

탄소나노튜브 코팅제 기반 블랙아이스 탐지 및 제거 관리시스템

CNT Coating based Black Ice Detecting and Melting Management System

남상혁* · 김도형** · 심목정*** · 장승환****

Nam, Sang-Hyeok · Kim, Dohyeong · Sim, Mok Jeong · Jang, Sung-Hwan

“도로 위 검은 암살자” 블랙아이스는 겨울철 도로교통 안전을 위협하는 현상으로 현재까지 확실한 대응 방안을 갖지 못한 상태이다. 기존에 활용되는 블랙아이스 제거방법은 많은 인력 및 비용이 발생하는 효율이 매우 낮은 방법이었다. 본 연구에서는 양호한 경제성 및 시공성을 갖는 발열 시스템 구축을 위해 탄소나노튜브 복합재료 코팅제를 활용하는 블랙아이스 탐지 및 제거 관리시스템을 제작하여 그 성능을 검증하였다. 이를 통해 겨울철 도로 결빙 및 블랙아이스 문제를 효율적으로 해결할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 블랙아이스, 탄소나노튜브, 코팅제, 발열특성, 사물인터넷, 관리시스템

1. 서 론

2011년 논산천안고속도로 104중 추돌사고, 2019년 광주원주고속도로와 상주영천고속도로에서의 20중 이상의 추돌사고와 2020년 순천완주고속도로 터널에서의 31중 추돌사고 등은 '도로 위 검은 암살자'라 불리는 블랙아이스로 인해 발생한 사고이다. 노면 온도가 영하이고 습도가 높으며 그늘진 곳에서 주로 발생하는 블랙아이스는 육안으로 구분이 어려워 대형사고의 주범이 되곤 한다. 블랙아이스 발생 도로는 적설 도로보다 6배, 눈이 쌓이지 않은 일반도로보다는 14배나 더 미끄러우며, 한국교통안전공단의 2016년~2018년 통계에 따르면 결빙도로에서의 치사율은 2.72%로 일반도로 및 적설 도로의 치사율 1.79%, 1.72%보다 약 1.5배 이상 높게 나타났다. 도로 결빙 방지를 위해 사용되고 있는 기존의 제설제 살포 방식 대신 포장층 내부에 열선을 설치하여 도로 결빙이나 블랙아이스 발생 등을 적극적으로 방지할 수 있도록 하는 다양한 기술들이 근래 들어 적용되고 있으나 시공성 문제, 고비용 문제 등으로 인해 널리 활용되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 열선을 이용한 융설 시스템 등에서 나타나는 시공성 및 경제성 문제를 해결하기 위해 탄소나노튜브(Carbon Nanotube; CNT) 복합소재를 노면에 코팅 처리하듯 간단하게 시공하여 노면온도를 상승시키는 방식을 적용하였으며, 사물인터넷 기반의 블랙아이스 탐지 및 제거 관리시스템을 개발하여 이와 연계함으로써 겨울철 주행 안전성을 향상시킬 수 있는 지능형 IoT 도로 융설 시스템을 구축하고자 한다.

2. 탄소나노튜브 복합재료를 이용한 발열 특성

탄소나노튜브는 원통형 모양의 나노 구조를 갖는 탄소 동소체로서 기계적, 전기적, 열적 특성이 매우 우수하여 나노 복합재료 제조 분야에서 다양한 목적으로 활용되고 있다. 이와 같은 탄소나노튜브를 에폭시 등과 같은 재료와 혼합하여 복합재료를 생성하게 되면 전도성을 갖게 되고, 탄소나노튜브의 함량에 따라 전기 전도도가 변하게 된다. 이와 같은 성질을 이용하여 전도성을 갖는 탄소나노튜브 복합재료에 전류를 흘리게 되면 Joule heating 현상에 의해 발열 효과가 나타나게 된다. 이처럼 발열 성능을 갖는 탄소나노튜브 복합재

* 정회원 · 교신저자 · (주)이엔지소프트 대표, 공학박사 (Corresponding Author · E-mail:shnam@engsoft.kr) - 발표자

** (주)이엔지소프트 차장, 공학박사 (E-mail:dhkim@engsoft.kr)

*** (주)이엔지소프트 부장, 공학사 (E-mail:mjsim@engsoft.kr)

**** 정회원 · 한양대학교에리카 건설환경공학과 교수, 공학박사 (E-mail:sj2527@hanyang.ac.kr)

료를 코팅제 형태로 제조하여 도로 표면에 시공하게 되면 블랙아이스를 제거할 수 있는 발열 시스템으로 활용될 수 있다. 그림 1은 탄소나노튜브 복합체의 발열 특성에 따른 온도 변화를 나타낸 것으로 이를 통해 도로 표면에 발생하는 블랙아이스 제거 가능성을 확인할 수 있다.

