



콘크리트 포장 양생제의 적정살포량 결정 연구

Determination of Proper Application Rate of Curing Compound for Cement Concrete Pavement

김 장 락* 서 영 찬** 안 성 순***
 Kim, Jang Rak Suh, Young Chan Ahn, Sung Soon

Abstract

It is known that the Q/C(Quality Control) in the early age of portland cement concrete(PCC) pavement gives a huge effect on long term pavement performance. Thus, many studies regarding the construction of PCC pavement have focused on how to assure construction quality at the early age stage. Curing is one of the most important factor in Q/C of PCC pavement. Membrane curing that protects the evaporation of moisture by placing an impermeable layer on the slab surface is the most common practice for curing the PCC pavement. In order to improve the membrane curing practice, the rate of curing compound should be optimized. However, the optimum rate of curing compound considering Korean weather and environmental conditions has not been specified in the pavement construction specifications. In this study, a proper application rate was recommended in terms of minimizing evaporation with several full-scale tests where various rates of curing compound have been applied. Four test sites on the expressway were enlisted during the summer of 2002 and 2003. Application rates tested were in the range of 0~1,000ml/m². The rate of evaporation, the temperature pattern of the slab and the pulse velocity of concrete surface have been monitored at each test construction. The result from this study showed that the rate of current construction was approximately 160ml/m² and that approximately 400ml/m² of curing application was recommended as the proper rate for minimizing the moisture evaporation.

Keywords : curing compound, membrane curing, concrete pavement, evaporation

요 지

시멘트 콘크리트 포장은 시공초기의 품질관리가 포장의 장기공용성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 따라서 시공초기에 발생하는 문제점을 최소화하기 위한 다양한 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 시멘트 콘크리트의 품질관리에서 양생은 중요한 사항이며, 포장용 시멘트 콘크리트에서도 양생시에 양생제를 사용하여 슬래브 표면에 불투

* 정회원 · (주)로드텍 PMS 팀 팀장
 ** 정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수
 *** 정회원 · 한국도로공사 중부지역본부 본부장



수막을 형성하여 수분증발을 방지하는 피막양생(membrane curing)을 많이 사용하고 있다. 양생제의 역할은 콘크리트 표면의 수분증발억제에 있다. 국내에서 사용되고 있는 양생제는 시공품질관리 측면에서 살포량이 적정한지에 대한 의문이 계속 제기되어 왔다. 본 연구에서는 시멘트 콘크리트 포장 시공시 살포되는 양생제의 양을 조정하여 다양한 살포량에 따른 증발량 관측을 통해 양생제 살포량과 수분증발량 변화와의 상관관계를 제시하였다. 이를 위해 2002년과 2003년 여름철에 고속도로 시공현장에서 4회에 걸쳐 다양한 양생제 살포량(0~1,000ml/m²)에 따른 증발량, 콘크리트 포장의 온도변화, 콘크리트 표면의 강도발현속도(초음파 전달속도) 등을 측정하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 현재 국내 시공현장에서의 양생제 살포량은 약 160ml/m²으로 나타났고, 수분증발은 억제하고 적절한 보습효과를 얻기 위한 최적 양생제 살포량은 약 400ml/m²인 것으로 분석되었다. 강도발현속도 시험결과 양생제의 살포량의 변화가 장기강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 양생제, 피막양생, 콘크리트 포장, 증발량

1. 서론

시멘트 콘크리트(이하 콘크리트) 포장에서 시공초기의 품질관리는 포장의 장기공용성에 큰 영향을 미쳐서 시공초기에 발생하는 문제점을 최소화하기 위하여 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 시공초기에 발생 가능한 문제점들 중에서 초기재령의 양생조건은 콘크리트 포장의 장기공용성에 큰 영향을 미치고 있다. 콘크리트 작업에서는 치기가 끝난 후 원활한 수화작용을 위해 콘크리트 슬래브에 살수나 젖은 매트를 설치하여 습윤상태를 유지하는 것이 일반적이다. 콘크리트 포장에서는 시공환경과 경제성 측면에서 양생제를 이용한 피막양생(membrane curing) 방식을 주로 사용하고 있다.

국내의 경우 콘크리트 포장의 시공에서 양생제의 역할은 콘크리트의 표면에서 증발되는 수분을 억제시키는 효과가 있다고 알고만 있을 뿐 실제 현장에서 사용중인 양생제의 살포량이 적정한지에 대한 연구가 그 동안 없었다. 또한 양생제의 살포량이 콘크리트포장에 미치는 영향, 즉 건조수축균열의 예방이나 콘크리트 포장의 장기강도에 미치는 영향에 대한 연구도 매우 부족하였다.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트 포장 시공시 살포되는 적정한 양생제의 양을 결정하기 위해 각각의 살포량을 달리하여 콘크리트 포장의 수분 증발량, 온도, 초음파 전달속도를 측정하여 증발량을 최소화 할 수 있는 적정 양생제 살포량을 도출하였다.

