

콘크리트포장의 초기 거동 관리 방안 연구

서영찬* · 김장락** · 조영오*** · 윤영미****

Suh, Young Chan · Kim, Jang Rak · Joh, Young Oh · Yoon, Young Mi

1. 서 론

콘크리트 포장의 장기 공용성은 시공조건과 환경조건에 크게 좌우된다. 즉 초기에 무작위 균열이나 균열틈이 많이 벌어진 경우 포장수명을 저감시키는 원인이 된다(서영찬, 1993). 이러한 초기재령의 상태는 온도와 습도, 시멘트와 골재 종류, 양생조건에 많은 영향을 받는다. 그 중에서도 대기온도와 수화열의 증가에 의한 큰 온도차이와 콘크리트의 수분증발 등은 시공 초기에 심각한 균열을 발생시키는 것으로 알려져 있다. 또한, 콘크리트 타설 후 초기 블리딩(bleeding)현상으로 인해 표면수가 발생하는데, 시공현장의 높은 대기온도, 직사광선, 바람, 낮은 습도 등으로 인해 표면수가 빠른 시간 내 증발되면서 건조수축으로 인한 균열(shrinkage crack)을 유발하게 된다. 따라서 콘크리트 슬래브의 과도한 온도 상승을 방지하고 콘크리트 포장 시공(타이닝 작업)후 표면수가 증발되기 전에 양생제를 살포하여 수분증발 속도를 적절히 감소시켜주어 초기 균열을 방지하여야 할 것이다(Samarai et al, 1992).

이에 본 연구는 시공직후 직사광선으로부터 콘크리트의 급격한 온도상승 및 건조량을 줄이기 위한 차광막의 효과를 확인하고 다양한 현장 환경조건 하에서 양생제의 성능 실험을 통해 적절한 양생제 살포시기와 살포량을 정량화하기 위한 연구로서 그 영향을 온도패턴, 표면강도, 수분증발량의 측면에서 일반시공구간과 비교하였다.

2. 실험 개요

현재 국내에서는 콘크리트 포장의 장기공용성에 영향을 미치는 초기 품질관리에 대한 중요성이 인식되고 있다. 콘크리트 포장의 초기 품질관리에 영향을 미치는 요소로는 크게 콘크리트 슬래브 온도와 대기온도(온도, 습도 및 풍속) 그리고 콘크리트 슬래브의 수분증발이 있다(김장락, 2003).

하지만, 현재 국내에서는 콘크리트 표면의 수분증발억제에 효과가 있는 양생제가 현장 시공자의 주관적인 판단에 의해 살포되고 있으며 콘크리트 슬래브의 과도한 온도 상승 방지를 위한 방안 중 하나인 차광막의 효과에 대한 연구도 미비한 실정이다(조영오, 2003).

이에 본 연구는 콘크리트 포장 시공현장에서 살포되는 양생제 살포량과 양생제 살포량에 따른 콘크리트 수분 증발량, 콘크리트포장 슬래브 깊이별 온도변화, 콘크리트 슬래브 강도 등을 측정하였고 차광막 설치에 따른 양생 효과, 온도 및 일사량의 변화를 관찰하였다.

2.1 실험위치 및 온도조건

본 실험은 현장에서 수행되었으며 시기 및 장소는 <표 1>에서 보는바와 같다.

* 정회원 · 한양대학교 교통공학과 정교수(E-mail: suhyc@hanyang.ac.kr)
** 한양대학교 대학원 교통공학과 석사과정(E-mail: jaksal93@hotmail.com)
*** 한양대학교 대학원 교통공학과 석사과정(E-mail: zero955@hanmail.net)
**** 한양대학교 대학원 교통공학과 석사과정(E-mail: transaromi@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	28	40
3차시험	2003년 7월 중순	경기도 여주 영동고속도로 확장구간	28	42
4차시험	2003년 8월 중순	경상북도 상주 중부내륙고속도로 신설구간	34	43.5

2.2 실험 재료 및 도구

본 실험을 위하여 사용된 도구는 다음과 같다.

1) 태양광 차단막

보조기층의 온도와 슬래브의 온도 상승 억제를 위해서 설치하며, 본 실험을 위하여 콘크리트 슬래브 두개를 동시에 차단할 수 있는 크기(12×6m)의 차단막을 제작하였다.

2) 양생제

양생제는 고속도로 시공현장에 사용되는 S사의 유성 양생제를 사용하였다.

