

# 터널 내 양생제 살포 현황 및 잠정 기준에 관한 연구

## A Study on the Methods and Standards for Spraying Curing Compounds in Tunnels

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

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

### 1. 서론

콘크리트는 경제적이며 성형성이 좋다는 장점이 있다. 이런 장점에도 불구하고 콘크리트가 경화될 때 발생하는 수축 균열은 많은 문제를 야기한다. 콘크리트 균열의 대표적인 표면균열을 방지하기 위해서는 콘크리트 포장 시공 시 양생제 살포 시공이 요구된다. 양생제는 콘크리트 포장 타설 시 표면의 수분 증발을 억제해 주는 역할을 하며, 이는 기후 조건과 밀접한 관련이 있다. 즉 양생제 살포를 통해 발생한 적절한 피막은 혼합수의 증발을 막고 많은 경우에서 시멘트의 수화에 필요한 습도를 유지하는데 도움을 준다. 특히 콘크리트 표면의 수분 손실은 공기 중 상대습도와 관련성이 높으며 온도, 바람도 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 양생제 살포에 관한 기준은 외국의 것을 그대로 적용해오고 있으며 터널 및 습도가 높은 국내 환경 조건을 반영하는가에 대해서는 확신이 서지 않았다. 국내의 구체적인 양생제 살포 방안 결정을 위하여, 본 연구팀은 국내 현장의 터널 실내외 기후 조건을 조사하고 양생제 현장 살포 현황을 조사하였다. 터널의 다양한 길이에 따른 구간별 환경 조건을 조사 분석하고 국내 다습한 환경조건을 파악하여 최종적으로 기후 환경을 고려한 양생제 살포 적용 방안을 제시하였다.

### 2. 현장 조사

본 연구는 국내 콘크리트 도로포장의 양생제 살포시공 현장을 조사하였다. 터널구간 16개와 임의의 현장 4곳의 양생제 살포 현장 시공 실태 조사와 터널 내 기후환경 자료를 수집하였다.

#### 2.1 국내 터널 구간 조사

현장의 양생제 살포 현황 파악 및 Weather Station을 사용한 터널 구간의 온도, 풍속, 습도 등 기후환경측정이다. 양생제의 현행 살포량 기준은  $0.4\sim 0.5\text{ L/m}^2$ (국토해양부, 2009)로 규정되어 있지만, 현장에서는 양생제 살포량이 표 1과 같이 적게 뿌려지고 있었다. 현장의 양생제 살포기 속도는 평균적으로 40m/min 이었고 살포 시기는 콘크리트 도로 포장 포설 후 평균 45분후 살포하였다. 하지만 콘크리트 포장체 표면에는 별다른 징후가 포착되지 않았다. 터널 구간의 경우 표 2와 같이 14개 터널은 양생제를 미 살포 하였고 12.5%인 2개 짧은 터널구간만 살포 중이었다. 양생제 냄새가 미 살포 원인으로 지목되었고, 인체에 해롭다는 의견이 많았다. 현장에서 사용되는 양생제 1개의 샘플 2L를 획득하여 화학 시험 연구소에 의뢰한 결과, VOC(Volatile Organic Compound, 휘발성 유기화합물)가 80.9 g/L이었다. 이는 미국 환경부에서 제시한 기준 350 g/L를 넘지는 않는 수치이다. 아직 국내에는 양생제에 대한 VOC 제한 규정이 없지만, 적은 양이라도 터널 내 사용이 불가함을 보여주고 있다.

\* 준회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:nansungjae@naver.com)  
\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학박사(E-mail:pooh2461@ex.co.kr)  
\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail:kimhyun3@ex.co.kr)  
\*\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사(E-mail:yhcho@cau.ac.kr)



표 1. 조사 현장 4곳 양생제 살포량

현장	1	2	3	4
살포량	0.21 L/m <sup>2</sup>	0.10L/m <sup>2</sup>	0.18L/m <sup>2</sup>	0.13L/m <sup>2</sup>

터널 구간의 현장 조사 시 터널 벽면에는 습도가 높아 진출입부 일정거리 이후에는 이슬이 맺혀 있었다. 이슬이 맺혀 있지 않은 구간을 건조구간이라 칭할 때 터널길리와 건조구간 간의 관계는 표 2와 같다. 터널길리와 건조구간길리와와의 상관관계는 그림 1과 같다. 터널 길이가 길어짐에 따라 건조 구간의 길이도 증가함을 볼 수 있다.

