

# 콘크리트포장 양생제의 최적 살포시기 결정 연구

## Determination of the Optimum Application Time of Curing Compound in Concrete Pavement

박성재\* · 권오선\*\* · 김형배\*\*\* · 김현욱\*\*\*\* · 조윤호\*\*\*\*\*

Park, Sung Jae · Kwon, Ou Sun · Kim, Hyung Bae · Kim, Hyun Wook · Cho, Yoon Ho

### 1. 서 론

시멘트 콘크리트 포장에서의 양생이라 함은 콘크리트의 강도, 내구성, 수밀성 등을 증진시키고 수화반응을 촉진시키기 위한 것으로 콘크리트 타설 후 경화 초기 단계에 온습도를 인공적으로 조절하는 것을 의미한다. 경화 초기 단계에 다양한 환경조건들의 영향에 의해 수분이 손실될 경우 포장체의 강도발현은 저하되고, 블리딩(Bleeding) 수의 증발로 인하여 표면의 미세한 요철부에 모세관 장력이 발생하고 이는 건조수축균열(Dry shrinkage crack)로 이어지게 된다. 최근 알칼리 실리카반응(Alkali Silica Reaction, ASR) 및 동결융해 등의 기타 내구성 문제를 해결하고 포장체의 장기강도 증진을 목적으로 플라이애시와 같은 포졸란(Pozzolan) 재료의 사용이 강조되고 있다. 포졸란 재료를 사용함에 있어 지속적인 수분 유지는 필수적인 요소로서 콘크리트 포장의 초기 품질에 큰 영향을 미친다. 대기온도, 직사광선, 풍속, 습도 등의 환경 조건뿐만 아니라 양생제 살포량, 살포시기, 살포방법 등에 따라 재료에서 발생하는 수축균열(Shrinkage crack)의 양과 규모가 달라진다. 증발되는 수분을 억제하기 위하여 살포되는 양생제는 국내 다양한 환경의 증발율을 고려하여 최적의 시기에 이루어져야 한다. 본 연구는 국내 콘크리트 포장에서 균질한 초기 품질을 기대하기 위해 최적 살포시기를 정량화하는데 있다.

### 2. 실험 방법 및 재료

양생제는 양생에 불리한 기후조건에서 증발되는 수분을 억제시키는 역할을 한다. 그 역할이 매우 중요한 만큼 우선 증발량을 최대한 줄일 수 있는 최적의 양생제 살포시기가 정량화되어야 한다. 이번 연구에서는 양생제 살포시기를 결정하기 위해 국외의 기술 동향의 내용을 바탕으로 수분 흡수성, 표면 마모 저항성, 수분 손실량 등 세 가지 실내실험을 수행하였다.

실험은 중앙대학교 환경모사실험실에서 실시되었고, 기후 조건은 기온 26°C, 습도 75%, 풍속 1.3m/s로 제어 하였다. 실험을 위한 콘크리트 몰드는 코어 시편을 위한 45cm×30cm×10cm의 합판 몰드 12개를 제작하였고, 수분 손실 방지를 위하여 몰드에는 랩을 씌우고 테이프를 둘러 제작하였다. 수분 손실량 측정을 위하여 18cm×18cm×12cm의 플라스틱 몰드 28개도 추가적으로 준비하였다. 양생제 살포시기를 살펴보기 위해 모든 공시체에는 0.4 L/m<sup>2</sup>의 동일한 양생제 살포량 기준을 적용하였다. 살포시기의 경우는 미살포, 콘크리트 타설 후 15분, 30분, 45분, 60분, 90분으로 6가지 경우를 고려하였고, 수분 손실량 측정 실험에는 120분을 추가 적용 하였다.

\* 준회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : nansungjae@naver.com)

\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사(E-mail : pooh2461@ex.co.kr)

\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)

\*\*\*\* 준회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 연구교수 · 공학박사(E-mail : hkim29@gmail.com)

\*\*\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사(E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

양생제는 콘크리트 고속도로 시공현장에 주로 사용되는 S-a사의 유성 양생제와 S-b사의 수성 양생제를 사용하였다. 두 제품 모두 표 1과 표 2에서처럼 '피막 양생제 성능평가 실험'(KS F 2540)에 만족하는 샘플이다.

