혹서기 콘크리트포장의 초기온도 저감 방안연구

A Study for Reducing Early-age Temperature of the Concrete Pavement in a Hot Weather Condition

조영오* · 서영찬** · 권순민*** · 김종호**** · 김형배*****
Joh, Young Oh · Suh, Young Chan · Kwon, Soon Min · Kim, Jong Ho · Kim, Hyung Bae

1. 서 론

콘크리트포장의 포설 이후 초기에 발생하는 균열은 대부분 시멘트의 수화작용과 포설 당시 외부온도 조건간의 관계에 의해 발생한다. 또한 양생기간 또는 그 직후에서의 콘크리트는 아직 취약하기 때문에 균열 등의 결함이 발생하기 쉽다. 따라서 직사광선으로부터 콘크리트를 보호하고 급격한 건조수축이나 온도변화가 발생하지 않도록 시공중 린콘크리트 보조기층과 콘크리트슬래브에 차광막을 설치하여 일반 시공구간의 슬래브 온도변화 등을 상호 비교해 보았다.

2. 온도조건과 수화열

시멘트는 물과 만나면 수화과정에서 에너지를 방출하며 이 에너지는 열을 발생시켜 양생중 콘크리트의 온도를 상승시키는 작용을 한다. 수화열은 일정시간의 휴지기를 지나 본격적으로 증가했다가 다시 감소한다. 반응 초기에도 높은 수화열이 발생하나 약 15분 이내에 끝나므로 콘크리트의 온도증가에는 별로 영향을 주지 못한다.

여기서 강조할 사항은 수화열이 본격적으로 발생하는 시기는 시멘트와 물이 혼합된 직후가 아니라 일정시간이 경과한 후라는 점이다. 이 기간을 휴지기라 한다.

수화열이란 일종의 화학반응으로 수화열의 발생속도나 최대 수화열의 크기가 외부의 온도조건에 크게 영향을 받는다. 즉, 주변온도가 높으면 수화는 빨리 진행되고 최대 수화열도 빨리 발생하며 그 크기도 크다. 반대로 외부온도가 낮으면 수화는 비교적 천천히 진행되어 최대 수화열의 발생시기가 늦어지며 그 크기도 비교적 작다.

그러므로 콘크리트 포설시의 주변온도 조건은 수화열의 발생패턴을 결정하는 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 여기서 주변온도 조건이라 함은 대기온도, 콘크리트 혼합물의 온도, 태양의 복사열 등을 총칭하는 것이다.

* 한양대학교 교통환경시스템공학부 석사과정 · E-Mail : zero955@hanmail.net
** 한양대학교 교통환경시스템공학부 교수 · 공학박사 · E-Mail : suhyc@hanyang.ac.kr
*** 한국도로공사 도로교통기술원 · 공학석사 · E-Mail : soonmini@freeway.co.kr
**** (주) 로드텍 개발실 · 공학석사 · Tel : 031-400-3856 · E-Mail : nicezzang@hotmail.com
***** 한국도로공사 도로교통기술원 · 공학박사 · E-Mail : kimhyun3@freeway.co.kr

3. 시험장비

① i-Button

콘크리트 보조기층 및 슬래브의 온도를 측정하기 위해서 사용한다. 측정 가능한 온도범위는 -40℃~85℃로 0.5℃ 단위로 증감하며, 정확도는 -20℃~70℃에서 ±1℃이다. i-Button은 자체 저장기능이 있어 시험기간이 완료된 이후 한번의 접속으로 시험기간 중의 온도이력을 확보할 수 있는 장점이 있다. 본 시험시공에서 보조기층에 설치하는 i-button의 경우에는 보조기층 상부에서 각각 5cm, 10cm 깊이에 고정될 수 있도록 제작하였으며, 표층의 경우에는 콘크리트 페이버에 의한 기계포설이 이루어짐으로 작업의 용이성을 위해 i-button 거치대를 별도 제작하여 포설 직후 굳기 전의 콘크리트 슬래브에 삽입하는 방법으로 콘크리트슬래브의 노면으로부터 각각 3cm(상), 15cm(중), 27cm(하)에서 측정할 수 있도록 하여 일정한 깊이에서 온도를 측정할 수 있게 하였다.

