

콘크리트 포장의 내구성 향상을 위한 양생제 시공기술 최적화 연구

A Study on the Optimization of Curing Technology for Improving Properties of Concrete Pavement

박 권 제	Park, KwonJea	정회원 · 한국도로공사 교통본부장 (E-mail: pjk@ex.co.kr)
류 성 우	Ryu, SungWoo	한국도로공사 도로교통연구원 박사후연구원 · 교신저자 (E-mail: sw.ryu@ex.co.kr)
김 형 배	Kim, HyungBae	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 (E-mail: kimhyun3@ex.co.kr)
주 영 민	Joo, YoungMin	중앙대학교 공과대학 사회기반시스템공학부 석사 (E-mail: pbaral234@nate.com)
조 윤 호	Cho, Yoon-Ho	정회원 · 중앙대학교 공과대학 사회기반시스템공학부 교수 (E-mail: yhcho@cau.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to suggest time to spray curing compound, the amount of curing compound, and the number of times to spray curing compound based on indoor tests.

METHODS : Based on the literature review, two methods are used in this study, One is test for water retention of concrete curing material and the other is test for abrasion resistance of concrete surfaces by the rotating-cutter method. Through those methods, curing compound was evaluated.

RESULTS : The result of the laboratory experiment for time to spray curing compound indicates that 30 minutes after placing concrete is optimal. For the amount of curing compound, $0.5\ell/m^2$ is the minimum quantity for both concretes. Through test of the number of times to spray curing compound, method to spray the whole amount of curing compound in twice is more efficient than it to spray the whole amount at a time. Also, method of separately 30-50 minutes spray is better than method of separately 10-30 minutes spray.

CONCLUSIONS : From the testing results, it can be proposed that optimum time to curing compound is 30 ± 15 minutes, $0.5\ell/m^2$ is efficient for spraying the whole amount of curing compound at a time, and $0.4\ell/m^2$ is the best for spraying the whole amount of curing compound in twice, which sprays it in 20 minutes after 30 minutes from placing concrete.

Keywords

curing compound, ratio of water loss, abrasion resistance, concrete pavement

Corresponding Author : Ryu, SungWoo
Research Institute, Korea Expressway Corporation, 50-5 Sancheok-ri,
Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyenggi-do, 445-812, Korea
Tel : +82.31.371.3276 Fax : +82.31.371.3478
E-mail : sw.ryu@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ijhe.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

시멘트 콘크리트 포장에서의 양생은 피막을 형성하는 양생제, 비닐시트, 수분공급 등의 방법을 통해 증발을 방지함으로써 강도, 내구성, 수밀성 등을 증진시키는 활동으로 콘크리트 초기 품질관리에 있어 중요하다. 다양

한 환경조건에 의해 수분이 손실될 경우 포장체의 강도 발현은 저하되고, 블리딩 수의 증발로 인하여 표면의 미세한 요철부에 모세관 장력이 발생하며 이는 수축균열로 이어지게 된다. 최근에는 일반 콘크리트의 알칼리 실리카반응(ASR) 및 동결융해 등 내구성 문제를 해결하

고 장기강도 증진을 위해 플라이애시와 같은 포졸란 재료의 사용이 증가하고 있다. 포졸란 재료가 그 성능을 발휘하기 위해서는 포졸란 재료의 SiO₂와 수산화칼슘이 물과 반응해야 하므로 지속적인 수분 유지가 필수적이므로 초기 품질관리의 중요성이 더욱 강조된다. 각 현장마다 시멘트 콘크리트 포장의 품질이 균일하지 않을 경우, 초기균열 가능성이 높아지고 장기적으로는 유지보수로 인한 예산의 낭비 및 교통혼잡과 같은 2차적인 문제를 야기하고 있다. 하지만, 국외의 경우 초기 품질관리의 중요성을 인식하여 명확하고 구체적인 지침 및 시방으로 제한하고 있다.

시멘트 콘크리트 포장은 일반 구조물보다 체적 대비 표면적이 넓다. 예를 들어, 슬립폼 페이브 기술을 활용하면 하루에 약 600m의 콘크리트 포장을 타설할 수가 있다. 이는 2차로 기준으로 약 4,800m²에 해당하는 표면적이 외부환경에 노출됨을 의미한다. 따라서 시공초기단계에 공기 중에 노출된 넓은 표면을 최대한 빠르고 적절하게 관리해야 할 것이다. 현재 다양한 양생방법들이 사용되고 있으나, 양생제를 이용한 방법이 효율적이고 비용이 적게 든다는 장점이 있다. 본 연구에서는 시멘트 콘크리트 포장의 장기적인 내구성 확보를 위하여 양생제 살포시기, 살포량, 횡수 등을 평가하는 방법과 그 기준을 정량화하고자 한다.

2. 양생제 종류 및 살포기준

국내 수성 양생제 제품은 주로 왁스 에멀전이 주를 이루고 있다(김용두, 2010). 수성 양생제의 경우, 화재의 위험이 적고, 인체에 유해한 성분이 적어 환경친화적이다. 하지만 피막의 형성 속도가 느려서 초기 콘크리트 표면의 수분 손실 방지능력이 유성에 비해 낮다. 또한 수성의 경우 콘크리트 표면에서 파라핀 성분이 제거되지 않고 지속적으로 남아있는 문제가 있어 미끄럼 저항성을 저하시키기도 한다. 유성 양생제의 경우는 하이드로카본 레진 유형으로 인체에 유해한 휘발성 유기화합물이 제품에 포함되어 있다. 냄새, 인체유해 등 작업 시 악영향을 미치며, 밀폐된 터널에서의 사용에 한계가 있다. 또한 살포기기의 노즐 막힘을 방지하기 위한 기기의 청소과정이 번거롭다. 그러나 피막 형성시기가 빨라 초기양생의 효과가 매우 좋고 적당한 시점에 피막이 소멸되는 장점이 있다.

