(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0174422
(43) 공개일자 2024년12월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E01C 11/10 (2006.01) *E01C 11/14* (2006.01)
G01N 33/38 (2020.01) *G06F 30/13* (2020.01)
(52) CPC특허분류
E01C 11/10 (2013.01)
E01C 11/14 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0073855
(22) 출원일자 2023년06월08일
심사청구일자 2023년06월08일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
정진훈
서울특별시 서초구 신반포로23길 23, 101동 2603호 (잠원동, 반포르엘)
이재훈
경기도 파주시 광탄면 혜음로 1056-65
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법**

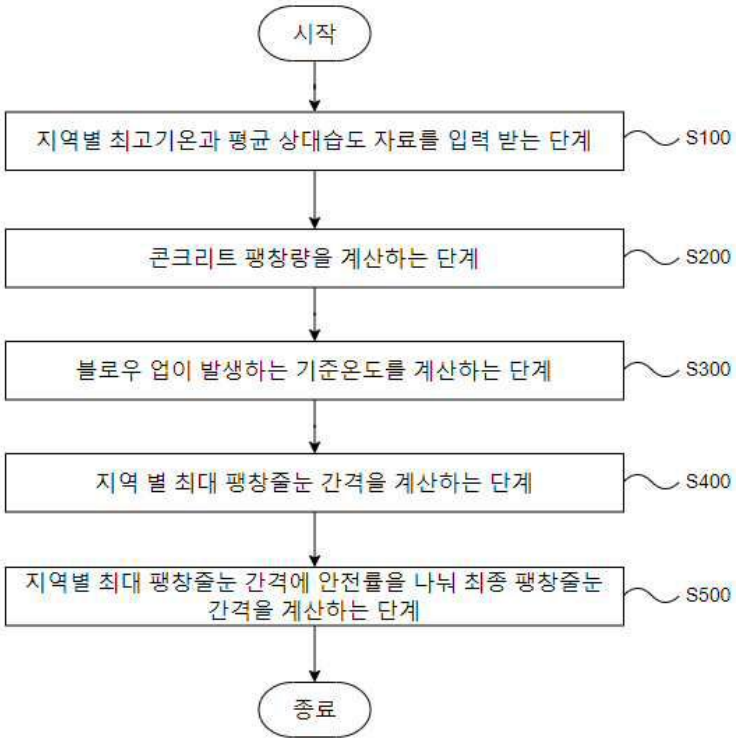
(57) 요 약

본 발명은, 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법은 대상 구간의 기 설정된 기간 동안의 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 입력 받는 단계, 상기 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 사용하여

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



온도, 재료 팽창률, 건조 수축을 고려하여 콘크리트 팽창량을 계산하는 단계, 유한 요소 해석(Finite element analysis, FEA)을 통해 블로우 업이 발생하는 기준온도를 계산하는 단계; 및 상기 콘크리트 팽창량 및 상기 기준 온도를 사용하여 지역 별 최대 팽창줄눈 간격을 계산하는 단계를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 국내 지역별 온도 및 습도와 재료적 팽창을 고려하여, 국내 기후에 최적화되고 ASR을 효과적으로 예방할 수 있는 팽창줄눈의 설치 간격을 제시할 수 있어, 콘크리트 포장의 유지 보수 비용을 줄일 수 있다.

(52) CPC특허분류
G01N 33/383 (2024.05)
G06F 30/13 (2020.01)

(72) 발명자
최문규
인천광역시 부평구 화랑로83번길 3(산곡동)
이재훈
인천광역시 미추홀구 용정공원로83번길 49, 1713호 (용현동)
김유경
인천광역시 연수구 아트센터대로97번길 30, 1601동 2603호 (송도동, 더샵그린워크1차)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711169916
과제번호	2019R1A2C1091150
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	이상기후에 따른 혹서기 콘크리트 포장 Blow-up 저감기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

대상 구간의 기 설정된 기간 동안의 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 입력 받는 단계;

상기 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 사용하여 온도 변화량, 재료 팽창률, 건조 수축률을 고려하여 콘크리트 팽창량을 계산하는 단계;

