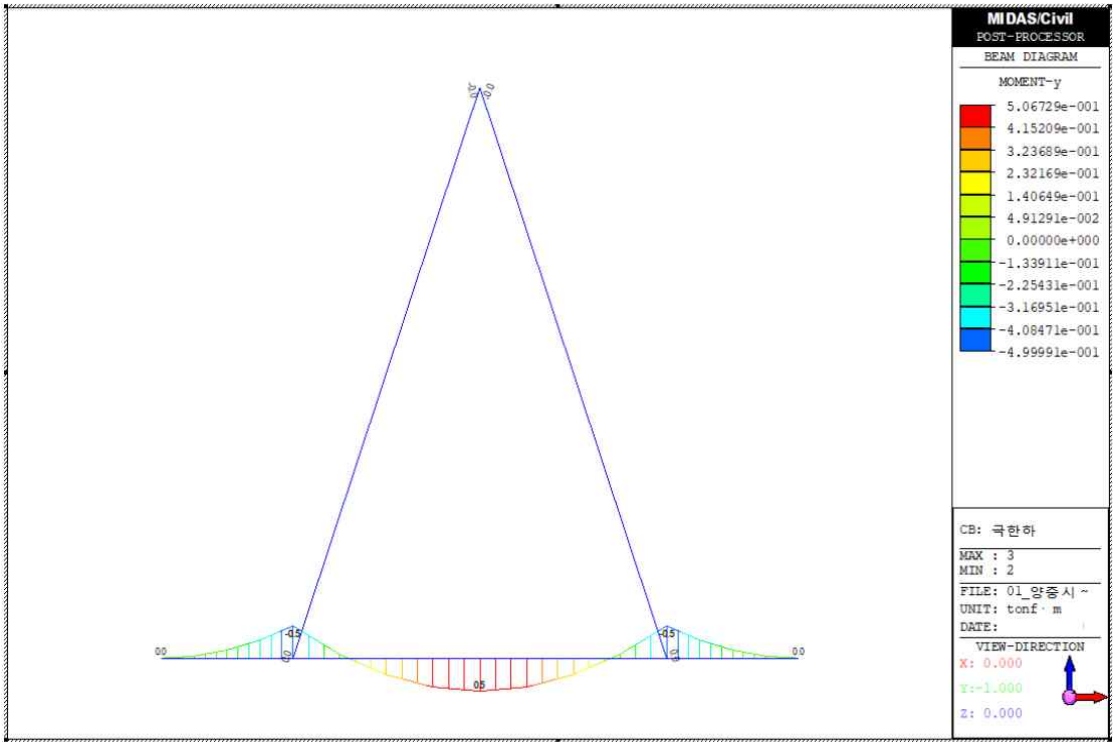
① 사용성검토

- **Mo max(+) = 0.39 ton·m**, Mo max(-) = -0.39 ton·m

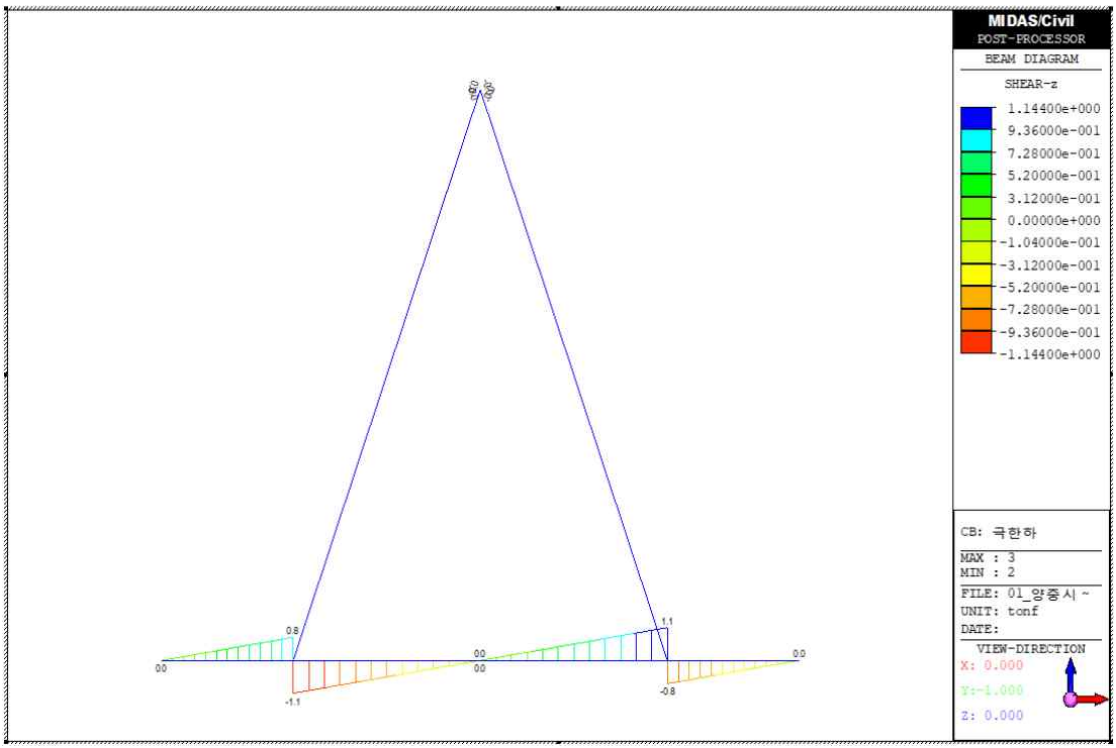


② 극한하중 검토

- **Mu max(+) = 0.51ton·m**, Mu max(-) = -0.50ton·m



- **Vu max = 1.14ton**



③ 단면력 집계

단면력	사용하중	극한하중
모멘트	0.39 ton · m,	0.51 ton · m
전단력	-	1.14 ton

3. 프리캐스트 패널 양중시 단면안전성 검토

3.1 검토목적

- 증기양생된 프리캐스트 패널 양중시 완전한 강도가 발현되지 않는 상태의 패널 안전성 검토

3.2 단면력 검토

① 설계제원

폭(B) (mm)	높이 (mm)	철근간격 (mm)	피복두께(상부) (mm)	피복두께(하부) (mm)
1,600	250	150 (H16)	80	50
계수모멘트 (KN·m)	**계수전단력 (KN)**	**사용모멘트 (KN·m)**	**Fy (MPa)**	**Fck (MPa)**
5.1	1.14	7.8	400	24

※ 단면안전성 검토시 적용된 프리캐스트 패널의 설계기준강도는 8시간 증기양생후, 탈형시 예상되는 강도로서 $40MPa \times 60\% = 24MPa$의 값을 적용

② 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 24.0 MPa fy = 400.0 MPa

β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.80

ρmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350

계수 모멘트 Mu = 5.100 KN·m 계수 전단력 Vu = 11.400 KN

단면의 두께 H = 250.000 mm 단 면 폭 B = 1600.000 mm

유 효 깊 이 D = 200.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

-. 휨강도 검토

사용철근량 As.use = H16 @ 150.00 mm (Dc = 50.00 mm)

= 2118.400 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00662

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 25.961 mm

최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01665 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 134,702,000 N·mm

= 134.702 KN·m ≥ Mu = 5.100 KN·m ..... ∴ O.K (S.F = 26.412)

-. 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 0.921 mm로 가정

As = Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)} = 75.173 ㎟

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 0.921 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

ρreq = [Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00023 ⇒ 4/3 ρreq = 0.00031

∴ 필요철근량 As.req = ρreq × (B·D) = 75.173 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : ρmin ≤ ρ ..... ∴ O.K

▷ 전단력 검토

Øv·Vc = Øv·1/6·√fck·B·d / 1000 = 209.023 KN

Øv·Vc = 209.023 KN > Vu = 11.400 KN ..... ∴전단철근 필요없음.

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 3.900 KN·m (사용하중 모멘트)

n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7

ρ = As/(B·D) = 0.00662

k = -nρ+ √((nρ)²+ 2nρ) = 0.262 (j = 0.913)

x = k·d = 52.320 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 0.051 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 10.084 MPa

fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 10.084 MPa

최외단철근 소요중심간격

s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 6247.26 mm

...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 42.00 mm

최외단철근 평균배근간격 = 150.00 mm ≤ 6247.26 mm ..... ∴ O.K

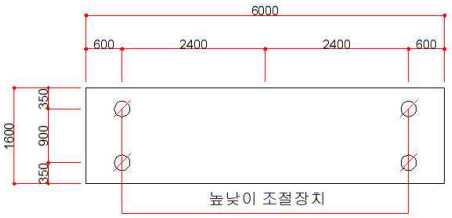
4. 높낮이 볼트(그라우팅 주입전) 지지안전성 검토

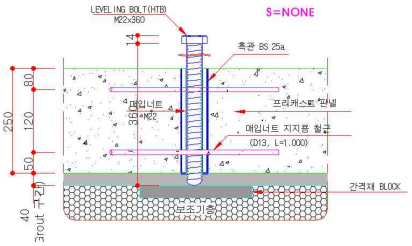
4.1 검토목적

- 프리캐스트 패널 포장 지반면 위에 거치시 (그라우팅 주입전) 높이조절장치(4POINT)가 단순지지 할 때, 프리캐스트 패널 단면안전성 검토

4.2 설계제원

① 높낮이 볼트 위치 (시공시 높이조절 시공성을 고려)





② 설계하중

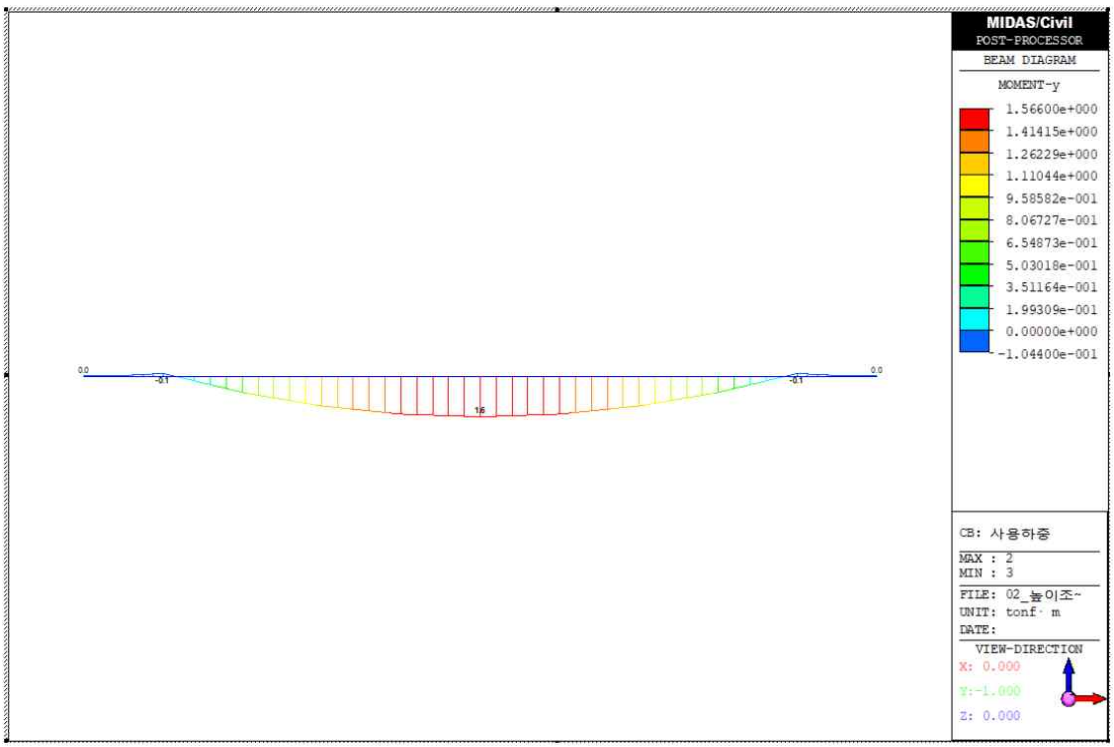
- MIDAS구조해석 프로그램을 이용하여 패널에 작용하는 단면력 산정
- 2차원 프레임 해석으로 종단상으로 전체 하중의 50%까지 받도록 하중적용

하중명	하중적용
패널자중	- 등분포 하중으로 치환하여 패널에 적용 **- 등분포치환하중 : (6.00ton / 6.0m) × 0.5 = 0.5 ton/m**
작업하중 (보도하중)	- 등분포 하중으로 치환하여 패널에 적용 **- 작업하중 : 0.16 ton/m(단위길이:1,600) × 0.5 = 0.08 ton/m**