Table 1은 국내 양생제 시방의 변천과정을 보여준다(한국도로공사, 1998, 2005, 2009; 건설교통부, 2003;

국토해양부, 2009). 국내의 경우 연구가 미비하여 양생제 살포량은 경험에 근거하여 변화되어왔다. 살포시기는 정성적으로 적용하고 있었으며, 방법(또는 횡수) 또한 명확하게 명시되어 있지 않았다. 2009년도에 개정된 한국도로공사 및 국토해양부의 전문시방서를 살펴보면, 피막 양생제는 콘크리트 슬래브 표면에 물기가 없어진 직후 초기응결이 시작되기 전에 2회 이상 나누어 얼룩이 없도록 충분히 살포해야 하며, 포장면의 양 측면까지 양생제를 살포하도록 하였다. 양생제 살포량은 0.4~0.5l/m²를 기준으로 하고 있다. 하지만 이러한 기준들은 개략적인 실험 및 국외 기준에 근거하여 작성된 것이기 때문에 이에 대한 공학적 근거를 마련하여 국내 시멘트 콘크리트 포장의 초기 품질을 관리해야 할 것이다.

Table 1. History of Specification for Curing Compound

Year	Specification	Amount (l/m ²)	Direction/Method	Timing
1998	Korea Expressway Corporation, Specification for Highway Works (Civil Engineering Part)	1.0 ※Overlay : 0.4	Twice in longitudinal and transverse direction	When moisture disappears
2003	Ministry of Construction Transportation, Standard for Concrete	X	Twice for back and force	When moisture disappears
2005	Korea Expressway Corporation, Specification for Highway Works (Civil Engineering Part)	0.5~0.8 (Thickness : less than 10cm) 0.8~0.9 (Thickness : more than 10cm) ※Overlay : 0.4	Twice in longitudinal and transverse direction	After tinning
2009	Korea Expressway Corporation, Specification for Highway Works (Civil Engineering Part)	0.4~0.5	More than twice	When moisture disappears
2009	Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, Standard of Production and Construction for Cement Concrete Pavement	0.4~0.5	Twice in longitudinal and transverse direction	When moisture disappears

일본 국토교통성에서는 일반 콘크리트와 다양한 혼합

물 배합의 콘크리트의 양생 기준에 차별을 두고, 1차 Fogging, 2차 양생제 살포, 3차 습윤포 양생을 하도록 제안하고 있다(일본 국토교통성, 1997). 초기양생은 압축강도가 4.9MPa (50kg/cm²)에 도달할 때까지 실시하고, 그 후의 양생은 소요강도가 얻어질 때까지 진행하도록 명시되어 있다.

ACI에서는 일반 콘크리트 배합뿐만 아니라 다양한 혼합물(플라이애시 배합, 초속경 시멘트 등)을 고려하여 1차 Fogging, 2차 양생제 살포, 3차 습윤포 양생의 절차로 규정되어 있다(ACI, 2001). 배합이 다른 콘크리트의 건조수축이나 블리딩 수의 발현정도 등이 서로 다르다는 점을 고려하여 배합별 차별화된 양생방법을 제시한 것이다. 각 주에서는 콘크리트 포장 시공 초기의 건조수축 균열방지와 장기강도의 증진을 위해 환경적 특성을 고려한 적정 양생제 살포량을 적용하고 있다. 각 주마다 살포량을 적게는 0.300ℓ/m², 많게는 0.447ℓ/m²로 국내에서 제시하는 기준량과 비슷하거나 적은 양을 살포하도록 하고 있다.

텍사스주 도로국의 실험 결과, 양생제를 2회 분할 살포하는 것이 한 번에 많은 양을 살포하는 것보다 효과가 있는 것으로 보았다(Texas, 2008). 텍스처 공정이 끝난 후 각각 10분 및 30분 뒤에 살포하며, 각 회 살포량은 53.74m²/ℓ (180ft²/gal) 이상이 되면 안된다고 하였다. 피막이 불균일하고 바늘구멍과 같은 결점이 있거나 양생제 살포한 후 비로 인해 손상된다면 추가로 양생제를 살포해야 한다. 72시간 내에 손상된 부분은 즉시 양생제를 살포하여 보수해야 한다. 아이오와주도 2회 분할 살포할 것을 제안하였다. 액상 양생제를 스프레이로 이용하되 표면의 수분이 사라지기 전에 지속적으로 살포하며, 일정한 피막이 포장 표면과 슬래브 벽면, 가장자리에 형성되도록 타설 후 30분 이내에 실시해야 한다고 규정하고 있다.

영국 도로청(Highway Agency, 2006)은 영국 BS 1027절에서 표층 슬래브의 표면 및 가장자리를 최소 7일 동안 양생해야 한다고 하였다. 알루미늄 레진 양생제의 경우, 살포 후 충분한 알루미늄 박층을 형성하고 60분 이내에 안정적이고 불투수성이 되어 BS 7542에 의한 효율지수 90%가 되어야 한다고 하였다. 양생제는 기계 살포 시 최소 0.22ℓ/m²를, 인력살포할 경우 0.27ℓ/m²를 살포하도록 하였다. 그리고 주기는 단위 시험길이 혹은 1,000m²마다 살포량을 검사하여야 한다.

3. 양생제 살포에 따른 콘크리트 성능평가 방법 선정 및 평가기준 선정

양생제의 성능평가 방법은 크게 양생제 자체의 특성을 평가하는 방법과 양생제가 살포된 콘크리트의 성능을 평가하는 방법 두 가지가 있다. 본 논문의 연구 목적은 후자에 부합하기 때문에 양생제 살포에 따른 콘크리트의 성능을 평가하는 방법에 대하여 검토한 결과, 탄산화 깊이 측정, 건조수축, 반발경도, 염소이온침투저항성, 강도관련 사항, 수분증발을, 표면흡수율, 마모저항성 등 다양한 방법들이 있었다. 각 실험방법이 양생제의 효율성을 평가하기 위한 방안으로 타당한지를 검증하기 위한 실내실험을 진행하였다.

탄산화 반응 실험은 콘크리트의 수화반응과정에서 표면의 알칼리성 성분인 수산화칼슘이 이산화탄소와 반응하여 탄산화합물 및 그 밖의 물질로 분해되는 것을 측정하는 원리이다(KS F 2596, 2009). KS F 2596의 탄산화 깊이 실험방법에 준하여 실험한 결과, 양생 초기에는 탄산화 반응을 하였으나, 양생이 진행되면서 시간에 따라 탄산화 반응량이 적어진다. 28일 양생한 콘크리트 시편에서는 거의 반응이 일어나지 않았다. 전반적으로 양생제 살포에 따른 차이를 정량적으로 평가하기는 어려웠다.

