

양생제가 콘크리트포장의 초기 거동에 미치는 영향에 관한 연구

Effects of Curing Compound on Early Age Behavior of Concrete Pavement

김장락* · 서영찬** · 안성순*** · 김형배*** · 김종호****

Kim, Jang Rak · Suh, Young Chan · Ahn, Sung Soon · Kim, Hyung Bae · Kim, Jong Ho

1. 서론

콘크리트 포장에서 초기 균열 억제는 장기공용성에 큰 영향을 미친다. 콘크리트 포장이 충분한 강도를 발휘하기 위해서는 충분한 수화작용을 위한 습윤상태가 유지되어야 한다. 콘크리트 타설 후 초기 블리딩(bleeding)현상으로 인해 표면수가 발생하는데, 시공현장의 높은 대기온도, 직사광선, 바람, 낮은 습도등으로 인해 표면수가 빠른 시간내 증발되면서 건조수축으로 인한 균열(Shrinkage crack)을 유발하게 된다. 따라서 콘크리트 포장 시공(타이닝 작업) 후 표면수가 증발되기 전에 양생제를 살포하여 수분증발 속도를 적절히 감소시켜 주는 환경을 조성해 주어야 한다. 본 연구는 다양한 현장 환경조건 하에서 양생제의 성능 실험을 통해 적절한 양생제 살포시기와 살포량을 정량화 하고자 한다.

2. 실험 개요

콘크리트 초기강도의 중요한 역할을 하는 양생제의 살포시기나 살포량 등 명확한 규정이 불충분한 것이 사실이다. 이에 본 연구는 콘크리트 포장 시공현장에서 양생제가 실제 얼마나 살포되는지를 파악하고 양생제 살포량에 따른 증발량, 콘크리트의 온도변화, 표면강도등을 측정하여 양생제의 적정 살포량을 제시하는데 목적이 있다.

2.1 실험위치 및 온도조건

총 네 번의 실험을 하였고 그 시기 및 장소는 <표 1>에서 보느바와 같다.

2.2 실험 재료 및 도구

① 양생제

양생제는 고속도로 시공현장에 주로 사용되는 S사의 유성 양생제를 사용하였다. Hydro Carbon Resin계인 유성양생제로서 현재 국내에서는 이 계열의 양생제를 사용하고 있음을 한 연구원(S사의 기술연구소)으로부터 확인 할 수 있었고 다음의 <표 2>와 <표 3>은 양생제의 화학적 성분 및 시험 성과표이다.

* 한양대학교 교통환경시스템공학부 석사과정 · E-Mail : jaksal93@hanmail.net
** 한양대학교 교통환경시스템공학부 교수 · 공학박사 · E-Mail : suhyc@hanyang.ac.kr
*** 한국도로공사 도로교통기술원 · 기술원장
**** 한국도로공사 도로교통기술원 · 공학박사 · E-Mail : kimhyun3@hanmail.net
***** (주) 로드텍 개발실 · 공학석사 · Tel : 031-400-3856 · E-Mail : nicezzang@hotmail.com



<표 1> 본 연구가 수행된 실험 시기 및 장소

비 고	시기	장소	낮 최고 기온	슬래브 상부 최고온도
1차시험	2002년 7월 중순	경기도 이천 중부내륙고속도로 시험도로	37.5℃	50℃
2차시험	2003년 6월 중순	경기도 여주 영동고속도로 확장구간	27.5℃	40℃
3차시험	2003년 7월 중순	경기도 여주 영동고속도로 확장구간	31.5℃	42℃
4차시험	2003년 8월 중순	경상북도 상주 중부내륙고속도로 신설구간	30℃	43.5℃