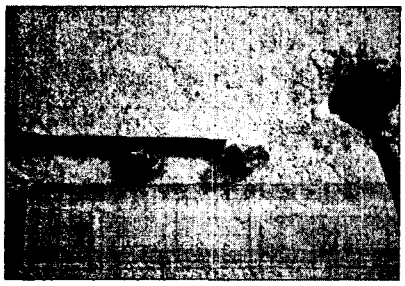

그림 1. 보조기층 i-button

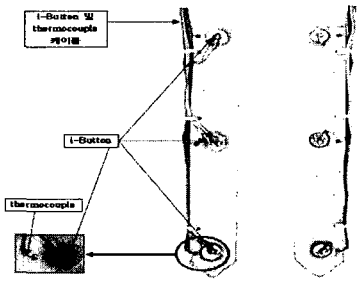

그림 2. 콘크리트슬래브용 i-button 거치대

② 차광막

보조기층의 온도와 슬래브의 온도 상승 억제를 위해서 설치하며, 2차로를 동시에 차단할 수 있는 크기(가로*세로=12m*6m)이다. 2차로에 설치할 경우에 중간에 연결부위가 있어 처짐이 생기므로 구조물의 연결부가 처짐이 생기지 않도록 고정하였다.

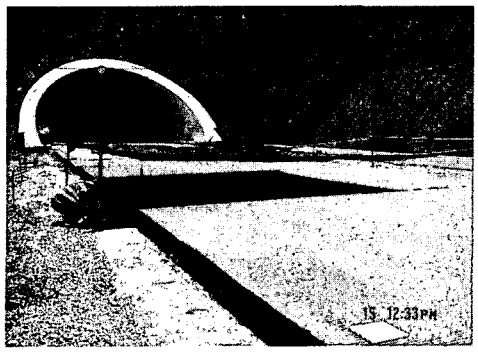

그림 3. 차광막

③ 그 외에 온도계 및 습도계 등을 차단막 내·외부에 설치하여 계측하였다.

4. 보조기층 차광막(양생포) 효과

보조기층의 차광막 설치는 콘크리트슬래브 시공 전에 설치함으로써 보조기층의 온도를 낮추기 위함이다. 시험시공 위치는 영동고속도로 확장 구간에서 실시하였으며, 콘크리트슬래브 시공 2일전에 보조기층에 천공을 하여 i-button을 보조기층의 표면으로부터 각각 5cm, 10cm에 설치하고 차광막(양생포)을 설치하였다(그림 1, 그림 4 참조).

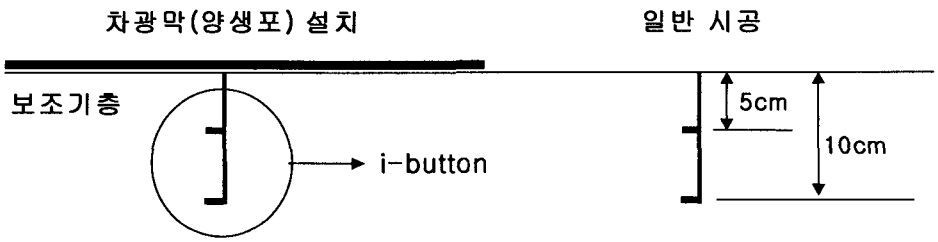

그림 4. 보조기층에서의 i-button 설치

보조기층 차광막을 설치한 경우에 낮에는 보조기층에 그늘을 형성하여 온도를 감소시켰으나, 새벽에는 보조기층의 온도를 대기로 방출하지 못하여 오히려 보온효과를 보였다. 그림 5와 그림 6에서 보이는 바와 같이 오전 10시에서 오후 4시에는 차광막을 설치한 구간이 일반시공 구간보다 보조기층의 온도가 낮았고, 그 이후의 시간에는 차광막을 설치한 구간이 일반시공 구간보다 보조기층의 온도가 높았다.