유한 요소 해석(Finite element analysis, FEA)을 통해 블로우 업이 발생하는 기준온도를 계산하는 단계; 및

상기 콘크리트 팽창량 및 상기 기준온도를 사용하여 지역별 최대 팽창줄눈 간격을 계산하는 단계를 포함하는 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 지역별 최대 팽창줄눈 간격에 안전률을 나눠 최종 팽창줄눈 간격을 계산하는 단계를 더 포함하는 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

$\Delta\varepsilon_T = \alpha_c \Delta T L$

상기 온도 변화량은 수학식 를 통해 계산하고, $\Delta\varepsilon_T$ 은 콘크리트 열팽창량(㎜), α_c 는 콘크리트의 열팽창계수(/℃), ΔT 는 온도 변화량(℃), L 은 팽창줄눈 간격(㎜)인 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

$\Delta\varepsilon_{ASR} = \varepsilon_{ASR} L$

상기 재료 팽창률은 수학식 를 통해 계산하고, $\Delta\varepsilon_{ASR}$ 은 콘크리트 ASR 팽창량(㎜), ε_{ASR} 는 콘크리트의 ASR 팽창률($\times 10^{-6}$), L 은 팽창줄눈 간격(㎜)인 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

$$\varepsilon_{sh} = \frac{a_1 t}{a_2 + t} \times [1 + a_3 e^{(-a_4 V/S)}] \times (1 - RH^3)$$

상기 건조 수축률은 수학식 를 통해 계산하고, ε_{sh} 는 콘크리트 건조 수축률 ($\times 10^{-6}$), t 는 재령(day), V/S는 형상비(㎜), a_1 , a_2 , a_3 , a_4 는 예측 상수, RH 는 상대습도(Relative Humidity, %)인 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 국내 지역별 온도 및 습도와 재료적 팽창을 고려하여 콘크리트 신설 포장 시 팽창줄눈의 설치 간격을 계산하는 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 온도 상승 시 콘크리트 포장 슬래브가 팽창에 의한 압축력을 견디지 못하고, 좌굴을 일으켜 국부적으로 솟아오르거나 파쇄되는 현상인 블로우 업(Blow-up)이 2014년부터 국내에서 발생하기 시작하였다.

[0003] 블로우업이 발생하는 원인으로는 이상기후, 알칼리 실리카 반응(Alkali-Silica Reaction, ASR), 팽창줄눈침투 등 다양한 원인이 존재하지만, 한국 블로우업 현상의 주요한 원인으로 시멘트의 알칼리와 골재의 실리카, 수분이 화학적으로 반응하여 골재 주변에 팽창성 젤을 생성시켜 콘크리트의 팽창을 유발하는 현상인 ASR이 주목 받고 있다.

[0004] 종래에도 블로우 업 현상을 예방하기 위해 팽창줄눈을 설치하고 있다.

[0005] 하지만, 종래의 팽창줄눈의 최대 간격은 팽창량 식을 바탕으로 계산하여 시공 시 온도에 따라 제시되는데, 현재 한국도로공사에서 사용하고 있는 팽창량 식은 건조수축, 온도, 마찰에 대해 고려되고 있지만, 재료적 팽창은 고려되고 있지 않고, 공학적인 근거 없이 지역별로 획일적으로 설치되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명에 따르면, 국내 지역별 온도 및 습도와 재료적 팽창을 고려하여 콘크리트 신설 포장 시 팽창줄눈의 설치 간격을 계산하는 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 일 실시예에 따르면, 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법은 대상 구간의 기 설정된 기간 동안의 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 입력 받는 단계, 상기 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 사용하여 온도, 재료 팽창률, 건조 수축을 고려하여 콘크리트 팽창량을 계산하는 단계, 유한 요소 해석(Finite element analysis, FEA)을 통해 블로우 업이 발생하는 기준온도를 계산하는 단계 및 상기 콘크리트 팽창량 및 상기 기준온도를 사용하여 지역별 최대 팽창줄눈 간격을 계산하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0008] 이와 같이 본 발명에 따르면, 국내 지역별 온도 및 습도와 재료적 팽창을 고려하여, 국내 기후에 최적화되고 ASR을 효과적으로 예방할 수 있는 팽창줄눈의 설치 간격을 제시할 수 있어, 콘크리트 포장의 유지 보수 비용을 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법의 흐름도이다.