표 2. 터널 길이에 따른 터널 벽면 건조 구간 길이 측정 결과

터널길이		1(상행선)		2(하행선)	
		입구건조구간	출구건조구간	입구건조구간	출구건조구간
1.4Km Tunnel	오른쪽 벽면(m)	40.50	39.20	41.50	38.40
	왼쪽 벽면(m)	42.20	39.50	39.20	39.50
1.2Km Tunnel	오른쪽 벽면(m)	35.80	35.60	33.20	32
	왼쪽 벽면(m)	26.50	27	28.30	29.40
0.7Km Tunnel	오른쪽 벽면(m)	27	25.40	28	23.20
	왼쪽 벽면(m)	26.30	26.80	27.40	24.40
0.5Km Tunnel	오른쪽 벽면(m)	10.20	11.40	12.20	11.20
	왼쪽 벽면(m)	11.50	10.50	11.40	11.30
0.15Km Tunnel	오른쪽 벽면(m)	8.10	9.20	8.40	8.20
	왼쪽 벽면(m)	8.10	9.10	9.50	9.30

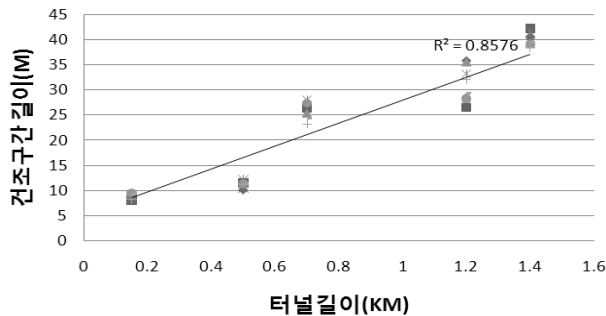


그림 1. 터널 길이와 건조구간의 관계

그림 2와 그림 3은 터널 연장에 따른 상대 습도의 변화를 보여주고 있다. 장대 터널의 경우 터널 안으로 깊이가 들어갈수록 상대 습도가 증가한다. 장대 터널은 중심부의 상대습도가 95%까지 증가하지만, 150m인 짧은 터널의 경우는 실외의 상대습도와 비교하여 5% 차이만 보였다.