4.3 단면력 산정

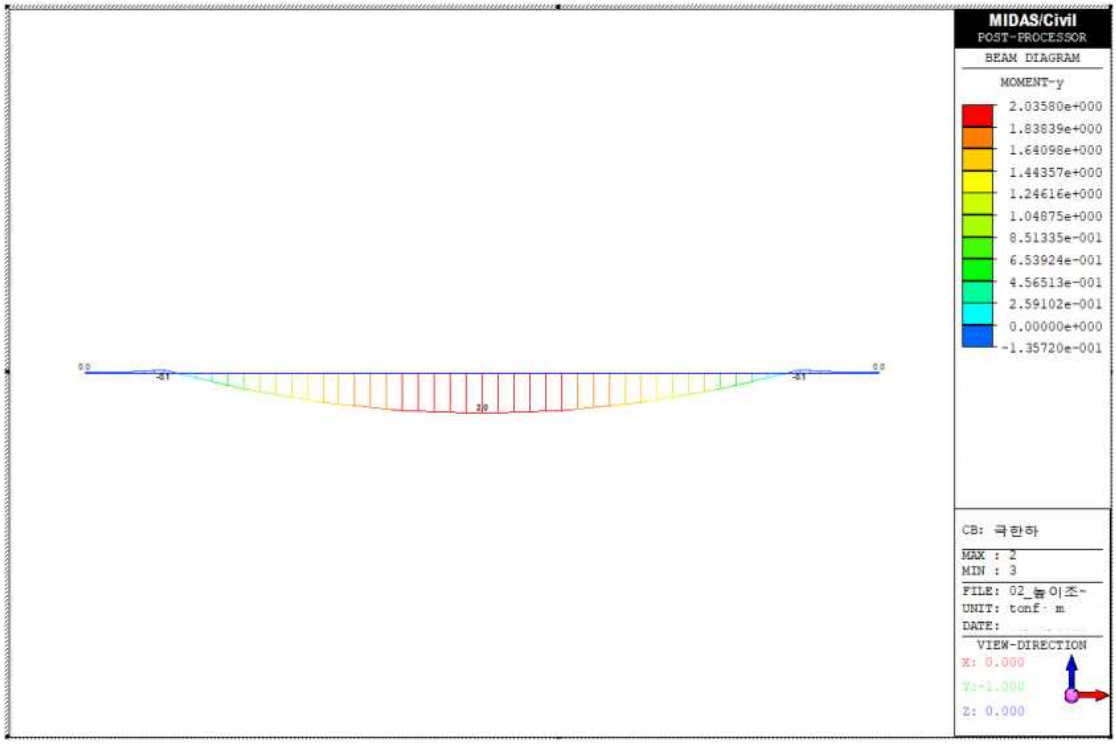
① 모멘트 (사용하중)

- **Mu max(+) = 1.56 ton·m**, Mu max(-) = -0.10 ton·m



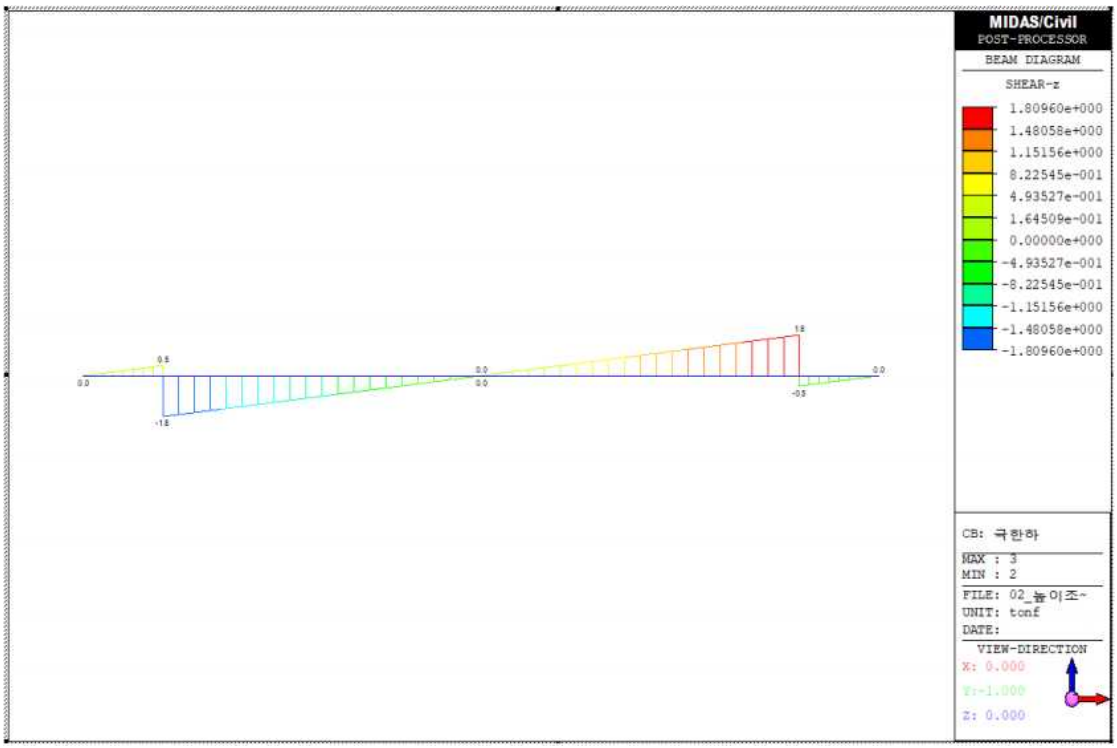
② 모멘트 (극한하중)

- **Mu max(+) = 2.03 ton·m**, Mu max(-) = -0.14ton·m



③ 전단력 (극한하중)

- **Vu max(+) = 1.80ton**



④ 단면력 집계

단면력	사용하중	극한하중
모멘트	1.56 ton・m,	2.03 ton・m
전단력	-	1.80 ton

4.4 프리캐스트 패널 단면력 검토

① 설계제원

폭(B) (mm)	높이 (mm)	철근간격 (mm)	피복두께(상부) (mm)	피복두께(하부) (mm)
1,600	250	150 (H16)	80	50
계수모멘트 (KN·m)	**계수전단력 (KN)**	**사용모멘트 (KN·m)**	**Fy (MPa)**	**Fck (MPa)**
20.3	18.0	15.6	400	40

※ 프리캐스트 패널 거치시 증기양생후 15일간 양생시켜 거치하기 때문에 균열안전성 검토시 패널의 설계기준강도는 $40MPa$로 적용

② 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 40.0 MPa fy = 400.0 MPa

β1 = 0.766 Øf = 0.85 Øv = 0.80

ρmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00370

계수 모멘트 Mu = 20.300 KN·m 계수 전단력 Vu = 18.000 KN

단면의 두께 H = 250.000 mm 단 면 폭 B = 1600.000 mm

유 효 깊 이 D = 200.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

-. 휨강도 검토

사용철근량 As.use = H16 @ 150.00 mm (Dc = 50.00 mm)

= 2118.400 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00662

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 15.576 mm

최외단 인장철근 변형률 εt = 0.02651 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 138,441,700 N·mm

= 138.442 KN·m ≥ Mu = 20.300 KN·m ..... ∴ O.K (S.F = 6.820)

-. 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 2.207 mm로 가정

As = Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)} = 300.186 ㎟

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 2.207 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

ρreq = [Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00094 ⇒ 4/3 ρreq = 0.00125

∴ 필요철근량 As.req = ρreq × (B·D) = 300.186 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : ρmin ≤ ρ ..... ∴ O.K

▷ 전단력 검토

Øv·Vc = Øv·1/6·√fck·B·d / 1000 = 269.848 KN

Øv·Vc = 269.848 KN > Vu = 18.000 KN ..... ∴전단철근 필요없음.

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 15.600 KN·m (사용하중 모멘트)

n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 6

ρ = As/(B·D) = 0.00662

k = -nρ+ √((nρ)²+ 2nρ) = 0.245 (j = 0.918)

x = k·d = 48.983 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 2.167 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 40.093 MPa

fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 40.093 MPa

최외단철근 소요중심간격

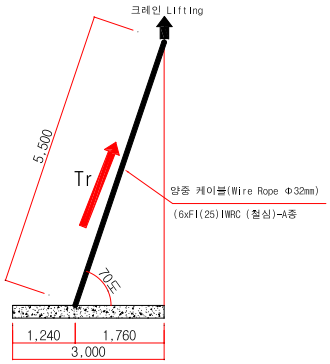
s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 1571.33 mm

...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 42.00 mm

최외단철근 평균배근간격 = 150.00 mm ≤ 1571.33 mm ..... ∴ O.K

5. 프리캐스트 패널 양중케이블 안전성 검토

① 케이블(4개)에 걸리는 패널 자중 : 12.75ton

하중명	계산식	양중로프
패널자중	 - 1개당 패널하중 6.0m × 1.6m × 0.25m × 2.5 ton/m3 = 6.00 ton	

프리캐스트 패널 구조계산서 [1]

[시공중 프리캐스트 패널 양중시 단면 및 케이블 안전성 검토]

2021. 11

설 계 목 차

1. 프리캐스트 패널(6,000X3,200X250) 양중고리위치 검토

2. 프리캐스트 패널 양중시 단면력 산정

3. 프리캐스트 패널 양중시 단면안전성 검토

4. 높낮이 볼트(그라우팅 주입전) 지지안전성 검토

5. 프리캐스트 패널 양중케이블 안전성 검토

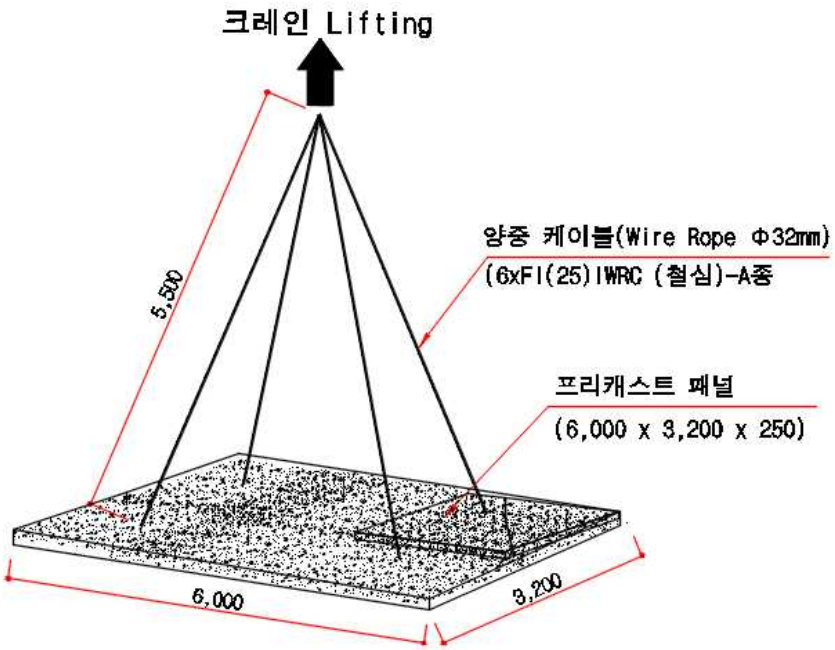
1. 프리캐스트 패널 (6,000X3,200X250) 양중고리위치 검토

1.1 목 적

- 프리캐스트 패널 양중시 하중분배가 균일하도록 양중고리 위치 산정

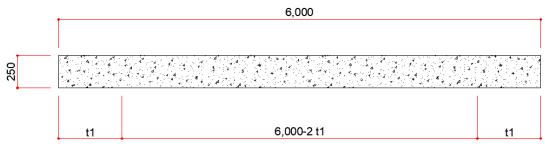
1.2 프리캐스트 패널 양중 개념도

① 양중(Lifting) 개념도



1.3 종방향 및 횡방향 양중프레임 설치위치 설정

① 종향향 거리 (t1)



$$\frac{Wt1^2}{2} = \frac{W(6-2t1)^2}{8} - \frac{Wt1^2}{2}$$

$$Wt1^2 = \frac{W(6-2t1)^2}{8}$$

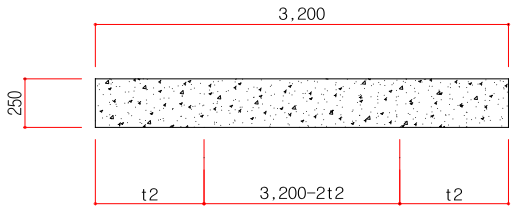
$$8t1^2 = 36 - 24t1 + 4t1^2$$

$$4t1^2 + 24t1 - 36 = 0$$

$t1$을 구하면

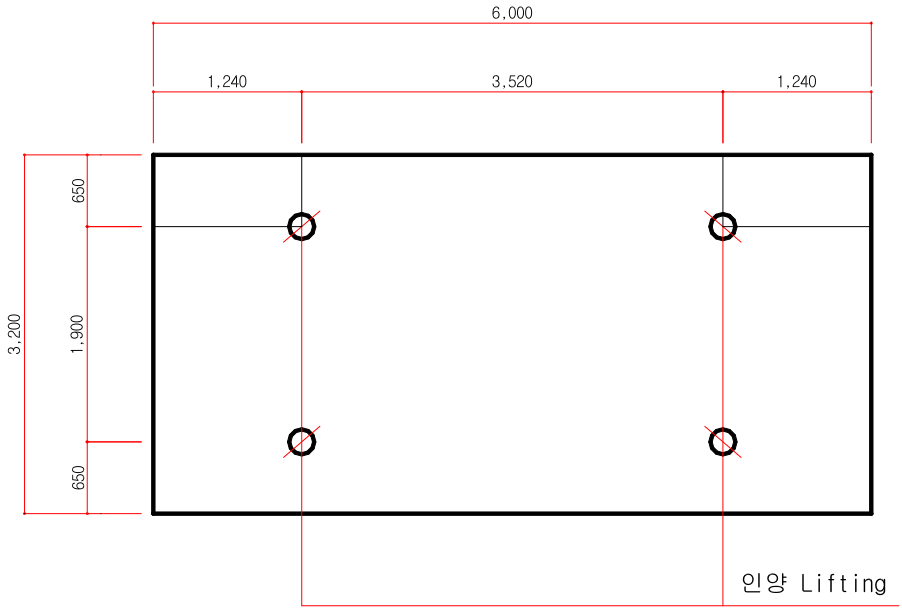
$$t1 = 1.24m = 1{,}240mm$$

② 횡향향 거리 (t2)



