

저온 환경에서 콘크리트 포장의 강도발현 촉진을 위한 양생방법 연구

A Study on Curing Methods for Concrete Pavement on Early Strength Development in Cool Weather Condition

| | | |
|-------|---------------|--|
| 류 성 우 | Ryu, SungWoo | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 포장연구실 선임연구원 (E-mail : htsw@gmail.com) |
| 김 진 환 | Kim, JinHwan | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 경영전략연구실 선임연구원 (E-mail : kimtopia@ex.co.kr) |
| 홍 승 호 | Hong, SeungHo | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구기획실 책임연구원 (E-mail : hsh373@ex.co.kr) |
| 박 제 진 | Park, JeJin | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : jjpark@ex.co.kr) |

ABSTRACT

PURPOSES : This study investigates the effect on concrete pavement accordance with the curing methods in cool weather and supports the best method in the field.

METHODS : Two field tests evaluated the curing methods of concrete pavement in cool weather. Firstly, five curing methods were tested, including normal curing compound, black curing compound, bubble sheet, curing mat, and curing mat covered with vinyl. Concrete maturity was compared from temperature data. Secondly, normal curing compound and curing mat with vinyl, which showed the best performance, were compared in terms of maturity and joint condition index.

RESULTS : From the field tests, it is an evident that curing mat with vinyl accelerated the concrete strength. Therefore, it is possible to conduct saw-cut works in cool weather, which minimizes damage on concrete at joint.

CONCLUSIONS : For concrete pavement in cool weather, using curing mat with vinyl as the curing method could overcome the strength delay. Therefore, strength and durability problems on concrete at joint due to cool weather would be fewer in the future.

Keywords

Cool Weather, Concrete Pavement, Curing Method, Concrete Maturity, Joint Condition Index

Corresponding Author : Park, JeJin, Research Director
Korea Expressway Corporation Research Institute, 208-96, Dongbu-daero
922beon-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18489, Korea
Tel : +82.31.8098.6334 Fax : +82.31.8098.4309
E-mail : jjpark@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Sep. 09, 2016 Revised May, 31, 2017 Accepted May, 31, 2017

1. 연구배경

기상청 자료에 의하면 대한민국의 기후는 건설공사가 본격적으로 진행되는 3~4월과 10~11월 사이에는 Fig. 1과 같이 10°C 이하의 저온 환경을 보이고 있다(기상청, 2016) 실제로 최근 건설되는 고속도로 노선은 대부분 산악지형에 위치하고 있어 굳지않은 콘크리트 포장이

평지보다 더 낮은 온도에 노출될 가능성이 큰 것으로 예상된다. 또한 콘크리트 포장의 내구성 향상을 위해 광물성 혼화재료를 혼합한 배합을 적용한 사례들이 증가하고 있어 강도발현이 지연되고 있다(네이버, 2017년 접속). 이와 같은 저온 환경 및 재료적인 특성으로 인해 콘크리트의 충분한 강도 발현 전에 줄눈 절삭이 이루어져

줄눈부 파손 문제가 발생되고 있다. 이러한 콘크리트 포장의 문제를 해결하기 위한 방안으로 올바른 양생이 하나의 대안이 될 수 있다.

콘크리트 포장에서의 양생은 피막을 형성하는 양생제, 비닐시트, 수분공급 등의 방법을 통해 과도한 증발을 방지하여 강도, 내구성, 수밀성 등을 증진시키고 수화반응을 촉진시키기 위한 것으로 콘크리트 초기 품질 관리에 있어 중요한 단계이다. 적절한 양생이 이뤄지지 않을 경우, 콘크리트 표면에서 초기 수화반응에 필요한 수분이 증발되어 낮은 강도특성을 보인다(Kosmatka et al., 1988). 일본 국토교통성의 JASS 5 시방서는 계절을 상시, 한중, 서중으로 분류(일본 국토교통성, 1997)하였으며, 상시의 양생방법으로는 분무, 피막 양생제, 양생포가 있고 양생기간은 7일 이상으로 하며, 콘크리트의 온도는 5일간 2℃ 이상을 유지하도록 하고 있다. 한중에는 동해가 일어날 우려가 있으므로 단열보온 양생 또는 가열보온양생을 실시하며, 초기양생은 압축강도가 50kgf/cm²에 도달할 때까지 양생을 실시하고, 이후의 양생은 소요강도가 얻어질 때까지 유지한다고 하였다. 미국의 경우는 일반 콘크리트 배합뿐만 아니라 다양한 혼합물(플라이애시 배합, 초속경 시멘트 등)을 고려하여 1차 Fogging, 2차 양생제 살포, 3차 습윤포 양생 절차로 규정되어 있다(ACI, 2001). 배합이 다른 콘크리트의 건조수축이나 블리딩 수의 발현정도 등이 서로 다르다는 점을 고려하여 배합별 차별화 된 양생방법을 제시한 것이다. 각 주마다 양생제 살포량을 적게는 300ml/cm², 많게는 447ml/cm²로 제시하고 있다. 살포량 기준 뿐만 아니라, 수분증발을 차단하는 시공 프로세스 또한 국내에 비해 자세히 규정되어 있다. 영국표준협회의 BSI-8110(1997)에서는 양생기간을 시멘트의 강도발현 정도, 타설 이후 기후조건, 양생 중의 콘크리트 표면온도의 함수에 의해 결정한다. 콘크리트 타설 및 다짐을 마친 후에는 양생 및 표면보호를 곧바로 실시하도록 제안하고 있다. 국내의 경우도 최근 양생의 중요성을 인식하고 양생제 살포시기, 살포량 및 회수에 대한 연구를 수행하였다(한국도로공사, 2012). 하지만 저온의 환경에 대한 양생방법은 고려되지 않았다.

