콘크리트 포장의 온도측정을 위한 i-Button의 적용성 연구

Application of i-Button for measuring the concrete temperatures

박대근[1] · 서영찬[2]
Park, Dae Geun · Suh, Young Chan

1. 서 론

콘크리트 포장에서 시공초기에 발생하는 균열은 온도변화에 의한 콘크리트의 부피감소로 인하여 발생하는 경우가 많다. 이러한 온도변화는 시공시 초기 품질관리에 의해 조절될 수 있다.

시공시 초기 품질관리에 의한 연구가 최근 여러 기관에서 진행 중이며 현재, "콘크리트 포장 성능 개선 연구" 가 장기적인 계획으로 수행 중에 있다. 시공시기, 시공환경 그리고 재료의 선택에 의해 콘크리트 포장의 공용성이 어떻게 달라지는지에 대한 연구가 핵심이 된다고 할 수 있다. 이러한 연구에서 가장 중요하게 고려되는 요소는 온도라고 할 수 있다.

시공계절, 포설시각, 보조기층의 온도, fresh 콘크리트의 온도, 그리고 대기온도 등은 시공시 초기 품질관리를 위해 고려되는 온도와 직접적으로 관련된 요소이다. 이러한 모든 요소들은 결국 콘크리트의 온도로 귀결되어 수화반응이 일어날 때의 온도 패턴을 결정짓게 된다. 수화반응에 의한 수화열의 패턴은 콘크리트의 초기 수명에 큰 영향을 끼치기 때문에 콘크리트의 온도 측정이 필요하다.

이러한 콘크리트의 양생온도를 측정하기 위해서는 매립형 온도센서가 필요하다. 지금까지는 주로 thermocouple type과 thermistor type이 많이 사용되었다. 이 온도센서로 콘크리트의 온도를 측정할 수는 있지만 여러 가지 문제점이 발견되고 있다. 하지만 지금까지 이 문제를 해결할 더 나은 대안이 없었기 때문에 그대로 사용되어 온 것이 현실이다.

이러한 불편함과 부작용을 해결해 주는 온도 센서가 "Thermochron i-Button"(이하 i-Button)이다. i-Button은 기존의 온도센서의 장점은 살리고, 단점은 보완할 수 있어 콘크리트의 온도를 측정하는데 있어 매우 적합한 센서이다. i-Button에는 전원공급장치, 시간/달력 기능, interval 설정기능, 저장기능 등이 내장되어 있어서 저렴한 비용으로 자동계측과 무인계측이 가능하다. 즉, 온도를 측정하고자 하는 곳에 i-Button을 설치하거나 매립하는 것만으로 번거로운 절차를 모두 해결할 수 있게 되었다.

2. 기존 온도계의 한계와 i-Button

지금까지 fresh 콘크리트의 온도를 측정하는 방식은 thermocouple type과 thermistor type이 주를 이루었다. 이 방식을 사용할 경우의 계측방법은 reader 기를 사용하여 수동계측을 하거나, data logger를 이용한 자동계측 방법이 있다. 하지만 수동계측을 할 경우에는 온도측정을 할 때마다 사람이 직접 기록을 해야 하는 번거로움과 시간손실이 있어서 지양되고 있다. 그렇다고 항상 고가의 data logger를 이용하여 자동계측을 할 수도 없는 것이 현실이다. Data logger를 사용할 경우에는 channel(온도측정지점)의 수가 한정되어 있어서 대규모 연구에서는 여러 대의 data logger가 필요하다. 또한 data logger에는 전원공급을 해야 하기 때문에 전기공사가 되어 있지 않은 시공현장에서는 불편할 뿐만 아니라, 외부 환경적 요인으로 인한 오작동의 우려가 항상 있다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 온도센서가 i-Button이다.

i-Button은 기존의 전선형태의 아날로그 온도계와는 달리 단추처럼 동그랗게 생긴 디지털 온도계로 모양

1) 정회원 한양대학교 교통공학과 석사과정 031-400-5150 (E-mail : romance94@hanmail.net)
2) 정회원 한양대학교 교통공학과 부교수 • 공학박사 031-400-5155 (E-mail : suhyc@hanyang.ac.kr)

및 크기는 그림 1에 나타나 있다. 직경 16mm의 조그만 케이스에 온도센서가 내장되어 있고, 전원공급장치와 memory가 있어 data logger 없이 자동계측과 무인시스템이 가능하다. 따라서 콘크리트 포장체에 적용될 경우 비용이 절약될 뿐만 아니라 연구 수행 시간도 절감될 수 있다. 겉표면은 stainless steel로 마감이 잘 되어 있어 내구성과 방수에 뛰어나다. 표 1은 지금까지 사용되었던 온도센서와 i-Button을 비교한 것이다.