이러한 결과로 볼 때, 시공 당일 오전에 보조기층 차광막을 설치할 경우 보온효과에 의해 일반시공 구간보다 온도가 높기 때문에 오전 시공에 차광막을 설치하는 것은 온도저감을 위한 차광막의 효과를 볼 수 없다고 판단된다. 따라서, 보조기층에서의 차광막 설치는 온도를 저감시킬 수 있는 오후 시공구간에 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

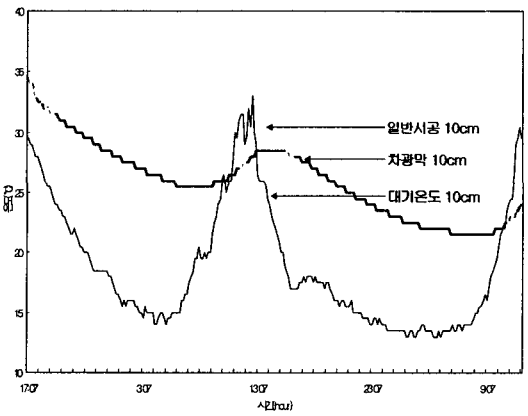

그림 5. 보조기층에서 5cm아래의 온도 패턴

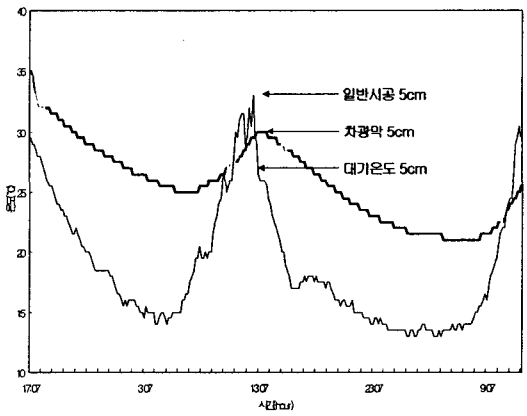

그림 6. 보조기층에서 10cm 아래의 온도 패턴

5. 콘크리트슬래브에서의 차광막 효과

(1) 차광막 시험

콘크리트슬래브의 온도를 조절하여 오전에 시공한 콘크리트슬래브의 초기균열을 억제하기 위하여 오전 포설구간에 차광막을 설치하였다. 그림 7과 같이 온도패턴을 측정하기 위하여 i-button 거치대를 별도 제작하여 포설 직후 굳기 전의 콘크리트 슬래브에 삽입하는 방법으로 콘크리트슬래브의 노면으로부터 각각 3cm (상), 15cm(중), 27cm(하)에서 측정할 수 있도록 하여 일정한 깊이에서 온도를 측정할 수 있게 하였다.

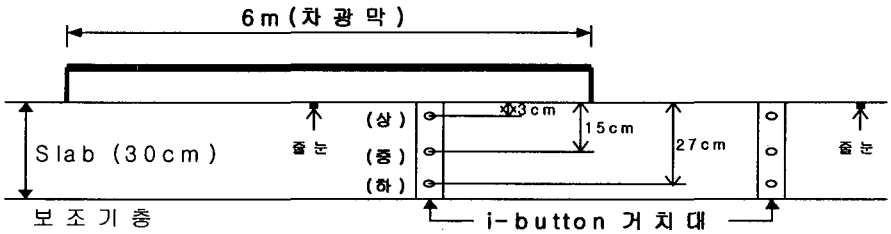

그림 7. 콘크리트슬래브에서의 i-button거치대 설치

포설 시작시각은 오전 9시였으며, 세 번째와 네 번째 콘크리트슬래브 사이에 차광막을 설치하였다. 오전 10시 경 차광막 설치 대상구간에서 페이버가 지나간 직후 i-button 거치대를 매설하였고. 차광막은 본 대상구간에 양생제를 살포한 직후 설치하였으며, 이후로 24시간동안 차광하였다.