2. 양생제 살포기준 및 연구사례

2.1 국외의 양생제 살포량 기준

국외의 콘크리트 포장 시공시 초기의 건조수축균열의 방지와 장기강도의 증진을 위해 적정 양생제 살포량을 제시하고 있다. 특히, 미국 각주의 경우 표 1과 같이 양생제 살포량 기준을 제시하고 있지만 국내에는 살포량을 정량화 하지 못한 실정이고 외국의 경우에 비하면 그 양이 현저히 적다는 사실이다. 그림 1은 국내 및 외국의 양생제 살포장면을 비교한 것으로 그림 1에서 보듯이 국내에서 살포하는 양생제의 농도는 외국에 비해 묽게 보이며, 수분증발 차단효과를 얻기에는 다소 부족해 보인다.

표 1. 미국의 양생제 살포량 기준 (참고 : American Concrete Pavement Association)

| 주 | 애리조나 | 알칸사스 | 아이오와 | 루이지애나 | 미시시피 | 다코타(남) | 텍사스 | 유타 | 버지니아 |
|--------------------------|------|------|------|-------|------|--------|-----|-----|------|
| 살포량 (ml/m ²) | 407 | 325 | 300 | 407 | 340 | 325 | 447 | 407 | 407 |

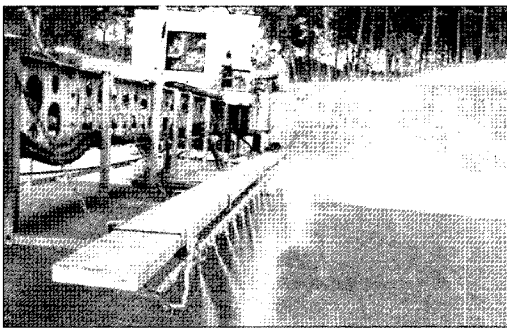
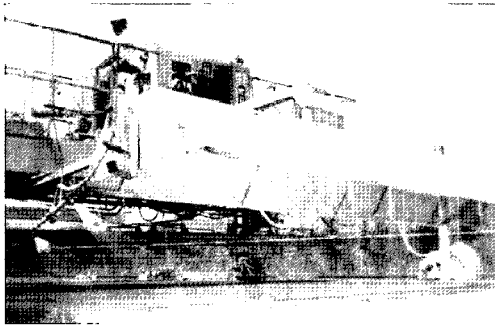


그림 1. 외국의 양생제 살포농도(상)와 국내의 양생제 살포농도(하)

2.2 양생제 살포량이 콘크리트 포장에 미치는 영향에 대한 고찰

콘크리트 포장에서 균열은 포장상태를 평가하는 매우 중요한 요소이다. 그 중에서도 초기균열은 포장의 장기공용성에 막대한 영향을 끼치기 때문에 건조수축에 의한 초기균열의 예방을 위해 현재 양생제를 콘크리트 표면에 살포하는 방법을 사용하고 있다.

한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구과정(1단계 1차년도) 중에서 양생제의 살포 유무

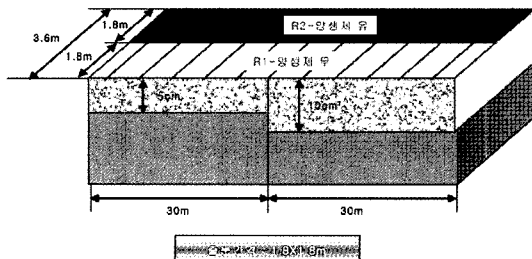


그림 2. 시험시공 단면(건설교통부, 2002)

에 따라 건조수축의 영향을 확인하기 위해 그림 2와 같이 현장시험을 수행하였다(건설교통부, 2002).

실험의 결과를 단기간에 파악하기 위해 초조강 시멘트를 사용하여 양생제를 살포하지 않은 구간과 살포한 구간(250ml/m²)으로 나누어 초기균열의 발생을 비교하였다. 실험결과 그림 3과 같이 양생제를 살포하지 않은 구간에서는 초기 잔균열이 발생하여 점차 증가한 반면 살포된 구간은 균열이 전혀 발생하지 않은 것으로 확인되어 양생제의 유무가 건조수축균열에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다(건설교통부, 2002).

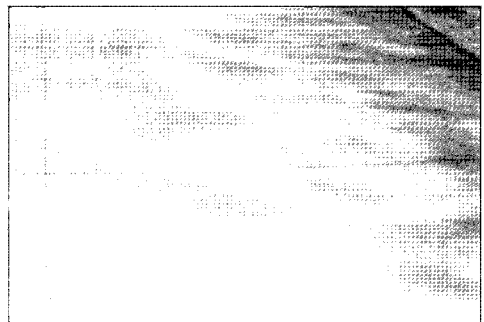
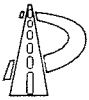


그림 3. 잔균열이 발생한 R1 구간(상)과 양호한 R2 구간(하)

위와 같은 연구결과의 분석을 통하여 콘크리트 포장에서 초기품질관리 및 균열방지를 위해서는 수분의 증발이 무엇보다도 중요하다는 것을 확인할 수 있었고, 양생제는 수분의 급격한 증발을 차단하여 수화작용을 위한 수분을 유지시켜 콘크리트 포장의 장기공용성에 좋은 영향을 미치고 있다.