**표 1. S-a사 유성제품 시험 결과**

시험 항목	검사 결과	KS F 2540
컨시스턴시(분무성, 24°C)	분무가능	분무가능
건조시간(시간:분)	2:55	4:00
피막의 성질	이상 없음	이상 없음
보수능력(kg/m <sup>2</sup> )	0.45	0.55
저장안정도(90일)	균질함	균질함

**표 2. S-b사 수성제품 시험 결과**

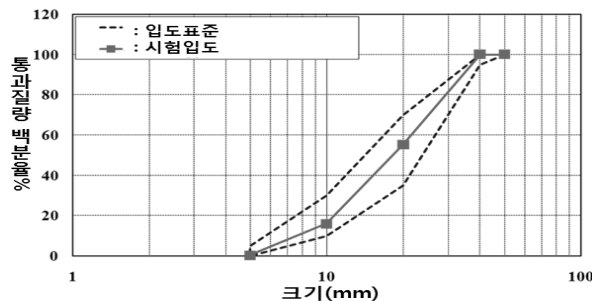
시험 항목	검사 결과	KS F 2540
컨시스턴시(분무성, 24°C)	분무가능	분무가능
건조시간(시간:분)	2:30	4:00
피막의 성질	이상 없음	이상 없음
보수능력(kg/m <sup>2</sup> )	0.51	0.55
저장안정도(90일)	균질함	균질함

실험은 표 3의 도로공사 콘크리트 도로 포장 배합을 사용하였다. 일반 배합의 슬럼프는 4.5cm, 공기량은 4%, 플라이애시 배합의 슬럼프는 5cm, 공기량은 6%를 충족하였다.

**표 3. 실내실험에 사용된 배합**

배합	설계기 준강도 (MPa)	골재최 대치수 (cm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	물/시멘트 비(%)	잔골재율 (%)	단위재료투입량(kg/m <sup>3</sup> )						
							물	시멘트	플라이 애시	잔골재	굵은 골재	AE 감수제	
												AE제 (g)	감수제 (g)
일반	4.5	32	4~6	4~6	45	38	147	326	-	692	1,122	-	0.963
플라이 애시	4.5	32	4~6	5~7	43	36	150	280이상 (80%)	70이상 (20%)	630	1,150	70	1.050

비중이 2.60인 굵은 골재의 합성 입도 분포곡선은 그림 1과 같았고, 비중이 2.58인 잔골재의 경우에는 흡수율이 1.53%이었다.


**그림 1. 굵은 골재 합성 입도 분포**

### 2.1 수분 흡수성 실험

콘크리트 표면 수분 흡수성 실험은 수화반응에 따른 밀도와 관련이 있다. 초기 양생기간동안 수분손실은 콘크리트 표면 영역에 수분 공급을 어렵게 한다. 이에 따라 수화 반응이 지연되고 입자와 입자를 둘러싼 수막이 느슨해져서 공극이 발생하여 밀실해지지 않게 된다. 결국 콘크리트 내부의 공극과 관련하여 수분 흡수

성 실험을 하게 되면 최적의 양생제 살포시기를 유도해 낼 수 있다. 초기 콘크리트 포장에서 피막 양생제의 영향이 미치는 영역은 표면으로부터 10~13mm이다(ACI 308R-01, 2001). 이 실험은 ASTM C 1151에 기초하여 양생제를 살포한 후 표면 수분 흡수성을 통하여 살포시기에 따른 양생 품질을 평가하는 것이다. 흡수율이 증가한다는 것은 콘크리트 공시체 내부에 공극의 양이 증가한다는 것을 의미한다. 즉 콘크리트 공시체의 공극률이 높아질수록 외부응력에 대한 저항력이 감소하기 때문에 압축강도 역시 감소하게 된다. 흡수율은 재료 속에 포함된 수분의 함량으로 재료 중량의 백분율을 말한다. 공극에 따라 흡수율이 변하므로 수화반응으로 인한 콘크리트 내부가 치밀하고 밀실 할수록 흡수율은 작아지게 된다(이승철, 2007). 실험방법은 그림 2와 같이 합판 몰드의 시편에 살포시기를 달리 적용하고 7일 양생 후에 코어링을 실시하였다. 표면 부분이 포함된 상부 7cm를 커팅 한 다음에 피막 양생제의 제거를 위해 표면을 와이어 브러시로 마무리를 해주었다. 배합은 일반배합 및 플라이애시 배합을 적용하였다. 시편 양생은 기후 환경이 제어 가능한 중앙대학교 환경모사실험실에서 이루어졌다. 그리고 수분 흡수성을 보기위한 2m×1m×30cm 플라스틱 물 수조에 그림 3과 같이 준비하였다. 수조에 물을 1cm 높이로 준비한 다음 콘크리트 표면에만 수분이 닿을 수 있게끔 흡습포를 깔았다. 그림 4의 시편들은 물 수조에 넣은 다음 30분 후에 꺼내어 질량을 측정하였다.