③ 설치위치 평면도2)

- **종방향 거리 (t1) : 1,240mm**
- **횡방향 거리 (t2) : 650mm**



2. 프리캐스트 패널 양중시 단면력 산정

2.1 목 적

- 프리캐스트 패널 양중시 작용하중에 따른 패널의 단면력 산정

2.2 설계하중 제원

① 하중제원

하중명	산출식
패널자중	- 1개당 패널하중 : 6.0m × 3.2m × 0.25m × 2.5 ton/m3 = 12.00 ton

② 모델링 하중적용

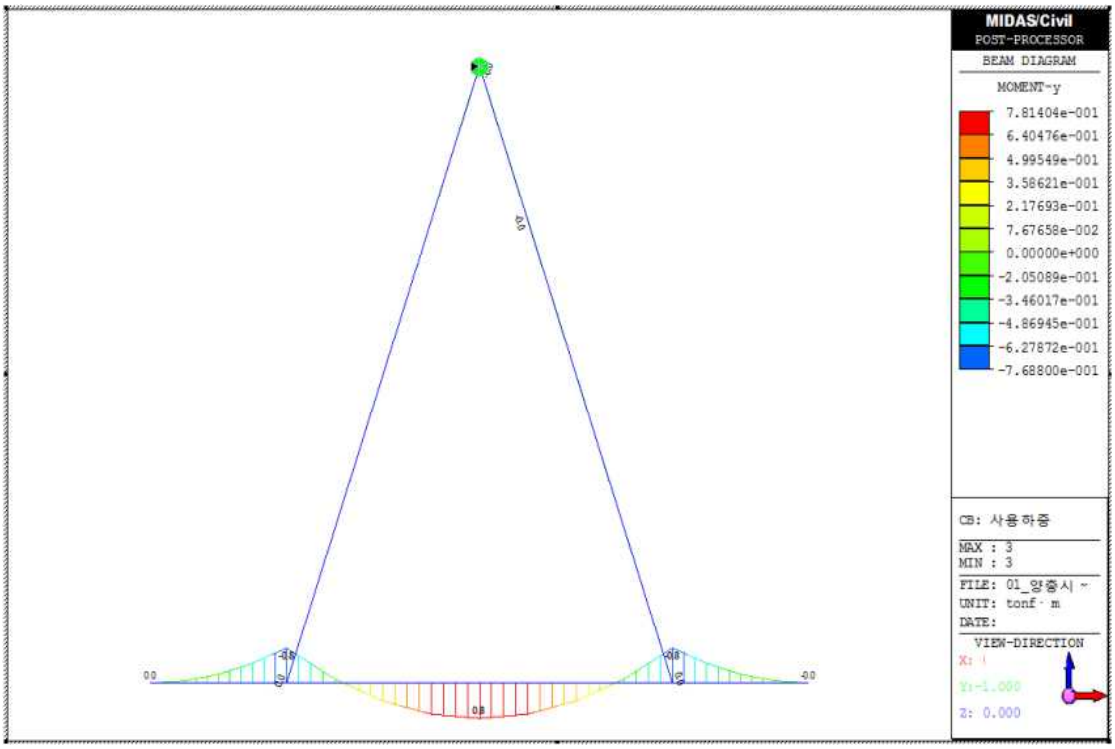
- MIDAS구조해석 프로그램을 이용하여 패널에 작용하는 단면력 산정
- 2차원 프레임 해석으로 종단상으로 전체 하중의 50%까지 받도록 하중적용

하중명	하중적용
패널자중	- 등분포 하중으로 치환하여 패널에 적용 **- 등분포치환자중 : (12.00ton / 6.0m) × 0.5 = 1.00 ton/m**

2.3 단면력 산정

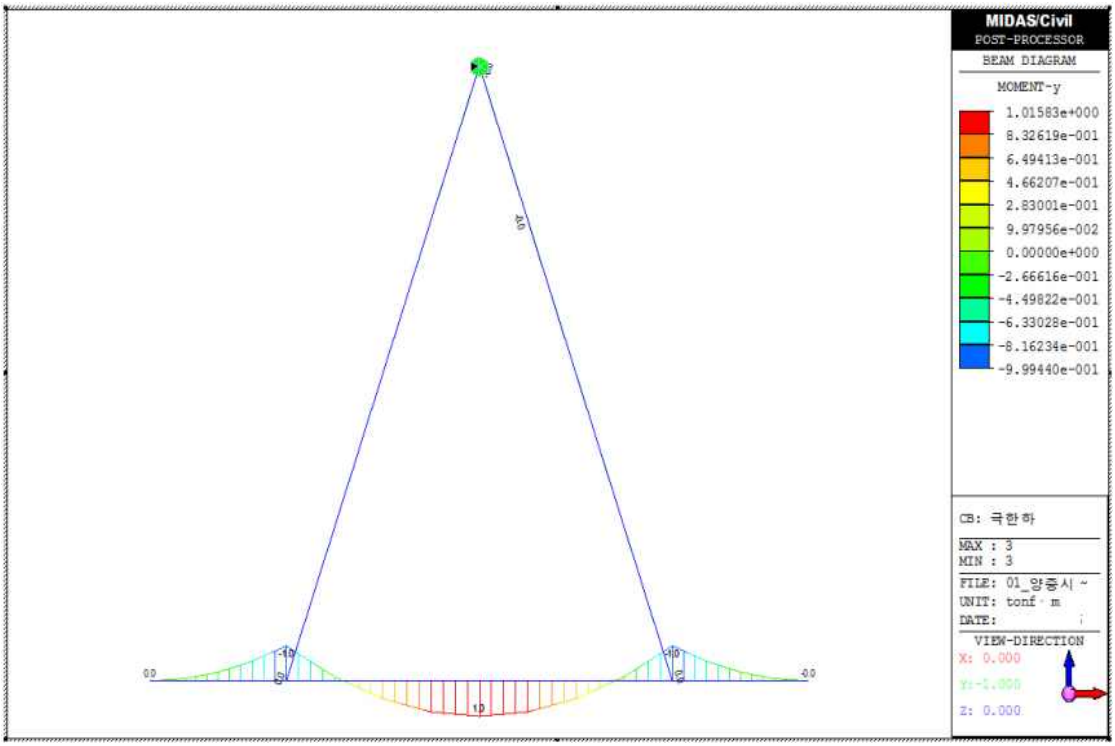
① 사용성검토

- **Mo max(+) = 0.78 ton·m**, Mo max(-) = -0.77 ton·m

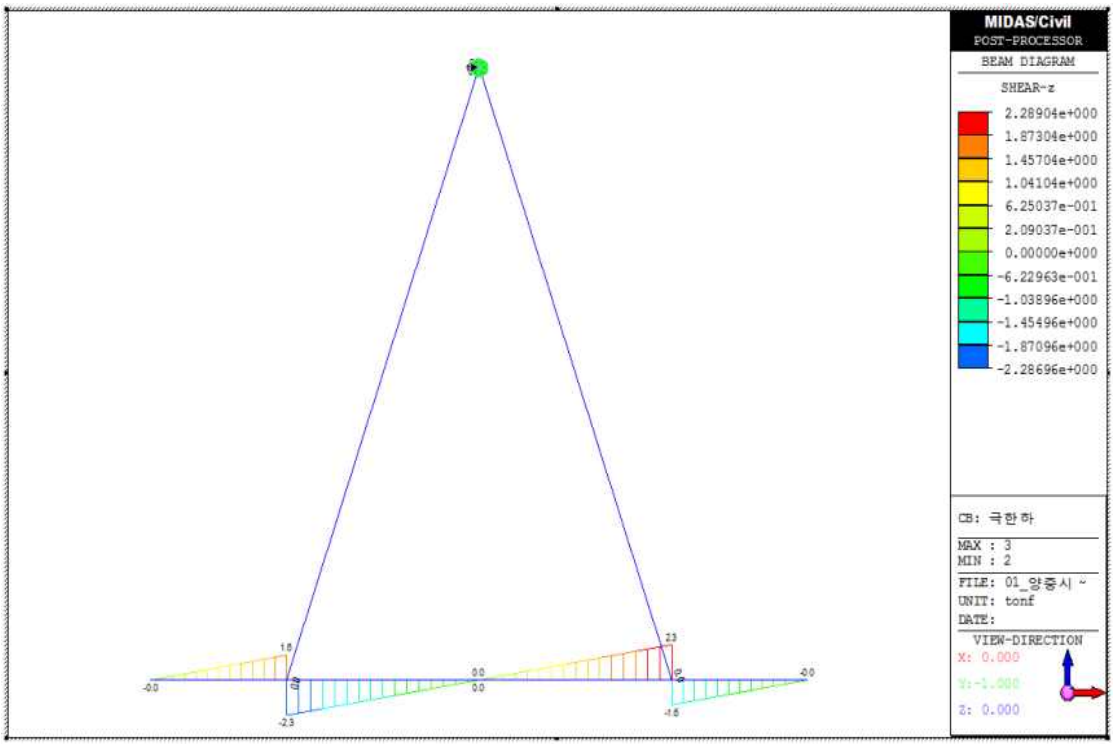


② 극한강도 검토

- **Mu max(+) = 1.02ton·m**, Mu max(-) = -1.00ton·m



- **Vu max = 2.29ton**



③ 단면력 집계

단면력	사용하중	극한하중
모멘트	0.78 ton・m,	1.02 ton・m
전단력	-	2.29 ton

3. 프리캐스트 패널 양중시 단면안전성 검토

3.1 검토목적

- 증기양생된 프리캐스트 패널 양중시 완전한 강도가 발현되지 않는 상태의 패널 안전성 검토

3.2 단면력 검토

① 설계제원

폭(B) (mm)	높이 (mm)	철근간격 (mm)	피복두께(상부) (mm)	피복두께(하부) (mm)
3200	250	150 (H16)	80	50
계수모멘트 (KN·m)	**계수전단력 (KN)**	**사용모멘트 (KN·m)**	**Fy (MPa)**	**Fck (MPa)**
10.2	22.9	7.8	400	24

※ 단면안전성 검토시 적용된 프리캐스트 패널의 설계기준강도는 8시간 증기양생후, 탈형시 예상되는 강도로서 $40MPa \times 60\% = 24MPa$의 값을 적용

② 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 24.0 MPa fy = 400.0 MPa

β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.80

ρmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350

계수 모멘트 Mu = 10.200 KN·m 계수 전단력 Vu = 22.900 KN

단면의 두께 H = 250.000 mm 단 면 폭 B = 1600.000 mm

유 효 깊 이 D = 200.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

-. 휨강도 검토

사용철근량 As.use = H16 @ 150.00 mm (Dc = 50.00 mm)

= 2118.400 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00662

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 25.961 mm

최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01665 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 269,404,000 N·mm

= 269.404 KN·m ≥ Mu = 10.200 KN·m ..... ∴ O.K (S.F = 26.412)

-. 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 0.921 mm로 가정

As = Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)} = 150.346 ㎟

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 0.921 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

ρreq = [Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00023 ⇒ 4/3 ρreq = 0.00031

∴ 필요철근량 As.req = ρreq × (B·D) = 150.346 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : ρmin ≤ ρ ..... ∴ O.K

▷ 전단력 검토

Øv·Vc = Øv·1/6·√fck·B·d / 1000 = 418.046 KN

Øv·Vc = 418.046 KN > Vu = 22.900 KN ..... ∴전단철근 필요없음.