건조수축 시험법의 유효성을 검토하기 위하여 일반 콘크리트에 대하여 양생철이 수행한 연구에서와 같은 시편크기 및 방법을 적용하였다(KS F 2424, 2010; 양생철, 2004). 콘크리트 시편을 만든 후 초기 7일 수중양생 후 6면에서 증발이 이루어지도록 하였다 양생철 연구에서는 석회암을 사용하였을 때 28일 건조수축이 470με이었는데, 본 실험에서 60분 이내에 양생제를 살포하였을 경우, 동일한 범위 이내로 나타났다. 그러나 1일 양생후 탈형하고 수중양생을 해야하기 때문에 초기의 양생제 효과를 평가하기에는 문제가 있었다. 더불어 시편 전체의 변형량을 측정하기 때문에 양생제 살포 효과가 있는 한 면의 5mm 깊이까지에 대한 차이가 실험 결과에 반영이 되지 않았다.

KS F 2730에 제시된 테스트해머와 시험과정을 통해 양생제의 살포시기에 대한 효과를 반발경도로 평가하였다(KS F 2730, 2008). Fig. 1과 같이 반발경도는 각 조건별로 편차가 커서 양생제 효과에 대한 실내실험 방법으로는 적절하지 않다고 판단된다.

양생제 살포 유무에 따른 5mm 깊이의 표면조직의 차이가 물에 녹아있는 이온들의 침투정도에 영향을 미칠 것에 착안하여 ASTM C 1202 및 KS F 2711에서 제시

하는 방법을 염소이온 침투저항성을 평가하였다(ASTM C 1202, 2005 ; KS F 2711, 2012). 시험결과는 Fig. 2 와 같이 결과는 모두 2,000~4,000 Coulombs 범위로서 염소이온 침투수준은 보통이었으며, 살포량에 따른 염소이온 침투저항성은 경향이 없는 것으로 판단된다.

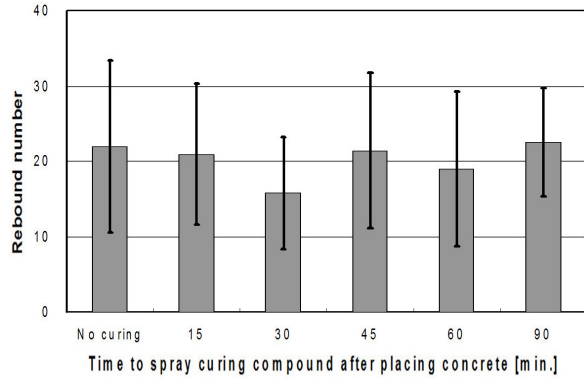


Fig. 1 Result of Rebound Hammer Testing

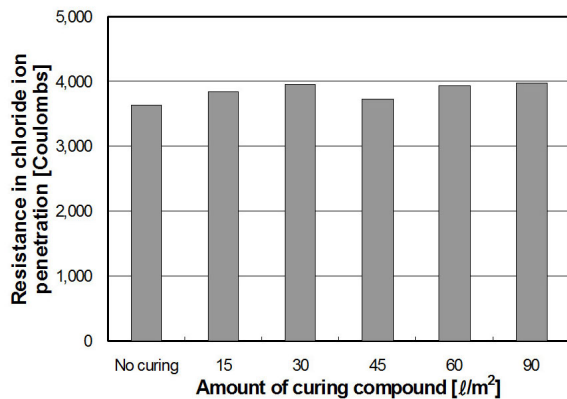


Fig. 2 Result of Resistance for Chloride Ion Penetration Testing

다음으로 양생제 살포량에 따른 일반 및 플라이애시 콘크리트의 탄성계수, 압축강도, 휨강도를 검토하였다.

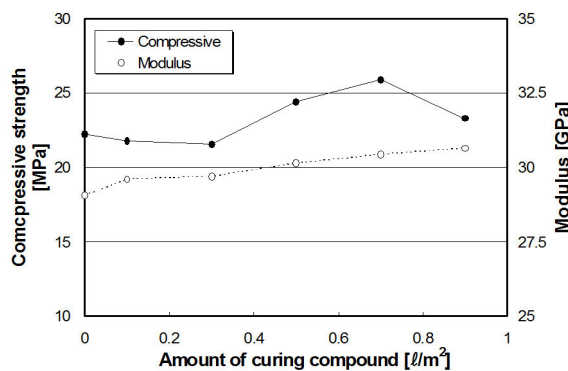


Fig. 3 Result of Compressive Strength and Modulus Testing

탄성계수는 비피괴시험법을 통해 얻었으며, 강도시험으로 압축강도 및 휨강도를 산출하였다. Fig. 3은 실험 결과를 도시한 것으로, 양생제 살포량에 따라 탄성계수는 증가하였으나, 압축강도는 일정한 양상이 나타나지 않았다. 이러한 이유는 앞서 살펴본 바와 같이 측정효과를 평가할 수 있는 범위가 5mm 깊이지만, 이 평가 방법은 시편 전체를 평가하기 때문에 오차를 발생시킬 변수들이 많아 양생제 평가방법으로는 적당하지 않다.

