

Global Report

전기 전도성 콘크리트

1. 개요
2. 소개
3. 기본 원리
4. 전도성 콘크리트 제조방법
5. 특성
6. 특징
7. 장점
8. 배합설계
9. 결론

1. 개요

건설업계에서 콘크리트는 건설 및 유지보수 분야에 편리한 사용 특성으로 인해 널리 채택되어 온 주요 재료이다. 또한 우수한 강도와 내구성을 가지고 있고 전기 전도성은 없는 복합재료로 오랫동안 사용되어왔다. 전도성이 있는 콘크리트가 개발된 이후에는 기계적 특성과 전기 전도성이 있는 우수한 콘크리트들이 전기, 전자 및 군사 분야에서 중요하게 사용될 가능성이 있다. 전도성 콘크리트는 안정적이고 비교적 높은 전도율을 얻을 수 있는 전기 전도성 성분을 함유하는 시멘트 기반의 복합재이다. 잠재적으로는 접지뿐만 아니라 주차장, 보도, 차도, 고속도로 교량 및 공항 활주로의 제빙제설용 전기난방에 쓰일 수 있다.

2. 소개

콘크리트는 오랜 역사에 걸쳐 다양한 형태로 존재해 왔지만 여전히 흥미로운 개발기회를 여전히 가지고 있는 재료이다. 수년에 걸쳐 기존 콘크리트 배합에 우수한 공학적 특성과 더불어 우수한 전기 전도성을 복합할 수 있는 콘크리트를 개발하기 한 수 많은 노력이 있었다. 인도 건설연구원(IRC - the Institute for Research in Construction)은 건설용으로 많은 용도가 있고 미래에 유망성이 있는 특허 발명인 전기 전도성 콘크리트(간단히 전도성 콘크리트로 함)로 이 도전적인 목표달성에 성공하였다.

전도성 콘크리트는 안정적이고 상대적으로 높은 전기 전도성을 얻기 위하여 일정량의 전기 전도성 성분을 함유하는 시멘트 복합재로 규정될 수 있다. 전도성 콘크리트는 교량 및 주차장 그리고 전자파 차폐와 같은 콘크리트 구조물 철근의 전기방식(cathodic protection), 난방, 접지 등을 포함한 다양한 용도로 쓰일 잠재력을 가지고 있다. 현재 인도 IRC는 궁극적으로 상업용으로 개발하고 널리 사용이 가능하도록 가능한 가장 저렴한 비용으로 강도, 전기적 특성 및 제조 방법을 잘 조합하여 전도성 콘크리트 제작을 최적화하는데 노력을 집중하고 있다.

3. 기본 원리

배경이 되는 기본원리는 전도성 있는 재료의 연속망을 만들 수 있도록 탄소섬유, 흑연 및 철생산의 부산물로 저렴한 코크스와 같은 전기 전도성 재료와 결합할 수 있는 시멘트를 사용하는 것이다. 그 설계(design formulation)는 전도성 상(conductive phase)의 함량이 임계값(critical 'threshold' value)에 도달할 때 몇 가지 수의 비교(orders of magnitude)로 혼합전도성(composite conductivity)이 극적으로 증가하는 "전기적 여과(electrical percolation)"를 토대로 하고 있다. 전도성 상 함량을 더 증가시키면 혼합전도성은 약간 증가할 뿐이다. 이 설계는 우수한 배합여건 뿐만 아니라 높은 전도성과 기계적 강도를 보장하면서 임계 함량을 초과하는 양을 지정하는 것

이 핵심이다.

4. 전도성 콘크리트 제조방법

전도성 콘크리트 배합은 시멘트, 골재, 물 및 전도성 재료로 구성되어 있다. 전도성 재료에는 금속섬유(metal fibers) 및 금속입자(metal particles)가 있는데 사용하는 양은 전체 배합용적의 1~3% 및 5~40% 정도가 바람직하다. 더욱 바람직한 양은 전체 배합용적에서 금속섬유의 경우 1~3% 그리고 금속입자의 경우 10~30% 정도이다.