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 7.800 KN·m (사용하중 모멘트)

n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7

ρ = As/(B·D) = 0.00662

k = -nρ+ √((nρ)²+ 2nρ) = 0.262 (j = 0.913)

x = k·d = 52.320 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 0.510 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 10.084 MPa

fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 10.084 MPa

최외단철근 소요중심간격

s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 6247.26 mm

...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 42.00 mm

최외단철근 평균배근간격 = 150.00 mm ≤ 6247.26 mm ..... ∴ O.K

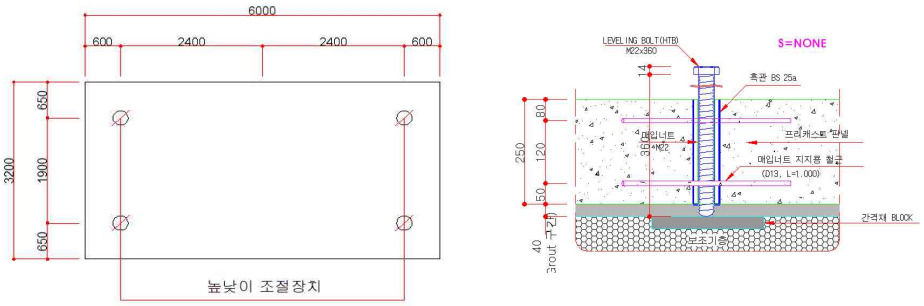
4. 높낮이 볼트(그라우팅 주입전) 지지안전성 검토

4.1 검토목적

- 프리캐스트 패널 포장 지반면 위에 거치시 (그라우팅 주입전) 높이조절장치(4POINT)가 단순지지 할 때, 프리캐스트 패널 단면안전성 검토

4.2 설계제원

① 높낮이 볼트 위치 (시공시 높이조절 시공성을 고려)



② 설계하중

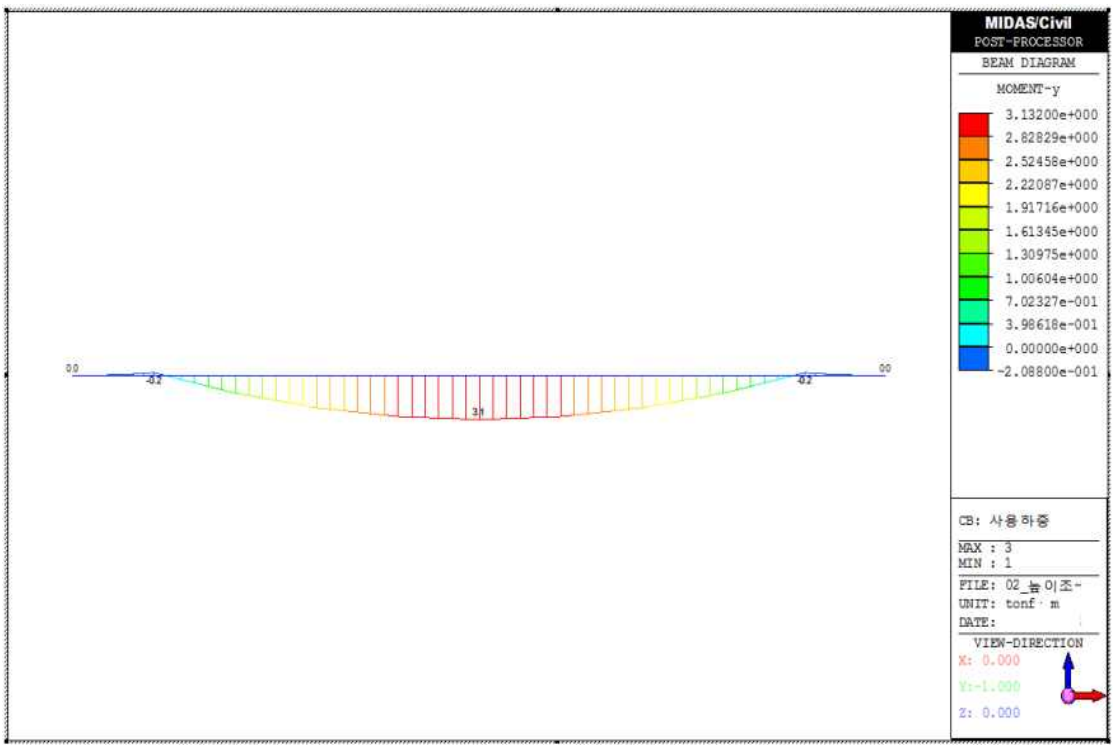
- MIDAS구조해석 프로그램을 이용하여 패널에 작용하는 단면력 산정
- 2차원 프레임 해석으로 종단상으로 전체 하중의 50%까지 받도록 하중적용

하중명	하중적용
패널자중	- 등분포 하중으로 치환하여 패널에 적용 **- 등분포치환하중 : (12.00ton / 6.0m) × 0.5 = 1.00 ton/m**
작업하중 (보도하중)	- 등분포 하중으로 치환하여 패널에 적용 **- 작업하중 : 0.32 ton/m(단위길이:3,200) × 0.5 = 0.16 ton/m**

4.3 단면력 산정

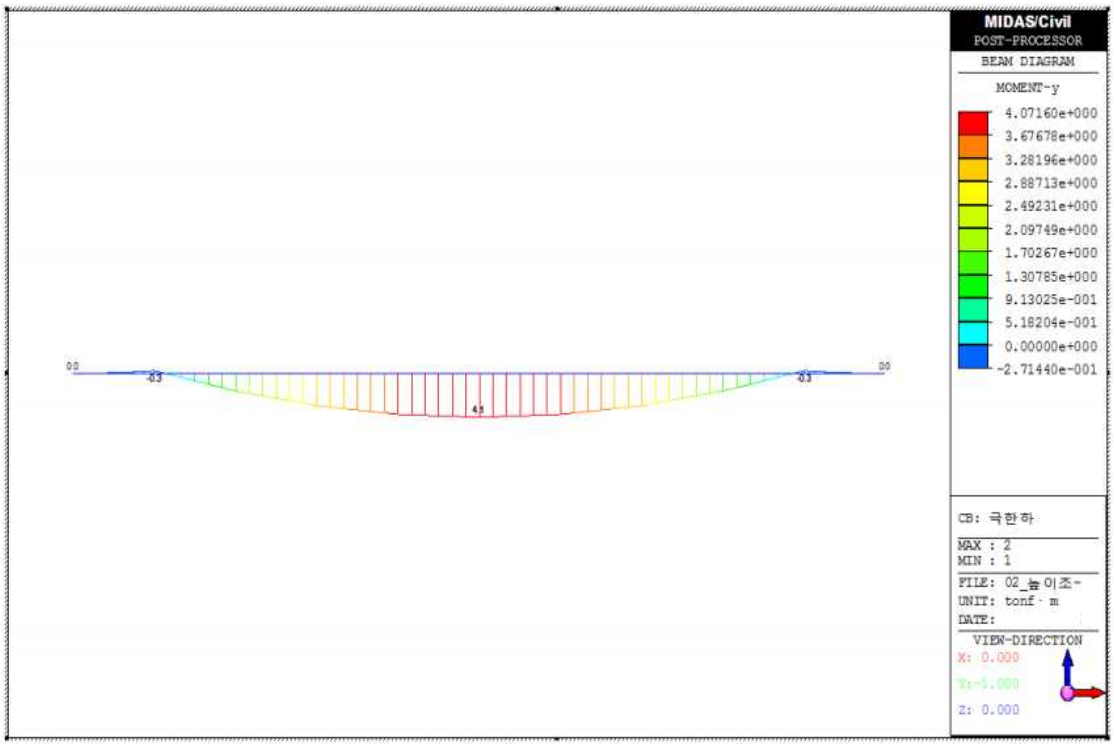
① 모멘트 (사용하중)

- **Mu max(+) = 3.13 ton·m**, Mu max(-) = -0.21 ton·m



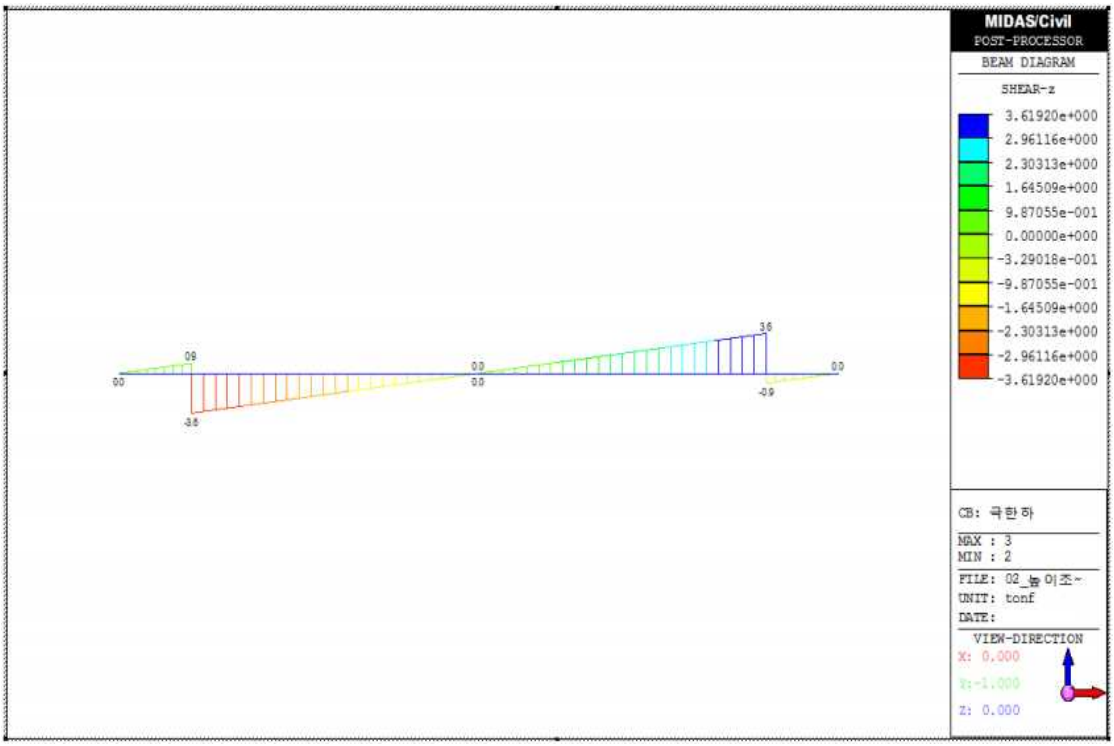
② 모멘트 (극한하중)

- **Mu max(+) = 4.07 ton·m**, Mu max(-) = -0.27ton·m



③ 전단력 (극한하중)

- **Vu max(+) = 3.62ton**



④ 단면력 집계

단면력	사용하중	극한하중
모멘트	3.13 ton・m,	4.07 ton・m
전단력	-	3.62 ton

4.4 프리캐스트 패널 단면력 검토

① 설계제원

폭(B) (mm)	높이 (mm)	철근간격 (mm)	피복두께(상부) (mm)	피복두께(하부) (mm)
3,200	250	150 (H16)	80	50
계수모멘트 (KN·m)	**계수전단력 (KN)**	**사용모멘트 (KN·m)**	**Fy (MPa)**	**Fck (MPa)**
40.7	36.2	31.3	400	40

※ 프리캐스트 패널 거치시 증기양생후 15일간 양생시켜 거치하기 때문에 균열안전성 검토시 패널의 설계기준강도는 $40MPa$로 적용

② 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 40.0 MPa fy = 400.0 MPa

β1 = 0.766 Øf = 0.85 Øv = 0.80

ρmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00395

계수 모멘트 Mu = 40.700 KN·m 계수 전단력 Vu = 36.200 KN

단면의 두께 H = 250.000 mm 단 면 폭 B = 1600.000 mm

유 효 깊 이 D = 200.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

-. 휨강도 검토

사용철근량 As.use = H16 @ 150.00 mm (Dc = 50.00 mm)

= 2118.400 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00662

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 15.576 mm

최외단 인장철근 변형률 εt = 0.02651 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 276,883,300 N·mm

= 276.883 KN·m ≥ Mu = 40.700 KN·m ..... ∴ O.K (S.F = 6.803)

-. 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 2.213 mm로 가정

As = Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)} = 601.859 ㎟

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 2.213 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

ρreq = [Mu /{ Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00094 ⇒ 4/3 ρreq = 0.00125

∴ 필요철근량 As.req = ρreq × (B·D) = 601.859 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : ρmin ≤ ρ ..... ∴ O.K

▷ 전단력 검토

Øv·Vc = Øv·1/6·√fck·B·d / 1000 = 539.695 KN

Øv·Vc = 539.695 KN > Vu = 36.200 KN ..... ∴전단철근 필요없음.