이와 같은 선행된 연구들에 대한 검토를 통해 본 논문에서는 저온 환경에서 조기 강도발현을 할 수 있도록 다양한 양생방법에 대한 현장 성능시험을 수행하였으며, 공학적인 기초 물성들을 평가하였다. 그 결과를 바탕으로 저온 환경에서 콘크리트 포장의 품질을 향상시킬 수 있는 방안을 마련하는 것에 초점을 맞춰 연구를

수행하였다.

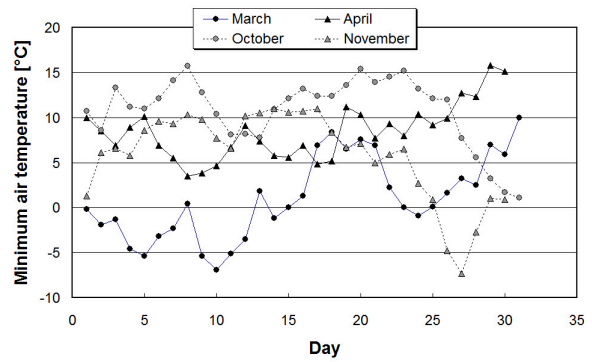


Fig. 1 Minimum Air Temperature on Each Month (Korea Meteorological Administration, 2016)

2. 1차 현장 평가

2.1. 시험 계획

시험 계획은 다양한 양생방법을 현장에 적용하여 적용성 및 그 성능을 평가하기 위하여 수행하였다. 시험시공은 2015년 10월에 울산포항 고속도로 구간 내에서 이뤄졌다. 전체적으로 해당 고속도로 구간은 산악지형이어서 터널과 교량이 많았으며, 본 실험이 이뤄진 곳은 130m 길이의 토공부로 터널과 터널 사이에 위치한다. 본 연구에서는 양생방법에 따른 강도 차이를 간접적으로 알아보기 위하여 Fig. 2와 같이 총 5가지의 양생 방법에 대해 검토하였다. 이 방법들은 일반적으로 현장에서 가장 많이 쓰이는 일반 양생제 살포 외에, 흑색 양생제 살포, 양생포 설치, 버블 시트 설치, 양생포에 비닐을 덮은 경우이다. 본 연구에서는 줄눈 절삭 시 발생하는 콘크리트의 파손 문제점을 개선하기 위한 것이 목적이기 때문에 일반 양생제 살포를 제외한 나머지 변수들은 줄눈이 시공되는 위치를 기준으로 좌우 30cm 폭(전체 60cm 폭)에 살포 및 설치하였다.

콘크리트 타설 방향은 포항방향으로 시공하였으며, 각 실험 변수에 따른 콘크리트의 양생 온도 변화를 검토하기 위해서 온도 측정용 센서인 아이버튼을 콘크리트 표면에서 약 1.5cm 깊이에 설치하였다. 표면처리방법으로 종방향 타이닝을 시공하고 콘크리트 타설 후 약 1시간 정도 지나서 전체 구간에 일반양생제를 살포하였다. 이후 바로 흑색양생제도 실험위치에 살포하였다. 현장 여건상 양생제 살포 장비가 접근이 어렵기 때문에 일반 양생제(솔벤트 계열의 유성양생제)는 인력으로 고압의 살수장비로 전 구간에 살포하였다. 흑색 양생제(솔벤트 계열의 유성양생제에 흑색 안료 추가) 살포의 경우는 실

험용으로 소량을 제조하였기 때문에 수동 분무기를 이용하여 충분히 살포하였다. 양생포 및 양생포+비닐을 설치하는 경우는 콘크리트 타설 후 작업 공간을 확보할 수 있는 방안이 많지 않아 살수차의 접근이 어려워 양생포에 물을 살포하지 않고 단지 양생방법에 따른 차이만을 적용하였다. 버블시트의 경우는 매끈한 면이 콘크리트와 닿도록 설치하였다. Fig. 3은 본 연구에서 고려한 5가지 양생방법을 각 줄눈부에 적용한 그림이다.