도 2는 국내 기상관측소 기상대의 위치를 도시한 도면이다.

도 3은 콘크리트 포장 깊이에 따른 일 최고온도에 대한 포장 평균온도 비를 도시한 도면이다.

도 4a는 저알칼리 시멘트와 반응성 골재로 ASTM C 1293에 따른 실험을 수행한 결과를 도시한 도면이다.

도 4b는 고알칼리 시멘트와 반응성 골재로 ASTM C 1293에 따른 실험을 수행한 결과를 도시한 도면이다.

도 5는 초기 수직변위 크기에 따른 블로우 업이 처음 발생했을 때의 임계온도를 구조해석한 결과를 도시한 도면이다.

도 6은 시공 온도에 따라 계산된 기준 온도를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

[0011] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0012] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법의 흐름도이다.

[0013] 도 1에 도시된 바에 의하면, 먼저, 대상 구간의 기 설정된 기간(예를 들어, 최근 20년) 동안의 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 입력 받는다(S100).

[0014] 이 때, 지역은 한국형 도로포장 설계 프로그램(KPRP, Korea Pavement Research Program)에 표시된 기상관측소 기상대를 기준으로 지역을 분류하여 설정한다.

[0015] 도 2는 국내 기상관측소 기상대의 위치를 도시한 도면이다.

[0016] 일반적인 지역 분류 방법은 광범위한 지역을 포함하고 있어 국지적인 환경 및 기상조건을 반영하기가 어렵지만, 도로 설계 시에는 환경하중이 중요한 요인이므로 설계지역에서 최단거리인 복수개의 기상관측소(예를 들어, 3개소)를 선택하여 환경하중을 고려한다.

[0017] 때문에, 도 2에 도시된 바와 같이 기상관측소 기상대를 기준으로 지역을 설정하여 보다 정확한 기준을 설정할 수 있게 한다.

[0018] 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 입력 받은 후, 온도, 재료 팽창률, 건조 수축을 고려하여 콘크리트 팽창량을 계산한다(S200).

[0019] 우선, 콘크리트 팽창량을 계산하기 위한 온도 변화량을 계산한다.

[0020] 이 때, 온도 변화량 식은 하기의 수학식 1로 정의된다.

수학식 1

[0021] $$\Delta\varepsilon_T = \alpha_c \Delta T L$$

[0022] 이 때, $\Delta\varepsilon_T$ 은 콘크리트 열팽창량(㎜), α_c 는 콘크리트의 열팽창계수(/℃), ΔT 는 온도 변화량(℃), L 은 팽창줄눈 간격(㎜)이다.

[0023] 이 때, 콘크리트 열팽창 계수(α_c)는 10^{-5} /℃ 값을 사용한다.

[0024] 도 3은 콘크리트 포장 깊이에 따른 일 최고온도에 대한 포장 평균온도 비를 도시한 도면이다.

[0025] 일반적으로, 도로 콘크리트 포장 슬래브의 두께는 300㎜로, 도 3에 도시된 바에 따르면, 슬래브의 두께가 300㎜일 때의 일 최고기온의 포장 평균 온도비는 약 1.09배이다.

[0026] 따라서, 지역별 최고기온과 평균 상대습도 자료를 입력 받는 단계(S100)에서 입력 받은 최고기온에 1.09배를 계산하여 온도 변화량(ΔT)을 계산한다.

[0027] 다음으로, 콘크리트 팽창량을 계산하기 위한 재료 팽창률을 계산한다.

[0028] 이 때, 콘크리트 팽창량 식은 하기의 수학식 2로 정의된다.

수학식 2

$$\Delta\varepsilon_{ASR} = \varepsilon_{ASR} L$$

[0029]

$\Delta\varepsilon_{ASR}$ ε_{ASR} 10^{-6} L

[0030] 이 때, 은 콘크리트 ASR 팽창량(mm), 는 콘크리트의 ASR 팽창률( ), 은 팽창줄눈 간격(mm)이다.

[0031] 콘크리트 포장에서 재료특성에 의한 팽창은 알칼리 실리카 반응(Alkali-Silica Reaction, ASR)이 대표적으로, ASR을 측정하기 위해 콘크리트 ASR 팽창량 검사 시험 중 하나인 ASTM C 1293 방법을 사용할 수 있다.