<표 2> 실험에 사용될 양생제의 성분

성 분	함유량(%)
Hydro Carbon Resin	20.0
TiO2	5.0
Solvent	75.0

<표 3> 실험에 사용될 양생제의 시험 성과표

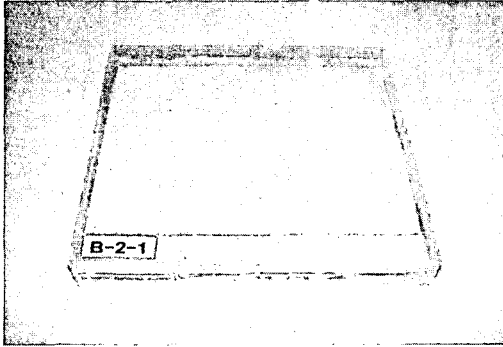
시 험 항 목	단 위	결과치	비 고
건 조 시 간	시:분	2:40	KS F 2540
컨시스턴시	-	양호	"
불 휘 발 분	%	18.7	KS M 5000
수분손실량	kg/m ³	0.51	KS F 2406
비 중	-	0.965	KS M 5000
REMARK	건구온도 38±1℃		습구온도 21℃

② 증발수집기

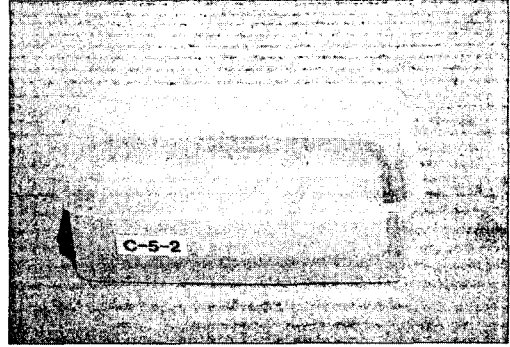
콘크리트포장의 증발량 측정시 사용된 증발수집기는 <그림 1>과 같이 아크릴을 이용하여 내경 300mm×300mm×40mm(가로×세로×높이)의 크기로 제작하였다. 높이 40mm이 네 면에 직경 3mm의 구멍을 뚫고, 두꺼운 실로 구멍 사이사이를 서로 엇갈리게 연결하여 하나의 면을 만들었다. 두꺼운 실로 구멍 사이사이를 서로 엇갈리게 연결하여 면을 형성하여 수분의 흡수가 좋은 흡수포를 올려놓고 고정시켰다. 여기서 흡수포가 양 아크릴 면에 닿도록 조금 크게 제단 하였다. 흡수포를 올려놓은 면을 위로하여 개방된 윗면에 아세테이트로 덮고 구멍이 뚫린 옆면은 테이프로 봉하였다.

③ 증발시편

증발량 측정용으로 사용된 증발시편의 몰드는 크기가 290mm×210mm×90mm(가로×세로×높이)로 <그림 2>과 같은 시중에 판매되는 직육면체의 플라스틱통이다. 증발시편 제작시 필요한 다짐봉과 면고르기에 필요한 30cm의 자를 준비하였다.



<그림 1> 증발수집기



<그림 2> 증발시편

④ i-Button 과 초음파측정기

초기재령의 콘크리트 온도변화를 측정하기 위하여 i-Button을 사용하였다. i-Button의 장점은 무인계측을 할 수 있고 측정간격을 자유롭게 선택가능하며 장기계측이 용이하고 비용이 저렴하다는 것이다.

콘크리트 표면강도를 측정하는 간접적인 방법으로 초음파 (PV : pulse Velocity)를 사용하였다. PV를 측정하기 위해 비파괴 시험으로 초음파측정기를 이용하게 된다. 펄스의 발생시키는 전압은 250V, 500V, 1200V 가 있고 본 실험에는 500V로 펄스를 발생시켰다. 측정항목으로 속도를 선택하였고 미리 정해둔 측정 길이와 측정시 기록된 통과시간으로 속도를 구하게 된다. 단위는 m/s 이다.