3) 증발수집기

콘크리트포장면에서 증발되는 수분의 양을 측정하기 위하여 내경 300×300×40mm의 크기로 제작하였다.

4) 증발시편

현장조건을 모사하기 위해 증발량 측정용으로 크기가 290×210×90mm로 시중에 판매되는 플라스틱제품을 사용하였다.

3. 실험방법

3.1 차광막 실험방법

본 연구의 차광막 실험은 세 가지 방법으로 실시하였다.

1) 보조기층에서 차광막 실험

보조기층의 차광막은 콘크리트슬래브 시공 전에 차광막을 설치함으로써 보조기층의 온도 변동폭을 줄여 일정한 온도에서 콘크리트슬래브를 시공하기 위해 콘크리트슬래브 시공 2일전에 설치하였다.

2) 콘크리트슬래브에서 차광막 실험

콘크리트 슬래브의 시공 시각은 오전 10시이며 차광막은 타이닝을 하고 양생제를 살포한 후 오후 12시부터 다음날 오후 12시까지 24시간동안 설치하였다.

3) 표면강도 측정 실험

콘크리트의 재령에 따라 PV(Pulse Velocity: 초음파 전달속도, 이하 PV)를 측정하여 간접적인 강도 및 강도발현 속도의 차이를 실험하였다.

3.2 양생제 실험방법

본 연구의 양생제 살포량에 따른 피막성능 실험은 네 가지 방법으로 실시하였다.

1) 증발수집기를 이용한 양생제의 살포량별 증발량 측정실험

본 실험에서는 양생제의 양을 0~1000ml/m²까지 분류하여 콘크리트 시공면에 살포하였고 각각의 양생제가 살포된



면에는 증발수집기를 설치하여 증발량을 측정하였다.

실험대상 슬래브 위에 폭 1m의 비닐을 모서리 부분에 시공방향으로 덮어씌워 현장에서 양생제 살포기에 의해 살포되는 양생제의 영향을 받지 않고 계획된 양의 양생제를 살포하였다.

2) 증발시편을 이용한 양생제의 살포량별 증발량 측정실험

증발수집기를 이용한 실험이 계획된 지점 시공 시에 현장시편을 제작하였다. 증발수집기를 이용한 실험과의 비교를 위하여 같은 시간대에 증발시편을 제작하였고 비슷한 시간에 양생제를 살포하였다. 양생제 살포량은 증발수집기를 이용한 실험과 동일하게 0~1,000ml/m²를 살포하였다.

3) 양생제 살포량에 따른 초기재령에서의 콘크리트포장의 온도변화 실험

각각의 양생제를 살포한 면에 i-button을 설치하여 살포량에 따른 초기재령의 콘크리트 온도 변화를 각각의 양생제가 살포된 (0ml/m², 100ml/m², 1,000ml/m²) 슬래브에서 깊이별(슬래브표면으로부터 3cm, 15cm, 27cm)로 5분간격으로 계측하였다.

4) 양생제 살포량에 따른 표면강도 측정실험

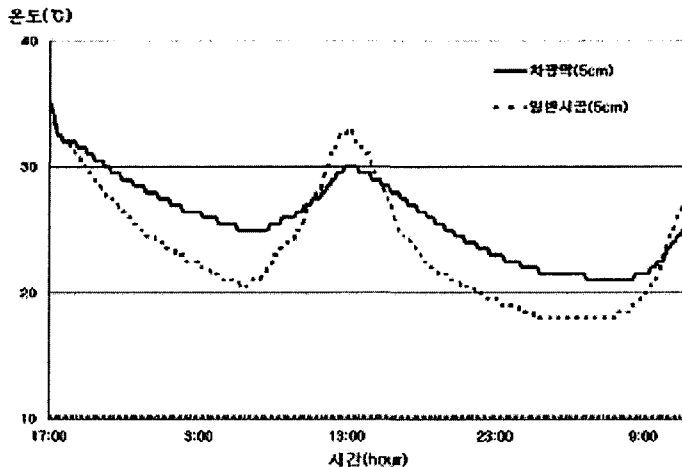
본 실험은 양생제 살포량에 따라 콘크리트포장의 표면강도를 측정하는 실험으로써 콘크리트 재령에 따라 PV를 측정하여 간접적인 강도 및 강도발현 속도의 차이를 실험하였다.