콘크리트 시편의 수분손실량을 평가하는 것이 양생제의 효과를 정량적으로 판단할 수 있는지를 검토하기 위해 모르타르에 적용하는 KS F 2406를 시험에 적용하였다(KS F 2406, 2009). 플라스틱 몰드에 콘크리트를 2층 각 50회 다진 후 표면을 마무리하고 최초 무게를 측정한다. 정해진 시간에 양생제를 살포하되 KS F 2406를 참고하여 잔유량을 다음 Eq. (1)과 같이 보정하여 콘크리트의 증발량을 시간에 따라 산출한다(KS F 2406, 2009).

$$M_L = M_1 + (N_V \times M_A) - M_3 \quad (1)$$

여기서, M_L : 시료의 질량손실 (g)

M_1 : 밀봉된 시료 질량 (g)

N_V : 양생제 중의 비휘발 물질의 비

M_A : 사용된 양생제의 질량 (g) = $M_2 - M_1$

M_2 : 양생제가 살포된 직후의 시료 질량 (g)

M_3 : 시료의 최종질량 (g)

살포시기에 따른 양생제를 콘크리트에 적용한 후 3일, 7일, 14일, 28일 양생 후의 시편의 질량을 측정하여 수분손실율을 비교한 결과, Fig. 4와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 양생기간 3일 후와 7일 후의 수분손실량이

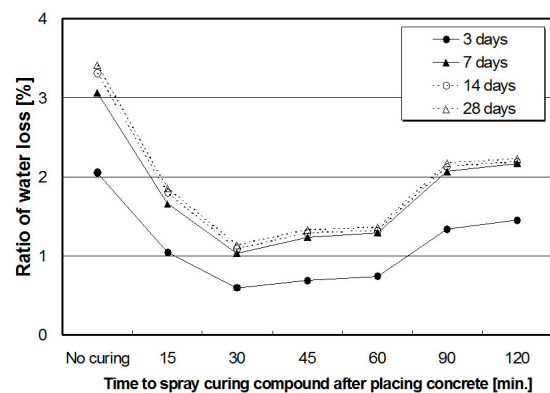


Fig. 4 Result of Water Loss Testing

가장 많았고 양생 14일과 28일 후에는 수분손실이 비교적 적었다. 양생제 살포시기는 타설 후 30분 전후가 수분손실량이 상대적으로 적었으며, 타설 후 90분 이후에 양생제를 살포하는 것은 큰 의미가 없었다. 본 시험 결과를 바탕으로, 수분증발량 혹은 수분증발율을 측정하는 것은 전체적으로 양생제 살포 유무 혹은 시기에 따른 효과를 평가할 수 있는 타당한 방법으로 판단된다.

ASTM C 1585에 제시된 콘크리트의 표면흡수율을 측정하기 위해 수분증발량을 측정한 시편으로 실시하였으며, 측정시간은 5분, 10분, 15분, 20분, 30분, 45분, 60분, 120분, 180분으로 하였다(ASTM C 1585, 2004). 실험결과, 표면흡수율은 살포량이 많을수록 적었으며, 초기에 급격히 증가하였다. 하지만, FHWA에서는 수분증발량과 흡수율 사이의 관계에서 비례한다는 것을 보고하였으며, 본 실험결과에서도 Fig. 5와 같이 선형의 관계가 있었다(FHWA, 2006). 따라서 수분증발량을 측정한다면 표면흡수율을 측정하는 것이 중복실험이기 때문에 본 연구에서는 배제하였다.

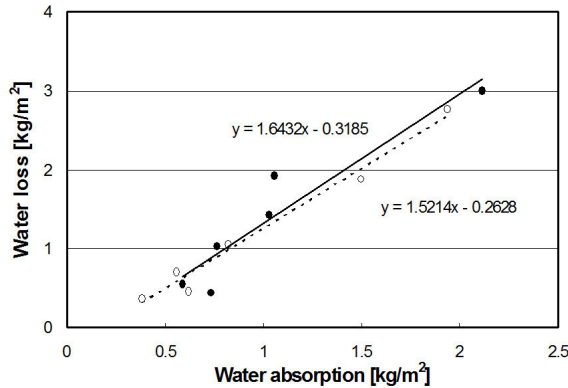


Fig. 5 Relation between Water Loss and Water Absorption

미국 FHWA 보고서에 따르면 마모저항은 양생에 의해 영향을 받는 유용한 실험 중의 하나로 소개하였고, ACI 308R-01에서는 양생제의 양생효율성 실험으로 효과적임을 언급하였다(FHWA, 2006; ACI, 2001). 표면 마모저항성 실험은 ASTM C 944 기준에 의거하여 실시하였다. 하지만 기존에는 회전커터 날에 의한 시험 방법으로 되어 있으나, 마모가 심하게 발생하는 문제가 있다(ASTM C 944, 2005). ASTM에도 명시되어 있듯이 수명이 짧아 90분 실험 후 교체해야하는 등 콘크리트의 마모저항성을 평가하기에 문제가 있어 본 연구에서는 다이아몬드 날로 교체하여 실험하였다. 수직하중은 196.13N(20kg)을 적용하여 1분 단위로 최대 5분간 실험하며, 마모실험 후에는 공기압축기를 활용하여 표

면의 먼지를 제거한 후 무게변화를 측정한다. 다음 시험 시 다이아몬드 날을 표면에 위치시킬 때 같은 자리에 맞춰지도록 주의를 기울였다. 유성·수성 콘크리트 배합에 따른 실험결과, Fig. 6과 같이 유성양생제 및 콘크리트 배합에 따른 차이를 평가할 수 있는 방법 중의 하나로 판단되었다.

다양한 시험법을 적용하여 양생제 살포 효과를 평가한 결과, 수분증발량과 마모저항성 실험이 선정되었다. 그 외 실험 방법들은 Table 2에 나타난 바와 같이 양생제 살포 효과를 측정하지 못하였거나 적용하기에 문제가 있었다.

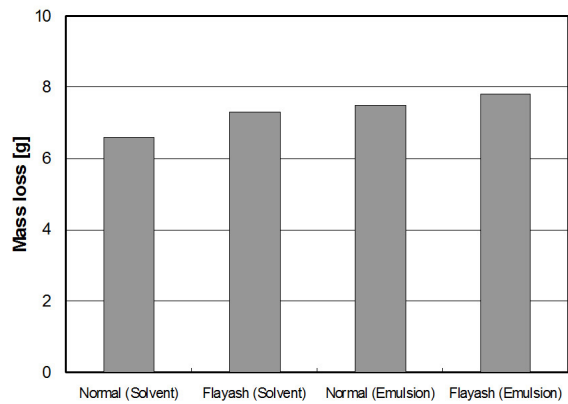


Fig. 6 Result of Abrasion Resistance

Table 2. Methods to Evaluate Concrete Cured with Curing Compound

Testing Item	Yes/No	Why
Carbonation depth (KS F 2596)	×	It is impossible to measure of curing compound effect.
Length change (KS F 2424)	×	It is impossible to measure of curing compound effect.
Rebound number (KS F 2730)	×	It is impossible to measure of curing compound effect.
Resistance Chloride Ion Penetration (ASTM C 1202 or KS F 2711)	×	It is impossible to measure of curing compound effect.
Modulus (KS F 2437)	×	It is impossible to measure of curing compound effect.
Flexural strength (KS F 2408)	×	It is impossible to measure of curing compound effect.
Compressive strength (KS F 2405)	×	It is impossible to measure of curing compound effect.
Water retention (ASTM C 156 or KS F 2406)	○	It is possible to measure of curing compound effect.
Rate of water absorption (ASTM C 1585)	×	Linear relationship between water retention and rate of water absorption
Abrasion resistance (ASTM C 944)	○	It is possible to measure of curing compound effect.