콘크리트 포장의 시공시 사용되어지는 양생제의



농도에 따른 효과를 결정하기 위해 Minnesota Concrete Council에서 다음과 같은 실험을 수행하였다(Whiting, et al., 2003). 농도가 낮은 양생제 3종류(VOC : volatile organic compound$350\text{g}/\text{L}$), 농도가 높은 3종류($350\text{g}/\text{L}< \text{VOC}< 700\text{g}/\text{L}</math>)를 활용한 실내실험을 하여 그 효과를 분석하였고 본 연구와 직접적으로 관련이 있는 보습효과(Moisture retention)와 강도(Strength)에 대한 연구결과를 보면 그림 4, 그림 5와 같이 유기화합물 함유량이 많은 양생제(H1,2,3)는 함유량이 적은 양생제(L1,2,3)보다 수분손실을 상당히 줄였다. 반면에 양생제 농도의 변화는 강도의 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이 실험결과로부터 콘크리트 포장의 초기시공 관리에서 적절한 보습효과를 구현하기 위해서는 양생제 피막농도를 일정수준 이상으로 높이는 것이 대단히 효과적인 방안임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 단위면적당 양생제 살포량$

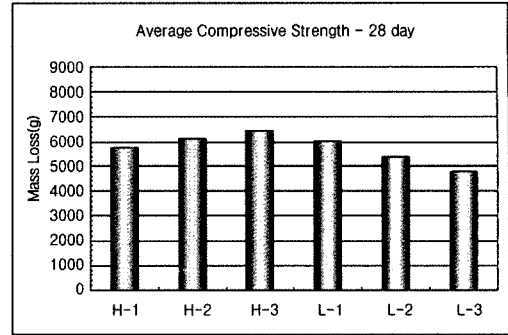


그림 5. 양생방법에 따른 28일째의 평균 압축강도 (Whiting, et al., 2003)

을 조절하는 방법으로 양생제 피막농도를 증가시키는 방안을 찾고자 하였다.

3. 실험계획의 수립

양생제의 적정살포량 결정을 위한 실험으로 양생제의 살포량이 콘크리트 포장에 미치는 영향을 건조수축균열의 억제와 포장의 표면강도에 맞추어 실험을 수행하였다. 직접적인 건조수축균열의 억제효과를 확인하기 위해서는 추가적으로 수행되어야 할 연구가 필요하여 본 연구에서는 살포량에 따른 증발량 측정실험을 통하여 실험결과를 분석하였고, 양생제 살포량이 초기재령에서 콘크리트 포장의 온도변화 및 표면강도에 미치는 영향을 측정하였다.

본 연구에서는 2002년도와 2003년도에 걸쳐 4회의 현장실험을 수행하였다. 2002년도에는 콘크리트 포장 시공시 실제 살포되는 양생제의 양과 양생제 살포량 ($0\sim 300\text{ml}/\text{m}^2$)에 따른 증발량을 측정하였으며, 2003년도에는 여름철에 3차례 실험을 통하여 다양한 양생제 살포량($0\sim 1,000\text{ml}/\text{m}^2$)에 따른 증발량, 콘크리트 포장의 온도변화, 콘크리트 슬래브의 초음파 전달속도를 측정하였다. 다음의 표 2는 현장 시험 조건이다.

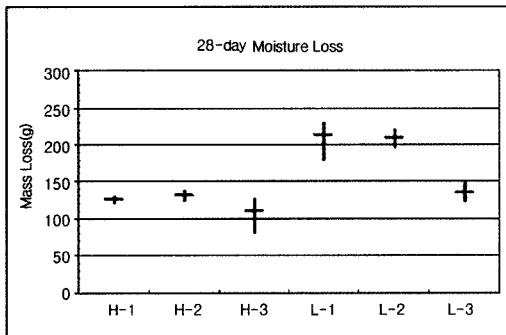
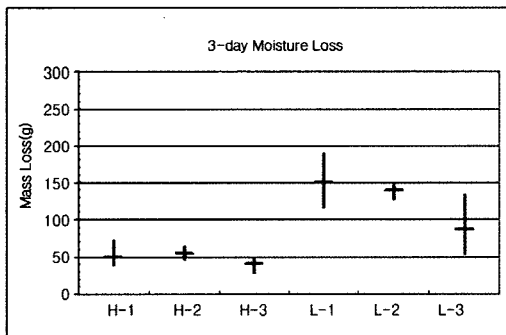


그림 4. 양생방법에 따른 3일, 28일째의 평균 수분손실량 (Whiting, et al., 2003)



표 2. 현장시험 조건

| 시 험 횟 수 | 일 자 | 장 소 | 낮 최고 기온 | 슬 레 브 상 부 최고온도 | 상대 습도 (%) | 평균 풍속 (m/sec) |
|------------|-------------|--------------------------|------------|----------------------|-----------------|---------------------|
| 1차실험 | 2002년 7월 중순 | 경기도 여주 중부내륙고속도로 시험도로 | 37.5℃ | 50℃ | 66.3 | 1.0 |
| 2차실험 | 2003년 6월 중순 | 경기도 여주 영동고속도로 확장구간 | 27.5℃ | 40℃ | 63.5 | 1.0 |
| 3차실험 | 2003년 7월 중순 | 경기도 여주 영동고속도로 확장구간 | 31.5℃ | 42℃ | 71.9 | 1.0 |
| 4차실험 | 2003년 8월 중순 | 경상북도 상주 중부내륙고속도로 신설구간 | 30℃ | 43.5℃ | 72.5 | 1.1 |

* 상대습도 및 평균풍속은 기상청 자료임

4. 양생제의 피막 성능실험

4.1 실험재료 및 장비

본 연구를 수행하기 위한 실험재료 및 장비는 다음과 같다.