이 프로젝트에 쓰일 전도성 콘크리트를 만들기 위해 우선 용기에 물과 함께 모든 미세재료(즉, 시멘트, 플라이애시, 잔골재 및 고유동화제)를 혼합한다. 이후 각각의 용기에서 컨베이어에 굵은 골재와 금속입자를 올려놓고 그 상부에 금속섬유를 놓은 다음 시멘트와 물이 담겨있는 용기 안으로 컨베이어의 내용물 모두를 투입하여 혼합한다. 현장타설 시스템이 실행도 가능하고 비용효과적일 수 있지만 전극용 철제앵글이 매립된 기성형 콘크리트 슬래브(pre-formed concrete slabs)를 제조하는 방식으로 이 혼합물을 사용하였다.

5. 특성

전도성 콘크리트는 안정적이고 비교적 높은 전도성을 얻을 수 있는 일정량의 전기 전도성 성분을 함유하는 시멘트 기반의 복합재이다. 본질적으로 콘크리트에 일반적으로 사용되는 골재는 전도성 콘크리트의 전기 전도성을 얻을 수 있는 탄소기반의 다양한 재료로 대체될 수 있다. 이것은 표 1에 나타낸 바와 같이 바람직한 엔지니어링 특성을 나타내야 된다. 전도도는 일반 콘크리트에 비하여 보통 몇 배 높은 수준이다. 일반 콘크리트는 건조 상태에서 효과적인 단열성의 재료이고 변화하기는 하지만 습윤 시에도 전도성 콘크리트에 비하여 훨씬 더 큰 특성을 가지고 있다.

전기저항(ω -cm)	1 - 40
압축강도(Mpa)	최소 30
휨강도(Mpa)	5-15
밀도(kg/m^3)	1,450 - 1,850

<표 1 - 전도성 콘크리트의 특성>

6. 특징

전도성 콘크리트와 일반 콘크리트는 공학적 특성과 배합특성에서는 유사하나, 전도성 콘크리트

는 전기 전도성을 넘어 다른 독특한 특성을 가지고 있다.

- 전도값은 안정적이며 전도성에 함수율, 수화시간 및 온도가 미치는 영향은 미미한 수준이다.
- 배합은 기존 콘크리트와 유사하지만 전도성 콘크리트는 밀도가 일반 콘크리트의 약 70% 수준으로 경량이다.
- 전도성 콘크리트는 화학적으로 일반 콘크리트와 호환성이 있으며 오버레이(overlay)로 사용될 경우 부착에 문제가 발생하지 않는다.
- 내열성(Thermal stability)도 일반 콘크리트와 유사하다.
- 전도성 콘크리트의 색상은 카본 함유량으로 인해 약간 어두운 회색을 띤다.

7. 장점

전도성 콘크리트는 아래와 같은 우수한 기계적 특성과 전기 전도성을 가지고 있으며, 아래와 같은 장점이 있다.

- 전도성 콘크리트는 기존 콘크리트에 비해 중량이 훨씬 더 가볍다.
- 전도성 콘크리트는 염분의 필요성을 낮춰 수백만 불의 제설비용을 절약할 수 있다.
- 전도성 콘크리트는 AC 전류를 사용하며 오프라인 상태에서 기 얻어진 에너지로 열을 가할 수 있다.
- 전도성 콘크리트는 전기가 공급되는 콘크리트 인도를 걸어 다니는 사람들에게도 안전하다.
- 전도성 콘크리트는 또한 철근콘크리트 구조물의 철근과 철 구조물을 부식으로부터 보호하고 정전기 및 번개로부터 건축물을 보호하는데 사용될 수도 있다.
- 전도성 콘크리트는 전자기 에너지를 차단하는 기존방법에 비해 더 편리하고 저렴하며 전자기 에너지의 90% 이상을 흡수한다.

A. 전도성 콘크리트의 적용

전도성 콘크리트는 중요한 몇 가지 공학적 용도를 가지고 있다.

- 콘크리트 구조물의 철근의 전기방식법(Cathodic protection)
- 도로 및 교량의 제설 또는 전기가열
- 전기 접지
- 전자파 차폐

(철근의 전기방식) 고속도로 교량 및 주차장 등 대부분의 콘크리트 구조물의 가장 큰 문제는 철근의 부식이다. 실험결과 전도성 콘크리트가 사용될 경우 전기방식 시스템의 운영으로 요구되는 전기에너지는 50% 이상 감소될 수 있는 것으로 나타났다.