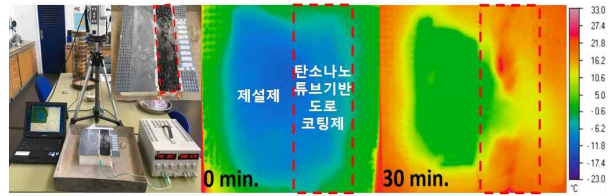


그림 1. 탄소나노튜브 복합체의 발열 특성 분석

3. 블랙아이스 탐지 및 제거 관리시스템

블랙아이스 상습 발생 지역(예: 터널 진·출입로, 교량 등)에 설치되는 블랙아이스 탐지 및 제거 하드웨어 시스템은 대기 온·습도 센서뿐만 아니라 노면 온·습도 센서를 포함하고 있으며, 무선 인터넷을 통해 서버에 연결되어 측정데이터와 제어 신호를 송·수신한다. 웹 기반 대시보드 형태의 관리시스템은 설치된 센서를 통해 수집된 온·습도 정보와 기상정보를 가시화하여 나타내고, 이를 바탕으로 블랙아이스 발생 가능성을 탐지하게 되며, 조건에 따라 탄소나노튜브 발열 장치를 자동 및 수동으로 작동할 수 있도록 하여 블랙아이스 발생에 따른 피해를 미연에 방지할 수 있도록 한다.

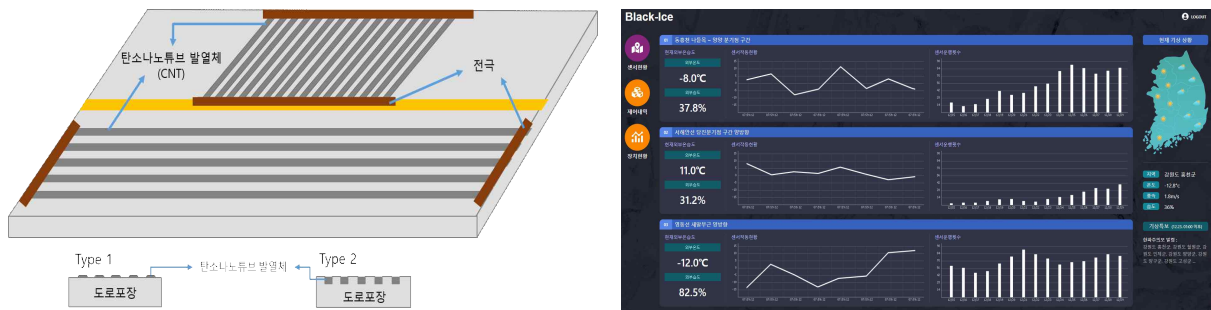


그림 2. 탄소나노튜브 발열장치 및 관리 시스템 구성

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 도로 용설 방법들에서 나타나는 경제성 및 시공성 등의 문제들을 해결하기 위해 탄소나노튜브 복합소재를 활용하는 IoT 기반의 블랙아이스 탐지 및 제거 관리시스템에 대해 제시하였다. 이 시스템의 적용을 통해 블랙아이스 및 결빙 상습 발생 지역의 효과적인 관리가 가능하게 되어 겨울철 도로교통 안전에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(과제번호: 21CTAP-C157167-02)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Yum, S.-G., Yin, H., Jang, S.-H. (2020). "Toward Multi-Functional Road Surface Design with the Nanocomposite Coating of Carbon Nanotube Modified Polyurethane: Lab-Scale Experiments." *Nanomaterials*, 10,
2. 권우리, 이승준, 장승환 (2020). "블랙아이스 방지를 위한 탄소나노튜브 기반 도로 코팅제 개발.", 2020 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.1294-1295.