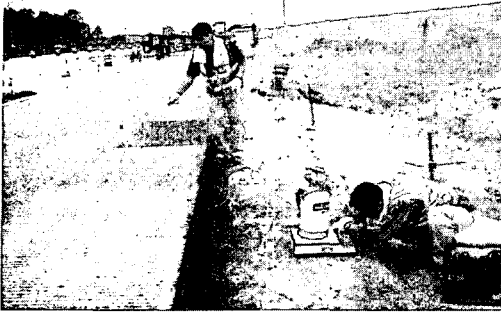
2.2 실험계획

양생제의 정량화에 관한 실험은 4가지 방법으로 실시하였다. 첫 번째는 콘크리트포장 시공면 위에 계획된 양의 양생제를 살포하고 그 면에 증발수집기를 설치하여 양생제 살포량에 따른 증발량을 측정하는 것이고, 두 번째는 시공 현장에서 증발시편을 제작하고 그 위에 양생제를 살포하여 살포량에 따른 수분손실량을 측정하는 방법이다. 세 번째는 양생제 살포량에 따라 달라지는 콘크리트포장의 초기재령의 온도를 측정하는 것이고, 마지막으로 양생제의 살포량에 따라 콘크리트 슬래브의 표면강도를 PV(Pulse Velocity)를 통해 간접적으로 측정하는 것이다

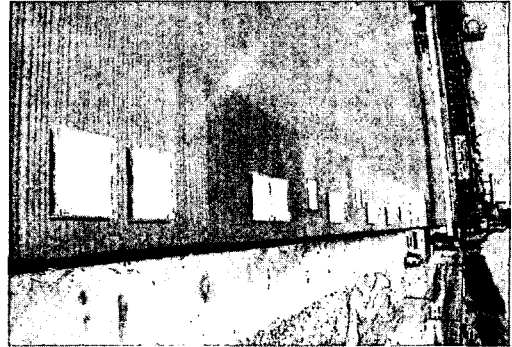
① 증발수집기를 이용한 양생제의 살포량별 증발량 측정실험

본 실험에는 양생제의 양을 0에서 1000ml/m²까지 분류하여 콘크리트 시공면에 살포하였고 각각의 양생제가 살포된 면에는 증발수집기를 설치하여 증발량을 측정하였다.

오전에 포설된 콘크리트 슬래브에 한시간 정도가 지난 후 타이닝(Tining) 작업을 하게 되고 바로 양생제를 살포하게 된다. 타이닝 작업이 끝난 후 실험대상면 위에 폭 1m의 비닐을 모서리 부분에 시공방향으로 덮어씌운다. 이 부분은 현장에서 양생제 살포기에 의해 살포되는 양생제의 영향을 받지 않고 계획된 양의 양생제를 살포하기 위함이다. <그림 3>은 비닐을 제거하고 그 위에 2m(1m×2m)당 계획된 양을 살포는 것이고, <그림 4>는 각기 다른 양의 양생제가 살포된 시공면에 증발수집기를 설치한 것이다. 설치하기 전에 반드시 각각의 증발수집기의 중량을 기록해 두고 설치가 완료되면 2시간마다 증발수집기의 중량을 측정함으로써 증발량을 체크하였다