4.1.1 양생제

양생제는 고속도로 시공현장에 가장 많이 사용되는 Hydro Carbon Resin계 유성양생제를 사용하였다. 다음의 표 3은 실험에 사용된 양생제의 화학적 성분 및 시험성과표이다.

본 연구에서 콘크리트 포장 표면이나 증발시편 위에 계획된 양생제를 살포하였는데 살포량과 농도는 양생제 제조사의 권장량을 기준으로 하였다. 콘크리트 포장 시공후 표면온도가 36시간 이내에서 41℃ 이상일 경우에는 167ml/m² 을 살포하는 것을 권장하고 있다. 이를 기초로 하여 1차 실험에서는 160ml/m²을 중심으로 0~300ml/m²의 양을 살포 하였다. 그러나 첫 실험결과 300ml/m² 이상에서도 증발량이 계속 줄어들 가능성이 있음을 확인하고, 2003년도 실험에서는 양생제 살포량을 0~1,000ml/m²까지 8개 구간으로 구분하여 확대 적용하였다. 이때, 양생제는 살포량 계량시 부피가 아닌 중량(양생제의 비중 0.865 고려)으로 살포를 하였다.

표 3. 실험에 사용된 양생제의 화학적 성분 및 시험성과표

| 화학적 성분 | 함유량(%) | 시 험 항 목 | 단 위 | 결과치 | 비 고 |
|-------------------|--------|---------|--------------------|-------|-----------|
| HydroCarbon Resin | 20.0 | 건 조 시 간 | 시:분 | 2:40 | KS F 2540 |
| | | 컨시스턴시 | - | 양호 | " |
| TiO ₂ | 5.0 | 불 휘 발 분 | % | 18.7 | KS M 5000 |
| | | 수분손실량 | kg/m ² | 0.51 | KS F 2406 |
| Solvent | 75.0 | 비 중 | - | 0.865 | KS M 5000 |
| | | 비 고 | 건구온도 38±℃ 습구온도 21℃ | | |



4.1.2 증발수집기

콘크리트 포장면에서 증발되는 수분의 양을 측정하기 위하여 증발수집기를 고안 제작하였다. 증발수집기는 아크릴을 이용하여 내경 300mm×300mm×40mm의 크기로 제작하였으며 콘크리트에서 증발된 수분을 유지하기 위해 흡수포를 사용하였다.

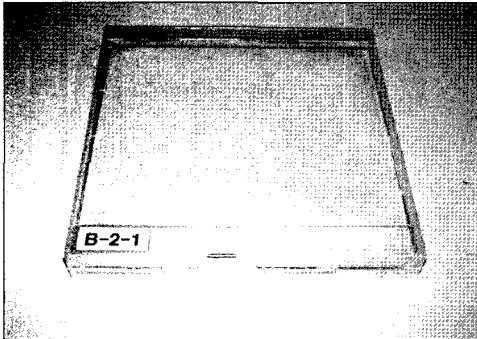


그림 6. 증발수집기

4.1.3 증발시편(물드)

양생제 살포량에 따른 콘크리트 포장면의 수분증발량 측정을 위한 또 다른 대안으로써 증발시편을 이용하였다. 증발시편은 실험의 편의상 시중에서 판매되는 플라스틱 용기를 이용하였으며 증발시편으로 이용된 몰드 크기는 290mm×210mm×90mm이다.

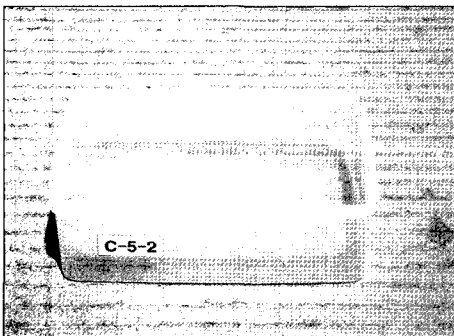


그림 7. 증발시편

4.1.4 온도측정

초기재령의 콘크리트 온도변화를 측정하기 위하여 아이버튼(i-Button)을 사용하였으며 콘크리트 슬래

브의 표면의 온도를 측정하기 위하여 그림 8과 같이 거치대를 사용하였다. 또한, 아이버튼은 무인계측을 할 수 있으며 측정시간 간격은 사용자가 자유롭게 선택가능하다(박대근, 2002).