4. 실험결과

4.1 차광막 실험결과

1) 보조기층에서의 차광막 효과

보조기층에 차광막을 설치한 경우에 낮에는 보조기층에 그늘을 형성하여 온도를 감소시키고 새벽에는 낮 동안 차광막 안의 태양열이 저장되어 보온효과를 보였다. 오전 10시에서 오후 4시에는 차광막을 설치하지 않은 구간이 차광막을 설치한 구간보다 보조기층의 온도가 높은 것을 볼 수 있으며, 그 이후의 시간에는 차광막을 설치한 구간이 차광막을 설치하지 않은 구간보다 온도가 <그림 1>과 같이 높게 나타났다.



<그림 1> 보조기층 표면아래 5cm지점의 온도 패턴

시공 당일 보조기층에서의 차광막의 효과는 차광막을 했을 때 온도의 편차가 적어 시공 시에 일정한 온도를 유지한다는 장점이 있으나 오전에 보조기층에 차광막을 설치할 경우에는 보온효과에 의해 일반시공 구간보다 온도가 높아지기 때문에 오전 시공에 차광막을 설치하는 것은 온도저감을 위한 차광막의 효과를 볼 수 없다고 판단된다. 따라서



보조기층에서의 차광막 설치는 오후 시공분의 온도를 낮출 수 있는 시기에 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다.

2) 콘크리트 슬래브에서의 차광막 효과

상부(3cm)의 경우 콘크리트 슬래브 시공 후 일반시공 구간에서의 최고온도가 가장 빠른 시기에 43℃까지 상승하였고, 차광막 설치 구간의 경우 최고온도가 가장 낮게 나타났다. 또한, 일반시공 구간의 온도차이가 14℃, 차광막 설치 구간의 온도차이가 5.5℃로 9.5℃의 차이가 났다.

중앙부(15cm)의 경우 차광막을 설치한 곳에서는 초반에 표면에서의 온도가 전달되고 발산을 하지 못해서 차광막 설치한 부분에서 최고온도가 가장 높게 나타났다. 일반시공 구간의 최고온도는 43℃이고, 차광막 설치 구간은 38℃로 5℃ 차이가 났으며 최고온도까지 올라가는 시간은 일반시공 구간의 경우 16시 50분이고, 차광막 설치 구간은 18시 16분이었다. 온도차이는 일반시공 구간의 경우 10℃, 차광막 설치 구간은 6℃로 측정되었다.

상부(3cm)에서 하부로 내려올수록 일반시공 구간과 차광막 설치 구간의 온도 차이가 적어지는 것을 알 수 있는데, 하부(27cm)의 경우 일반시공 구간의 최고온도는 39.5℃이고, 차광막 설치 구간은 36℃로 3.5℃ 차이가 나며 최고온도까지 올라가는 시간은 일반시공 구간의 경우 19시 6분이고, 차광막 설치 구간은 19시 1분이었다. 최고온도와 최저온도의 차이는 일반시공 구간의 경우 5.5℃, 차광막 설치 구간은 4℃로 측정되었다.

<표 2> 실험 구간별 최고온도와 최저온도

		최고온도		최저온도(℃)	온도차(℃)
		온도(℃)	시간		
상부	일반시공	43	15:40	29	14
	차광막	34	17:31	28.5	5.5
중앙부	일반시공	43	16:50	33	10
	차광막	38	18:16	32	6
하부	일반시공	39.5	18:35	34	5.5
	차광막	36	19:01	32	4

일반시공 구간의 콘크리트 슬래브의 온도 낙차폭이 차광막 설치 구간의 온도 낙차폭보다 크게 나타났다. 온도 낙차폭이 크다는 것은 온도가 최고점까지 상승하였다가 큰 폭으로 떨어진다는 것을 의미하는데, 이때 감소되는 온도가 콘크리트 슬래브를 수축시키게 되어 콘크리트 슬래브 내부에서는 인장응력이 발생한다는 것이다(최신 콘크리트 공학, 1996). 이러한 인장응력이 콘크리트 슬래브의 강도보다 커지게 되면 균열이 발생하게 된다. 따라서 차광막을 설치한 경우에 콘크리트 슬래브의 온도를 감소시켜 초기에 발생하는 균열을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3) 차광막 효과에 따른 콘크리트 포장의 강도

PV 측정은 시공 후 약 3시간 후인 13시 40분부터 측정하였고, 차광막과 일반시공에서 3개 지점씩 측정하여 평균값을 사용하였다. 차광막을 설치한 곳은 일사량의 영향을 적게 받아서 일반시공한 곳 보다 강도가 늦게 발현되었고, 24시간에서의 강도는 일반시공 구간의 강도와 비슷하게 나타났다. 95일까지 측정한 결과 24시간 이후에는 차광막설치 구간에서의 강도 발현 속도가 일반시공 구간 보다 빠르게 나타나는 것을 알 수 있었다. <표 3>에서와 같이 차광막을 설치하여 시공 초기에 양생온도를 저감시킴으로써 콘크리트 슬래브의 빠른 강도발현을 막고, 장기 강도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