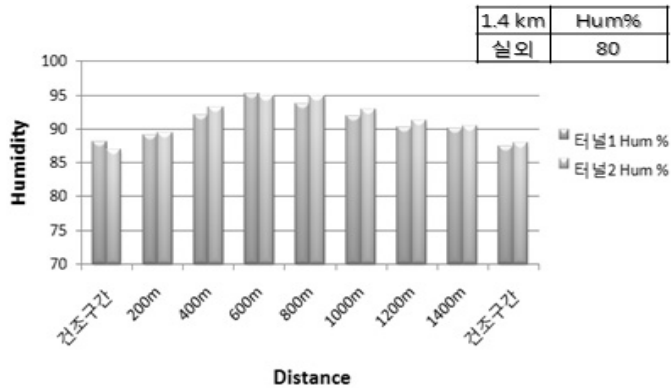


그림 2. 1.4KM 터널 구간 습도 변화 측정 결과

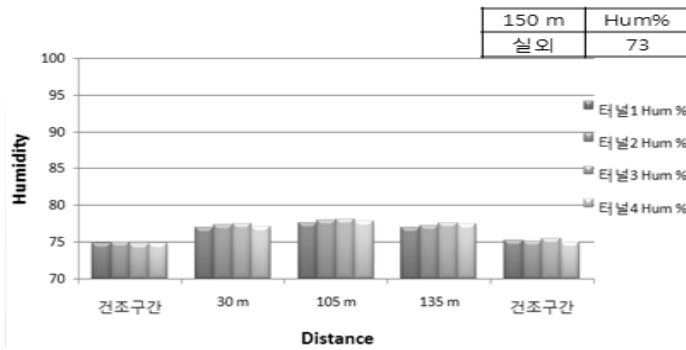


그림 3. 150M 터널 구간 습도 변화 측정 결과

콘크리트 표면의 수분 손실량은 공기 중의 상대습도와 밀접한 관련이 있다. 상대습도는 터널의 풍속과 관련이 있으며 길이에 따른 풍속의 관계를 조사하였다. 500m와 150m길이의 터널 풍속을 측정 한 결과는 그림 4와 같다. 500m의 경우 터널 중앙부에서 바람이 거의 불지 않는 반면 단구간 터널의 경우 바람 속도 변화가 거의 없었다. 이승호는 터널연장의 증가에 따라 터널벽면과 유동하는 공기와의 마찰저항이 증가로 이 현상을 설명하고 있다. 그는 터널 연장 1,000m의 평균풍속을 기준으로 500m 길이의 터널 평균 풍속은 17% 증가하고, 터널 연장 2,000m와 4,000m의 경우는 39.9% 및 62.0% 감소한다고 주장하였다(이승호, 2006).

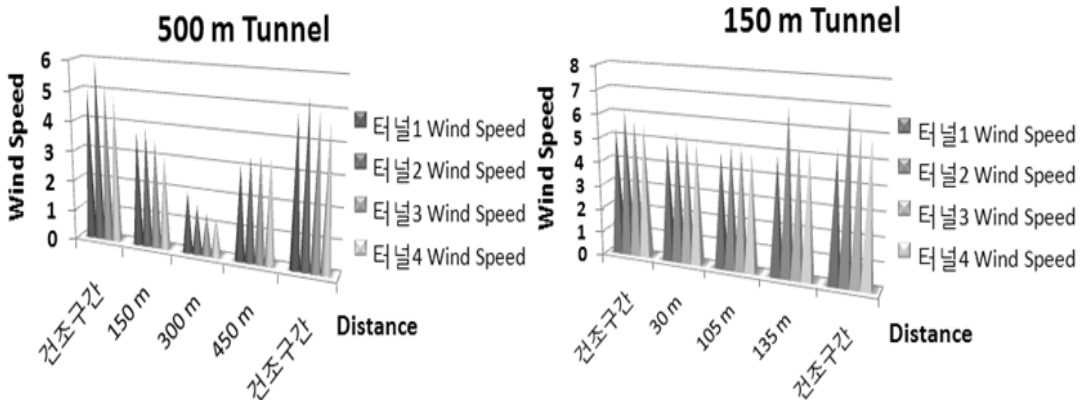


그림 4. 500M 터널과 150M터널간의 구간별 풍속 측정 값 비교

결국 150m 길이의 터널은 전 구간이 바람의 영향을 상대적으로 크게 받고 있었고 터널 안 상대 습도 값도 실외에 비해 약 5%밖에 높지 않아 콘크리트 포장 표면의 많은 수분 손실이 우려되었다. 반면 500m 이상의 장대 터널은 진입부로부터 일정 거리 이후에는 높은 상대 습도와 바람이 약하게 불고 있어 증발량이 상대적으로 적은 것으로 판단된다. 이런 장대 터널의 경우 양생제 미 살포 구간임에도 불구하고 육안관찰 상 균열이 발생하지 않았다. 장기 공용성을 좌우하는 콘크리트 포장의 초기 균열이 발생하지 않은 점은 기존의 시방 기준이 확립적으로 정량화 되었다는 점에서 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

### 3. 다습한 환경을 고려한 터널 내 양생제 살포방법 제안

#### 3.1 국내 터널 내 양생제 살포방법 연구

그림 5는 대기 중의 상대습도와 콘크리트 표면의 수분 손실량의 관계를 보여준다. 대기 중의 상대습도가 높을수록 수분 손실량은 감소하는 것을 알 수 있다.