[0032] ASTM C 1293 방법은 재령 1년에 알칼리-실리카 반응에 의한 콘크리트 각주 길이 변화를 측정하여 팽창률이 0.04% 이상이면 '반응성 있음'으로 판정하고, 0.04% 미만이면 '반응성 없음'으로 판정한다.

[0033] 도 4a는 저알칼리 시멘트와 반응성 골재로 ASTM C 1293에 따른 실험을 수행한 결과를 도시한 도면이고, 도 4b는 고알칼리 시멘트와 반응성 골재로 ASTM C 1293에 따른 실험을 수행한 결과를 도시한 도면이다.

[0034] ASR이 주로 발생하는 것은 도 4b와 같은 고알칼리 시멘트를 사용한 콘크리트이지만, 고알칼리 시멘트와 반응성 골재 콘크리트의 팽창률은 너무 과도한 팽창률이며, 현재 도로 배합 시에는 고로슬래그(Blast-furnace Slag)나 플라이애시(Fly-Ash)와 같은 혼화재를 사용하여 ASR을 저감시키는 방안을 시행하고 있다.

[0035] 따라서, 본 발명에서는 알칼리 시멘트와 반응성 골재 콘크리트 실험 데이터로 만든 도 4a에 도시된 추세선을 사용한다.

[0036] 즉, 본 발명에서의 콘크리트 ASR 팽창률은 도 4a에 도시된 추세선에 콘크리트 포장 공용기간인 20년을 대입하여 구할 수 있다.

[0037] 마지막으로, 콘크리트 팽창량을 계산하기 위한 건조수축률을 계산한다.

[0038] 콘크리트 건조수축은 시멘트풀의 수분이 증발되어 발생한다.

[0039] 처음 건조될 때 수축이 최대로 일어나며, 이 수축은 상당 부분이 재습윤 되어도 원 상태로 돌아오지 않는다.

[0040] 본 발명에서는 공지의 콘크리트 건조수축 예측 모형을 사용하여 건조수축률을 계산한다.

[0041] 해당 콘크리트 건조수축 예측 모형은 화강암 골재에 대해서 잔골재의 종류를 달리하면서 형상비 300mm에 대한 실험을 추가로 시행하였으며, 지역별 상대습도를 변수로 추가할 수 있다.

[0042] 이 때, 건조수축 예측 모형의 건조수축률 식은 하기의 수학식 3으로 정의되며 화강암 골재에 대한 모형상수 값을 사용하여 건조 수축률을 계산한다.

수학식 3

$$\varepsilon_{sh} = \frac{a_1 t}{a_2 + t} \times [1 + a_3 e^{(-a_4 V/S)}] \times (1 - RH^3)$$

[0043]

ε_{sh} $\times 10^{-6}$ t a_1

[0044] 이 때, 는 콘크리트 건조수축률 ( ), 는 재령(day), V/S(Volume-Surface Ratios)는 형상비(mm), , a_2 a_3 a_4 RH , , 는 예측 상수, 는 상대습도(Relative Humidity, %)를 의미한다.

[0045] 온도 변화량, 재료 팽창률, 건조수축률을 계산한 후, 계산된 온도 변화량, 재료 팽창률, 건조수축률 값을 적용하여 콘크리트 공용기간인 20년에 해당하는 콘크리트 슬래브의 총 팽창량을 하기의 수학식 4로 계산한다.

수학식 4

$$\Delta L_{SUM} = \Delta\varepsilon_T + \Delta\varepsilon_{ASR} - \Delta\varepsilon_{sh}$$

[0046]

[0047] 이 때, ΔL_{SUM} 는 콘크리트의 총 팽창량(㎜), $\Delta\varepsilon_T$ 는 콘크리트 열팽창량, $\Delta\varepsilon_{ASR}$ (㎜), 콘크리트 ASR 팽창량(㎜), $\Delta\varepsilon_{sh}$ 는 콘크리트 건조수축량(㎜)를 의미한다.

[0048] 또한, 수학식 4를 통해 구한 콘크리트 총 팽창량은 하기의 수학식 5를 통해 온도 상승량으로 환산할 수 있다.