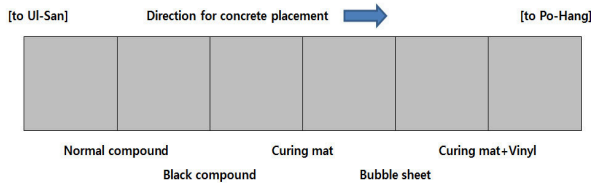


Fig. 2 Curing Methods at Each Joint

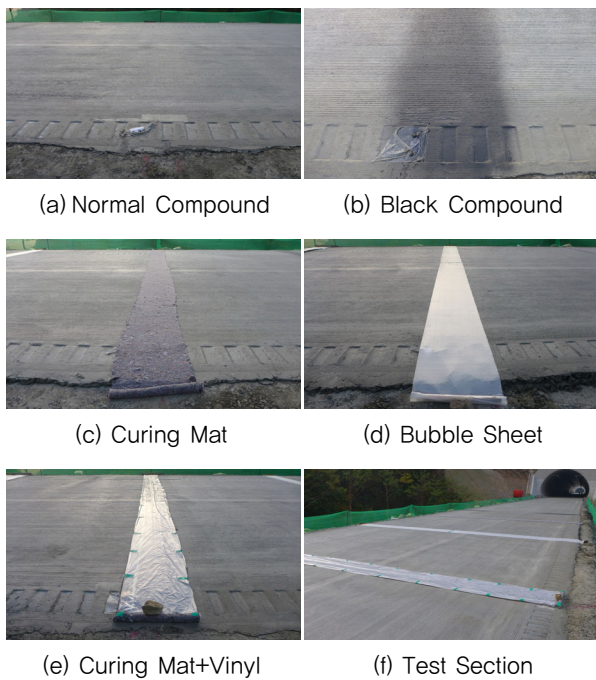


Fig. 3 Field Test of Different Curing Methods at Joints

2.2. 평가 방법

양생방법에 따른 줄눈 상태 평가는 온도 센서를 이용하여 콘크리트 포장 및 시편의 온도 데이터를 측정하였고, 이를 근거로 성숙도를 비교·분석하였다. 콘크리트의 강도발현은 시멘트의 수화반응에 의하여 나타나는 것으로 수분이 충분히 존재한다는 전제 하에 콘크리트의 강도발현은 재령과 온도의 함수로서 표현할 수 있다(국도교통부, 2004). 이러한 관계를 이용하게 되면 현장에서 주어진 온도이력과 재령에 근거하여 강도예측이 가능하고 콘크리트 강도발현에 대응한 시공이 가능하

다. 성숙도(Maturity)란 바로 이러한 콘크리트 강도 발현에 있어서 양생온도와 시간이 미치는 영향을 정량적으로 표시한 함수로서 크게 Nurse-Saul가 제안한 식과 Arrhenius 공식에 근거한 식이 있다. 본 연구에서는 상대적으로 계산방법이 쉽고 널리 사용되고 있는 Nurse-Saul을 사용하였다. 1950년대 Nurse-Saul에 의하여 증기양생의 효과를 정량화하기 위하여 콘크리트의 강도를 온도와 시간의 함수로 제안한 모형식이 Eq. (1)과 같다.

$$M = \int_0^t (T - T_o) dt = \sum_0^t (T - T_o) dt \quad (1)$$

여기서, M : 성숙도

T : 콘크리트 실제 온도

T_o : 강도발현 기준온도

기준온도 T_o는 일반적으로 콘크리트의 경화가 발생하지 않는 조건의 온도를 적용하는데 -10℃를 가장 널리 사용하나 콘크리트의 배합에 따라 변경이 필요하다. 이러한 모형을 통하여 계산되는 성숙도에 대하여 콘크리트의 강도는 그 양생이력에 관계없이 거의 일정한 값을 갖는다는 것이 Saul 등에 의하여 제안되는 이론의 핵심인데 여기에는 엄밀한 이론적 해석보다는 경험적인 증거들이 기반되었다고 볼 수 있다.