선택된 두 가지의 양생제 살포 후 콘크리트의 성능 평가 방법을 평가하기 위한 기준을 다음과 같이 설정하였다.

수분증발량의 평가기준은 ASTM C 156 와 KS F 2406에서는 72시간 동안 표면에서의 수분손실을 0.55kg/m^2 이하로 규제하고 있다. 이는 콘크리트가 아닌 모르타르에 대한 것이며, 표면에 수분이 사라질 때까지 시편을 보관한 후 양생제를 살포하는 방법으로 수분손실량을 측정하였기 때문에 콘크리트의 수분증발량에 직접 적용하기에는 한계가 있다. 따라서, 콘크리트 블리딩량을 고려한 증발량 계산 방식을 도입하였다. 본 논문의 예비실험에서 일반 및 플라이애시 배합의 블리딩량은 0.49kg/m^2 과 0.3kg/m^2 이었다. 이를 모르타르의 수분증발량 기준에 더한 결과, 각각 1.04kg/m^2 , 0.89kg/m^2 이었다.

이민경은 깬모래(부순모래) 및 세척사의 조립률을 달리하여 재령 28일의 콘크리트 블록에 대하여 마모저항성(5분) 및 APT(40톤, 5만회) 실험하였다(이민경, 2011). 콘크리트 블록에 대한 APT실험 결과를 조립률과 마모량과의 관계로 살펴본 결과, 조립률 2.8의 콘크리트 블록은 마모가 거의 일어나지 않았으나, 조립률 2.2 블록은 마모가 심하게 발생하였다. 콘크리트 배합에 사용한 잔골재의 조립률이 2.97임을 감안하였을 때, 블록 조립률 3.0에서의 마모감량인 13.5g을 보수적으로 콘크리트의 마모감량 기준으로 설정하였다.

4. 실험 방법 및 결과 분석

4.1. 양생제 살포 시기

국내 기준값을 고려하여 0.4l/m^2 의 양생제를 미살포 시편 및 타설 후 15분, 30분, 45분, 60분, 90분 경과 후에 살포한 시편을 제작하였다. 성능을 평가하기 위해 앞서 검토한 수분증발량, 마모저항성 실험을 하였다.

수분증발량은 $18\text{cm} \times 18\text{cm} \times 7\text{cm}$ 플라스틱 몰드를 사용하여 양생제를 살포한 표면만 공기 중에 노출시킨 후 28일까지 수분증발량을 측정하였다. Fig. 7은 일반 콘크리트, Fig. 8은 플라이애시 콘크리트의 측정 결과를 나타낸 것이다. 일반콘크리트의 경우 적용시기가 빠를수록 수분증발량이 적게 나타났으며, 플라이애시 콘크리트의 경우는 미소한 차이지만 타설 후 30분 후에 살포한 시편이 15분 후에 살포한 것보다 수분증발량이 적었다. 30분 후 살포한 시편을 기준으로 일반콘크리트는 앞에서 살펴본 수분증발량 기준 1.04kg/m^2 (72시간

양생)을 만족하였으나, 플라이애시 콘크리트는 기준인 0.89kg/m^2 보다 약 0.1kg/m^2 정도 많은 것으로 평가되었다. 추가 검증실험에서 전체적인 경향은 유사하였으며, 일반콘크리트 및 플라이애시 콘크리트의 수분증발량이 타설 후 30분 정도에 가장 적은 것으로 나타났다.

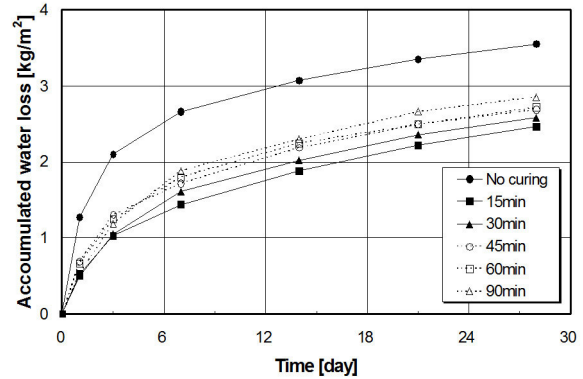


Fig. 7 Water Loss Depending on Time That Curing Compound was Sprayed (Normal Concrete)

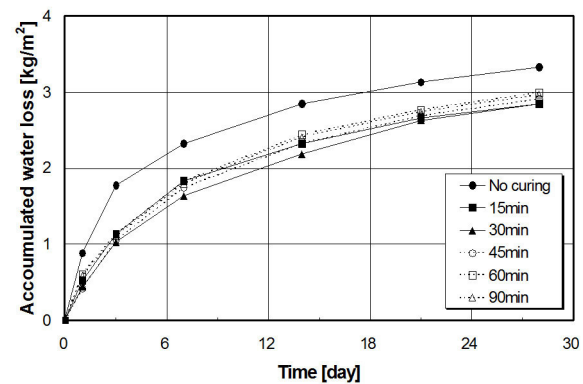


Fig. 8 Water Loss Depending on Time That Curing Compound was Sprayed (Flyash Concrete)

본 연구에서 마모저항성 시험은 기준은 28일 양생 후 5분 동안 시험하는 것을 기준으로 하였으나, 시험여건 상 시편 당 1분 단위로 3분 동안만 마모량을 측정하였다. Fig. 9는 일반 및 플라이애시 콘크리트의 살포시간별 2분 후, 3분 후의 마모저항성 실험결과를 나타낸 것이다. 여기서 5분 동안의 마모량을 예측하기 위하여 0~1분 사이의 마모량이 많기 때문에 이를 제외하고, 1~2분 및 2~3 사이의 마모량을 평균한 값을 2배하여 3분 후의 마모량에 합산하였다. 그 결과, 양생제를 살포하지 않은 구간에서 가장 많은 마모가 발생하였다. 약 30분 후에 살포한 경우는 기준값인 13.5g보다 적었다. 그 이후에 살포한 경우는 점점 마모량이 증가하는 추세였다.