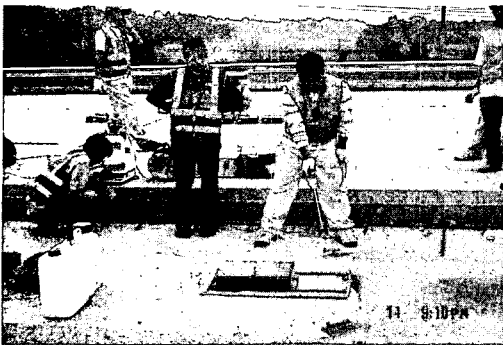
<그림 3> 계획된 양의 양생제 살포



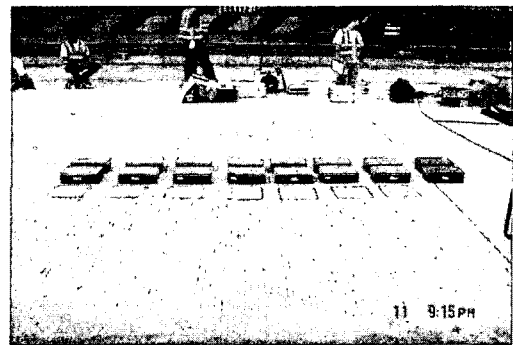
<그림 4> 증발수집기의 설치

② 증발시편을 이용한 양생제의 살포량별 증발량 측정실험

증발수집기를 이용한 실험이 계획된 지점 시공시에 현장시편을 제작하였다. 증발시편 몰드에 굳지 않은 콘크리트를 넣고 충분히 다진 후 윗면을 나무자로 깎아 내고 면을 고르게 하였다. 증발수집기를 이용한 실험과의 비교를 위하여 같은 시간대에 증발시편을 제작하였고 비슷한 시간에 양생제를 살포하였다. 양생제 살포량은 증발수집기를 이용한 실험과 동일하게 0에서 1,000ml/m²를 살포하였고 <그림 5>는 증발시편에 양생제를 살포하는 장면이고 <그림 6>은 양생제 살포후 증발시편을 양생시키는 것이다. 이 경우에도 최초 제작후 증량을 측정하고 양생제 살포직전과 직후의 무게를 측정하였다. 그리고 2시간마다 증발시편의 증량을 측정하여 수분손실량을 기록하였다.



<그림 5> 증발시편에 계획된 양생제 살포



<그림 6> 양생중인 증발시편

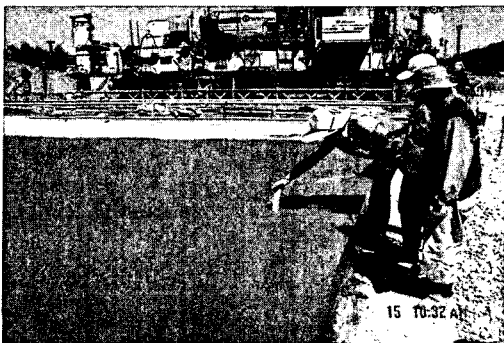


③ 양생제 살포량에 따른 초기재령에서의 콘크리트포장의 온도변화 실험

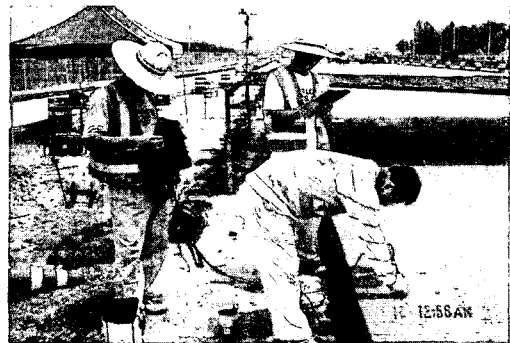
각각의 양생제를 살포한 면에 i-Button을 설치한 후 자동으로 온도를 측정하게 함으로써 살포량에 따른 초기재령의 콘크리트 온도 변화를 측정하게 된다. 증발수집기의 설치가 계획된 콘크리트 포장면이 시공이 되면 <그림 7>과 같이 i-Button을 설치한다. i-Button은 0, 100ml/m², 1,000ml/m²가 살포된 면에 설치를 하게 되고 설치와 동시에 자동계측을 하도록 세팅을 한다. 한개의 i-Button 거치대에는 상, 중, 하 세 지점에서 측정 할 수 있도록 하였고 본 실험에서는 5분 간격으로 온도를 측정하도록 하였다.

④ 양생제 살포량에 따른 표면강도 측정실험

이번 실험은 양생제 살포량에 따라 콘크리트포장의 표면강도를 측정하는 실험으로써 초음파측정기로 PV(Pulse Velocity)를 측정하여 간접적인 강도 및 강도발현 속도의 차이를 실험하게 된다. 각각의 다른 양생제를 살포한 시공면에 30cm의 간격으로 홈을 파고 포장면의 강도가 발현되기 시작하는 4~5시간 정도가 경과된 후에 첫 측정을 할 수 있다. <그림 8>은 PV를 측정하는 것을 보여준다. 측정시기는 첫 측정 이후 2시간 간격으로 하고 12시간 1, 3, 7, 28일의 값까지 측정하게 된다.