전도성 콘크리트를 사용하는 전기난방은 가정용 및 야외용으로 큰 잠재력이 있다. 전도성 콘크리트는 주차장, 보도, 차도, 고속도로 교량 및 공항활주로의 제설용으로 효과적으로 쓰일 수 있다. 이 방식을 제설용 염화칼슘의 필요성도 없앨 수 있을 것이다. 실험실 규모의 조사에 따르면 콘크리트 슬래브 깊이 -5cm, -24cm, -30cm의 표면온도는 기온이 영하 30도의 경우에도 빙점이상을 유지하는 것으로 나타났다. 이러한 성과는 지난 겨울 8피트의 적설량도 녹일 수 있을 정도의 것으로 추정되고 있다. (본 연구는 세계에서 가장 추운 수도인 오타와에서 수행된 것을 인용한 것이다.)

B. 전기 접지(ELECTRICAL GROUNDING)

접지(grounding)는 거의 모든 전기 작업에 요구된다. ECC(Earth Continuity Conductor)는 경제적이고 내구성이 있는 접지 시스템이다. 연구자들은 ECC가 접지봉 주변에 간단히 설치될 수 있다고 언급했다.

C. 전자파 차폐(ELECTROMAGNETIC SHIELDING)

전자파 차폐를 위해 ECC를 사용하는 것은 벽체에 탄소섬유시트 또는 용접철망(welded steel liner) 설치의 경제적인 대안이 될 수 있다.

ECC의 잠재적인 용도는 크게 늘어날 가능성이 있는 것으로 ECC의 제조와 사용에 대한 관심과 배려에는 크게 산업계에 비용적 및 엔지니어링 측면에 장점이 있는 것으로 추측된다. 제설작업이 결코 불가능한 차도라 할지라도 가능성이 있을 것이다.

Roca Spur 교량은 Lincoln 남쪽 약 24km 네브라스카 77번 고속도로에 위치한 Roca Solt Creek를 지나가는 3단 고속도로 교량으로 길이 46m, 폭 11m 이다. 철도가 횡단하는 지점은 전기제설장치의 주요 후보지인 이 교량의 끝 부분에 인접해 있다.

Roca 교량 공사는 2001년 12월에 시작되어 2002년 11월에 준공되었다. 이 교량의 데크는 36m x 8.5m의 크기로 두께 100mm 전도성 콘크리트 층이 있으며, 이 전도성 콘크리트 층에는 겨울철 폭풍이 몰아치는 동안 제설 모니터링을 위한 데이터를 제공할 수 있는 열전대(thermocouples) 장치를 갖추고 있다.

8. 배합설계

이 프로젝트에 사용된 배합설계(mix design)에는 전도성 재료로 강섬유와 탄소제품이 포함되었다. 전도성 콘크리트의 용적비로 다양한 길이의 강섬유는 1.5% 포함되었고 다양한 크기의 탄

소재품입자는 25% 포함되었다. 최대크기 13mm(0.5인치)의 파쇄석회석 굵은골재와 네브라스카 47B 잔골재도 배합에 포함되었다.

A. 프로젝트 의의(Project Significance)

이 프로젝트는 전도성 콘크리트 기술이 국가적으로나 국제적으로 중요성을 가지고 있다는 것을 입증할 것으로 기대를 모으고 있다. 통계자료에 따르면 모든 도로교통사고의 10~15% 정도가 기상조건과 직접적으로 관련이 있는 것으로 나타난다. 이는 매년 수천 명의 사상자와 수백만 달러의 재산피해가 발생함을 의미한다. 포장면의 결빙은 단순히 자동차 운전자만의 문제가 아니며 사람이 걸어 다니는 인도의 결빙은 수많은 낙상사고의 원인이 되기도 한다. 이 프로젝트의 영향력과 잠재력은 도로교량 결빙을 제거하여 수많은 생명을 살리는 등으로 엄청나다.

B. 시공순서(Construction Sequence)

10인치(256mm) 두께의 일반철근콘크리트 데크 상부에 4인치(100mm) 두께의 전도성 콘크리트 슬래브를 타설하였다. 전도성 콘크리트 슬래브는 1.2m x 4.1m의 개별 크기로 52개가 준비되었다. 각각의 개별 슬래브에는 두 개의 철제 앵글이 전극용으로 매립되었다.