그림 2. 성형 나무 몰드



그림 3. 흡수성 실험을 위한 물 수조



그림 4. 표면 흡수성 실험 시편

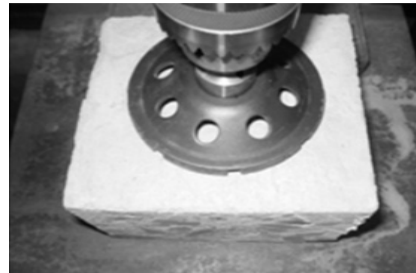


그림 5. 마모 저항성 실험

## 2.2 표면 마모 저항성 실험

표면 마모 저항성 실험은 양생제의 살포시기에 따른 표면 강도를 측정하는 실험이다. 이 실험은 수화 반응에 따른 표면의 양생 정도를 평가하는 것과 관련이 있다. 양생 14일 후 양생제의 종류와 콘크리트 배합을 달리하여 양생제 살포시기에 따른 마모 저항성을 평가하는데 목적이 있다. 미국 FHWA(2006)에 따르면 마모저항은 양생에 의해 영향을 받는 유용한 실험 중의 하나로 소개되었고, ACI 308R-01에서는 양생제의 양생 효율성 실험 중의 한 실험으로 언급하였다. 이 실험은 ASTM C 944 기준에 의거하여 실시하였다. 그림 5는 모든 시편에 일정한 하중으로 1분씩 총 5분간 다이아몬드 날을 콘크리트 표면에 회전시켜 각 마모 깊이(mm)를 측정하였다. Dhir(1987)는 표면 흡수성 실험 결과와 마모 시험의 결과는 상관관계가 있음을 설명하였다. 실험방법은 표면 부분이 포함된 상부 1cm를 커팅한 후에 다이아몬드 날을 이용하여 콘크리트 상부를 마모시켜 주었고 무게 손실을 측정하였다. 배합은 일반배합 및 플라이애시 배합이 적용되었다.

### 2.3 수분 손실량 측정 실험

콘크리트 수분 손실량 측정 실험은 양생제의 살포시기에 따라 양생 효율성을 평가해 보는 실험이다. 양생제를 콘크리트 표면에 살포하게 되면 얇은 피막이 형성됨에 따라 블리딩 수의 증발을 사전에 방지할 수 있다. 일반 배합과 플라이애시 배합 시편을 각각 제작하고 타설 후 양생제의 살포시기를 달리해 주었으며 시편의 무게를 측정하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 수분 흡수성 실험 결과

양생제 살포시기에 대한 표면 수분 흡수성 실험결과는 다음과 같다. 그림 6의 유성 양생제인 경우에는 양생제를 미살포 하였을 경우가 수분 흡수율이 가장 많았고 30분 전후가 최적의 시기로 나타났다. 그림 7에서 수성 양생제의 경우도 비슷한 추이를 나타냈으며, 양생제 살포시기가 콘크리트 타설 후 30분이 가장 적은 수분 흡수율을 보였다. 이는 표면의 공극 크기가 가장 밀실 함을 유추해 볼 수 있었다. 즉 타설 후 30±15분의 살포시기에서 수분 증발량을 가장 잘 억제하였음을 확인할 수 있다. 그림 8에서 보면 알 수 있듯이 양생 기간은 7일이었기 때문에 초기 강도 발현이 늦은 플라이 애시의 경우가 일반배합보다 결과가 좋지 못하였다. 양생제 제품의 성능적인 측면을 살펴보자. 이번 실험에 사용한 양생제 시료의 화학적인 면을 고려하면 유성 양생제의 경우 휘발성 유기화합물을 78.3 g/L를 함유하고 있었고, 수성 양생제는 휘발성 유기화합물 함유량을 5.4 g/L 포함하고 있어서 보다 환경 친화적임을 확인하였다. 하지만 콘크리트 양생 효율은 유성 양생제가 다소 높게 나타났다. 실험한 두 배합 모두 타설 후 30분 전후에 양생제를 살포하는 것이 비교적 적절함을 확인할 수 있었다.