<표 3> 재령에 따른 초음파 전달속도(m/sec)

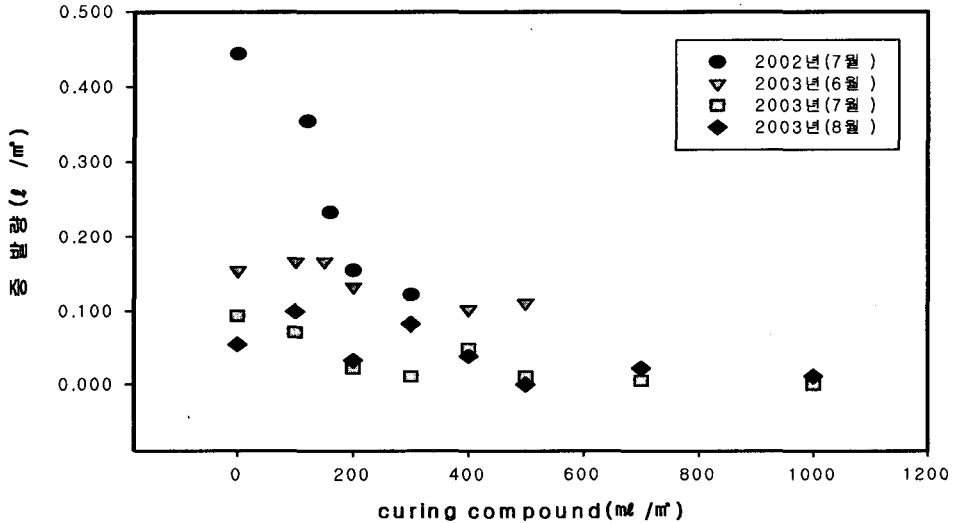
	초기치 (시공 3시간 후)	1일	6일	30일	60일	95일
일반시공	1966	4,027	4,636	4,667	4,712	4,777
차광막	1058	3,959	4,746	4,854	4,892	4,934



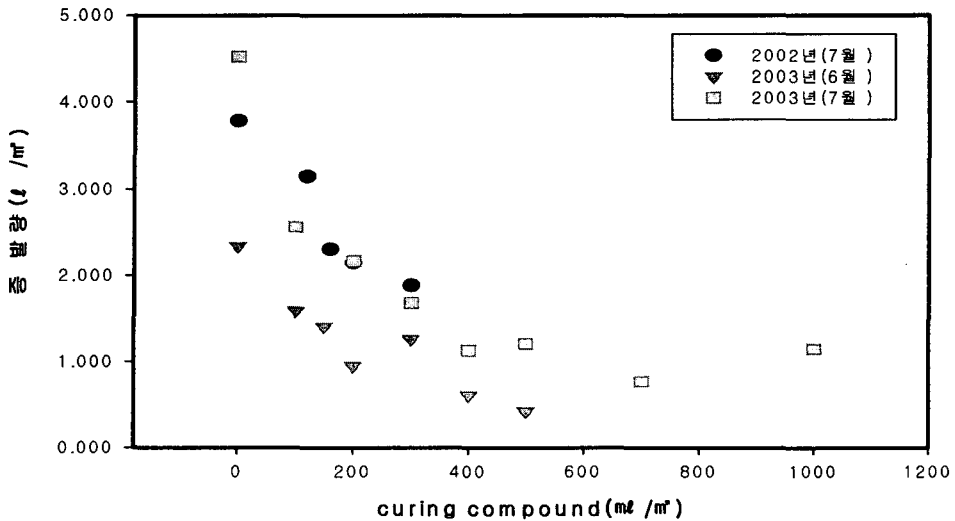
4.2 양생제 실험결과

1) 양생제 살포량에 따른 증발량 변화

증발수집기 및 증발시편을 이용한 실험에서 양생제 살포량에 따라 증발량이 차이가 남을 확인하였다. 결과는 <그림 2>와 <그림 3>에서 보는 바와 같이 증발수집기, 증발시편에서 양생제 살포 후 6시간 및 10시간 후의 살포량별 증발량 비교값을 얻었다. 양생제 살포량이 약 400mℓ/m²가 될 때까지는 살포량이 증가하면 증발량은 반비례하여 계속해서 감소하지만 400~500mℓ/m² 부터는 살포량이 증가하더라도 더 이상의 증발량은 억제하지 못하는 경향을 알 수 있었다.