표 1에 나타난 바와 같이, 콘크리트슬래브 표면에서 상부, 중앙부, 하부의 온도의 패턴을 보면, 세 지점에서의 패턴이 모두 비슷하나 깊이에 따른 콘크리트슬래브의 열전달 시간이 다르므로 최고 온도에 도달하는 시각이 달랐다. 그림 8, 9, 10을 보면 하부로 내려갈수록 일반시공구간과 차광막설치 구간의 온도 차이가 적게 나타나는 것을 볼 수 있다.일반시공 구간의 경우 온도 패턴을 보면, 최고온도가 하부, 중앙부, 상부 순으로 낮게 나타났으며, 상부에서의 최고온도와 최저온도의 차이가 가장 크게 나타났다. 반면 차광막을 설치한 구간의 온도패턴을 보면, 최고온도가 상부, 하부, 중앙부 순으로 낮게 나타났으며, 상부에서의 최고온도와 최저온도의 차이가 가장 낮게 나타났다.

표 1. 콘크리트슬래브에서의 최고온도와 시간

	차광막(℃)	시간	일반(℃)	시간
상부(3cm)	34	17:31	43.5	14:56
중앙부(15cm)	38	18:16	43	17:26
하부(27cm)	36	19:01	39.5	19:06

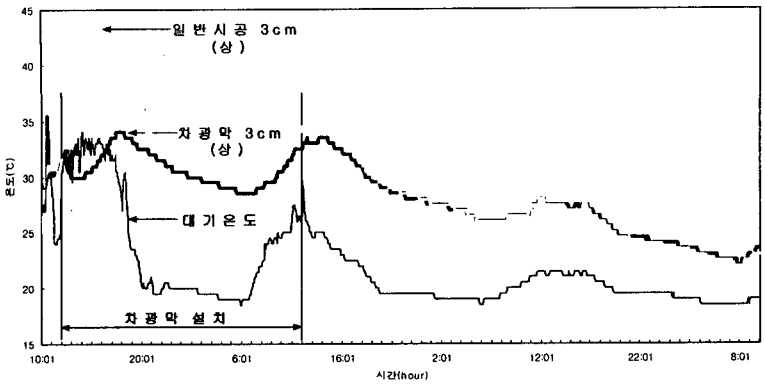

그림 8. 상부(3cm) 온도 패턴

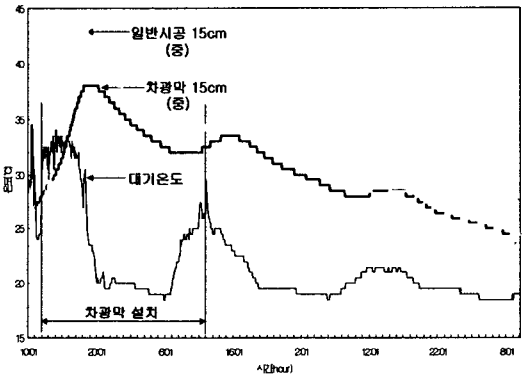

그림 9. 중앙부(15cm) 온도패턴

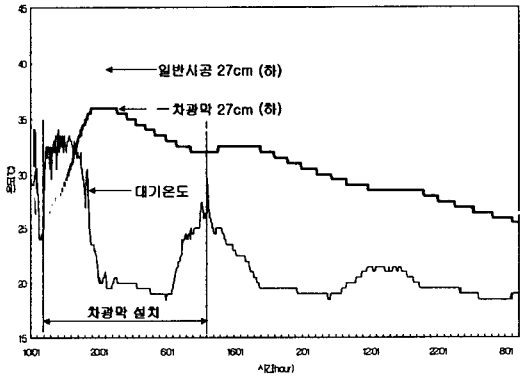

그림 10. 하부(27cm) 온도패턴

일반시공 구간의 경우에서는 상부에서 직사광선의 영향을 많이 받아서 최고온도와 최저온도의 차이가 가장 크게 나타났다. 차광막을 설치한 경우에는 상부가 직사광선이 차단되고 바람 등의 영향으로 최고온도가 가장 낮으며 최고온도와 최저온도의 차이가 가장 작게 나타났다. 따라서 차광막을 설치한 경우에 콘크리트슬래브의 온도를 감소시켜 초기에 발생하는 균열을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