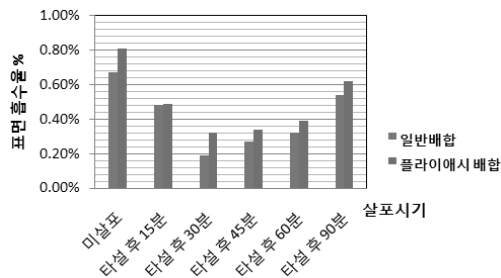


그림 6. 유성 양생제 0.4L/m²

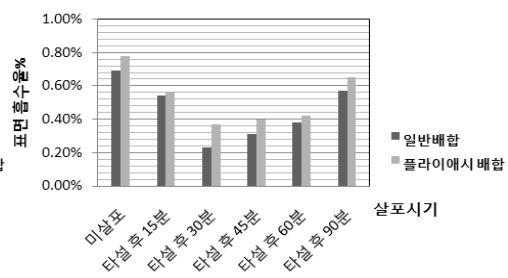


그림 7. 수성 양생제 0.4 L/m²

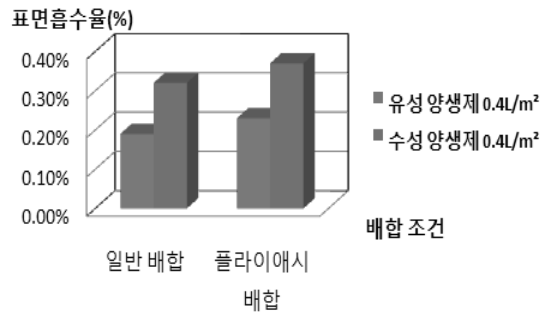


그림 8. 7일간 양생 후 살포시기 타설 후 30분



### 3.2 표면 마모 저항성 실험 결과

양생제의 종류에 따른 일반배합의 표면마모저항성 실험 결과는 표 4와 표 5이다. 표면 마모 저항성 실험 결과 양생제를 미살포 하였을 경우와 타설 후 90분에 살포하였을 때 무게 감소량이 비교적 크게 나타났으며, 타설 후 몇 분이 지난 후 15분~60분에 양생제를 살포할 경우에는 무게 감소량이 줄어드는 경향을 확인할 수 있다. 이 실험에서 콘크리트는 14일 양생한 초기 강도로써 플라이 애시 배합 보다는 일반배합의 시편이 마모 저항성 정도가 더 좋았다. 수성 양생제를 사용했을 때보다 유성 양생제의 경우가 양생 효율성이 더 높음을 확인할 수 있었다.

표 4. 유성 양생제를 적용한 일반배합

구 분	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량
	미살포	15분후	30분후	45분후	60분후	90분후
	g	g	g	g	g	g
1분	-6.1	-4.8	-3.7	-3.8	-4.3	-5.3
2분	-2.1	-1.7	-0.9	-1.2	-1.6	-1.9
3분	-1.3	-1.2	-0.7	-0.9	-1.1	-1.3
4분	-1.3	-1	-0.7	-0.8	-1.1	-1.2
5분	-1.1	-0.9	-0.6	-0.8	-0.8	-1.2
<b>합계</b>	<b>-11.9</b>	<b>-9.6</b>	<b>-6.6</b>	<b>-7.5</b>	<b>-8.9</b>	<b>-10.9</b>