<그림 238> 증발수집기를 통한 증발수집량 비교(살포 후 6시간 후)

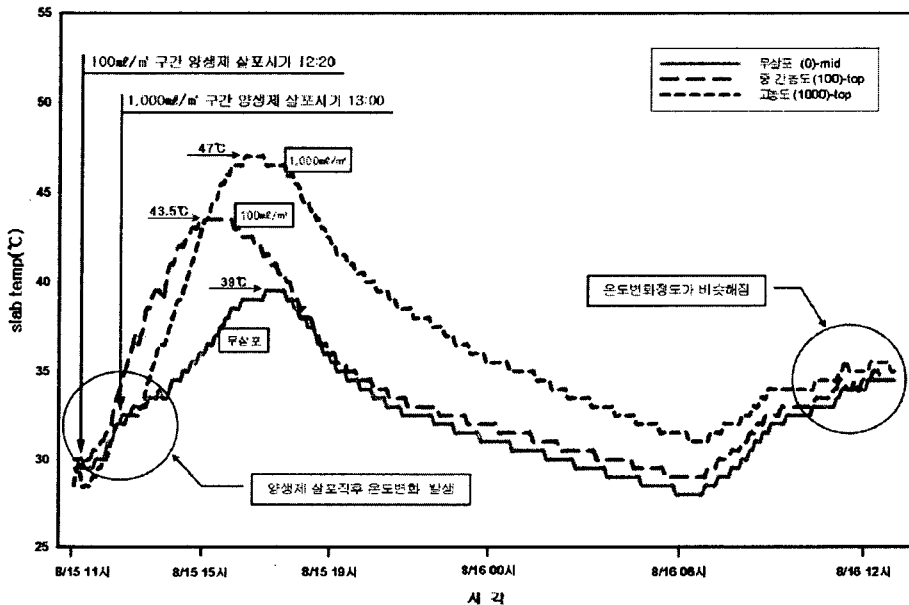


<그림 239> 증발시편을 통한 증발수집량 비교(살포 후 10시간 후)

2) 양생제 살포량별 초기재령의 콘크리트 온도

양생제의 살포량에 따른 콘크리트의 온도변화를 측정하기 위하여 시공된 콘크리트 슬래브에서 i-button으로 계측한 결과 양생제 살포량에 따라 초기재령에서의 콘크리트 온도는 확연한 차이가 발생하였다. <그림 4>는 콘크리트포장 상부에서의 살포량별 온도변화를 나타낸 것이다. 콘크리트의 온도를 측정한 구간은 0ml/m²구간, 100ml/m²구간, 1,000ml/m²구간의 세 구간에서 실시하였는데 시공당일의 콘크리트 표면의 최고온도는 39℃, 43.5℃, 47℃로 나타났고, 0ml/m²구간과 1,000ml/m²구간에서 최고 8℃의 온도차가 발생하였고, 100ml/m²구간과 1,000ml/m²구간에서는 3.5℃의 온도차를 나타내었다.

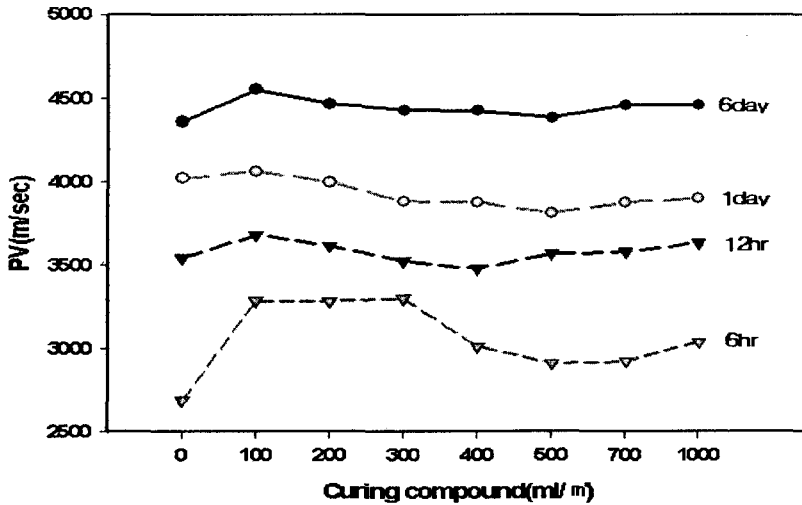
양생제 살포직후부터 각각의 구간에서 온도차가 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 양생제 살포 24시간 후부터는 온도변화가 유사해짐을 확인할 수 있었다.