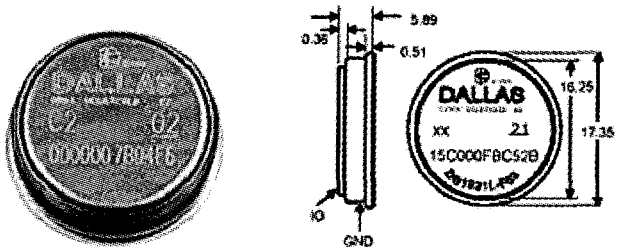

그림 1. i-Button의 크기 (단위:mm)

표 1. 각 온도계의 장/단점 (포장체에 적용했을 경우)

	THERMOCOUPLE	THERMISTOR	i-Button
장점	• 넓은 측정 범위 • 온도계의 비용 저가	• 값이 싸고 소형	• i-Button 만으로 자동계측, 무인계측 가능 • 온도 data 수집이 용이함 • 센서의 설치가 용이함. • Software가 무료 • 측정 간격 설정가능 • 4096bits의 memory 내장. • 내구성이 뛰어남 • i-Button 내부에서 전원 공급
단점	• 수동계측의 경우 data 수집이 불편함 • 자동계측을 할 경우 고가의 장비(data logger)가 필요함 • 자동계측을 할 경우 전원이 필요함 • 무인계측이 불가능함 • 수명이 짧음	• 수동계측의 경우 data 수집이 불편함 • 자동계측을 할 경우 고가의 장비(data logger)가 필요함 • 자동계측을 할 경우 전원이 필요함 • 무인계측이 불가능함 • 직선성과 감도가 좋지 않음	• 측정범위가 -30℃~85℃로 한정적임 • 납땜과 코팅작업이 필요함 • 분해능 : 0.5℃

i-Button을 사용할 경우에는 사용자의 목적에 따라 온도측정간격을 설정하여 원하는 장소에 i-Button을 설치 및 매립하기만 하면 된다. 그 후 온도 data가 필요할 때마다 노트북 컴퓨터에 연결하여 data를 다운로드 하면 된다. 이러한 과정은 매우 간단하여 누구나 손쉽게 사용할 수 있다.

이러한 장점이 콘크리트포장에서도 적용될 수 있는지를 살펴보기 위하여 본 연구에서는 여러 차례의 실내실험과 현장 실험을 수행하여 현재 그 성능의 우수함을 입증 할 수 있었다.

3. 적용성 실험

적용성 실험의 목적은 i-Button의 온도에 대한 신뢰도를 검증하기 위함이다. 신뢰도를 검증할 때 비교되는 대상으로 thermocouple을 선택하였고 thermocouple과 i-Button을 같은 지점에 설치한 후, 같은 시간에 온도를 측정하여 두 온도의 data를 비교하는 것을 기본으로 하여 실험하였다.

첫 번째 실험의 대상은 아무런 처리도 하지 않은 i-Button, 납땜과 코팅 처리를 한 i-Button 그리고 thermocouple이며 실험은 수중에서 실시되었다. 아무 처리도 하지 않은 i-Button과 thermocouple을 비교하여 i-Button의 센서 정확도를 검증하였고, 납땜과 코팅 처리가 된 i-Button과 아무 처리도 하지 않은 i-Button이 같은 온도결과를 보이는지를 알아보았다. i-Button에 납땜처리를 하는 이유는 콘크리트에 매립되어 있는 i-Button에서 온도 data를 직접 download하기 위하여 전선을 연결해야하기 때문이다. 또한, 코팅처리는 콘크리트에 함유된 물에 대한 완벽한 방수를 하기 위함이다. 또한, 이 실험에서 온도의 상승과 하락에 대한 반응을 알아보기 위해서 찬물과 뜨거운 물로 온도를 조절하였고 thermocouple과 i-Button의 측정간격은 1분으로 하였다.