2.3. 시험 결과 분석 및 고찰

초기 양생방법에 따른 슬래브 온도 데이터는 Fig. 4와 같다. 콘크리트 타설이 완료된 2015년 10월 14일 16:30을 시점으로 하였으며, 다음날 정리가 마무리되어 연구진이 현장을 떠난 시각인 10월 15일 17:30을 종점으로 하였다. 두 종류의 양생제 외 3가지 양생방법은 표면에 일정강도가 발현되었다고 판단된 10월 14일 21:30에 설치하였다. 양생포나 양생포+비닐을 적용한 방법에서는 즉각적인 온도 증가가 나타났다. 반면에 일반양생제 살포구간을 포함한 다른 구간들은 유사한 패턴을 보였다. 하지만 10월 15일 4:30분부터는 버블시트를 설치한 구간에서도 온도 증가가 나타났다. 점점 동이 트면서 흑색 양생제를 살포한 구간이 일반양생제 살포 구간보다 약간 온도가 더 높았다. 해가 뜨는 시각인 10월 15일 7:30에는 일반양생제와 흑색양생제 살포구간의 온도 증가가 급격히 나타난 반면, 그 이외의 구간들에서는 상대적으로 태양의 직사광선이 바로 내려찍지 않아 온도증가는 완만하게 증가하였다. 11:00부터는 흑

색양생제 살포구간의 온도가 가장 높았으며, 12:00부터는 거의 모든 구간의 온도가 최고가 되었다. 10월 15일 12:00의 온도를 살펴보면 흑색 양생제 구간은 46℃까지 상승하였고, 양생포+비닐 구간은 43℃, 양생포 구간은 41℃, 버블시트는 40℃, 일반양생제는 39℃ 정도가 나타났다. 10월 15일 14:00부터는 태양광의 세기가 약해져서 전체 구간의 온도가 하강하였으며, 흑색 양생제의 하락폭이 가장 컸다.

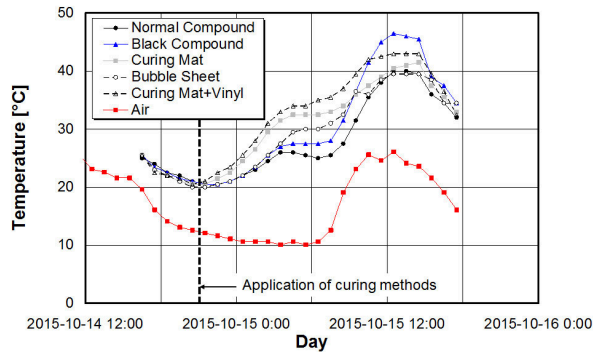


Fig. 4 Temperature Change for 1 Day After Concrete Placement

Fig. 5는 콘크리트 타설 후 1일 후의 성숙도를 비교한 것이다. 양생포+비닐 구간의 성숙도가 1094℃·hr, 양생포 구간이 1055℃·hr, 흑색 양생제 구간은 1048℃·hr, 버블시트 구간은 1022℃·hr, 그리고 일반 양생제 구간이 989℃·hr로 나타났다. 전체적으로 검토하였을 때, 양생포+비닐 구간은 야간에 설치를 하여도 수화반응에 의해 발생한 열을 보호하여 강도발현을 증가시키는 효과가 가장 컸다. 다음으로 양생포와 흑색 양생제 살포 구간을 살펴보면 최종 성숙도는 유사하지만, 시공초기 양생포 설치구간의 온도는 상대적으로 온도가 더 높았다. 반면 흑색 양생제 살포구간은 오직 태양광선이 내리 쬐 때만 효과가 있는 것을 확인하였다. 때문에 콘크리트 슬래브가 겪는 온도 변화의 폭은 흑색 양생제 살포구간

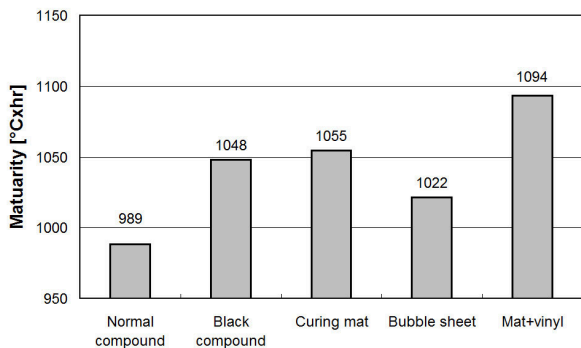


Fig. 5 Maturity Change on 1 Day After Concrete Placement

이 훨씬 커서 예측하지 못한 균열 발생 가능성이 높을 것으로 판단된다. 다음으로 버블시트의 경우, 버블시트의 접촉면이 콘크리트 슬래브에 잘 붙어 있을 경우는 양생효과가 좋았으나, 재질 자체가 가볍기 때문에 바람에 의해서 필러임이 많고 콘크리트와의 접촉면과 잘 떨어지기 때문에 상대적으로 효과가 적은 것으로 판단된다.