수학식 5

$$\Delta T_{SUM} = \frac{\Delta L_{SUM}}{\alpha_c \times L}$$

[0049]

[0050] 이 때, ΔT_{SUM} 는 콘크리트 팽창 온도의 총합을 환산한 값(℃)을 의미한다.

[0051] 콘크리트 팽창량을 계산한 후, 유한 요소 해석(Finite element analysis, FEA)을 통해 블로우 업이 발생하는 기준온도를 계산한다(S300).

[0052] 줄눈부에 최초 수직변위가 없는 상태라면 블로우 업이 발생하기 위해 필요한 콘크리트 슬래브의 팽창량이 상대적으로 커야 하지만, 시공 결함이나 건조수축 등에 의해서 줄눈부에 최초 수직변위가 발생한 상태라면 상대적으로 낮은 온도에서 블로우 업이 발생할 수 있다.

[0053] 즉, 블로우 업은 초기 수직변위가 발생 후, 발생할 확률이 높으므로, 초기 수직변위 크기에 따른 블로우 업이 처음 발생했을 때의 임계온도를 구조해석을 통해 구한다.

[0054] 도 5는 초기 수직변위 크기에 따른 블로우 업이 처음 발생했을 때의 임계온도를 구조해석한 결과를 도시한 도면이다.

[0055] 본 발명의 실시예에서는 기준 온도를 설정하기 위해, 실제 블로우업이 발생한 지역의 온도, 재령, ASR 유무, 팽창줄눈 간격을 고려하여 상술한 수학식을 통해서 시공 온도에 따라 기준 온도를 계산한다.

[0056] 도 6은 시공 온도에 따라 계산된 기준 온도를 도시한 도면이다.

[0057] 도 6의 계산 결과를 고려하여, 초기 수직 변위 크기가 3㎜일 때의 임계 온도인 37.27℃로 기준 온도로 설정하였으나, 반드시 이로 제한되는 것은 아니다.

[0058] 블로우 업이 발생하는 기준온도를 계산한 후, 지역 별 최대 팽창줄눈 간격을 계산한다(S400).

[0059] 이 때, 수학식 4를 통해 계산된 발생 가능한 지역별 최대 팽창량을 이용하여 설정된 기준온도에서의 적합한 최대 팽창줄눈 간격을 계산할 수 있다.

[0060] 이 경우, 효율적인 계산을 위해서 기존에 한국도로공사에서 제시한 시공 온도별 팽창줄눈 최대 간격부터 시작하여 단위 간격(예를 들어, 10m)씩 늘려가면서 기준온도를 넘지 않는 최대 팽창줄눈 간격을 계산할 수 있다.

[0061] 다만, 지역 별 최대 팽창줄눈 간격을 계산하는 단계(S400)를 통해 구한 최대 팽창줄눈 간격은 팽창줄눈이 닫힌 이후의 간격으로, 설계상 안전하지 않을 가능성이 있어서 안전률을 고려할 필요가 있다.

[0062] 이 때, 안전률은 기 설정된 범위 내(예를 들어, 1.33~2.0)에서 지역 및 콘크리트의 상황에 따라 대응되는 값을 사용할 수 있다.

[0063] 안전률의 설정을 마친 후, 상기 과정을 통해 구한 최대 팽창줄눈 간격에 안전률을 나눠 최종 팽창줄눈 간격을

계산한다(S500).