양생제 살포시기에 대한 실험 결과, 플라이애시 콘크리트에서 기준을 통과하지 못했지만, 전반적으로 타설

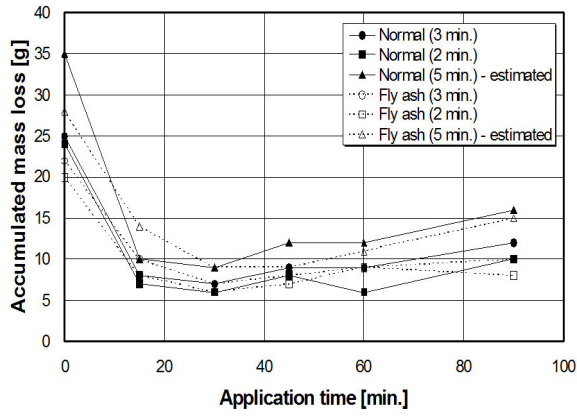


Fig. 9 Mass Loss Depending on Time That Curing Compound was Sprayed

후 약 30분 전후에 양생제를 살포하는 것이 가장 효율적인 것을 알 수 있었다.

4.2. 양생제 살포량

살포량에 대한 실험에서는 살포시기를 타설 후 30분으로 고정하였으며, 살포량에 대한 변수는 미살포, 0.1 l/m^2 , 0.3 l/m^2 , 0.5 l/m^2 , 0.7 l/m^2 , 0.9 l/m^2 으로 하였다. 수분증발량은 28일까지 하였으며, 마모저항성 시험은 장비를 보완하여 5분 동안 실험하였다.

Fig. 10과 Fig. 11은 각각 일반 및 플라이애시 콘크리트의 살포량에 따른 수분증발량 측정 결과이다. 살포량이 많아질수록 수분증발량이 줄어드는 경향을 보였다. 특히 일반콘크리트의 경우 초기 3일 동안에 플라이애시 콘크리트의 경우 초기 6일 동안에 수분증발량이 많아서 변곡점을 만드는데, 이는 초기 수분손실 방지가 중요하다는 것을 의미한다. 평가기준인 $1.04kg/m^2$ (72 시간 양생)를 만족하는 경우는 일반 콘크리트의 경우 0.5 l/m^2 이상 살포한 경우이며, 플라이애시 콘크리트는 0.4 l/m^2 이상 살포한 경우였다. 증발시편을 육안관찰하였을 경우 살포량 0.3 l/m^2 이하에서 피막이 열어져 콘크리트 표면이 노출되었고, 0.5 l/m^2 이상에서는 피막이 갈라지는 형상이 있었으나 전체적으로 피막을 유지하였다.

일반 및 플라이애시 콘크리트의 총 5분 간의 마모저항성 시험 결과는 Fig. 12와 같다. 미살포와 양생제를 살포했을 경우를 비교 시, 살포량이 증가함에 따라 마모저항성이 증가하는 경향이 나타났다. 일반콘크리트의 경우에는 평가기준을 통과하는 살포량은 0.3 l/m^2 이상이며, 0.1과 0.3 l/m^2 사이에서 변화가 가장 컸다. 플라이애시 콘크리트의 경우, 0.1 l/m^2 이상이 되면 기준을 통과하였으며, 양생제 살포량이 증가할수록 마모량은

유사한 비율로 감소하였다.

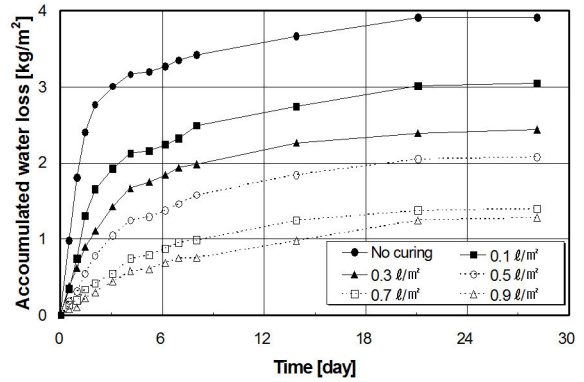


Fig. 10 Water Loss Depending on Amount of Curing Compound (Normal Concrete)

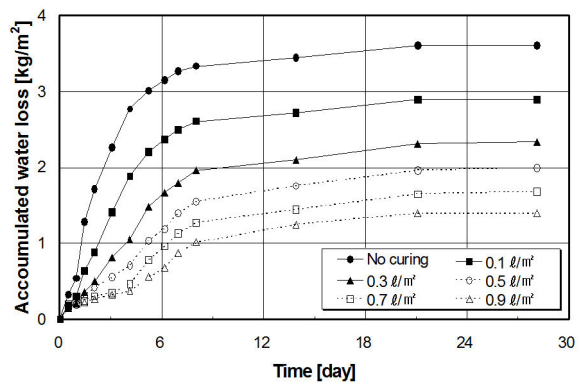


Fig. 11 Water Loss Depending on Amount of Curing Compound (Flyash Concrete)

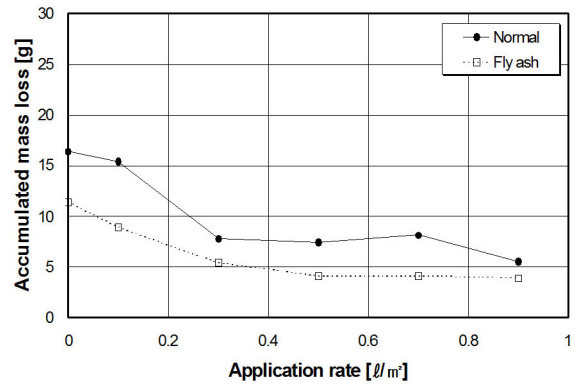


Fig. 12 Mass Loss Depending on Amount of Curing Compound

두 콘크리트 모두 최초 1분 동안의 실험에서 가장 많은 손실이 발생하였으며, 그 시간 동안에 마모된 깊이에 양생제가 영향을 미쳤기 때문이다.