초기 데이터를 분석한 후 2주 후에 데이터를 획득하여 분석하였다. 분석은 19일 12시까지만 하였는데, 그 이유는 현장에서 작업을 위해 양생처리 방법들을 제거하였기 때문이다. Fig. 6은 2015년 10월 16일 12:00~18일 12:00까지의 데이터를 자세히 분석한 것이다. 하지만 이 구간의 경우 일반 양생제 살포 구간의 온도 센서가 작동하지 않아 데이터를 획득하지 못하였다. 슬래브 온도가 가장 낮은 시각인 2015년 10월 17일 7:00의 온도를 살펴보면, 흑색 양생제 살포 구간은 약 18℃로 가장 낮았으며, 다음은 버블시트 설치 구간은 21℃, 양생포+비닐 설치 구간은 23℃, 그리고 양생포 설치 구간은 24.5℃ 순으로 나타났다. 다시금 온도가 최고가 되는 2015년 10월 17일 13:00 혹은 14:00의 온도를 살펴보면, 양생포와 양생포+비닐 구간이 각각 31.5℃ 및 32℃로 나타나 거의 유사한 온도를 보였다. 다음으로 버블시트를 설치한 구간으로 33℃ 정도였으며, 흑색 양생포를 설치한 구간의 경우는 39℃까지 상승하였다. 온도차를 살펴보면 양생포 설치 구간이 7℃, 양생포+비닐 설치 구간이 9℃, 버블시트 설치 구간이 12℃, 흑색 양생제 살포 구간이 21℃의 온도차가 나타났다.

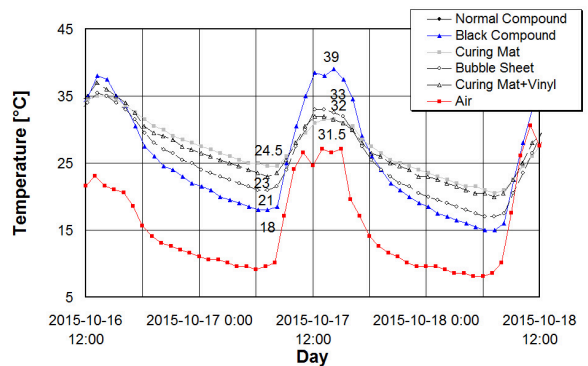


Fig. 6 Temperature Change on 16~18 October 2015

다음으로 2015년 10월 16일 11:00~19일 11:00까지의 성숙도를 비교한 것이 Fig. 7이다. 양생포와 양생포+비닐 구간의 성숙도가 2632℃·hr 및 2626℃·hr인 것으로 나타났다. 다음으로는 흑색양생제 살포구간으로 약 2544℃·hr였으며, 가장 낮은 구간인 버블시트의 경우는 2507℃·hr로 평가되었다.

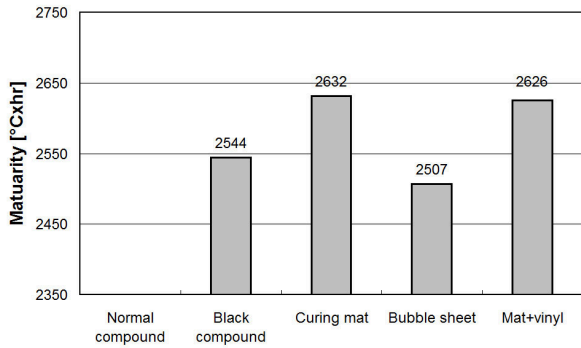


Fig. 7 Maturity Change on 16~19 October 2015

각 양생 방법에 따른 보온 혹은 양생 효과는 각 방법마다 차이가 있는 것으로 나타났으며, 또한 각 양생 방법에 따라 다음과 같은 문제점들이 있었다.

- 일반 양생제 : 양생 효과가 다른 방법에 대해 낮음.
- 흑색 양생제 : 오후에 콘크리트 타설한 구간은 수화 반응이 야간에 발생되어 초기에 양생 효과를 얻지 못함. Fig. 8과 같이 시공 초기 혹은 일정 시간이 지난 후에도 회색의 콘크리트 표면에 검게 남아 있어 미관 해침.
- 버블시트 : Fig.9 (a)와 같이 중량이 가벼워 바람에 날림.



(a) Early Age



(b) After Two Weeks

Fig. 8 Stain at Joint Spreading Black Compound



(a) Bubble Sheet



(b) Curing Mat

Fig. 9 Problems at Joint Installing Bubble Sheet and Curing Mat

- 콘크리트 면과 시트의 부착이 어려워 양생효과 저감
- 양생포 : Fig.9(b)와 같이 풍속이 빠를 경우 바람에 날림.
- 보습효과가 추가로 비닐을 설치한 것보다 낮음.
- 양생포+비닐 : 양생포와 유사한 문제

3. 2차 현장 평가

3.1. 시험 계획

1차 현장 시험에서 콘크리트 타설 후 슬래브의 보온·보습을 통해 강도 발현을 촉진시킬 수 있는 방법 중 양생포에 비닐을 덮은 경우가 가장 우수한 콘크리트 성능을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 현장시험시공에서는 다음과 같은 시험변수를 설정하였다.