<그림 15> 실험 대상면의 i-Button 설치



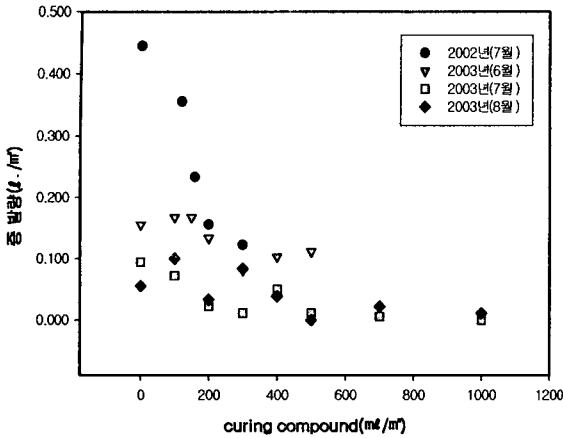
<그림 16> PV(pulse velocity) 측정

3. 실험결과

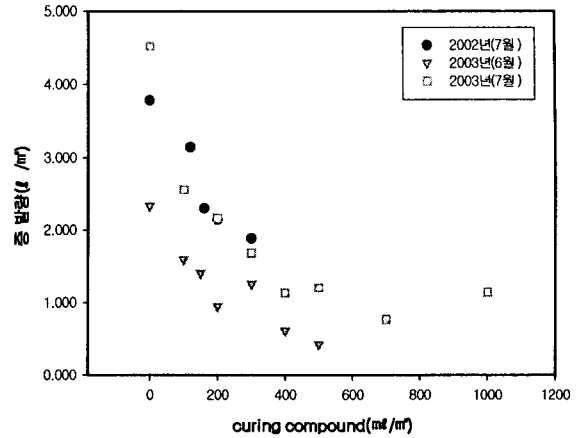
3.1 실험위치 및 온도조건

① 양생제 살포량에 따른 증발량 변화

증발수집기 및 증발시편을 이용한 실험에서 양생제 살포량에 따라 증발량이 차이가 남을 확인하였다. 양생제 살포량을 0~1,000ml/m² 적용하여 실험을 하였고 그 결과는 <그림 9>와 <그림 10>에서 보는 바와 같이 증발수집기, 증발시편에서 양생제 살포후 6시간 및 10시간 후의 살포량별 증발량 비교값을 얻었다. 양생제 살포량이 약 400ml/m²가 될 때 까지는 살포량이 증가하면 증발량은 반비례하여 계속해서 감소 하지만 400~500ml/m² 부터는 살포량이 증가 하더라도 더 이상의 증발량은 억제하지 못하는 경향을 알 수 있었다.



<그림 17> 중발수집량 비교(중발수집기, 살포후 6시간후)



<그림 18> 중발수집량 비교(중발시편, 살포후 10시간후)