- 측정가능 온도 : -40℃~85℃
- 측정단위 : 0.5℃
- 1회 명령으로 2,048회의 온도측정 가능(1시간 간격으로 85일 측정)

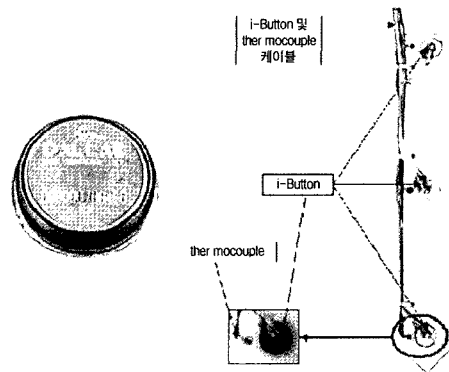


그림 8. i-Button(좌측)과 거치대(우측)

4.2 시험시공 개요

본 시험시공에서 양생제 살포량에 따른 피막성능 검증을 위하여 세가지 항목의 시험을 실시하였다. 첫 번째는 증발량측정을 위한 시험으로써 콘크리트포장 포설직후 노면에 계획된 양의 양생제를 살포하고 표면 위에 증발수집기를 설치하여 양생제 살포량에 따른 증발량을 측정하는 것과 시공현장에서 현장 콘크리트를 이용하여 증발시편을 제작하고 그 위에 양생제를 살포하여 살포량에 따른 수분손실량을 측정하였다. 두 번째는 양생제 살포량에 따라 달라지는 초기재령에서의 콘크리트 포장 온도를 측정하였다. 마지막으로 양생제의 살포량에 따른 콘크리트 포장의 표면강도를 초음파전달속도(Pulse Velocity)를 통해 간접적으로 측정하였다. 그림 9는 현장시험시공 개요도이다.

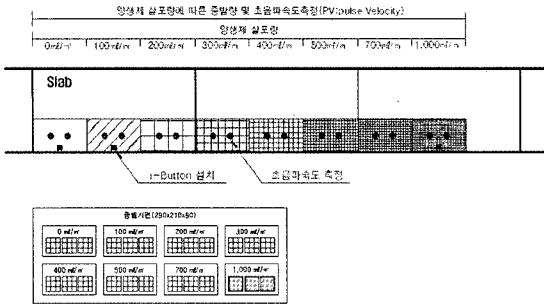
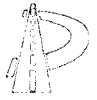


그림 9. 현장실험 개요도

⑤ 2시간단위로 증발수집기의 증발량을 측정하였다.

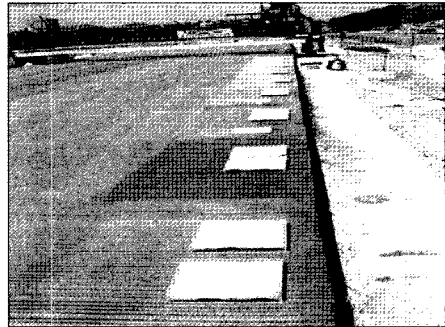


그림 11. 양생제 살포량에 따른 증발수집기의 설치

4.2.1 양생제의 살포량에 따른 증발량 측정실험

4.2.1.1 증발수집기를 이용한 실험

본 실험에는 양생제의 양을 0~1,000ml/m²까지 분류하여 시공면에 살포하였고 각각의 양생제가 살포된 면에는 증발수집기를 설치하여 증발량을 측정하였다. 다음은 증발수집기를 이용한 증발량 측정실험 진행과정이다.

- ① 시공된 콘크리트 포장면에 타이닝 작업이 끝난 후 실험대상면 위에 폭 1m의 비닐을 모서리 부분에 시공방향으로 덮어씌웠다.
- ② 양생제 살포기 이동후 비닐제거
- ③ 계획된 양(0~1,000ml/m²)의 양생제를 그림 10과 같이 살포하며 살포 전·후 무게측정으로 살포량을 조절하였다(양생제 비중은 0.865).
- ④ 각각의 양생제가 살포된 표면에 증발수집기를 설치하였다(그림 11).

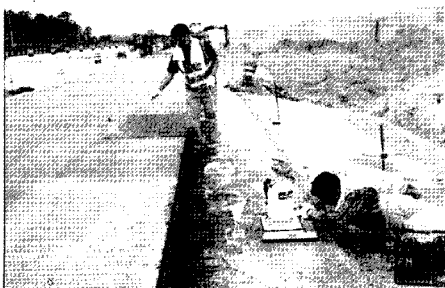


그림 10. 계획된 양의 양생제 살포

4.2.1.2 증발시편을 이용한 실험

제작된 증발시편에 양생제의 살포량을 0~1,000 ml/m² 범위에서 8개 구간으로 나누어서 살포하였으며 시간경과에 따른 각각의 무게를 측정하여 수분손실량을 측정하였다. 다음은 증발시편을 이용한 양생제의 살포량별 수분손실량 측정실험 진행과정이다.