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 31.300 KN·m (사용하중 모멘트)

n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 6

ρ = As/(B·D) = 0.00662

k = -nρ+ √((nρ)²+ 2nρ) = 0.245 (j = 0.918)

x = k·d = 48.983 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 2.174 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 40.222 MPa

fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 40.222 MPa

최외단철근 소요중심간격

s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 1566.31 mm

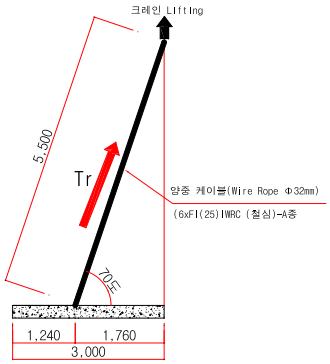
...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 42.00 mm

최외단철근 평균배근간격 = 150.00 mm ≤ 1566.31 mm ..... ∴ O.K

5. 프리캐스트 패널 양중케이블 안전성 검토

① 케이블(4개)에 걸리는 패널 자중 : 12.75ton

하중명	계산식	양중로프
패널자중	- 1개당 패널하중 6.0m × 3.2m × 0.25m × 2.5 ton/m3 = 12.00 ton	



(Rev. 2021년 11월 15일)

1.6m 프리캐스트 패널 설치공사

프리캐스트 패널 구조계산서 (2)

(공용중 프리캐스트 패널 단면 안전성 검토)

2021.11

설 계 목 차

1. 설계조건

1.1 일반사항

1.2 지반조건

1.3 사용재료 및 물리상수

1.4 하중산정

1.5 하중조합

1.6 참고문헌

2. 구조검토

2.1 설계하중

2.2 경계조건

2.3 설계모델링

2.4 단면력집계

2.5 온도에 따른 패널신축량 검토

2.6 패널단면검토

1. 설계조건

1.1 일반사항

- 과업명 : 1.6m 프리캐스트 패널 설치공사
- 총연장 : **72.00** m (3.00m + 6.00m@11EA + 3.00m= 78.00m)

= 72.00 m

- 폭 원 : **1.60** m

1.2 지반조건

- 보조기층과 프리캐스트 패널사이에 채움재를 사용하여 충진(패널의 전단면 지지)
- 보조기층을 포함한 하면의 상태가 다짐이 잘된 성토구간 구조 (N=15 가정)

1.3 사용재료 및 물리상수

① 프리캐스트 콘크리트

- 설계기준강도 : fck = 35.0 MPa
- 탄성계수 : Ec = 29,780 MPa
- 단위중량 : γc = 25.00 kN/m³

② 철근

- 종류 : HD 16 (주철근) HD 13 (배력철근)
- 항복강도 : fy = 400 MPa
- 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

1.4 하중산정

① 프리캐스트 패널 자중

- 버스전용차로의 연장은 72m이며, 폭원은 1.6m 기준으로검토 (고정하중)

② 활하중

- 도로교 설계기준 1등급 이동하중(DB-24,DL-24)적용

1.5 하중조합

① 사용하중조합

구 분	자중	활하중	비고
CASE. 1	1.00	1.00	

② 극한강도조합

구 분	자중	활하중	비고
CASE. 1	1.30	2.15	

1.6 참고문헌

- 도로교설계기준
- 도로교설계기준해설
- 도로설계요령 2009 제5편 토공편
- 콘크리트구조설계기준

2. 구조검토

2.1 설계하중

① 고정하중

- 패널자중 = 1.60 m X 0.25 m X 2.50 ton/m3
  = 1.000 ton/m = 10.00 kN/m

② 활하중

- 버스전용차로 하중을 교량 1등급 하중을 고려하여 산정 (충격하중 제외)

DB하중	하중등급	중량W (kN)	총하중 1.8W(kN)	전륜하중 0.1W(kN)	후륜하중 0.4W(kN)
1등교(교량기준)	DB-24	240	432	24	96

DL하중	하중등급	하중 (kN/m)
1등교(교량기준)	DL-24	12.7

- 충격하중(I)= 0.3
- 편심률 0

2.2 경계조건

① 패널간 연결부 경계조건

- 장지간 패널의 계절에 따른 신축거동으로 종방향 10m 마다 패널간 연결 다웰바 설치

② 지반스프링 계수 경계조건 (N= 15)

- Eo = 2800 x N = 2800 x 15 = 42000 kN/m^2
- α = 1 (평상시)
- Bv = $\sqrt{A_v}$ = √ (1.60 x 6.00) = 3.10 m2
- Kvo = $(1/30)\alpha E_o$ = (1 / 30) x 1 x 42000
  = 1400.0 kN/m^2
- Kv = $K_{vo}(B_v/30)^{-3/4}$ = 1400.000 x (3.10 / 30) $^{-3/4}$
  = 7684.5 kN

- Kv1 = K_v x L_1 = 7684.5 / 0.500 x 1.60 m
  = **6147.6** kN/m (지점부 연직 지반스프링계수 : 단위길이 3.4m)

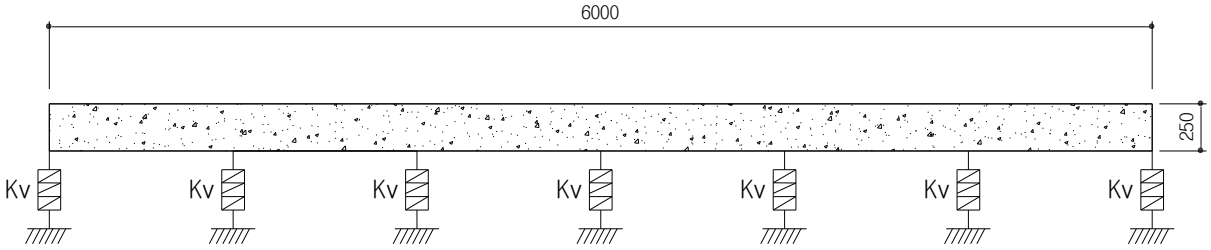
- Kv2 = K_v x L_2 = 7684.5 / 1.000 x 1.60 m
  = **12295.2** kN/m (중앙부 연직 지반스프링계수 : 단위길이 3.4m)

2.3 설계모델링

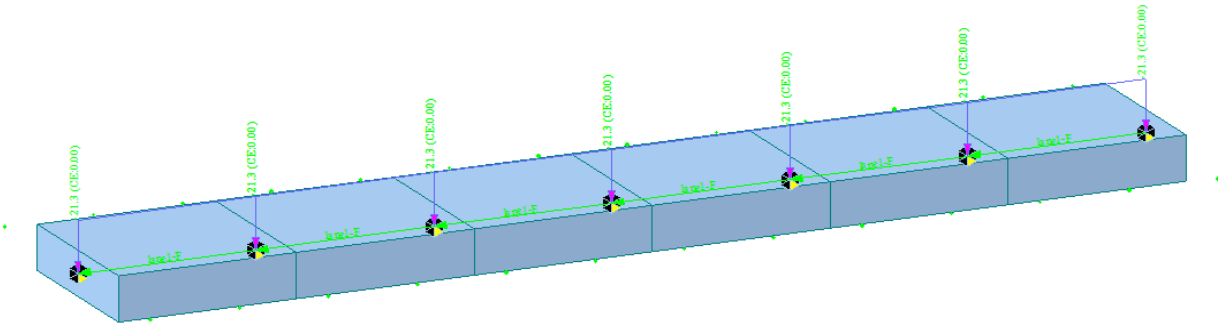
① 구조해석조건 설계프로그램 : MIDAS CIVIL 사용

- 패널과 패널마다 줄눈부 다웰바 설치로 휨모멘트가 발생되지 않기 때문에 1개 패널에 대한 모델링 및 구조해석 실시

-

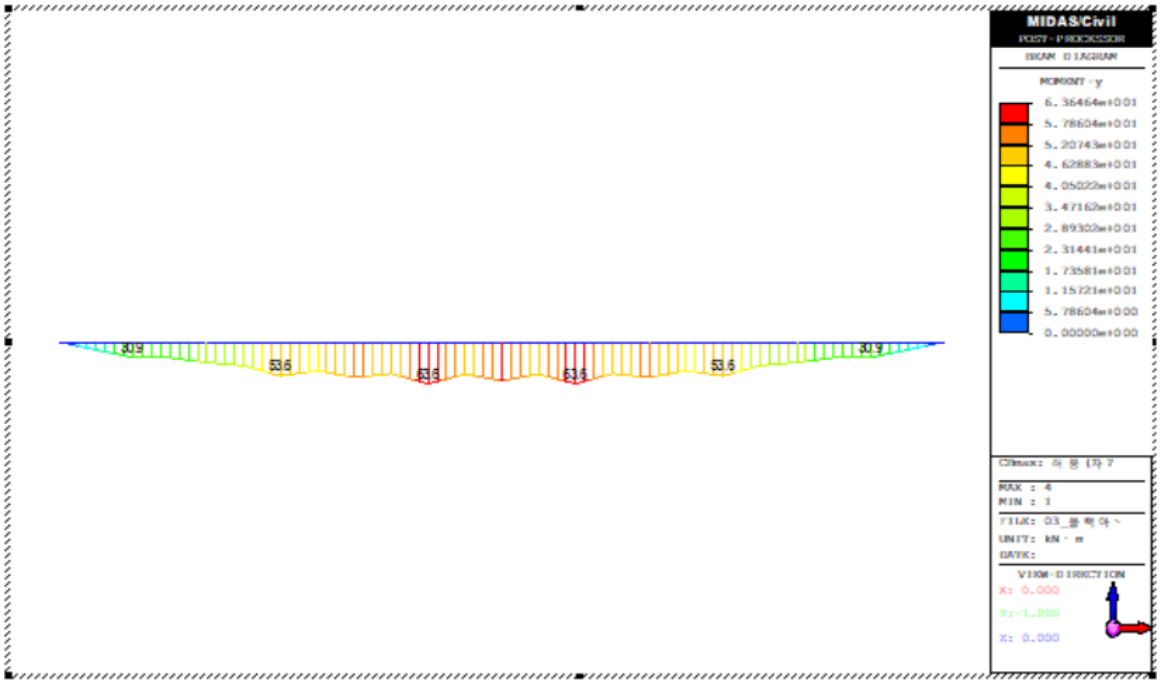


② 구조 모델링



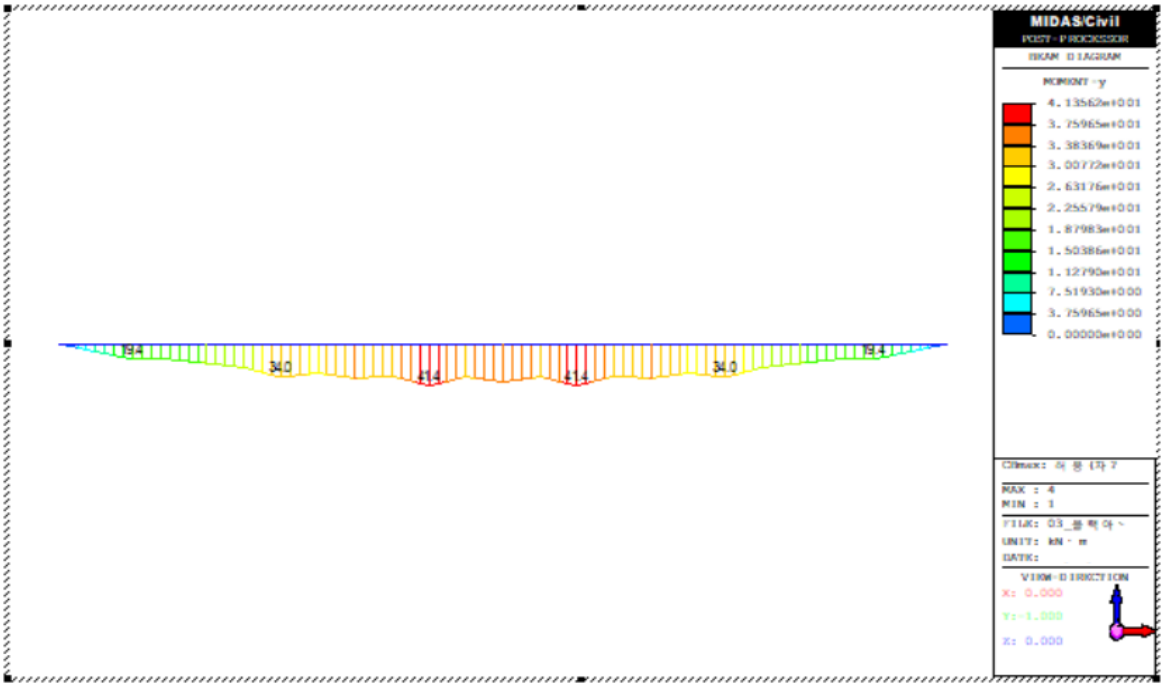
③ 자중 + DB24하중 단면력 (사용하중)

- 최대 모멘트 = 58.3 KN.m - 최대 전단력 = 101.4 KN



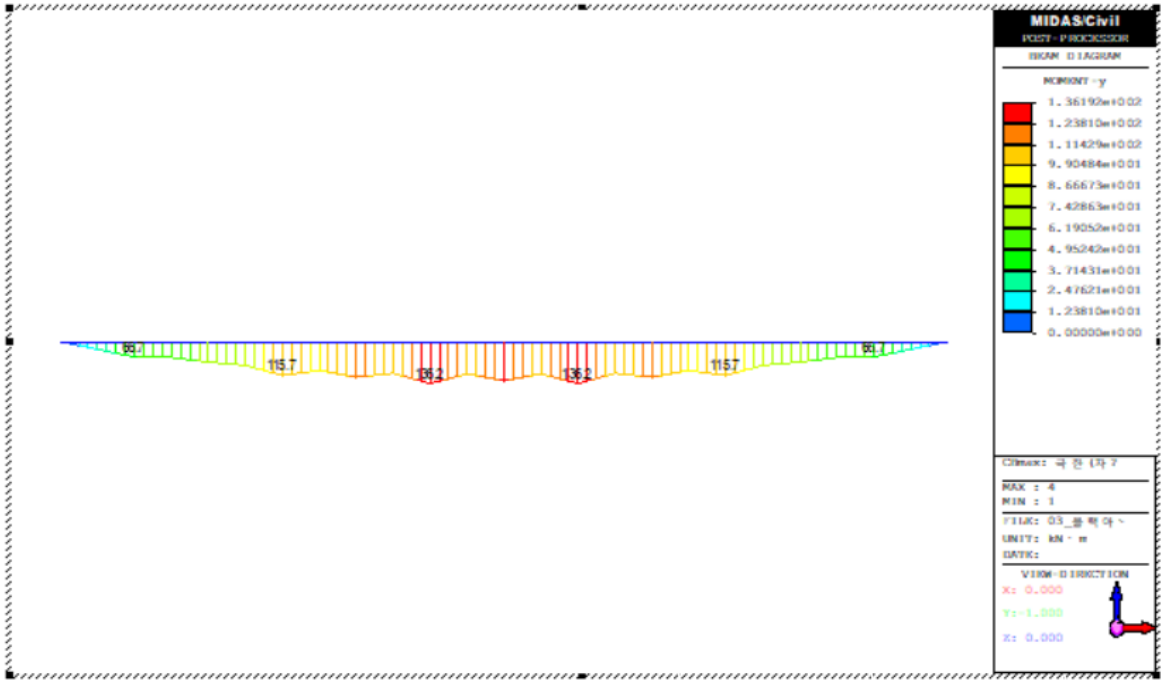
④ 자중 + DL-24 단면력 (사용하중)