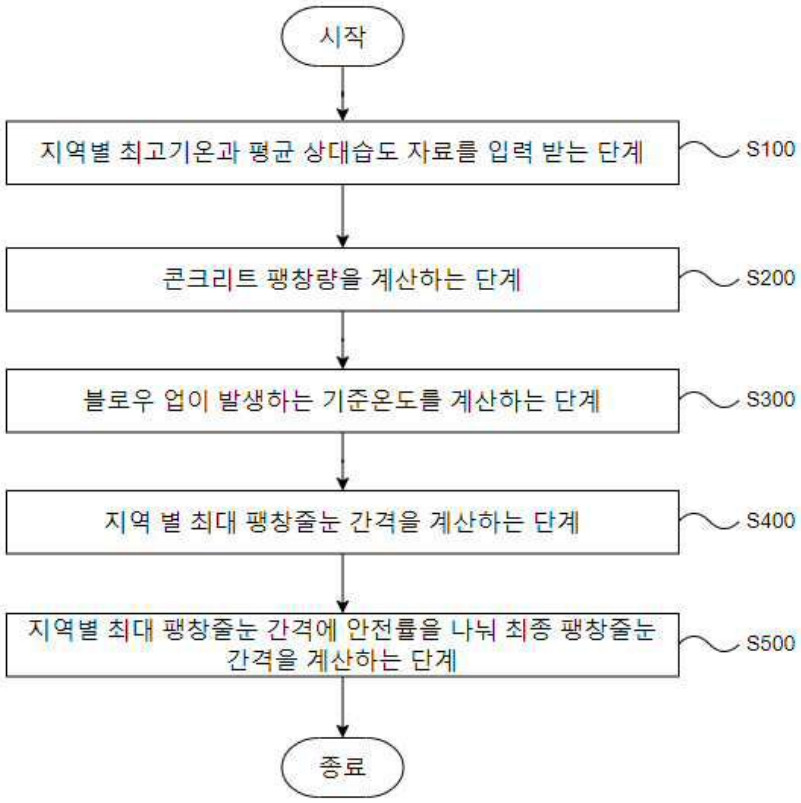
[0064] 도 1 내지 도 6을 참조하여 상술한 신설 콘크리트 포장의 팽창줄눈 간격 제시 방법은 데이터의 수집 및 처리가 가능한 프로세싱 장치에 의해 수행될 수 있다.

[0065] 이와 같이 본 발명에 따르면, 국내 지역별 온도 및 습도와 재료적 팽창을 고려하여, 국내 기후에 최적화되고 ASR을 효과적으로 예방할 수 있는 팽창줄눈의 설치 간격을 제시할 수 있어, 콘크리트 포장의 유지 보수 비용을 줄일 수 있다.