- ① 증발수집기가 설치된 지점과 동일한 지점에서 현장 콘크리트를 이용하여 증발시편을 제작하였다(그림 12).
- ② 증발수집기를 이용한 실험과의 비교를 위하여 제작된 증발시편(2개 1조)에 같은 시간대에 동일하게 0에서 1,000ml/m²의 양생제를 살포하였다(그림 13).
- ③ 증발시편의 최초 제작후 중량과 양생제 살포직전과 직후의 무게를 측정하였고 차후의 중량을 2시간 단위로 측정하여 수분증발량을 기록하였다.



그림 12. 증발시편 제작

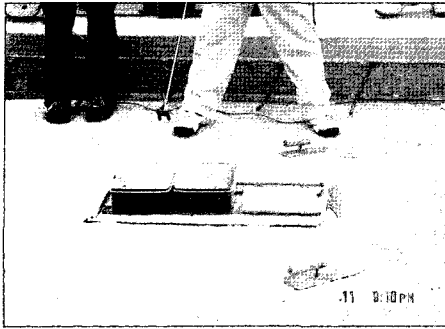


그림 13. 증발시편에 계획된 양의 양생제 살포

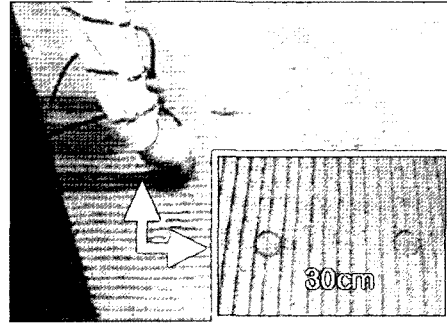


그림 14. 초음파전달속도(Pulse Velocity) 측정

4.2.2 양생제 살포량에 따른 콘크리트 슬래브의 온도측정

증발수집기의 설치가 계획된 콘크리트 포장면이 시공이 되면 아이버튼을 설치하였다. 아이버튼은 0, 100ml/m², 1,000ml/m²가 살포된 면에 설치를 하였고 설치와 동시에 자동계측을 하도록 설정하였다. 아이버튼 거치대에는 상, 중, 하부 지점에서 측정할 수 있도록 하였으며, 5분 간격으로 온도 데이터를 수집 하도록 설정하였다(4차실험시 측정).

4.2.3 양생제 살포량에 따른 표면강도 측정

본 연구에서는 양생제 살포량에 따라 콘크리트 슬래브의 표면강도를 측정하는 실험으로 초음파측정기를 이용하였으며 초음파 전달속도(Pulse Velocity)를 측정하여 간접적인 강도 및 강도발현 속도의 차이를 측정하였다. 본 연구에서는 강도에 대한 상대적인 비교가 목적이므로 절대강도 값을 추정하지는 않았다. 다음은 실험진행과정이다.

① 다양한 양생제를 살포한 콘크리트 포장면에 30cm 간격의 홈을 타이닝 깊이 만큼 판다(홈의 크기는 초음파 측정기의 탐촉자의 크기와 동일).

② 포장면의 초음파 전달속도는 강도가 발현되기 시작하는 시공 후 4~5시간부터 측정가능 하였으며 첫 측정이후 2시간 간격으로 하였다. 본 연구에서는 12시간 1, 3, 6, 30, 60, 95일의 값을 측정하였다(그림 14).

5. 시험시공 결과

오전에 시공된 콘크리트 포설후 약 1시간이 지난 후에 계획된 양의 양생제를 살포하여 각 실험 대상면에 증발량, 온도, 초음파 전달속도(Pulse Velocity)를 측정한 결과 시간이 경과에 따라서 양생제 살포량에 따른 각 측정값이 확연한 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 양생제 살포량이 증가하면 콘크리트 포장 표면에서 증발량을 억제시키고, 콘크리트 표면에서 기화열 발산을 감소시켜 콘크리트 온도를 약간 높이는 것으로 분석되었다. 초음파 전달속도는 양생제 살포량이 많으면 초기강도발현이 살포하지 않았을 때 보다 느리나 시간이 경과 할수록 초기강도 차이가 줄어드는 것으로 분석되었다.

5.1 양생제 살포량에 따른 증발량측정 실험결과

증발수집기를 이용한 양생제 살포량별 증발량측정 실험결과는 그림 15와 같다. 분석결과는 1차 실험에서 측정된 값으로 그래프의 X축은 양생제를 살포한 후 증발량을 측정한 최초시간부터 나타낸 것이고 Y축은 누적증발량을 나타낸 것이다. 콘크리트 포장은 오전 11시 20분경에 시공되었고 양생제는 13시 20분에 살포되었다. 그림 15에서 보는 바와 같이 양생제가 살포된 후부터 살포량에 따른 증발량의 차이가 확연히 나타났다. 분석결과 22시까지의 살포량에 따



라 증발량이 양생제의 살포량이 많을수록 적게 나타났지만 22시 이후부터는 약간 다른 경향을 나타내었다. 이는 측정당일 밤늦게 날씨가 좋지 않았으며 측정자가 주야간으로 바뀜으로 인한 오차도 포함되었을 것으로 판단된다. 증발수집기에 의한 증발량을 분석해보면 현장에서 장비를 이용한 양생제 살포량(그림 15에서 '기계살포'로 표시)은 약 $160\text{ml}/\text{m}^2$ 를 살포한 콘크리트 포장면에서 얻은 증발수집기 양과 비슷한 경향을 나타냄을 확인할 수 있었다.