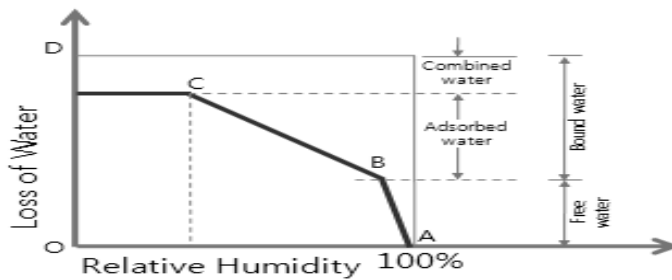
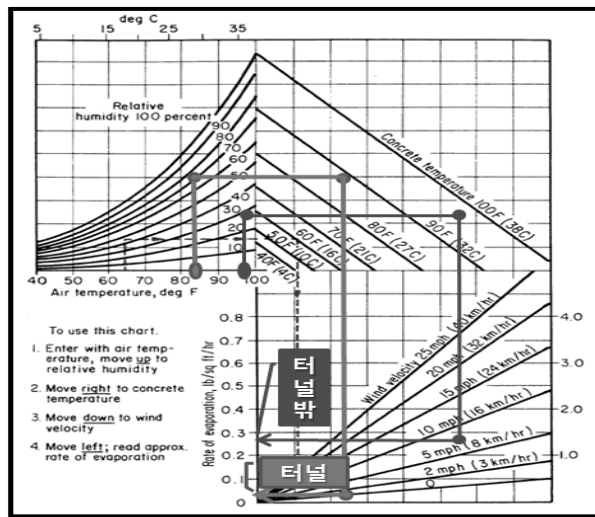


그림 5. 상대습도와 수분손실과의 관계  
(Mehta and Monteiro, 1993)



ACI Evaporation Nomograph (ACI, 1996)

그림 6. 터널 실내·외 증발량 노모그래프

터널 현장의 양생제 살포 시공이 이루어지지 않는 점을 확인하고 설문조사를 통해 현황을 파악해 보았다. 현장기술자들은 터널 안에서 기존 기준에 따라 양생제를 살포하는 것은 필요 없다고 경험적으로 주장하였다. 양생제 살포가 없는 장대 터널 구간의 포장체 표면에 아무 문제가 없음을 확인하였다. 터널 내 다습한 기후 환경과 증발량과의 관계를 살펴보았다. 미 콘크리트 협회의 증발량 산정식인 그림 6에 따르면 이론적으로 공

기 중 상대습도가 높고, 온도는 낮고 바람의 세기가 적은 터널구간은 일반 콘크리트 포장 타설 구간보다 수분 증발량이 매우 적음을 알 수 있다. 장대 터널의 경우 터널 안의 상대습도가 95%이기 때문에 양생제를 살포하지 않더라도 표면 수분 증발량이 적다. 따라서 터널 안의 콘크리트 포장체가 경화될 때 발생하는 표면 건조수축균열이 발생하지 않음을 설명할 수 있다. 하지만 150m 이하의 터널에서는 실외 바람의 영향이 크다. 상대습도도 장대터널에 비해 높지 않기 때문에 양생제 살포 시공이 이루어져야 한다고 판단된다.

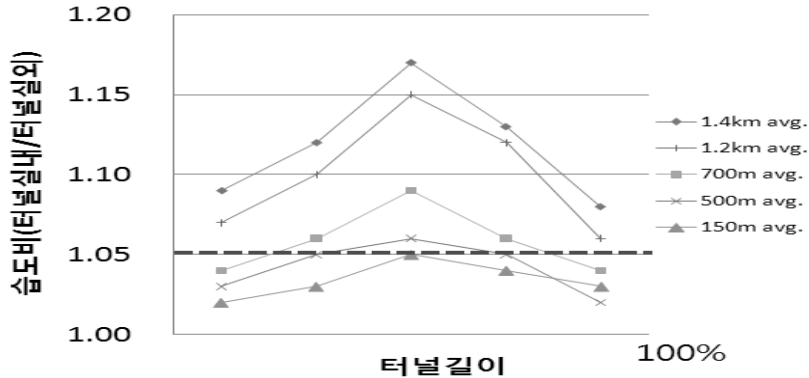


그림 7. 터널 길이에 따른 구간별 습도비

그림 7은 터널 길이에 따른 구간별 상대 습도비를 보여주고 있는데 공통적으로 터널 중앙부는 최대 습도비를 나타냈다. 150m터널은 다른 긴 터널들과는 달리 외부 바람의 영향으로 습도비가 터널 전 구간이 실외와 차이가 최대 5%밖에 나지 않았다. 현장에서 150m 구간은 양생제를 뿌리고 있었으나 나머지 구간은 뿌리지 않아도 문제가 없었다. 따라서 150m 구간에서 경험하는 상대 습도비의 최대 변화량 1.05를 기준으로 양생제 살포 유무에 대한 기준으로 삼는다면, 터널길이에 따라서 양생제 살포구간이 변하게 된다.