표 5. 수성 양생제를 적용한 일반배합

구 분	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량
	미살포	15분후	30분후	45분후	60분후	90분후
	g	g	g	g	g	g
1분	-6.4	-4.9	-3.9	-4	-4.5	-5.4
2분	-2.1	-1.8	-1.2	-1.3	-1.7	-2
3분	-1.4	-1.2	-0.9	-0.9	-1.2	-1.4
4분	-1.3	-1.1	-0.7	-0.8	-0.9	-1.1
5분	-1	-0.9	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9
<b>합계</b>	<b>-12.1</b>	<b>-9.9</b>	<b>-7.3</b>	<b>-7.7</b>	<b>-9.1</b>	<b>-10.8</b>

표 6과 표 7은 양생제 종류에 따른 플라이애시 배합의 표면 마모 저항성 실험 결과이다.

표 6. 유성 양생제를 적용한 플라이 애시배합

구 분	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량
	미살포	15분후	30분후	45분후	60분후	90분후
	g	g	g	g	g	g
1분	-6.9	-5.4	-4.2	-4.3	-4.6	-5.6
2분	-2.1	-2	-1.2	-1.4	-1.5	-2.1
3분	-1.5	-0.9	-0.9	-1.1	-1.2	-1.4
4분	-1.3	-0.9	-0.6	-0.7	-1	-1
5분	-1.2	-0.7	-0.6	-0.6	-0.7	-0.9
<b>합계</b>	<b>-13</b>	<b>-9.9</b>	<b>-7.5</b>	<b>-8.1</b>	<b>-9</b>	<b>-11</b>

표 7. 수성 양생제를 적용한 플라이 애시배합

구 분	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량	무게 감소량
	미살포	15분후	30분후	45분후	60분후	90분후
	g	g	g	g	g	g
1분	-6.8	-5.5	-4.1	-4.5	-4.6	-5.9
2분	-2.1	-2.1	-1.4	-1.3	-1.6	-2
3분	-1.3	-1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.6
4분	-1.3	-0.9	-0.7	-0.8	-1	-1
5분	-1.1	-0.7	-0.5	-0.6	-0.8	-0.8
<b>합계</b>	<b>-12.6</b>	<b>-10.2</b>	<b>-7.8</b>	<b>-8.4</b>	<b>-9.3</b>	<b>-11.3</b>

### 3.3 수분 손실량 측정 실험 결과

수분 손실량 측정 실험을 통하여 양생제 제품과 콘크리트 배합에 따른 최적 살포시기 결과를 살펴보았다. 그림 9는 양생제 제품을 달리 적용한 일반 배합과 플라이애시 배합 시편의 수분 손실물이다. 양생기간 3일 후와 7일 후의 수분 손실량이 가장 많았고, 양생제 살포 시기는 타설 후 30분 전후가 수분 손실량이 상대적으로 적었다. 타설 후 90분 이후에 양생제를 살포하는 것은 미살포의 경우보다는 수분 손실이 적었으나, 양생 효율성 차이에서는 큰 의미가 없어 보였다. 즉 수분 손실량 측정 결과 타설 후 30분 전후가 최적의 양생제 살포시기임을 확인하였다.