[0066] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

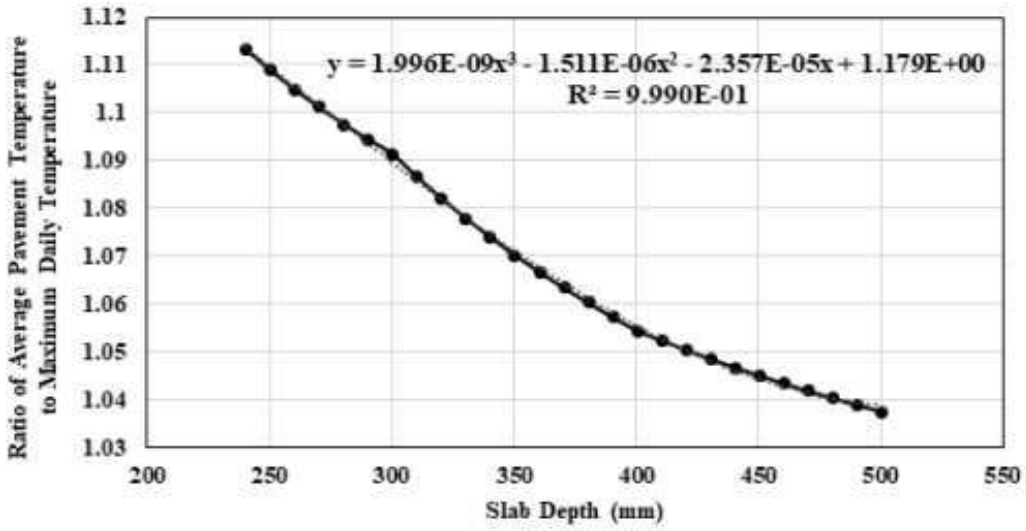
도면1



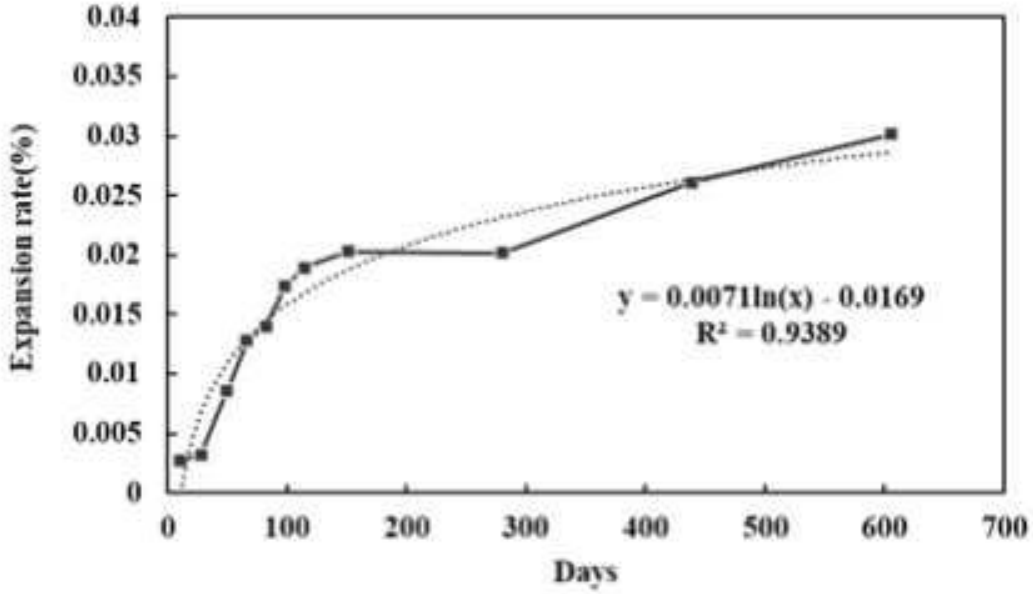
도면2



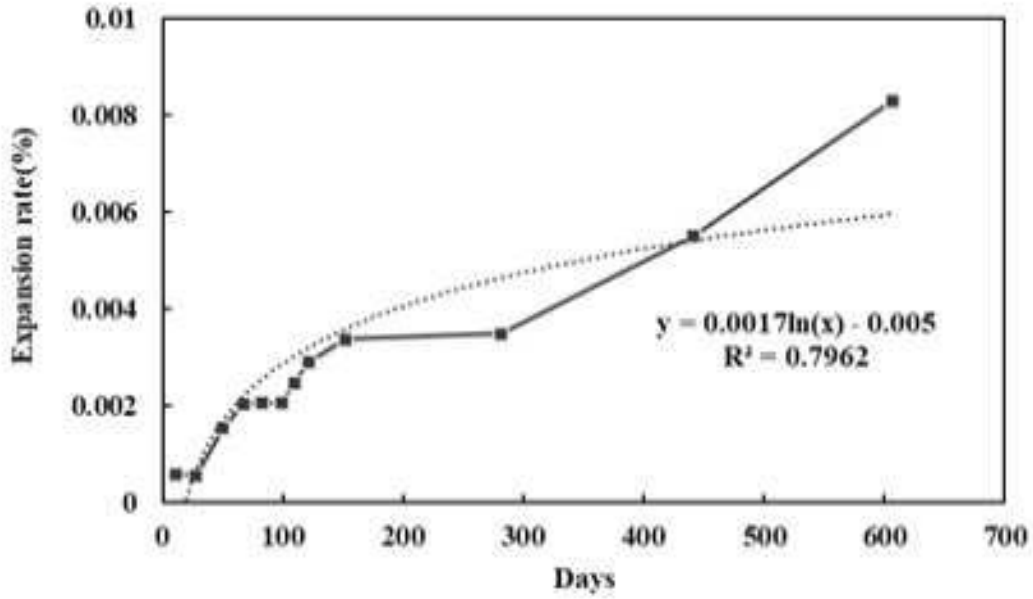
도면3


y = 1.996E-09x³ - 1.511E-06x² - 2.357E-05x + 1.179E+00
R² = 9.990E-01
Ratio of Average Pavement Temperature to Maximum Daily Temperature
1.12
1.11
1.1
1.09
1.08
1.07
1.06
1.05
1.04
1.03
200
250
300
350
400
450
500
550
Slab Depth (mm)

도면4a



도면4b



도면5

초기 수직 변위 크기	임계 온도
1mm	64.65℃
3mm	37.27℃
5mm	30.38℃

도면6

시공 온도	임계 온도
Case 1: 6-9℃	47.09℃
Case 2: 10-14℃	42.81℃
Case 3: 15-℃	37.46℃