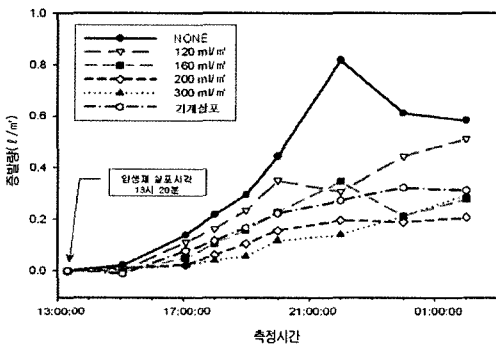


그림 15. 양생제 살포량별 누적증발량(증발수집기)

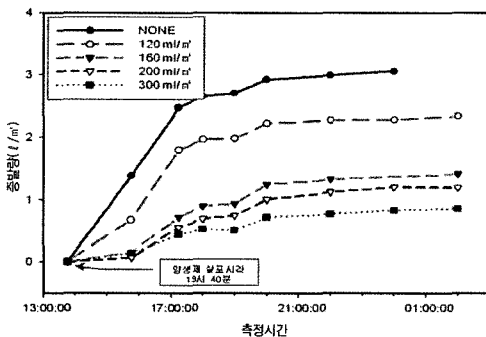


그림 16. 양생제 살포량별 누적증발량(증발시편)

증발시편을 이용한 시험의 결과는 그림 16과 같으며 양생제 살포량에 따라서 증발량의 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 무살포구간과 $120\text{ml}/\text{m}^2$ 를 살포한 구간은 다른 구간에 비해 상대적으로 증발량이 큰 것을 확인할 수 있었다.

그림 17, 18은 증발수집기와 증발시편에서 분석된 결과로서 양생제 살포량과 증발량과의 관계를 나타내고 있다. 분석결과 증발수집기와 증발시편에서 얻

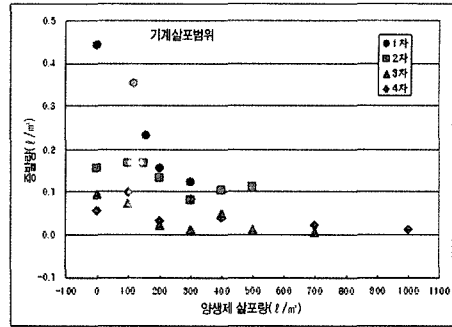


그림 17 증발수집기에서 양생제 살포량별 증발량

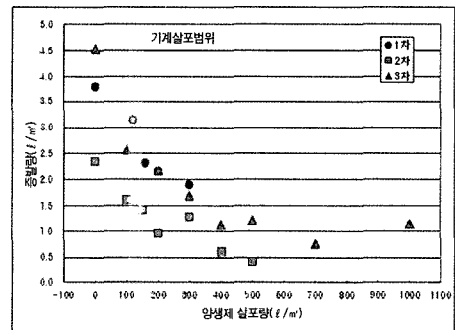


그림 18 증발시편에서 양생제 살포량별 증발량

은 측정값은 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며 증발량은 살포량에 따라 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 양생제 살포량이 약 $400\text{ml}/\text{m}^2$ 까지는 살포량이 증가하면 증발량은 반비례하여 계속해서 감소하지만 약 $400\text{ml}/\text{m}^2$ 이상 구간부터는 살포량이 증가하더라도 증발량의 변화는 적었다. 증발량을 경제적으로 최소화 할 수 있는 살포량은 약 $400\text{ml}/\text{m}^2$ 인 것으로 분석되었고 대기온도가 높은 여름철에는 양생제 살포량(약 $160\text{ml}/\text{m}^2$)을 약 $400\text{ml}/\text{m}^2$ 까지 증가시켜 수분증발량을 효과적으로 억제하고 초기균열발생 가능성을 낮추는 방안을 고려할 필요가 있다.

5.2 양생제 살포량별 초기재령의 콘크리트 포장 온도

양생제 살포량에 따른 초기재령에서는 콘크리트



포장 온도에 따라서 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 그림 19와 같이 콘크리트 슬래브 상부(표면에서 3cm 아래)에서 무살포구간과 1,000ml/m²구간에서의 최고온도는 8℃의 차이가 발생하였으며 100ml/m²구간과 1,000ml/m²구간에서는 3.5℃로 온도차가 줄어들었다. 이 차이는 양생제 피막농도가 증가하여 슬래브에서 수분증발이 억제되고 슬래브 표면에서 기화열 발산을 감소시켜 콘크리트 온도를 높이기 때문인 것으로 분석된다.