- 최대 모멘트 = 41.3 KN.m - 최대 전단력 = 85.2 KN



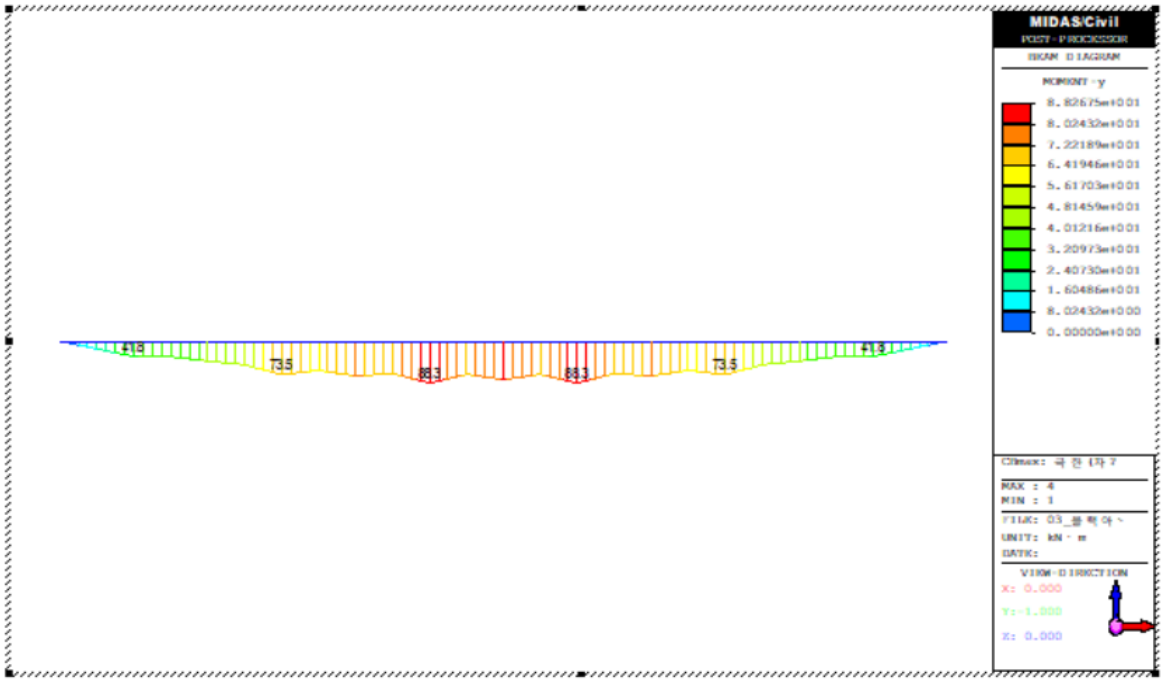
⑤ 자중 + DB24하중 단면력 (극한하중)

- 최대 모멘트 = 136.1 KN.m - 최대 전단력 = 213.6 KN



⑥ 자중 + DL-24 단면력 (극한하중)

- 최대 모멘트 = 88.2 KN.m - 최대 전단력 = 178.7 KN



2.4 단면력 집계

① 사용하중

구 분	모멘트 (KN.m)	전단력 (KN)	비고
1.0(자중+DB24)	**58.30**	**101.40**	○
1.0(자중+DL24)	41.30	85.20	

② 극한하중

구 분	모멘트 (KN.m)	전단력 (KN)	비고
1.3(자중)+2.15(DB24)	**136.1**	**213.6**	○
1.3(자중)+2.15(DL24)	88.2	178.7	

2.5 온도에 따른 패널신축량 검토

- 프리캐스트 콘크리트 패널간 연결시 팽창/수축을 고려하여 줄눈부 설치 (줄눈폭 : 20mm)

+Δℓ (신장량) = α · ΔT · L = 10^{-5} x 35 x 6,000

= **2.10** mm < **20.00** mm ..... ∴ **O.K**

-Δℓ (수축량) = α · ΔT · L = 10^{-6} x -15 x 6,000

= **-0.90** mm < **20.00** mm ..... ∴ **O.K**

2.6 패널단면검토

① 프리캐스트 콘크리트 패널 제작 설계제원

패널규격 (mm)	두께 (mm)	주철근간격 (mm)	상부피복두께 (mm)	하부피복두께 (mm)	Fck (MPa)	Fy (MPa)
B : 1600 L : 1000	250	150(H16)	80	50	40	400

◈ 종방향 검토 (피복50mm)

▷ 검 토 조 건

fck = 40.0 MPa fy = 400.0 MPa
β1 = 0.766 Øf = 0.85 Øv = 0.80
ρmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00395

계수 모멘트 Mu = 136.1 KN·m 계수 전단력 Vu = 213.600 KN
단면의 두께 H = 250.000 mm 단 면 폭 B = 1600.000 mm
유 효 깊 이 D = 200.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

-. 휨강도 검토

사용철근량 As.use = H16 @ 150.00 mm (Dc = 50.00 mm)
= 2118.400 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00662

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 15.576 mm
최외단 인장철근 변형률 εt = 0.02651 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K
...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)
0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 138,441,700 N·mm
= 138.442 KN·m ≥ Mu = 136.110 KN·m ... ∴ O.K (S.F = 1.017)

-. 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 15.303 mm로 가정
As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 2081.242 ㎟
a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 15.303 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

ρreq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00650 ⇒ 4/3 ρreq = 0.00867
∴ 필요철근량 As.req = ρreq × (B·D) = 1897.036 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : ρmin ≤ ρ ..... ∴ O.K

▷ 전단력 검토

Øv·Vc = Øv·1/6·√fck·B·d / 1000 = 269.848 KN
Øv·Vc = 269.848 KN > Vu = 213.600 KN ... ∴전단철근 필요없음.

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 58.300 KN·m (사용하중 모멘트)
n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 6
ρ = As/(B·D) = 0.00662
k = -nρ+ √((nρ)²+ 2nρ) = 0.245 (j = 0.918)
x = k·d = 48.983 mm
fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 8.100 MPa
fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 149.836 MPa
fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 149.836 MPa
최외단철근 소요중심간격
s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 420.46 mm
...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 42.00 mm
최외단철근 평균배근간격 = 150.00 mm ≤ 420.46 mm ..... ∴ O.K

▷ 검토결과
※ 차량하중(DB-24)을 고려한 프리캐스트 패널은 구조적으로 안전 (SF=1.017)
※ 주철근(H16) 간격 150mm 에 대한 안전성 확보

(Rev. 2021년 11월 15일)

3.2m 프리캐스트 패널 설치공사

프리캐스트 패널 구조계산서 (2)

(공용중 프리캐스트 패널 단면 안전성 검토)

2021.11

설 계 목 차

1. 설계조건

1.1 일반사항

1.2 지반조건

1.3 사용재료 및 물리상수

1.4 하중산정

1.5 하중조합

1.6 참고문헌

2. 구조검토

2.1 설계하중

2.2 경계조건

2.3 설계모델링

2.4 단면력집계

2.5 온도에 따른 패널신축량 검토

2.6 패널단면검토

1. 설계조건

1.1 일반사항

- 과업명 : 3.2m 프리캐스트 패널 설치공사
- 총연장 : **72.00** m (3.00m + 6.00m@11EA + 3.00m= 78.00m)

= 72.00 m

- 폭 원 : **3.20** m

1.2 지반조건

- 보조기층과 프리캐스트 패널사이에 채움재를 사용하여 충진(패널의 전단면 지지)
- 보조기층을 포함한 하면의 상태가 다짐이 잘된 성토구간 구조 (N=15 가정)

1.3 사용재료 및 물리상수

① 프리캐스트 콘크리트

- 설계기준강도 : fck = 40.0 MPa
- 탄성계수 : Ec = 29,780 MPa
- 단위중량 : γc = 25.00 kN/m³

② 철근

- 종류 : HD 16 (주철근) HD 13 (배력철근)
- 항복강도 : fy = 400 MPa
- 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

1.4 하중산정

① 프리캐스트 패널 자중

- 버스전용차로의 연장은 72m이며, 폭원은 3.2m 기준으로검토 (고정하중)

② 활하중

- 도로교 설계기준 1등급 이동하중(DB-24,DL-24)적용

1.5 하중조합

① 사용하중조합

구 분	자중	활하중	비고
CASE. 1	1.00	1.00	

② 극한강도조합

구 분	자중	활하중	비고
CASE. 1	1.30	2.15	

1.6 참고문헌

- 도로교설계기준
- 도로설계요령 2009 제5편 토공편
- 도로교설계기준해설
- 콘크리트구조설계기준

2. 구조검토

2.1 설계하중

① 고정하중

- 패널자중 = 3.20 m X 0.25 m X 2.50 ton/m3
  = 2.000 ton/m = 20.00 kN/m

② 활하중

- 버스전용차로 하중을 교량 1등급 하중을 고려하여 산정 (충격하중 제외)

DB하중	하중등급	중량W (kN)	총하중 1.8W(kN)	전륜하중 0.1W(kN)	후륜하중 0.4W(kN)
1등교(교량기준)	DB-24	240	432	24	96

DL하중	하중등급	하중 (kN/m)
1등교(교량기준)	DL-24	12.7

- 충격하중(I)= 0.3
- 편심률 0

2.2 경계조건

① 패널간 연결부 경계조건

- 장지간 패널의 계절에 따른 신축거동으로 종방향 10m 마다 패널간 연결 다웰바 설치

② 지반스프링 계수 경계조건 (N= 15)

- Eo = 2800 x N = 2800 x 15 = 42000 kN/m^2
- α = 1 (평상시)
- Bv = $\sqrt{A_v}$ = √ (3.20 x 6.00) = 4.38 m2
- Kvo = $(1/30)\alpha E_o$ = (1 / 30) x 1 x 42000
  = 1400.0 kN/m^2
- Kv = $K_{vo}(B_v/30)^{-3/4}$ = 1400.000 x (4.38 / 30) $^{-3/4}$
  = 5925.6 kN

- Kv1 = K_v x L_1 = 5925.6 / 0.500 x 3.20 m
  = **9480.9** kN/m (지점부 연직 지반스프링계수 : 단위길이 3.4m)

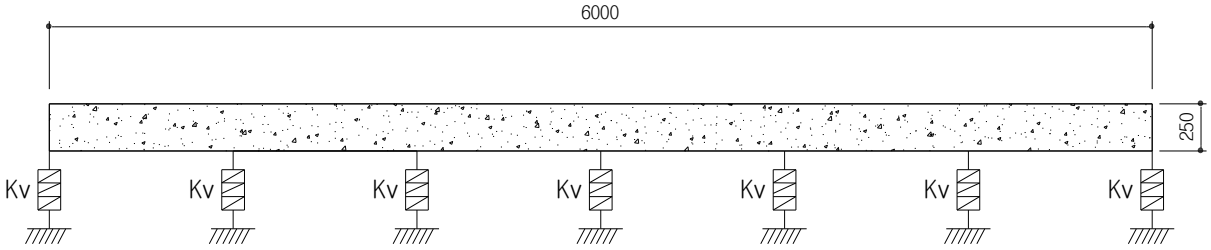
- Kv2 = K_v x L_2 = 5925.6 / 1.000 x 3.20 m
  = **18961.9** kN/m (중앙부 연직 지반스프링계수 : 단위길이 3.4m)