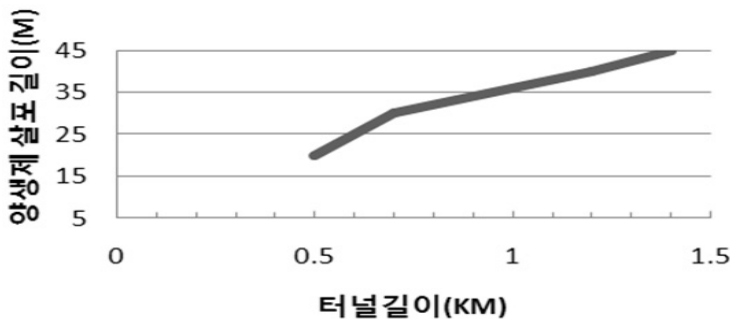


그림 8. 터널 길이에 따른 출입구 양생제 살포 길이

그림 8은 터널 길이에 따른 양생제 살포 길이를 제시하고 있다. 터널 1.4km, 1.2km, 700m, 500m길이의 경우 출입구 구간의 각각 45m, 40m, 35m, 20m의 길이는 양생제를 살포해 주어야 한다. 특정 시즌에 대한 터널 부 습도 변화 자료에 근거한 기준이라 좀 더 많은 자료 수집을 요하지만 보수적으로 터널 구간 길이에 상관없이 최소한 출입구 45m 기준을 사용하는 것은 합리적이다.



#### 4. 결 론

현재 국내 콘크리트 포장의 양생제 살포 시공을 관찰하여 현행 양생제 살포 기준량이 과다하게 규정 되어 있음을 확인하였다. 그리고 터널 내에서는 대부분 양생제를 살포하지 않음에도 불구하고 아무런 문제가 없음을 관찰하였다. 장대터널 내 양생제 미 살포 관행의 문제점을 파악하기 위해 국내 도로포장 터널 기후환경을 조사하고 현장의 양생제 제품을 수거하여 VOC(휘발성 유기화합물) 화학시험을 실시하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1. 현장에서 사용하는 양생제는 주로 유성제품으로 화학시험연구원의 성분 조사 결과 VOC(휘발성 유기화합물)가 80.9 g/L이지만 제품에는 인체에 유해한 성분이 있어 밀폐된 터널 환경 안에서의 제품 사용은 한계가 있어 보인다.
2. 국내 터널 현장의 기후환경 조사 결과 길이가 150m 초과하는 터널은 출입구 벽면의 건조 구간을 제외하고 공기 중 상대습도가 90%이상임을 확인하였다. 따라서 150m 초과한 긴 터널에서는 출입구 부분에 최소한 45m씩 양생제를 살포해 주어야 한다. 그리고 터널 내에서는 VOC(휘발성 유기화합물) 함유량이 비교적 많은 유성 양생제 제품보다는 냄새가 적고 VOC가 낮은 수성 양생제 제품을 사용할 것을 권장한다.
3. 터널 내 콘크리트 도로 포장 시공에서는 양생제를 미 살포하였음에도 불구하고 현장에서는 눈에 띄는 균열은 보이지 않았다. 따라서 기존의 확실적인 살포 기준은 변경이 필요하며 향후 4계절을 고려한 터널 내 양생제 살포 방법에 대한 실증적 연구가 필요하다.

#### 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. 이승호 “외부자연풍이 터널조건에 따라 도로 터널 내 환기저항에 미치는 영향”, 도로학회, 2006
3. American Concrete Institute, “ACI 308.1-98 Standard specification for curing concrete,” pp 308.1-1~308.1-9, April 1, 1998.
4. “Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavement”, Volume 2, 2006
5. Seong Cheol Choi, Moon won, “Identification of Compliance Testing Method for Curing Effectiveness,” Uni. Texas Austin, 2008.
6. U.S. “Environmental Protection Agency”, 1999