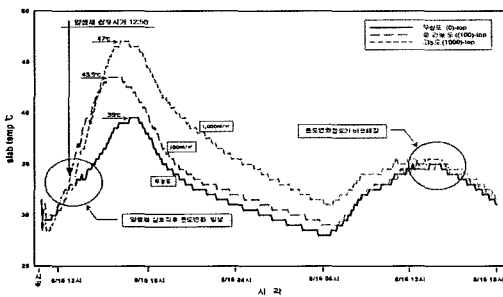


그림 19 양생제 살포량에 따른 초기재령의 콘크리트 온도변화(표면 및 3cm)

5.3 양생제 살포량별 초음파 전달속도 분석

본 연구에서 0, 100, 200, 300, 400, 500, 700, 1,000ml/m²의 양생제의 살포량에 따른 콘크리트 슬래브 초음파 전달속도는 그림 20과 같이 분석되었으며 그림 20(a)에서 나타났듯이 양생제의 피막농도가 낮을수록 시공초기의 강도발현이 빠르게 진행되는 반면에 피막농도가 높은 구간에서는 초기 강도발현이 다소 느리게 측정되었다. 그러나 강도발현의 속도

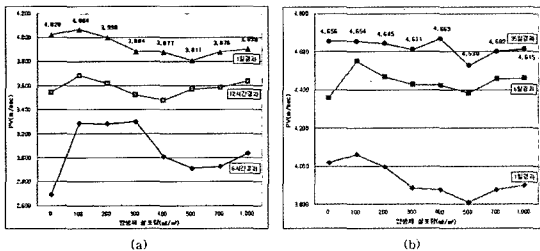


그림 20. 양생제 살포량별 PV(Pulse Velocity) 비교 (2003년 8월)

차이는 양생시간이 경과됨에 따라 점점 적어져서 3개월 후에는 살포량에 관계없이 거의 일정한 강도발현을 나타내었다(그림 20(b)).

양생제 살포량에 따른 PV와 재령과의 관계를 보다 면밀하게 분석하기 위하여 대표구간을 0, 100, 400, 1,000ml/m²의 네구간에 대해서 분석한 결과 그림 21과 같이 나타났으며 시공후 6일째 발현속도의 차이는 128m/s였으나, 95일 경과후에는 54m/s로 점차적으로 줄어든 것으로 확인되어 양생제 살포량이 강도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 분석되었다.

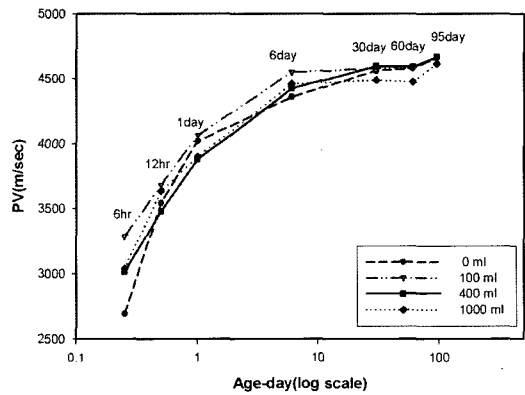


그림 21. 재령에 따른 양생제 살포량별 PV변화 (1일부터 95일까지)

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구의 범위내에서 양생제 살포량에 따른 증발량, 온도, 표면강도 등 다양한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론 및 향후 연구과제를 도출하였다.

- (1) 국내에서 사용하는 양생제 살포량(160ml/m²)은 수분증발을 차단하는 측면에서 여름철에는 불충분한 것으로 나타났다. 콘크리트 시공후 증발량은 양생제 살포량에 반비례하여 약 400~500ml/m² 까지 계속 감소하였으며, 살포량이 증가하더라도 증발량을 줄일 수 없었다. 따라서 증발량을 최소화하기 위한 적정 양생제의 살포량은 경제성을 고려할 때 약 400ml/m² 라고 할 수 있다.



(2) 양생제 살포량의 증가($1,000\text{ml}/\text{m}^2$)는 불필요한 콘크리트 포장의 내부온도 상승을 유발할 뿐이며 수분증발 억제효과는 적정양생제 살포량(약 $400\text{ml}/\text{m}^2$)에 비하여 효과가 미미한 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서 제시된 적정살포량 이상으로 과다하게 양생제 살포량을 증가시키는 것은 부적절하다고 판단된다.

(3) 양생제 살포량이 많을수록 초기강도발현이 서서히 이루어지지만 시간이 경과할수록 강도차이는 작아지는 것으로 측정되었다. 따라서 양생제 살포량의 변화가 콘크리트 포장의 장기강도에 미치는 영향에 대해 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 건설교통부 (2003), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(1단계 2차년도) : 콘크리트 포장성능개선 연구 및 품질관리기준 정립"
2. 건설교통부 (2002), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(1단계 1차년도) : 콘크리트 포장성능개선 연구 및 품질관리기준 정립"
3. 건설교통부 (2002), "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(1단계 1차년도) : 콘크리트 포장설계법"
4. 박대근 (2002) "i-Button의 실용화 및 콘크리트포장 초기균열 거동연구," 석사학위논문, 한양대학교.
5. Neville, A.M., (1995), *Properties of Concrete*. Longman, 4th Ed.
6. Whiting, N.M., Snyder, M.B., (2003) A Study of Effectiveness of PCC Curing Compound. *TRB, National Research Council*, Washington, D.C.

〈접수 : 2004. 11. 15〉