(2) PV(Pulse Velocity) 측정

콘크리트슬래브의 표면강도를 비파괴시험을 통해 측정하였다. PV측정은 두개의 탐촉자 사이의 초음파 속도를 이용하는 방법으로 콘크리트슬래브를 시공을 한 후 5시간 후부터 측정하기 시작하였다. 측정시 탐촉자 사이의 간격은 30cm, 슬래브 가장자리에서 55cm 떨어진 위치에서 측정을 하였다.

PV측정은 차광막 구간과 일반시공 구간에서 3지점씩 측정하여 평균값을 사용하였다. 차광막을 설치한 구간은 직사광선이 차단되어 시공 초기에 콘크리트슬래브의 양생온도가 낮고 온도 발현속도가 늦어짐으로써 콘크리트 슬래브의 강도발현 속도를 늦출 수 있었다.

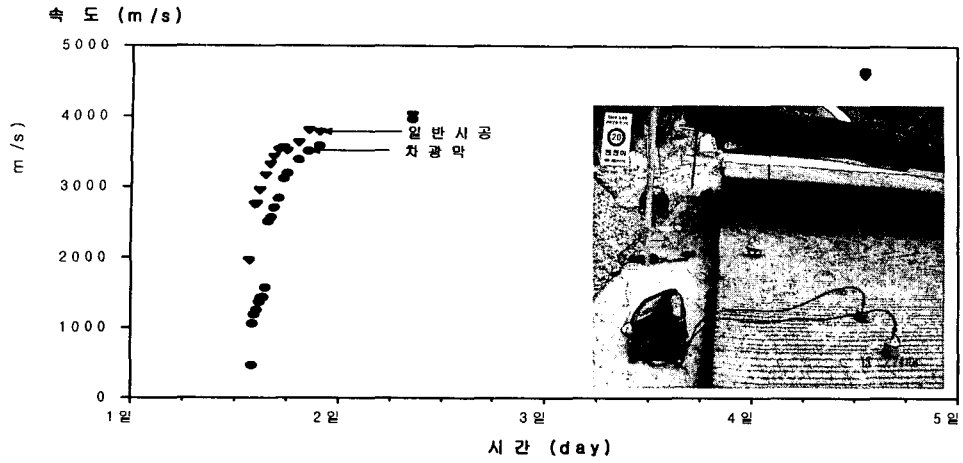

그림 11. PV 측정 및 결과

7. 결론

1. 콘크리트 포설에 있어 차광막을 이용할 경우 콘크리트에서 발생되는 최고온도를 양지쪽에 비해 10℃까지 줄일 수 있었으며 온도 낙차폭도 9.5℃까지 줄일 수 있었음을 현장 시험시공을 통해 확인하였다.
2. 보조기층에 차광막을 사용할 경우 최고온도를 3℃까지 감소시킬 수 있었으며 최저온도는 4.5℃까지 상승시키는 결과를 현장 시험을 통해 확인하였다.
3. PV측정으로 양생온도가 낮고 온도 발현속도가 느린 곳(차광막 설치 구간)에서 초기에 강도발현이 늦은 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(건설교통부 주관)에 일부분으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. 서영찬, "콘크리트포장의 포설시기가 시공초기의 균열 발생 패턴에 미치는 영향" 대한 토목학술논문집 제13권 2호, 1993
2. 최신 콘크리트 공학, 한국콘크리트학회, 1996