양생제 살포량에 대한 실험 결과를 종합하여 볼 때, 0.5 l/m^2 정도 살포 시 콘크리트 양생에 효과적이라고 판단되었다.

4.3. 양생제 살포 횟수

고속도로공사 전문시방서에서 살포횟수는 ‘중·횡방향으로 2회 이상 얼룩이 없도록 살포, 포장면의 양측면까지 양생제 살포’를 권장하고 있다(한국도로공사, 2009). 본 실험에서는 살포량 0.3ℓ/㎡, 0.4ℓ/㎡, 0.5ℓ/㎡, 0.6ℓ/㎡를 각각 1회 전량 살포 및 2회 분할 살포하여 일반 콘크리트에 대한 수분증발량, 마모저항성을 측정하였다. 2회 분할 살포 시 방법으로, A방법은 타설 10분 후에 살포할 양생제량의 절반을, 나머지 절반을 1차 살포후 20분 뒤에 추가 살포하는 것으로 텍사스 도로국에서 규정하고 있는 방법이다(Texas, 2008). B방법은 앞서 실험한 살포시기의 결과에서 타설 후 30분이 효율적인 것을 착안하여 타설 30분 후에 절반을 살포하고, 나머지를 1차 살포한 다음 20분 후에 추가 살포하는 방법이다. 그래프에서 해당 양생제량을 1회 전량살포한 경우는 S(Single layer), 2회 분할살포했을 때는 D(Double layer)로 표기하였다.

본 실험은 일반콘크리트에 대해서만 수행하였다. 수분증발량 실험 결과, Fig. 13과 Fig. 14에 나타난 바와 같이 양생제 살포량이 증가할수록 시간에 따른 수분증발량은 감소하며, 3일까지는 양생제 살포량 실험에서와 같이 수분증발량이 많았다. 살포 방법이 다르더라도 전체적으로 1회 전량 살포 시보다 2회 분할 살포한 경우가 수분손실량이 적었다. A 및 B방법 모두 양생제를 살포하지 않은 경우를 제외하고 모든 경우에 기준을 통과하였다. Table 3은 살포량 및 살포방법에 대한 3일 수분손실률을 미살포 시편에 대한 상대비율로 나타낸 것이다. 모두 미살포 시편의 수분증발량의 50% 이하의 수준에 해당하였고, 2회 분할 살포한 경우가 효율적이며, B방법의 2회 살포 시 감소폭이 더 컸다. 앞서 살펴본 일반콘크리트의 살포량별 수분손실률과 비교 시, 살포량 측면에서 경향은 비슷하였다.

Fig. 15는 마모저항 실험결과를 보여주고 있다. 양생제 살포시편에 비하여 미살포 시편의 경우, 증발로 인해 콘크리트 표면을 충분히 양생시키지 못하였음을 의미한다. 양생제 살포량이 증가할수록 마모저항이 커져 감량이 적게 발생하였으며, 살포량을 1회 전량 살포할 경우보다 2회 분할 살포한 경우가 미미하지만 더 효과가 있는 것으로 나타났다. A방법의 마모실험 결과, 미살포 시편에 대한 마모손실률은 48~71% 수준으로 나타났으며, B방법의 경우 33~53% 수준으로 나타났다.

양생제 살포 횟수에 대한 실험 결과, 1회 살포 시 0.5ℓ/㎡를, 2회 살포 시 0.4ℓ/㎡를 B방법으로 살포하는 것이 콘크리트 양생에 효과적이라고 판단되었다.

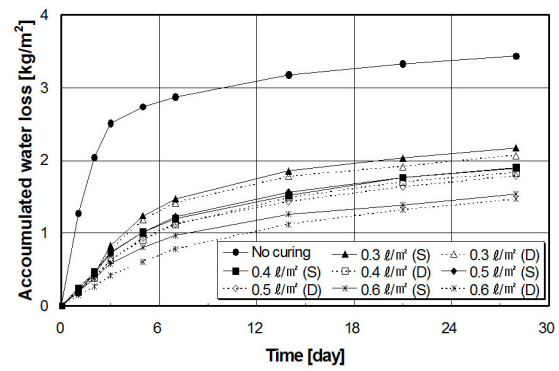


Fig. 13 Water Loss Depending on Amount of Curing Compound and Method (A Method)

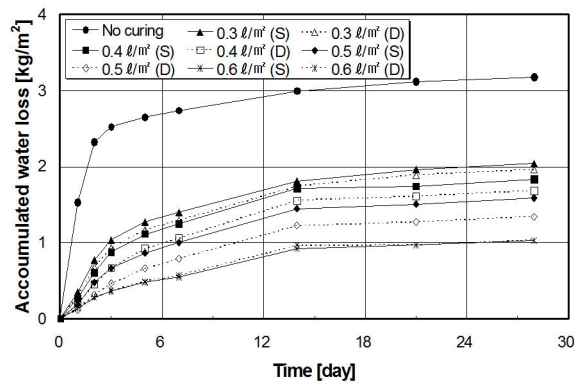


Fig. 14 Water Loss Depending on Amount of Curing Compound and Method (B Method)

Table 3. Water Loss Depending on Amount of Curing Compound and Method

Classification		Amount of curing compound (ℓ/㎡)								
		0.3		0.4		0.5		0.6		
		All at once	Half & half	All at once	Half & half	All at once	Half & half	All at once	Half & half	
Ratio against amount of curing compound (%)	10, 30 Min.	100	33	31	30	25	29	25	23	17
	30, 50 Min.	100	41	37	35	27	26	18	15	15