전기연결을 하기 위해 커플링 너트를 철제앵글 한쪽 끝에 용접하였다. 슬래브 온도를 측정하기 위하여 각 슬래브의 중앙 13mm 깊이에 한 개의 열전대(thermocouple)를 설치하였다. 개별 슬래브용 전원 코드와 열전대 배선은 두 개의 PVC 배관으로 보호되었으며 교량 데크의 중앙을 따라 설치된 정선박스(junction box)에서 접속할 수 있게 되어있다.

전도성 콘크리트 층은 교량 데크 일반 콘크리트 층 양생 30일 후에 타설되었다. 서쪽방향의 차선이 먼저 타설되었다. 경화 후 전도성 콘크리트 층은 개별 슬래브 크기로 100mm 깊이까지 절단하였으며 절단된 틈새는 폴리우레탄 실런트(sealant)로 채웠다. 철제 앵글의 커플링너트와의 전원 연결을 할 수 있도록 교량의 중심부 쪽으로는 150mm의 갭을 만들었다. 이 갭은 후에 비수축 고강도 그라우트 재료로 채워졌다.

C. 전력공급, 센서 및 제어회로의 통합

인근에서 3상 220v 600A의 전원이 이용 가능하였다. 제어실 내에 마이크로프로세스 모니터가 있고 52개의 개별 슬래브의 제설 운영 상황을 관리한다. 이 시스템은 온도 감지부(temperature-sensing unit), 전원 스위치부(power-switching unit), 전류 감시부(current-monitoring unit) 및 운영 인터페이스부(operator -interface unit) 등 4개의 주요주로 구성되었다. 온도 감지부는 매 15분 간격으로 슬래브에 설치된 열전대의 값을 읽고 기록했다. 슬래브의 온도가 섭씨

4.5도(화씨 40도) 이하가 되면 제어기에 의해 전원이 켜지게 되고 슬래브 온도가 섭씨 12.8도(화씨 55도) 이상이 되면 전원이 꺼지게 된다. 전원 스위치부는 바람직한 온오프 기능을 발휘하도록 전원연결을 제어한다. 안전을 보장하기 위해 전류 감시부는 사용자 지정량의 전류가 슬래브에 흐르도록 제어한다. 운영 인터페이스부는 사용자에게 전화모뎀을 통해 PC 또는 랩탑(laptop)의 제어장치에 연결할 수 있도록 해준다. 운영 인터페이스부는 실시간으로 모든 슬래브의 온도 및 전류를 읽고 나타내준다. 사용자는 또한 제어기에 저장된 데이터를 스프레드시트에 다운로드할 수 있는 PC 또는 랩탑의 선택권도 있다.

제설제어시스템은 2003년 3월에 완료되었고 2004년 1월과 2월에 눈폭풍이 몰아치는 상황에서 성공적으로 시험이 이루어졌다. 이 시스템은 2003년 4월 초 진눈개비가 휘날리는 상태에서 가동되기 시작했다. 교량 데크 위의 눈은 눈 폭풍이 진행되는 동안 녹아내렸다. 온도 분포는 교량에 고르게 분포되었다. 이 제어시스템은 대기 온도보다 높은 섭씨 9도로 슬래브 온도를 유지하였다.

전도성 콘크리트 교량 데크는 앞으로 수년에 걸친 겨울 동안 전기 제설 효과를 평가하고 대체 방안과의 비교를 위해 연구가 지속되어야 할 것이다. 이 유망한 신기술은 도로의 제설, 제빙의 귀중한 도구라는 것이 입증되어야만 할 것이다.

9. 결론

전도성 콘크리트는 제설과 또 그 발전부문의 효과성으로 인해 가치가 있는 발명으로 입증되고 있으며, 또한 전자파 차폐 및 전기접지용 전도성 콘크리트 구현을 위해 만들어졌다. 한편 연구자들은 오버레이로서 뿐만 아니라 하중에 견딜 수 있는 단독 부재로 효과적으로 사용될 수 있도록 전도성 콘크리트의 기계적 강도를 증진하는데 노력하고 있다.