Table 1. Mix Design for Field Test

| W/B (%) | S/a (%) | Unit weight (kg/m³) | | | | AD (B×%) | AE (AD×%) | |
|---------|---------|---------------------|-----------|----|-----------|----------|-----------|------|
| | | W | Binder(B) | | Aggregate | | | |
| | | | 1C | FA | | | | S |
| 45.0 | 36.0 | 150 | 280 | 70 | 624 | 1131 | 0.3 | 10.0 |

양생방법에 따라 강도 발현이 줄눈절삭 상태에 영향을 미치기 때문에 각 변수별로 콘크리트 타설 후 6, 12, 18, 21, 24, 27, 30 시간 후에 줄눈절삭을 하고 상태를 평가하였다. 2.0(W)×0.3(H)×5.0(L)m 규격의 슬래브를 총 2개를 설치하여 각 시기별로 줄눈을 절삭하였다. 물성 평가로는 슬럼프, 공기량 및 응결시간을 측정하였다.

시험시공은 쌍용기술연구소 내 재료 야적장에서 이뤄졌으며, 슬래브 타설은 2016년 3월 30일에 완료하였으며, 3월 30일부터 4월 1일까지 각 시험변수별로 줄눈절삭을 수행하고 그 상태를 평가하였다.

3.2. 평가 방법

2차 현장 시험에서도 1차와 같이 온도 센서를 설치하여 콘크리트 포장 및 시편의 온도 데이터를 측정하였고, 이를 근거로 성숙도를 비교·분석하였다. 다음으로 실제 제작한 슬래브를 양생 시간에 따라 절삭하기 때문에 줄눈부의 상태를 평가하였으며, 라벨링 면적을 측정하여 FHWA에서 제안한 방법으로 검토하였다. 줄눈별 라벨링 평가 방법은 줄눈에 발생한 라벨링의 길이와 폭을 측정하여 그 면적을 계산한다. 다음으로 줄눈의 단위 길이당 면적을 계산하여 라벨링 지수를 산정하였다. 산정식은 FHWA에서 제시한 다음 식을 적용하여 상태등급을 평가하였다(FHWA, 2006).

$$Y = 3,832 \times 10^{- (0.737 \times R)} \quad (2)$$

여기서, $Y = 1+A/L$ (mm^2/ft)

A : 줄눈 라벨링 면적 (mm^2)

L : 조사된 줄눈 길이 (ft)

이러한 줄눈의 상대 평가를 위하여 각 줄눈의 지수(R)를 산정한 후 구간별 등급을 부여하였다. 각 줄눈의 줄눈 상태 등급은 Table 2와 같이 라벨링 지수에 따라 구분된다.

Table 2. Joint Condition Index for Each Grade

| Grade | R | Joint condition |
|---------|-----------|-----------------|
| 1 grade | <1 | Poor |
| 2 grade | 1≤ and 2> | Fair |
| 3 grade | 2≤ and 3> | Average |
| 4 grade | 3≤ and 4> | Good |
| 5 grade | 4≤ and 5> | Excellent |

3.3. 시험 결과 분석 및 고찰

기초 물성으로는 슬럼프, 공기량, 응결시간을 측정하였으며, Table 3은 그 결과이다(KS 규정, 2006 ; KS 규정, 2007 ; KS 규정, 2012). 응결시간은 초결의 경우 약 9시간 4분, 종결은 15시간 19분 정도에 나타났다.

Table 3. Material Properties of Each Mixture

| Air contents | Slump | Setting time | |
|--------------|-------|--------------|---------|
| | | Initial | Final |
| 4.7% | 4.0cm | 9h 04m | 15h 19m |

콘크리트 타설부터 약 4일간의 대기 및 각 변수별 슬래브 온도를 도시한 것이 Fig. 10이다. 타설 시 대기 온도는 15℃ 정도였으며, 밤 11시쯤 10℃ 아래로 하강하였다. 점점 온도가 낮아져 다음날 아침 7시쯤에는 6℃ 정도까지 내려갔다 해가 뜨면서 다시금 상승하였다. 슬래브 온도를 살펴보면 슬래브 타설 후에는 수화반응이 즉시 발생하지 않아 3~4시간 동안은 대기온도와 유사한 패턴으로 변화하였다. 그 이후에는 내부적으로 수화반응이 발생하여 대기 온도가 하강하더라도 온도가 일정하게 유지되거나 상승하였다. 특히, 양생포에 비닐을 덮은 경우는 설치 직후 바로 보온·보습과 함께 수화반응이 가속화되어 그 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 이후 대기 온도가 상승하면서 슬래브의 온도는 14시가 되어 최고가 되었다. 1차 현장 평가에서와 같이 전반적으로 양생포에 비닐을 설치한 경우가 그렇지 않은 경우보다 온도가 높았다.