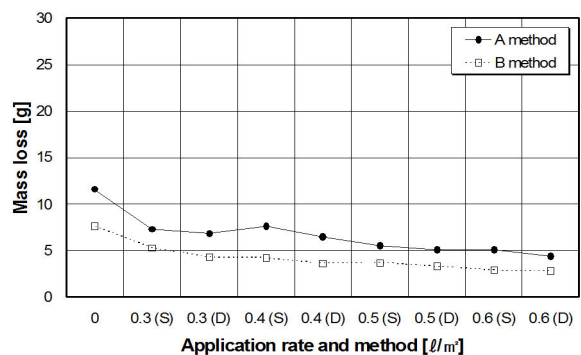


Fig. 15 Mass Loss Depending on Amount of Curing Compound and Method

5. 결론 및 향후 연구 방향

5.1. 결론

본 연구에서는 수분증발량, 마모저항성 실험을 통해 양생제 살포 방법(살포시기, 살포량, 살포횟수)에 따른 콘크리트 성능평가에 대해서 연구를 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 다양한 평가방법에 대한 검증 실험결과, 양생제의 효과를 평가하기 위한 방법으로 수분증발량, 마모저항성 실험이 타당한 것으로 나타났다.
2. 양생제 살포시기에 대한 실험 결과, 콘크리트 배합에 상관없이 수분증발량 및 마모저항성에서 최적 살포 시기는 30분 전후가 최적이었다.
3. 양생제 살포량의 실험 결과, 양생제를 살포할 경우가 미살포 시편에 비하여 수분증발량이 확연히 줄어들었다. 3일 수분증발량은 일반 및 플라이애시 배합 모두 $0.3\ell/m^2$ 이상 살포할 경우 미살포 시편에 대한 수분손실률이 50% 수준으로 나타났다. 증발시편을 육안관찰 시, $0.5\ell/m^2$ 이상에서는 피막이 갈라지는 현상이 있었으나 전체적으로 피막을 유지하였다. 마모저항성은 살포량이 증가함에 따라 증가하는 경향이 나타났으며, 일반 콘크리트에서는 $0.5\ell/m^2$ 이상에서, 플라이애시 콘크리트에서는 $0.3\ell/m^2$ 이상에서 그 차이가 분명하였다.
4. 양생제 살포횟수에 대한 연구 결과, 수분증발량은 양생기간에 상관없이 $0.3\ell/m^2$ 이상 살포 시 미살포 증발량의 50% 수준으로 나타났다. 분할살포 효과는 $0.4\ell/m^2$ 및 $0.5\ell/m^2$ 에 대하여 30분 1회, 50분 2회 분할 살포 시 가장 크게 나타났다. 마모저항성은 $0.4\ell/m^2$ 또는 $0.5\ell/m^2$ 이상 살포 시 마모감량이 미살포 마모감량의 50% 수준으로 나타났다. 2회 분할 살포할 경우 1회 전량살포에 비하여 마모저항성이 증가하였으며, 타설 후 30분에 1회, 50분에 2회를 살포한 방법이 더 효과적이었다.

종합적으로 연구 결과에 근거하여 효율적인 콘크리트 양생제 살포를 위하여 다음과 같은 방법을 제안할 수 있다.

- 양생제 살포시기 : 30 ± 15 분
- 양생제 살포량 : $0.5\ell/m^2$ 이상 (1회 살포), $0.4\ell/m^2$ 이상 (분할 살포 - 30분 1회, 50분 2회)

5.2. 향후 연구 방향

향후 연구에서는 수분손실률과 마모저항성 실험을 통해 도출된 결과가 현장에서와의 차이점을 검증하고 이를 개선하는 연구를 지속적으로 진행할 예정이다. 아울러, 본 연구가 관련 실무자들이나 시행자들이 활용할 수 있도록 기준이나 지침을 개정하는 작업을 병행할 것이다.

References

- ACI, *Guide to Curing Concrete*, ACI 308R-01, 2001.
- ASTM C156, *Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Materials*, 2005.
- ASTM C944, *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method*, 2005.
- ASTM C1202, *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*, 2005.
- ASTM C1585, *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*, 2004.
- FHWA, *Guide For Curing Of Portland Cement Concrete Pavements*, 2006.
- Highway Agency, *Manual of Contract Documents for Highway Works Volume 1 Specification for Highway Works, Series 1000*, 2006.
- Kim YoungDoo, *Application Study on Admixture and Curing Materials for Durability Concrete Pavement*, 2010.
- Korea Expressway Corporation, *Specification for Highway Works (Civil Engineering Part)*, 1998
- Korea Expressway Corporation, *Specification for Highway Works (Civil Engineering Part)*, 2005.
- Korea Expressway Corporation, *Specification for Highway Works (Civil Engineering Part)*, 2009.
- KS F 2405, *Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete*, 2010.
- KS F 2406, *Standard Test Method for Water Retention of Concrete Curing Material*, 2009.
- KS F 2408, *Method of Test for Flexural Strength of Concrete*, 2010.
- KS F 2414, *Method of Test for Bleeding of Concrete*, 2010.
- KS F 2424, *Testing Method for Length Change of Mortar and Concrete*, 2010.
- KS F 2730, *Testing Method for Rebound Number to Conclude Compressive Strength of Concrete*, 2008.
- KS F 2437, *Testing Method for Dynamic Modulus of Elasticity, Rigidity and Dynamic Poisson's Ratio of Concrete Specimens by Resonance Vibration*, 2008.
- Lee MinKyung, *A Study on the Abrasion Resistance Evaluation Method and Mix Design of Interlocking Concrete Block for Highway*, 2011.

Ministry of Construction Transportation, *Standard for Concrete*, 2003.

Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism, *Standard of Reinforced Concrete*, JASS 5, 1997.

Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, *Standard of Production and Construction for Cement Concrete Pavement*, 2009.

Texas Department of Transportation, *Pavement Design Guide*, 2008.

Yang, Sung-Chul, Ahn, Nam-Shik, Choi, Dong-Uk, Kang, Seong-Min, "Drying Shrinkage of Concretes according to Different Volume-Surface Ratios and Aggregate Types, *KSRE*, Volume 6-4, pp.109-121, 2004.

(접수일 : 2013. 3. 27 / 심사일 : 2013. 3. 27 / 심사완료일 : 2013. 10. 2)