첫 번째 실험의 결과는 그림 2에서처럼 thermocouple, 아무런 처리도 하지 않은 i-Button 그리고 납땜과 코팅처리를 한 i-Button이 온도변화에 거의 같은 반응을 한다는 것을 알 수 있다.

두 번째 실험은 본 연구에서 현장용으로 직접 제작한 i-Button 거치대에 거치된 i-Button과 thermocouple을 대상으로 하였으며, 실제 현장배합을 고려한 콘크리트에서 시행되었다. 이 실험은 실제 현장에서 i-Button이 실시간으로 정상적인 반응을 하는지를 알아보기 위하여 시행되었다. 그림 3을 살펴보면 thermocouple과 i-Button이 첫 번째 실험과 마찬가지로 거의 같은 양상을 보임을 알 수 있다. 그림 3의 i-Button의 그래프가 계단식으로 나타나는 이유는 thermocouple의 분해능이 0.1℃인데 비하여 i-Button의 분해능은 0.5℃이기 때문이다.

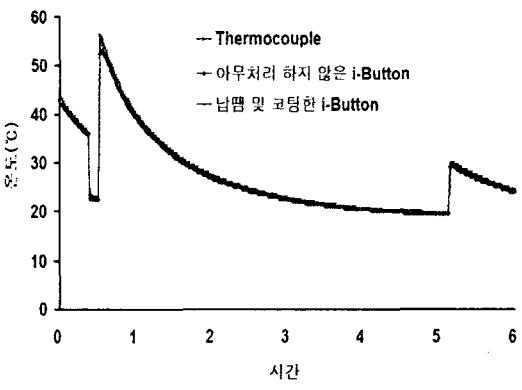

그림 2. 첫 번째 실험 결과

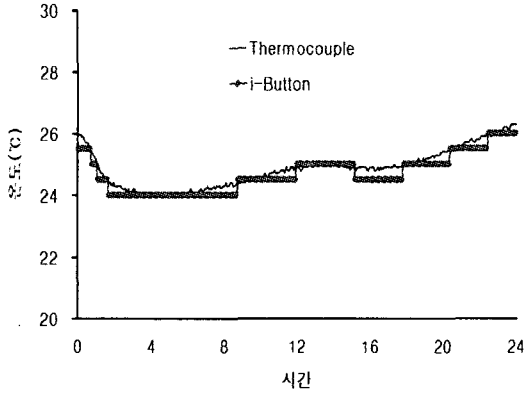

그림 3. 두 번째 실험 결과

두 번째 실험에서 사용된 거치대는 i-Button의 용도에 맞게 특수 제작된 것으로 원하는 위치와 깊이에서 콘크리트 포장체의 온도를 측정할 수 있다. 측정하고자 하는 깊이에 맞게 구멍을 뚫어 i-Button을 끼운 후 납땜과 코팅을 하여 거치할 수 있도록 하였다. 이 때 사용되는 납땜재료는 stainless steel에 적합한 납을 사용했으며, 코팅으로 인한 i-Button의 온도 오차가 발생하지 않도록 하였다. 또한, 거치대는 열전도를 차단하기 위하여 아크릴 재질로 만들었으며 콘크리트에 잘 삽입할 수 있게 아랫부분은 뾰족하게 처리하였다. 또한 thermocouple과 비교를 위하여 같은 깊이의 i-Button 옆에 thermocouple를 함께 매립했다.

그림 4의 왼쪽 사진은 i-Button을 거치한 거치대이고 오른쪽 사진은 중부내륙고속도로 시험도로 시공현장에서 i-Button의 현장 적용성을 검증하기 위해 i-Button을 매립하는 모습이다. 이 현장에서 사용된 i-Button 거치대는 총 4세트이며 각각 다른 시간대(8시, 11시, 14시 17시)에 포설된 콘크리트 포장체에 매립되었다. 이 실험 역시 앞서 행한 실험과 마찬가지로 만족할 만한 결과를 보였다.