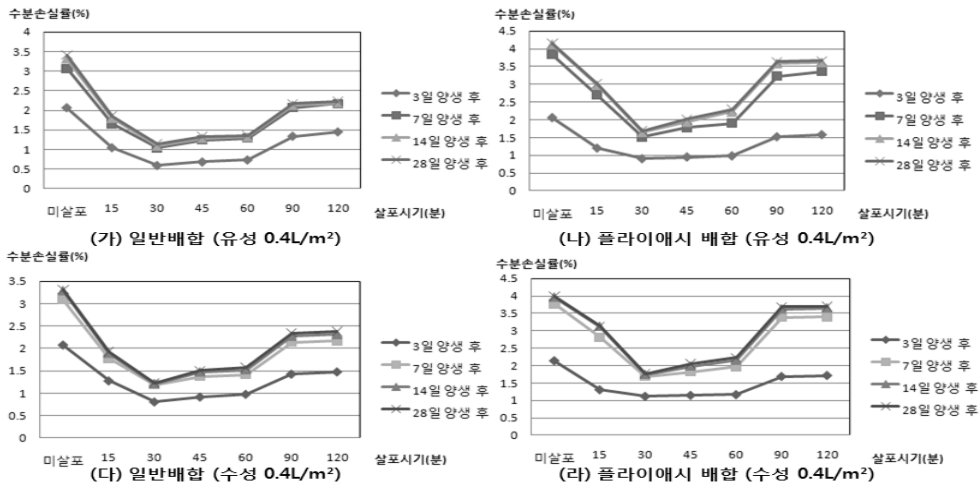


그림 9. 수분 손실률 측정 결과

#### 4. 결 론

양생제는 콘크리트 양생에 불리한 기후조건에서 증발되는 수분을 억제시키는 역할을 한다. 본 연구에서는 양생제 살포시기를 결정하기 위해 국외의 기술 동향을 바탕으로 수분흡수성 실험, 표면 마모저항성 실험, 수분 손실량 측정 등을 진행하였다. 초기 콘크리트 포장에서 피막 양생제의 영향이 미치는 영역은 표면으로부터 10~13mm이므로 표면 재료만을 가지고 실험하였다. 표면 수분흡수성 실험에서는 수분 흡수율을 양생효율 요소로 보았고, 수분 흡수율이 적은 시편일수록 표면의 공극 크기가 가장 밀실 함을 유추할 수 있었다. 표면 마모 저항성 실험에서는 콘크리트 표면의 양생 효율성 및 표면 강도를 평가하였다. 살포시기에 따른 양생효율은 마모된 콘크리트 무게량으로 평가하였다. 실험 결과에서는 일반 배합과 플라이애시 배합에 따른 최적 살포시기를 확인할 수 있었으며, 유성 양생제와 수성 양생제의 양생 효율을 비교할 수 있었다. 수분 손실량 측정을 통하여 양생제 제품과 콘크리트 배합에 따른 최적 살포시기 결과를 결정하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

■ 수분 흡수성, 마모 저항성 실험에서는 콘크리트 타설 후 15분부터 표면 흡수율과 마모 무게 감소량이 점차 줄어들었으나, 45분부터는 증가함을 확인할 수 있었다. 30분에서는 흡수율이 약 0.23%, 마모 무게량은 평균 7.3g의 최저치를 확인할 수 있었다. 수분 손실량 측정은 타설 후 30분 전후의 살포시기에서 수분 증발을 가장 많이 억제 할 수 있었다. 위의 실험내용을 종합적으로 검토한 결과, 양생제 살포시기는 일반 배합뿐만 아니라 플라이애시 배합에서도 콘크리트 타설 후 30±15분이 최적의 시기임을 잠정적으로 결정하였다.

양생제 살포시기를 정량화하고, 최적의 시기를 시공 기준으로 제시하여 국내 콘크리트 포장시공에서 개선되고 일관성 있는 포장 품질로 장수명 도로포장을 보장할 수 있을 것이다. 향후 이러한 실험내용을 토대로 시험시공을 실시하여 양생제 살포시기를 더욱 명백히 규명할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 도로공사의 '콘크리트 포장 내구성 향상을 위한 양생제 시공기술 최적화 연구' 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 국토해양부, “시멘트 콘크리트 포장 생산 및 시공 지침”, 2009.
2. 이승철, “콘크리트 표면마감이 염수의 침투깊이와 흡수율에 미치는 영향”, 대한건축학회 논문집, 2007.
3. American Concrete Institute, “ACI 308.1-98 Standard specification for curing concrete”, pp 308.1-1~308.1-9, April 1, 1998.
4. American Concrete Institute, “Guide to Curing Concrete”, ACI 308R-01, 2001.
5. Choi, S.C., Won, M., “Identification of Compliance Testing Method for Curing Effectiveness”, University of Texas at Austin, 2008.
6. Dhir, R.K., Hewlett, P.C., “Near-Surface Characteristics of Concrete: Assessment and Development of in Siti Test Methods”, Magazine of Concrete Research, pp.183-195, 1987.
7. FHWA, “Guide For Curing Of Portland Cement Concrete Pavements”, 2006.
8. Ye, D., Zollinger, D., Choi, S. C., Won, M., “Literature Review of Curing in Portland Cement Concrete Pavement”, Texas Austin University, 2006.