2.3 설계모델링

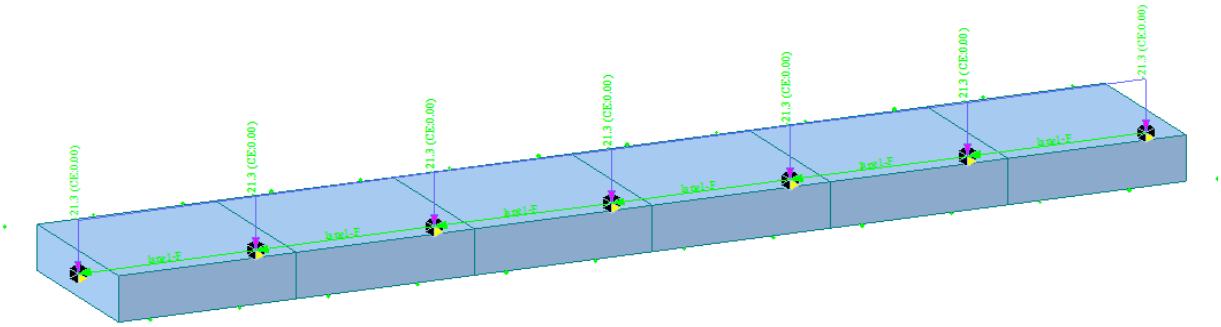
① 구조해석조건 설계프로그램 : MIDAS CIVIL 사용

- 패널과 패널마다 줄눈부 다웰바 설치로 휨모멘트가 발생되지 않기 때문에 1개 패널에 대한 모델링 및 구조해석 실시

-

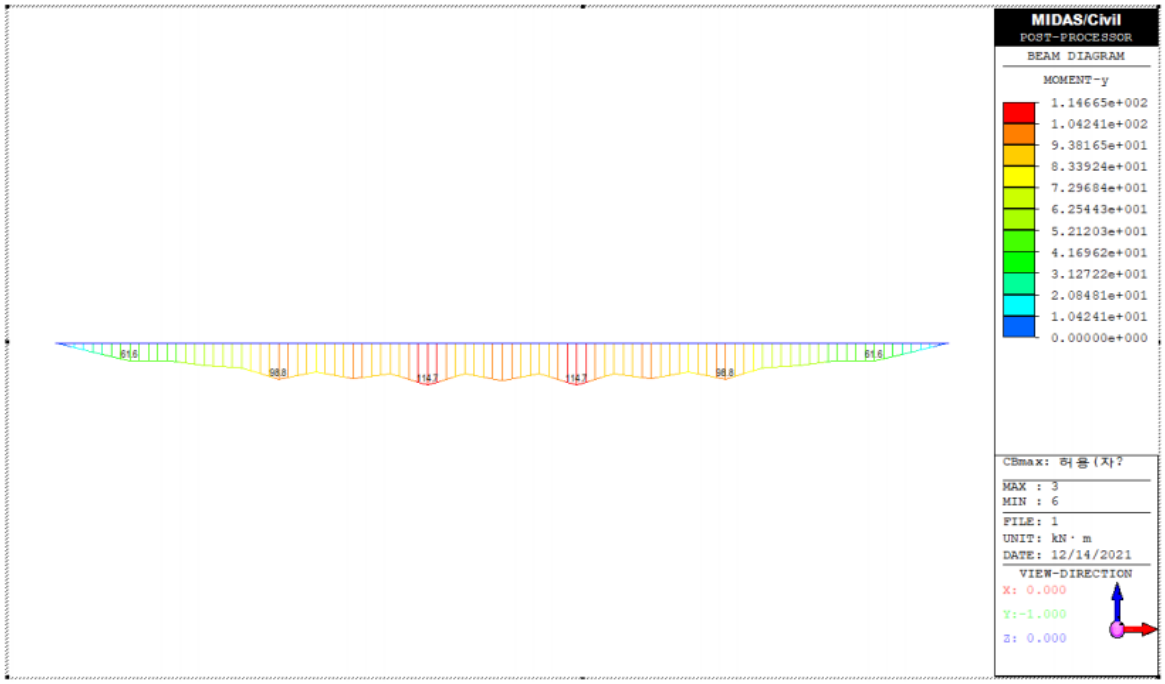


② 구조 모델링



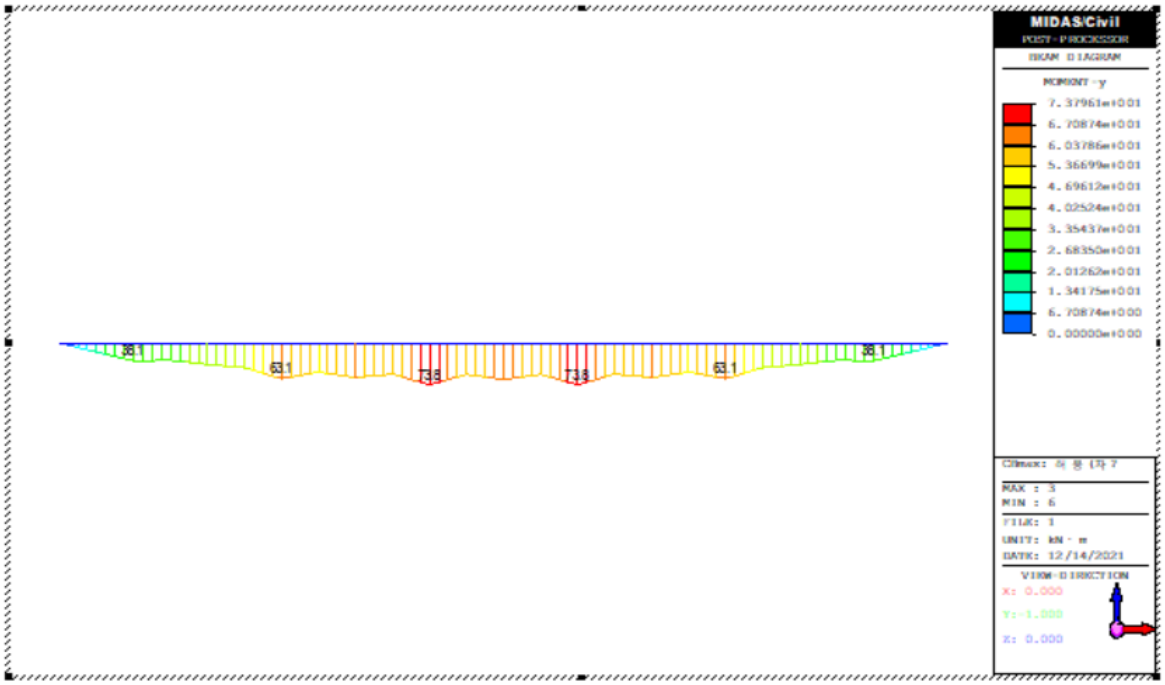
③ 자중 + DB24하중 단면력 (사용하중)

- 최대 모멘트 = 114.6 KN.m - 최대 전단력 = 200.3 KN



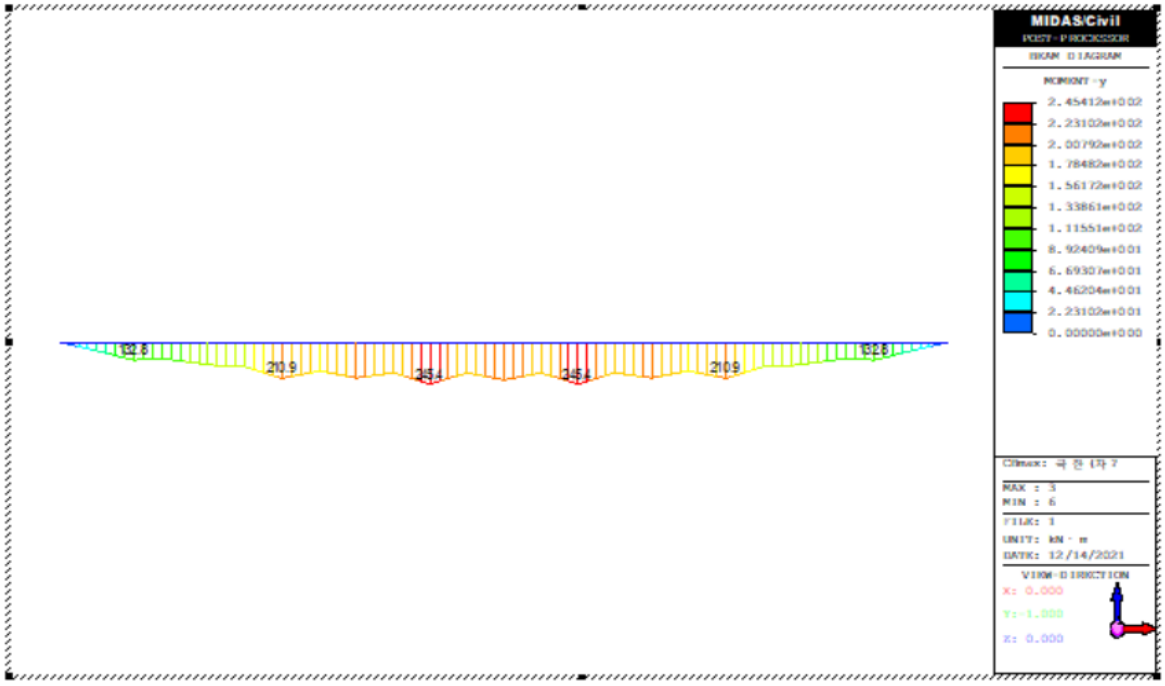
④ 자중 + DL-24 단면력 (사용하중)

- 최대 모멘트 = 73.7 KN.m - 최대 전단력 = 170.2 KN



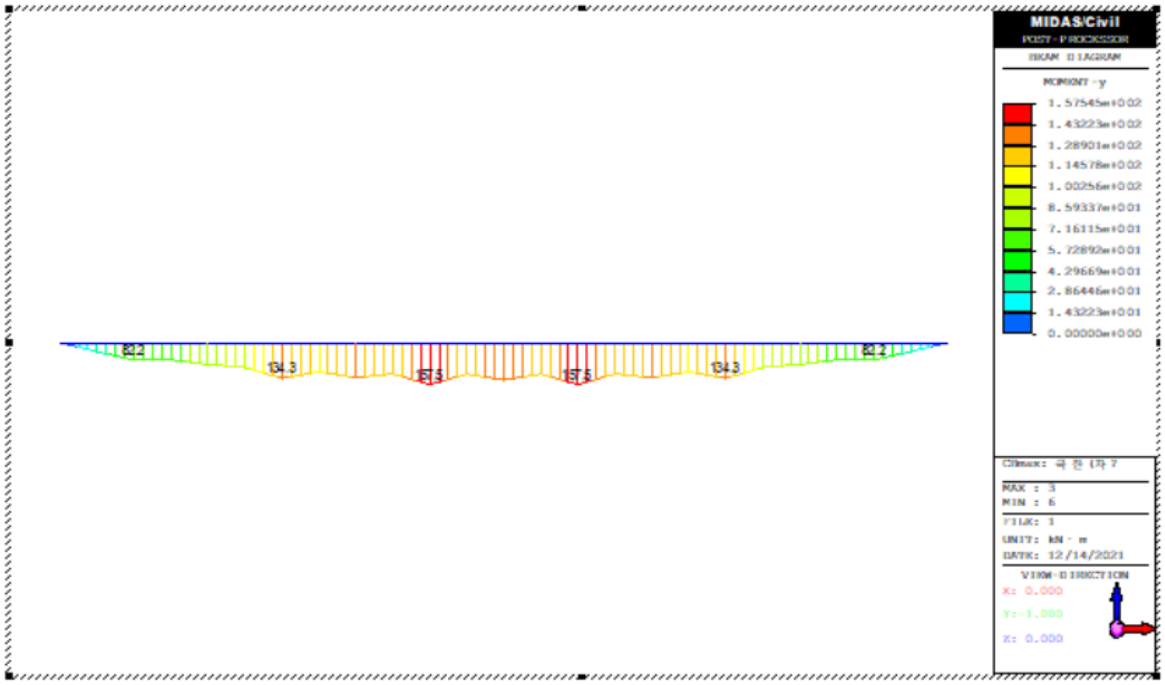
⑤ 자중 + DB24하중 단면력 (극한하중)

- 최대 모멘트 = 245.4 KN.m - 최대 전단력 = 421.8 KN



⑥ 자중 + DL-24 단면력 (극한하중)

- 최대 모멘트 = 157.5 KN.m - 최대 전단력 = 357.2 KN



2.4 단면력 집계

① 사용하중

구 분	모멘트 (KN.m)	전단력 (KN)	비고
1.0(자중+DB24)	**114.60**	**200.30**	○
1.0(자중+DL24)	73.70	170.20	

② 극한하중

구 분	모멘트 (KN.m)	전단력 (KN)	비고
1.3(자중)+2.15(DB24)	**245.4**	**421.8**	○
1.3(자중)+2.15(DL24)	157.5	357.2	

2.5 온도에 따른 패널신축량 검토

- 프리캐스트 콘크리트 패널간 연결시 팽창/수축을 고려하여 줄눈부 설치 (줄눈폭 : 20mm)

+Δℓ (신장량) = α · ΔT · L = 10^{-5} x 35 x 6,000

= **2.10** mm < **20.00** mm ..... ∴ **O.K**

-Δℓ (수축량) = α · ΔT · L = 10^{-6} x -15 x 6,000

= **-0.90** mm < **20.00** mm ..... ∴ **O.K**

2.6 패널단면검토

① 프리캐스트 콘크리트 패널 제작 설계제원

패널규격 (mm)	두께 (mm)	주철근간격 (mm)	상부피복두께 (mm)	하부피복두께 (mm)	Fck (MPa)	Fy (MPa)
B : 3200 L : 1000	250	150(H16)	80	50	40	400

◈ 종방향 검토 (피복50mm)

▷ 검 토 조 건

fck = 40.0 MPa fy = 400.0 MPa
β1 = 0.766 Øf = 0.85 Øv = 0.80
ρmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00395

계수 모멘트 Mu = 245.400 KN·m 계수 전단력 Vu = 421.800 KN
단면의 두께 H = 250.000 mm 단 면 폭 B = 3200.000 mm
유 효 깊 이 D = 200.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm

▷ 휨모멘트 검토

-. 휨강도 검토

사용철근량 As.use = H16 @ 150.00 mm (Dc = 50.00 mm)
= 4236.800 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00662

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 15.576 mm
최외단 인장철근 변형률 εt = 0.02651 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K
...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)
0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 276,883,300 N·mm
= 276.883 KN·m ≥ Mu = 245.400 KN·m ... ∴ O.K (S.F = 1.128)

-. 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a = 13.740 mm로 가정
As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 3737.193 ㎟
a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 13.740 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

ρreq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00584 ⇒ 4/3 ρreq = 0.00779
∴ 필요철근량 As.req = ρreq × (B·D) = 3737.193 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K

철근비검토 : ρmin ≤ ρ ..... ∴ O.K

▷ 전단력 검토

Øv·Vc = Øv·1/6·√fck·B·d / 1000 = 539.695 KN
Øv·Vc = 539.695 KN > Vu = 421.800 KN ... ∴전단철근 필요없음.