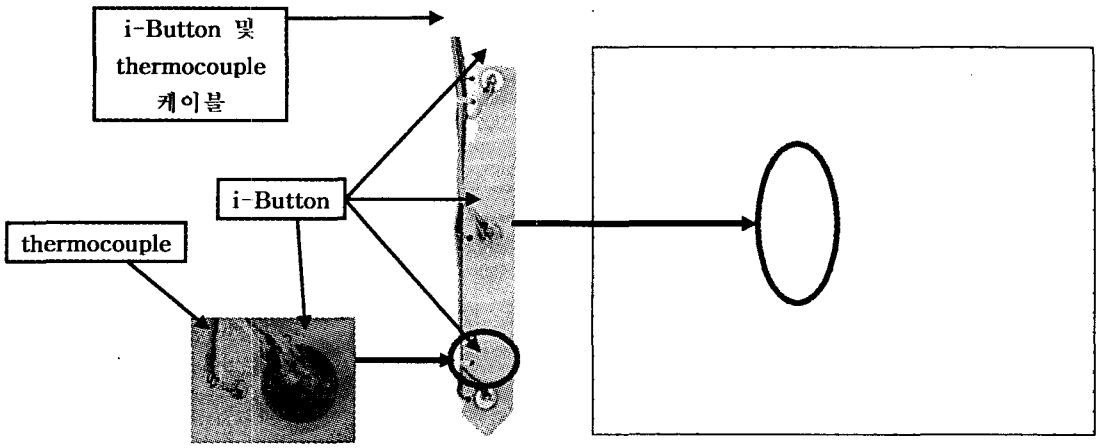

그림 4. 콘크리트 포장체에 매립되는 i-Button 거치대 (중부내륙고속도로 시험도로 시공현장)

4. 결론 및 성과

본 연구에서는 국내에 처음으로 도입된 i-Button을 콘크리트 포장에 사용해 본 결과 다음과 같은 결론과 성과를 얻게 되었다.

1. i-Button을 콘크리트 포장 내부의 온도측정에 사용한 결과, 그 자체로 자동계측과 무인계측이 가능하여, 지금까지 콘크리트 온도를 측정하는데 사용된 Thermocouple과 Thermistor의 단점을 상당부분 보완하였다. 즉, 저렴한 비용과 적은 인원으로 간편하게 온도계측을 할 수 있었다. 향후 콘크리트 포장뿐만 아니라 건설 및 토목분야의 콘크리트 구조물에서도 사용할 수 있을 것이다.

2. i-Button과 thermocouple을 같은 온도조건에서 실험한 결과 최고 0.2℃의 오차가 발생하였다. Thermocouple의 분해능이 0.1℃이고, i-Button의 분해능이 0.5℃임을 감안 한다면 0.2℃의 오차는 무시할 수 있는 범위에 든다고 할 수 있다.

3. 특정한 위치와 깊이에서 온도를 측정하기 위하여 i-Button의 거치대를 개발하였다. 이 거치대는 열전도가 거의 되지 않는 아크릴 재질이며, 콘크리트의 알칼리성에 저항할 수 있는 특성을 가졌다.

4. i-Button은 그 자체가 내수성(water-resistant)은 있지만 완전방수(waterproof)는 아니다. Fresh 콘크리트는 다량의 물을 함유하고 있기 때문에 i-Button을 매립할 경우에는 완전방수를 위한 coating을 해야 한다. 본 연구에서는 이 방안으로 에폭시와 실리콘 등을 실험해 본 결과 내구성과 방수성, 그리고 작업성이 우수한 에폭시를 주요한 코팅재료로 선정하였다.

코팅을 하기 전과 한 후의 온도 차이를 검증하기 위한 실험도 이루어 졌는데, 온도차이가 없다는 결론에 도달하였다.

5. i-Button과 전(화)선이 연결된 상태로 콘크리트 포장에 매립될 경우에는, i-Button과 전(화)선이 떨어지지 않으면서 디지털 신호를 전달할 수 있는 전도체 성분을 가진 견고한 접착력이 필요하다. i-Button의 바깥 재질은 stainless steel이어서 납땜 납으로 전(화)선과 연결이 되지 않는 단점이 있다. 본 고에서는 이 점을 보완하기 위하여 여러 방법을 시도해 본 후, i-Button과 전(화)선을 연결하기 위한 방법을 고안하였다.

감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행결과입니다.