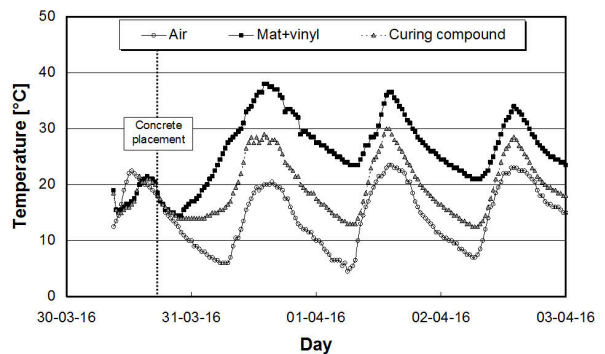


Fig. 10 Temperature Change for 4 Days After Concrete Placement

다음으로 슬래브의 온도변화를 성숙도 개념을 적용하여 분석하였다. 각 줄눈절삭 시기에 따른 성숙도를 도시한 것이 Fig. 11이다. 분석 결과와 같이 양생포에

비닐을 설치한 경우가 일반 양생제만을 살포한 경우보다 더 높은 성숙도를 보였으며, 시간이 갈수록 그 차이는 커졌다.

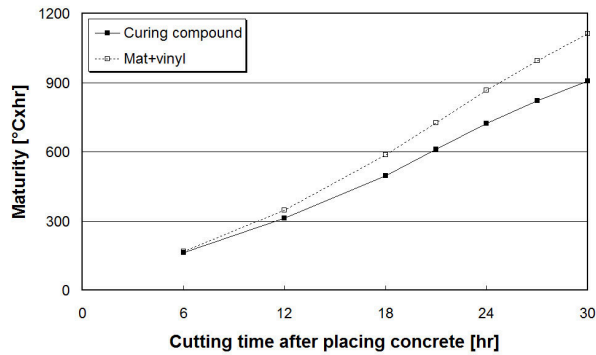


Fig. 11 Maturity Depending on Curing Method and Cutting Time

다음으로 줄눈절삭 시기에 따라 줄눈 파손을 육안으로 조사한 후 그 면적을 측정하였다. 측정된 면적을 앞서 살펴본 FHWA에서 제안한 라벨링 상태 지수 산출식을 이용하여 건전도를 평가한 결과가 Table 4이며, Fig. 12는 대표적인 줄눈 상태를 나타낸 것이다. 타설 후 6시간에 줄눈을 절삭한 경우는 두 양생법 모두 콘크리트의 강도 발현이 미미하여 손상이 발생하였다. 조금씩 강도가 발현되는 12시간 재령의 줄눈 상태는 어느 정도의 형태를 갖추고 있어 6시간 재령의 상태와는 많은 차이가 있었다. 양생포에 비닐을 설치한 경우는 Fair 상태였으나, 양생제만을 살포한 경우에는 상태가 좋지 않은 것으로 평가되었다. 재령 18시간에서는 전자는 Good 상태였으나, 후자는 Fair 상태였다. 재령 18시간 부터서는 전자는 Excellent 상태였으나, 후자는 재령 18시에 Average였으며, 21시가 되어서 Excellent 상태가 되었다.

Table 4 Joint Condition Depending on Curing Method and Curing Time

| | Curing compound | | Mat+vinyl | |
|------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | R | Grade | R | Grade |
| 6hr | - | Poor | - | Poor |
| 12hr | 0.7 | Poor | 1.1 | Fair |
| 18hr | 1.5 | Fair | 3.1 | Good |
| 21hr | 3.0 | Average | 4.9 | Excellent |
| 24hr | 4.9 | Excellent | 4.9 | Excellent |
| 27hr | 3.2 | Good | 4.9 | Excellent |
| 30hr | 3.4 | Good | 4.9 | Excellent |