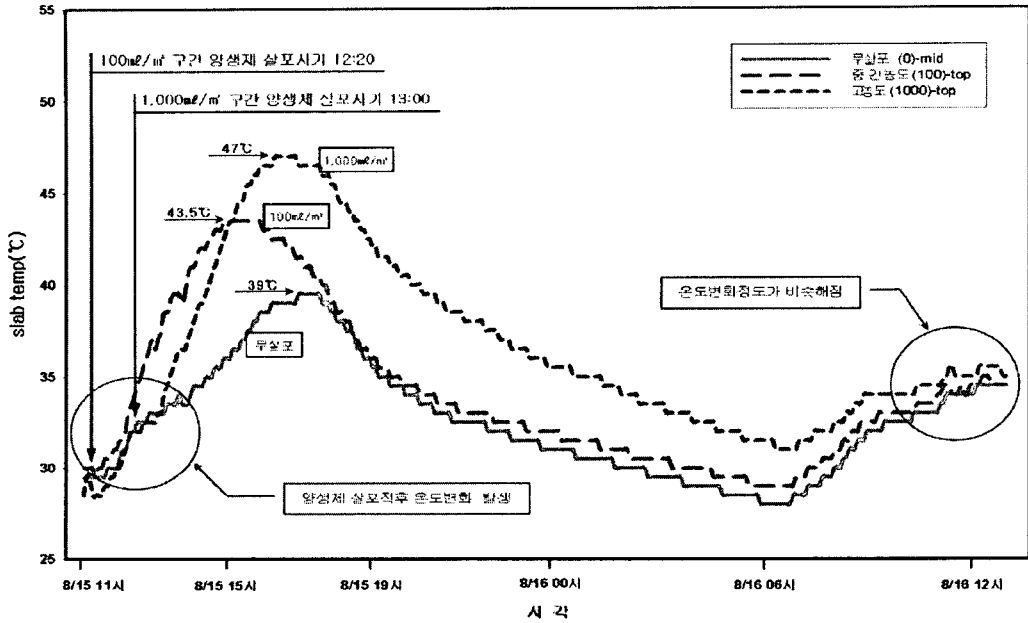
② 양생제 살포량별 초기재령의 콘크리트 온도

양생제의 살포량에 따른 콘크리트의 온도변화를 측정하기 위하여 시공된 콘크리트 슬래브에 i-Button을 설치하여 5분마다 자동계측을 하였다. 그 결과 양생제 살포량에 따라 초기재령에서의 콘크리트 온도는 확연한 차이가 발생하였다. <그림 11>은 콘크리트포장 상부에서의 살포량별 온도변화를 나타낸 것이다. 콘크리트의 온도를 측정한 구간은 무살포구간, 100ml/m²구간, 1,000ml/m²구간의 세 구간에서 실시하였는데 시공당일의 콘크리트 표면의 최고온도는 39℃, 43.5℃, 47℃로 나타났고, 무살포구간과 1,000ml/m²구간에서 최고 8℃의 온도차가 발생하였고, 100ml/m²구간과 1,000ml/m²구간에서는 3.5℃의 온도차를 나타내었다. 또한 다음날 새벽 최저온도는 28℃, 29℃, 31℃로 나타났다.

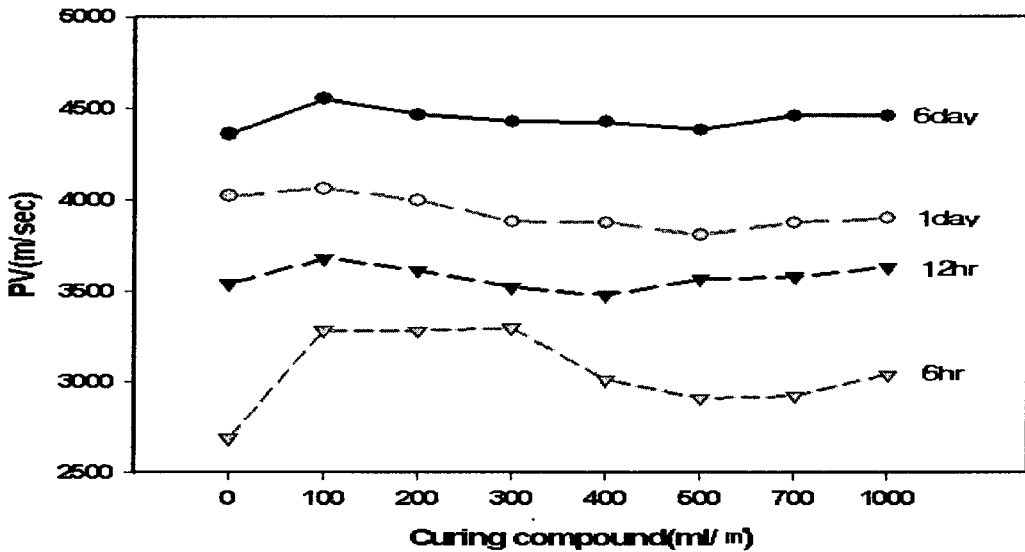
양생제 살포직후부터 각각의 구간에서 온도변화가 발생하는 것을 확인할 수 있고 다음날 12시경 부터는 온도변화가 유사해짐을 확인할 수 있었다.