<그림 240> 양생제 살포량에 따른 초기재령의 콘크리트 상부 온도변화 (4차 시험시공)

3) 양생제 살포량에 따른 콘크리트포장의 강도

증발량 실험을 실시한 콘크리트 포장면에 0~1,000ml/m²구간까지 각 구간에서 PV를 측정된 결과 <그림 5>와 같은 값을 얻었다. 그림에서 보는바와 같이 양생제 살포량이 상대적으로 적은 구간(100~300ml/m²)에서 1일이 경과되기 전에 초기 강도발현이 빨리 이루어지고 있음을 확인하였고 6일 후에는 살포량이 상대적으로 많은 구간(400~1,000ml/m²)의 강도 발현이 적은 구간과 유사해지는 것으로 분석되었다.



<그림 5> 양생제 살포량별 PV 비교 (4차 시험시공)

5. 결론

콘크리트포장의 초기 거동 관리 방안에 관한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트포장 시공에 있어 차광막을 이용할 경우 환경조건에 따라 차이는 있지만 차광막 설치 구간이 일반시공 구간보다 콘크리트 슬래브의 최대온도가 낮게 나왔으며, 그중에서도 온도 편차가 심한 경우(4차 시험) 차광막의 효과를 크게 볼 수 있었다.
- 2) 보조기층에 차광막을 사용할 경우 보조기층에서의 최고온도를 3°C까지 감소시킬 수 있었으며 최저온도를 4.5°C까지 상승시켜 온도 편차를 줄여줄 수 있었다.
- 3) 콘크리트 슬래브에 차광막을 사용할 경우 슬래브의 최고온도를 양지쪽에 비해 9°C까지 줄일 수 있었으며 온도 낙차폭도 8.5°C까지 줄여 시공 초기에 균열발생 가능성을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 차광막 설치 구간에서 PV측정결과 시공 초기에는 양생온도를 저감시켜 콘크리트 슬래브의 초기 강도발현은 다소 늦으나, 장기 강도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) 현재 국내에서 사용하는 양생제의 살포량(100~150ml/m²)은 불충분한 것으로 나타났다. 콘크리트 포설 후 증발량은 양생제 살포량에 반비례하여 400~500ml/m² 까지 계속 감소하였으며, 그 후로는 도포량이 증가하더라도 더 이상 증발량을 줄일 수 없었다. 따라서 증발량을 최소화하기 위한 적정 양생제의 살포량은 400~500ml/m²으로 추천한다.
- 6) 양생제 살포량이 많을수록 초기제형의 콘크리트 온도는 높아지는 것으로 나타났다. 양생제 살포량을 0ml/m², 100ml/m², 1000ml/m² 구간의 경우 시공 당일 콘크리트 표면 최고 온도는 각각 39.5°C, 43.5°C, 47°C로 나타났으며, 다음날 새벽 최저온도는 28°C, 29°C, 31°C로 나타났다. 실제로 포설 직후 콘크리트 포장 온도는 같은 패턴을 보이다가 양생제 살포 직후부터 차이를 보이기 시작하였으며 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 분석되었다.
- 7) 양생제 살포량이 많을수록 콘크리트 표면의 초기 강도는 낮았으나 시간이 경과할수록 그 차이는 없어졌다. 따라서, 후서기에 콘크리트 포장 포설 후 초기온도가 급격히 상승하고 건조수축량이 지나치게 증가하여 발생할 수 있는 무작위 균열은 양생제 살포량 조절을 통하여 미연에 예방할 수 있을 것으로 사료된다.



참고문헌

김장락(2003), "콘크리트포장 양생제의 적정 살포량 결정 연구"

서영찬(1993), "콘크리트 포장의 포설시기가 시공초기의 균열 발생 패턴에 미치는 영향", 대한토목학회 논문집 Vol.13 No.2, pp 135-139.

조영오(2003), "하절기 콘크리트포장의 초기온도 관리 방안연구"

최신 콘크리트 공학(1996), 한국콘크리트학회

Samarai, M., Popovics, S., and Malhotra, V, M.(1992), "Effect of High Temperatures on the Properties of Fresh Concrete.", TRR 924. pp.42-50.