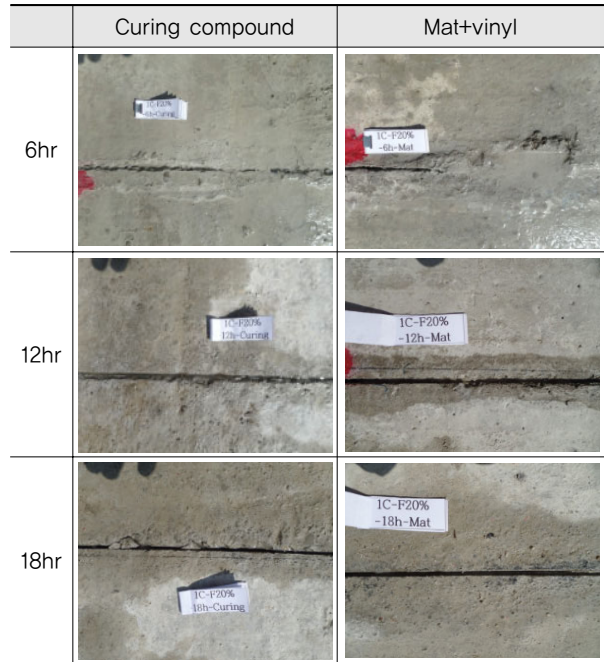


Fig. 12 Joint Condition Depending on Curing Method and Cutting Time

4. 결론

본 논문에서는 이른 봄이나 초겨울에 콘크리트 포장을 시공하는 저온 환경에서 습도를 확보하고 보온 효과를 통해 강도발현을 앞당길 수 있는 양생방법에 대해 연구하였다. 2차례에 걸쳐 현장에서 적용가능한 다양한 양생방법을 검토하였으며, 일련의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1차 현장평가에서는 저온 환경조건에서 콘크리트 포장의 줄눈 절삭에 따른 파손을 저감하기 위해 5가지 양생방법의 효과를 비교·분석하였다. 현장에서 측정된 온도 데이터를 바탕으로 성숙도를 평가한 결과, 양생포 혹은 양생포+비닐 구간의 양생효과가 가장 양호하였으며, 흑색양생제 살포, 버블시트 설치, 그리고 일반 양생제 순으로 나타났다. 하지만 각 양생방법마다 개선해야 할 부분이 있었다. 버블시트, 양생포, 그리고 양생포+비닐 구간의 경우는 양생포의 끝단에 바람에 날리지 않도록 해야 할 것이며, 흑색양생제는 미관상 문제가 있는 것으로 나타났다.
- 2차 현장평가에서는 실제 저온환경조건에서 시험시공을 통해서 일반양생제와 양생포에 비닐을 설치한 두 가지 양생방법에 대해 줄눈절삭 시기에 따른 성숙도와 줄눈상태를 평가하였다. 성숙도를 분석한 결과, 양생포에 비닐을 설치한 경우는 대기 온도가 하강하

는 시기에도 보온효과로 인해 슬래브 온도가 증가하였으며, 결과적으로 높은 성숙도를 보였다. 출현상태 평가 결과에서도 양생포에 비닐을 설치한 경우가 재령 21시간에서 부터는 Excellent 상태였으며, 상대적으로 양생제만 살포한 경우보다 더 양호하였다.

향후 양생포에 비닐을 설치한 양생방법에 대해 개선점을 보완하여 실제 저온 환경 혹은 동절기에 적용할 경우의 효과를 분석할 것이며, 이와 더불어 관련 시공장비에 대한 개발 연구를 추가로 수행할 것이다. 또한 일련의 연구 결과를 바탕으로, 현 시방기준에 포함되어 있지 않은 저온 상태에 대한 기준을 수립할 계획이다.

REFERENCES

- American Concrete Institute, "Guide to Curing Concrete", ACI 308R-01, 2001.
- British Standards Institution (BS) 8110-1, "Structural Use of Concrete - Part1:Code of Practice for Design and Construction", 1997.
- Korea Meteorological Administration Webpage, <http://www.kma.go.kr/index.jsp> (Accessed in 2016.06)
- Korean Standards, "KS F 2436 - Testing Method for Time of Setting of Concrete Mixture by Penetration Resistance", 2007.
- Korean Standards, "KS F 2421 - Method of Test for Air Content of Fresh Concrete by Pressure Method", 2006.
- Korean Standards, "KS F 2402 - Method of Test for Slump of Concrete", 2012.
- Kosmatka, S., Panarese, W. "Design & Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, 1988.
- Massod Rasouljan, Hani Titi, Mark Martinez, "Evaluation of Narrow Transverse Contraction Joints in Jointed Plain Concrete Pavement", LADOTD/FHWA/06-411, 2006.
- Ministry of Construction and Transportation. Development of Korean Pavement Design and Improvement of Pavement Performance, 1st stage - the 3rd year report. D. 2004.
- Ministry of Land, Infrastructure, "Transport and Tourism in Japan, standard specification of construction work", JASS 5, 1997.
- Naver Webpage, <http://kin.naver.com/qna/detail.nhn?d1id>, (Accessed in 2017.05)