③ 양생제 살포량에 따른 콘크리트포장의 표면강도

양생제의 살포량에 따른 콘크리트포장의 표면강도를 측정하기 위해 콘크리트 표면에 30cm 간격의 홈을 파고 초음파 측정기를 이용하여 PV(Pulse Velocity)를 측정하였다. 증발량 실험을 실시한 콘크리트 포장면에 0에서 1,000ml/m²구간까지 각 구간에서 PV를 측정한 결과 <그림 12>과 같은 값을 얻었다. 그림에서 보는바와 같이 양생제 살포량이 상대적으로 적은 구간(100~300ml/m²)에서 1일이 경과되기 전에 초기 강도발현이 빨리 이루어지고 있음을 확인하였고 6일후에는 살포량이 상대적으로 많은 구간(400~1,000ml/m²)의 강도발현이 적은구간과 유사해지고 있었다. 차후 28일 및 100일 후의 PV(Pulse Velocity)를 측정하여 그 현상을 파악하여야 한다.



<그림 19> 양생제 살포량에 따른 초기재령의 콘크리트 상부 온도변화 (4차 시험시공)



<그림 20> 양생제 살포량별 PV(Pulse Velocity) 비교 (4차 시험시공)



4. 결론

본 연구의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 현재 국내에서 사용하는 양생제의 살포량($100\sim 150\text{ml}/\text{m}^2$)은 불충분한 것으로 나타났다. 콘크리트 포설후 증발량은 양생제 살포량에 반비례하여 $400\sim 500\text{ml}/\text{m}^2$ 까지 계속 감소하였으며, 그 후로는 도포량이 증가하더라도 더 이상 증발량을 줄일 수 없었다. 따라서 증발량을 최소화하기 위한 적정 양생제의 살포량은 $400\sim 500\text{ml}/\text{m}^2$ 라고 할 수 있다.

(2) 양생제 살포량이 많을수록 초기재령의 콘크리트 온도는 높아지는 것으로 나타났다. 양생제 살포량을 $0, 100\text{ml}/\text{m}^2, 1000\text{ml}/\text{m}^2$ 구간의 경우 시공 당일 콘크리트 표면 최고 온도는 각각 $39.5^\circ\text{C}, 43.5^\circ\text{C}, 47^\circ\text{C}$ 로 나타났다으며, 다음날 새벽 최저온도는 $28^\circ\text{C}, 29^\circ\text{C}, 31^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 실제로 포설 직후 콘크리트 포장 온도는 같은 패턴을 보이다가 양생제 살포 직후부터 차이를 보이기 시작했다. 이렇게 양생제 살포량에 따라 증발량이 달라지고, 양생제 살포량이 커지게 되면 콘크리트 포장에 보다 강력한 양생피막이 형성되어 기화열이 표면에서 발산되지 못하고 잔류하게 되므로 수분 증발이 억제되고 콘크리트 포장 표면온도는 상승하게 되는 효과가 있는 것으로 분석된다.

(3) 양생제 살포량이 많을수록 콘크리트 표면의 초기 강도는 낮았으나 시간이 경과 할수록 그 차이는 없어졌다. 따라서, 혹서기에 콘크리트 포장 포설 후 초기온도가 급격히 상승하고 건조수축량이 지나치게 증가하여 발생할 수 있는 무작위 균열을 이러한 양생제 살포량 조절을 통하여 사전예방하는 것이 가능하다는 것을 간접적으로 알 수 있었다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 최신 콘크리트 공학, 한국콘크리트학회, 1996