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 114.600 KN·m (사용하중 모멘트)
n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 6
ρ = As/(B·D) = 0.00662
k = -nρ+ √((nρ)²+ 2nρ) = 0.245 (j = 0.918)
x = k·d = 48.983 mm
fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 7.961 MPa
fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 147.226 MPa
fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 147.226 MPa
최외단철근 소요중심간격
s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 427.80 mm
...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 42.00 mm
최외단철근 평균배근간격 = 150.00 mm ≤ 427.80 mm ..... ∴ O.K

▷ 검토결과
※ 차량하중(DB-24)을 고려한 프리캐스트 패널은 구조적으로 안전 (SF=1.128)
※ 주철근(H16) 간격 150mm 에 대한 안전성 확보

2020년 국토교통기술촉진연구사업

블랙아이스 방지(표면온도 5°C 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발

-기술실시협약서-

[20CTAP-C157602-01]

경희대학교 산학협력단 · 조선대학교 산학협력단 · ㈜동일기술공사

기 술 실 시 협 약 서

○ 과제번호 : 21CTAP-C157602-02
○ 예산연도 : 2021
○ 연구개발 과제명 : 블랙아이스 방지(표면온도 5℃ 유지)를 위한 나노 발열모듈 임베디드 콘크리트 패널 급속 포장기술 개발
○ 기술실시 계약명 : 발열모듈 임베디드 프리캐스트 콘크리트 패널 제작 및 시공기술
○ 실시권의 종 류 : 통상실시(기술료는 사업화에 따라 별도 협의)
○ 계약기간 : 특허 존속기간까지 (2021.09.02~2040.11.10)
○ 계약당사자
연구개발결과물 소유기관 : ㈜동일기술공사 (대표이사 : 황 주 환)
실시기업 : ㈜유창이엔씨 (대표이사 : 길 윤 희)

연구개발결과물 소유기관과 실시기업((주)유창이엔씨)는 연구개발결과물 소유기관이 국토교통부 "국토교통기술촉진연구사업"으로 개발한 기술을 실시기업이 실시함에 있어 다음과 같이 협약을 체결한다.

제1조 (정의) 본 계약서에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. "기술"이라 함은 연구개발결과로 획득된 "발열모듈이 매립되는 프리캐스트 콘크리트 패널 및 이를 이용한 블랙아이스 예방 도로 포장 방법"(특허 등록번호 제10-2299784호)을 말한다.
2. "실시"라 함은 이전기술"을 이용하여 물건을 생산·사용·양도·대여 또는 수입하거나 그 물건의 양도 또는 대여의 청약을 하는 행위 또는 본 기술 방법을 사용하는 행위를 말한다.
3. "기술료"라 함은 기술을 실시하는 권리(실시권)를 획득하는 대가로 실시기업이 연구개발결과물 소유기관에게 지급하는 금액을 말한다.

제2조 (실시권의 내용)

① 연구개발 결과물 소유기관은 실시기업이 본 계약의 조건에 따라 대한민국 내에서 "상기 기술"(특허가 발생하는 경우 특허권 포함)을 실시하는데 동의하여 "실시기업"에게 실시권을 설정한다. 단, 국외실시의 경우에는 제3조에 따른다.

② 실시기업은 연구개발 결과물 소유기관의 사전 서면동의 없이 제3자에게 동 실시권을 제공하거나 양도할 수 없다.

③ 연구개발 결과물 소유기관은 실시기업에게 기술을 실시함에 있어서 계약체결일로부터 12개월까지 실시기업에게 기술지도를 실시하며 기술지도 기간 동안의 기술지도비는 무상지도를 원칙으로 한다. 다만, 연구개발 결과물 소유기관은 실시권자의 기술지도에 대한 수

용능력을 고려하여 기술지도 기간을 연장할 수 있으며, 이에 따른 추가 기술지도비는 실시기업이 부담한다.

제3조 (국외실시)

"국외실시"는 대한민국 이외의 지역에 실시권을 대여하거나 기술을 수출하는 것(동지역에서 제품을 생산, 판매하는 행위 포함)을 말하며, 실시기업이 "기술"을 "국외실시"하고자 하는 경우 사전에 연구개발결과물 소유기관과 협의하여 본 계약과 별도로 "국외실시"에 관한 기술실시계약을 체결하여야 한다.

제4조 (실시권의 포기)

실시기업은 특약이 없는 한 계약일로부터 1년 이내에 기술을 실시하여야하며, 정당한 사유 없이 동 기간 내에 기술을 실시하지 않거나 일부만 사용하는 경우에는 실시기업은 실시권의 전부 또는 일부를 포기한 것으로 간주한다.

제5조 (기술료 납부)

① 실시기업은 실시권에 대한 대가로서 기술료를 사업화 정도를 고려하여 추후 연구개발 결과물 소유기관에게 납부한다.

제6조 (지식재산권의 취득)

연구개발 결과물 소유기관이 기술실시의 결과로서 특허권·실용신안권 등 지식재산권을 취득·소유하게 된 경우 실시기업은 본 계약에 따라 자동적으로 그 지식재산권에 대한 통상실시권을 소유하는 것으로 본다.

제7조 (개량기술의 실시권)

① 실시기업 또는 실시기업의 임원 및 피용자가 기술을 개량·확장·대체 또는 추가 발명(이하 "개량기술"이라 한다)하여 이를 적용하거나 이를 근거로 새로운 산업재산권을 취득하고자 할 경우 실시기업은 사전에 연구개발 결과물 소유기관에게 통보하여 상호 협의하여 추진하여야 하며, 실시기업이 취득한 산업재산권은 사업화 정도를 감안하여 쌍방의 공동소유로 한다.

② 특약이 없는 한 실시기업의 개량기술에 대한 실시권은 본 계약에 따라 설정되는 것으로 보고 실시기업은 개량기술을 사용할 수 있다.

제8조 (신의성실의 의무와 자료협조)

① 본 계약의 목적하는 바를 상호 충족시키기 위하여 필요한 제반사항에 대하여 연구개발 결과물 소유기관은 신의성실을 다하여 실시기업에게 적극 협조하여야 하고, 실시기업은 본 계약의 의무사항을 성실히 이행하여야 한다.

② 연구개발 결과물 소유기관은 필요시 실시기업에게 연구개발 성과의 활용 등 필요한 자료를 요구할 수 있으며, 실시기업은 정당한 사유 없이 이를 거절할 수 없다.

③ 연구개발 결과물 소유기관은 실시기업이 "기술"을 실현하기 위하여 연구개발 결과물 소유기관의 협조가 필요한 부분에 대해 기술이전에 협조하되, "기술"의 실용화나 성공적인 활용 및 상품화에 대하여는 보증하지 아니한다.

제9조 (보안의무)

실시기업은 "기술"이 타인에게 제공되거나 누설되지 않도록 보안에 유의하여야 하며 이 의무에는 실시기업이 임원 및 피용자나 그 승계인을 통하여 사실상 위반됨이 없도록 하는 의무도 포함한다. 또한 본 조항은 본 계약이 해제 또는 해지되었을 경우에도 계속 유효하다.

제10조 (계약의 변경 등)

① 본 계약의 내용은 연구개발결과물 소유기관과 실시기업의 서면합의에 의하여 변경될 수 있다. 다만, 실시기업의 생산능력이 제품수요를 충족하지 못하거나 실시기업이 "기술"을 기술적으로 충분히 실현하지 못하여 실시기업이 이를 개선할 능력이 없다고 인정될 경우 연구개발 결과물 소유기관은 "기술"의 "실시권"을 제3자에게도 허용할 수 있는 권리를 갖는다.

② 실시기업이 본 계약체결 후 법인의 주소 등 중요사항을 변경하였을 경우에는 이를 지체 없이 연구개발 성과물 소유기관에 통보하여야 하며, 변경통보를 하지 아니한 경우 실시기업은 그 변경사항을 연구개발 결과물 소유기관에게 주장할 수 없다.

③ 전문기관의 장은 국가연구개발사업 성과활용의 증진 등을 위해 연구개발 결과물 소유기관과 실시기업에게 본 계약의 변경 등과 같은 조정을 권고할 수 있으며, 연구개발 결과물 소유기관과 실시기업은 이에 적극 협조하여야 한다.

제11조 (계약의 해지 및 제재조치)

① 연구개발 결과물 소유기관은 다음의 각 호의 어느 하나에 해당할 경우 계약을 해지할 수 있고, 이 경우 실시기업은 기술과 관련된 모든 자료를 연구개발결과물 소유기관에게 반환하여야 한다.

1. 제4조에 따라 실시기업이 실시권을 포기한 것으로 간주되는 경우
2. 실시기업이 조업을 중단하여 기술사용을 계속할 수 없다고 판단되는 경우
3. 실시기업이 정당한 사유 없이 본 계약에 따른 기술료를 연구개발 결과물 소유기관에게 지급하지 아니하거나 지급을 게을리 한 경우
4. 기타 본 계약상의 의무를 위반한 경우

② 제1항에 따라 계약을 해지하는 경우 연구개발 결과물 소유기관은 1개월 이상의 기간을 정하여 기술의 사용 등 의무이행 여부를 서면으로 최고하여야 한다.

③ 제1항에 따라 계약을 해지하는 경우 이미 납부한 기술료는 반환하지 아니하며, 실시기업

은 계약 해지일 까지의 기술료를 연구개발 결과물 소유기관에게 납부하여야 한다.

④ 제1항 제3호의 경우 연구개발 결과물 소유기관은 전문기관의 장에게 관련규정(국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 및 국토교통기술 연구개발사업 관리지침)에 따라 실시기업에 대한 국가연구개발사업 참여제한 등의 제재조치를 요청할 수 있다.

제12조 (손해배상)

실시기업은 본 계약을 위반하여 연구개발결과물 소유기관에게 손해를 끼쳤을 때에는 이를 배상하여야 한다.

제13조 (명칭사용)

실시기업은 본 계약과 관련하여 취득한 정보 및 연구개발 결과물 소유 기관이 실시기업에게 제공한 보고서나 문서의 일부 또는 전부에 대한 그 원본이나 복제, 복사물을 연구개발 결과물 소유기관의 동의 없이 광고, 판매 촉진, 기타 선전의 목적 및 쟁송상의 자료로 사용할 수 없으며, 또한 상기의 목적으로 "주관연구기관(국토교통부 포함)"의 명칭을 암시하거나 사용하여서는 아니된다.

제14조 (권리양도의 제한)

연구개발 결과물 소유기관과 실시기업은 특약이 없는 한 상대방의 동의 없이 기술실시 과정에서 취득되는 제반 권리를 제3자에게 제공하거나 양도할 수 없다.

제15조 (분쟁해결)

본 계약과 관련하여 혹은 쌍방의 의무이행과 관련하여 분쟁이나 이견이 발생하는 경우 연구개발결과물 소유기관과 실시기업은 이를 상호 협의하여 원만히 해결토록 노력하여야 하며, 이러한 분쟁이나 이견이 해결되지 않아 소송을 제기하는 경우 상호 협의하에 관할법원을 지정하는 것으로 한다.

제16조 (관련법령의 준수)

연구개발 결과물 소유기관과 실시기업은 실시권의 허여, 기술료의 징수·사용·관리 등 제반 계약내용에 있어서 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」, 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 및 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 등 관련 법령을 성실히 준수하여야 한다.

제17조 (계약 기술의 유지)

① 연구개발 결과물 소유기관이 실시기업에게 허락한 실시권이 전용실시권인 경우, 실시기업은 계약 기술에 관한 특허 등의 등록 및 유지에 필요한 비용을 부담한다.

② 연구개발 결과물 소유기관이 실시기업에게 허락한 실시권이 통상 실시권인 경우, 연구개

발 결과물 소유기관은 계약 기술에 관한 특허 등의 등록 및 유지에 필요한 비용을 부담한다.

제18조 (해석)

① 본 계약에 명기되지 아니하거나 본 계약상의 해석상 이의가 있는 사항에 대하여는 쌍방의 합의에 의하여 결정한다.

② 본 계약서는 2통을 작성하여 서명 날인하고, 연구개발결과물 소유기관과 실시기업이 각각 1통씩 보관한다.

2021년 10월 31일

(연구개발 결과물 소유기관)

법 인 명 : ㈜동일기술공사 (111241-0002284)

주 소 : 서울시 송파구 송이로 30길 7

대표이사 : 황 주 환 (인)

(실시기업)

법 인 명 : ㈜유창이엔씨 (284111-0195987)

주 소 : 경기도 남양주시 순화궁로 249, N동 1314호

대표이사 : 길 윤 희 (인)