

남한의 아스팔트 콘크리트 설계온도 추정에 관한 연구

Evaluation of Design Temperature for Asphalt Concrete in South Korea

이광호* · 김수일**

Lee, Kwang Ho · Kim, Soo Il

Abstract

Layer material properties of asphalt concrete changes with climatic conditions. Pavement design and analysis should be performed in the representative climatic condition that gives standard physical properties of pavement layer materials. In this study, an evaluation procedure of pavement design temperature is proposed and programmed based on damage effect analysis using fatigue failure criterion. Three regions, Seoul, Daegeon, and Pusan, are chosen to obtain the representative climatic data of South Korea. Domestic pavement design temperature is developed by applying the proposed algorithm to 6 domestic pavement section models with the respective regional climatic data. Asphalt concrete pavement failure criterion is also proposed for the condition of developed domestic pavement design temperature.

The design temperature for the region of South Korea is estimated as 17°C, which is converted to 23.6°C for the AC surface layer temperature. It is found that the procedure to determine design properties of AC surface layer material at 20°C gives overestimated results of AC moduli for the domestic pavement system. From the comparison study, it is also found that the estimated pavement design temperature is similar to the result of SHELL Design Chart.

요 지

아스팔트 콘크리트 포장체는 기후변화에 따라 각 층의 물성이 변화하는 특성을 갖고 있다. 따라서 아스팔트 콘크리트 포장체의 설계 및 해석에 있어서는 물성변화 특성을 고려한 대표적 기후조건에서 포장재료의 물성치를 적용하여, 포장체의 설계 또는 구조해석을 실시하여야 할 것이다. 본 연구에서는 아스팔트 콘크리트 포장체의 설계 및 해석과 관련하여 우리나라에 적합한 대표적 기후조건인 설계온도를 추정하기 위하여, damage effect 분석에 의한 설계온도 추정 알고리즘을 제안하고 이를 전산화하였다. 분석대상 지역은 서울, 대전, 부산 3지역으로 하고 각 지역의 기후특성자료와 경부, 호남, 남해고속도로의 6개 포장단면에 본 연구 제안의 알고리즘 해석과정을 적용하여 국내조건인 설계온도를 추정하였으며, 추정한 설계온도 조건에 적합한 아스팔트 콘크리트 포장체의 파괴기준식을 제안하였다.

연구결과 우리나라의 설계온도는 17°C가 적합함이 밝혀졌다. 설계온도 17°C는 아스팔트 콘크리트

* 대학교 대학원 박사과정
** 연세대학교 공과대학 교수

표층온도 23.6°C에 해당되기 때문에 현재 국내에서 사용되는 재료 온도 20°C에서의 아스팔트 콘크리트 표층 재료의 물성치(AASHTO의 경우)는 과대 평가되고 있음을 알 수 있었다. 또한, 본 연구에서의 설계온도 추정치, 17°C는 SHELL Design Chart에 의한 결과와 유사함을 알 수 있었다.

1. 서 론

도로 포장구조체는 반영구적인 일반 구조물과는 달리 차량하중의 반복재하에 의하여 피로가 누적되어 종국에는 파괴에 이르는 특성을 갖고 있다. 따라서 도로의 제반 기능이 특정수준 이하로 저하되면 적절한 보수를 수행하여 그 기능을 향상시켜야 한다.

해석적 측면에서 아스팔트 콘크리트 포장체의 기능 저하정도의 판정은 차량하중에 의해 유발되는 포장체 내부의 특정 변형률 조건을 기준으로 하고 있다. 그러나 직접적으로 포장체 내부의 변형률 측정이 용이하지 않기 때문에 포장구조체를 다층 탄성모델화하고 모델해석으로 변형률을 산정하게 된다. 모델해석을 위해서는 포장체의 탄성계수 추정 과정이 필요한데 Falling Weight Deflectometer, Dynaflect 등의 비파괴 시험장비를 이용하거나 주파수분석(SASW)에 의한 해석적 기법 등이 사용된다.⁽¹⁾ 이와 같은 방법에 의하여 추정된 탄성계수는 시험시 기후조건이 반영된 값이다. 아스팔트 콘크리트는 그 물성이 온도에 민감하게 변하는 재료이기 때문에, 시험시 기후조건에서의 아스팔트 콘크리트의 탄성계수는 해석상 요하는 포장체의 대표적 온도조건에서의 탄성계수로 전환할 필요가 있다. 이러한 전환의 기준이 되는 대표적 조건에서의 대기 온도를 설계온도라 하며, 이를 기준으로 신설포장의 설계, 포장구조 해석 및 진단, 덧씌우기 설계 등을 수행하여야 할 것이다.

1978년 SHELL⁽²⁾에서는 대표적 포장모델을 설정하고 다층탄성해석 전산 프로그램인 BISAR를 이용하여 월평균 대기온도로 부터 설계온도를 추정할 수 있는 도표를 제안한 바 있으며, 이 도표를 이용하여 1979년 Koole⁽³⁾은 Washington, D.C.의 설계온도를 제시하였다. 1987년 Brunton 등⁽⁴⁾은 다층탄성해석 전산 프로그램인 CHEVRON과 파괴기준식을 이용하고 damage effect 분석으로 부터 영국 및 북미 조건에 맞는 설계온도를 추정 제안한 바 있다. 설

계온도의 정확한 추정은 포장구조의 설계 및 해석에 있어서 보다 합리적 결과의 도출을 가능케 할 뿐 아니라 경제적인 면에서도 그 효용성을 기대 할 수 있는 것이다. 그러나, 기존의 도표를 이용한 설계온도 추정방법은 단순히 대기온도의 변화 특성만을 고려하기 때문에 특정 지역의 포장단면이나 포장체의 물성변화 정도를 충분히 반영할 수 없으며, damage effect 분석에 의한 설계온도 추정방법에 있어서도 적용한 파괴기준식이 포장재료 및 기후환경 등이 다른 지역을 대표할 수 없기 때문에 제조건이 다른 지역에서는 이를 활용하기가 곤란하다. 따라서, 특정 지역의 신뢰성 있는 설계온도를 설정하기 위하여는 그 지역의 포장단면 및 물성변화 특성 등을 고려한 분석절차를 필요로 한다.

본 연구에서는 우리나라에 적합한 아스팔트 콘크리트 포장체의 설계온도를 도출하기 위하여 국내의 제조건을 적용할 수 있는 설계온도추정 알고리즘을 제안하고, 알고리즘 분석을 통하여 설계온도를 산정하고자 한다. 또한, 설계온도 조건에서 포장설계의 기본 요소인 아스팔트 콘크리트의 물성치를 AASHTO 설계조건에 제안치와 비교하고자 한다.

2. 설계온도추정 알고리즘

설계온도는 신설 포장도로의 설계, 포장구조체의 평가 및 덧씌우기에 기본적 요소로 작용한다. 설계온도의 개념은 1년을 주기로 포장 물성의 변화와 함께 계속적인 차량하중으로 포장구조체가 입은 저하 특성이 일정 온도조건하에서 동일한 차량하중으로 인한 포장구조체의 저하특성과 같게 평가될 때, 일정 조건에 대응하는 평균 대기온도를 의미한다.⁽⁴⁾ 설계온도의 추정 방법은 과거의 경우 기술자의 경험적 판단에 의하거나, 연중 취약 계절 또는 표면 처짐 측정치가 연평균적 처짐치를 주는 계절의 대표적 온도로 설정하였으나, 포장구조해석에 다층탄성이론이 도입된 이후에는 주로 damage effect 분

석으로 부터 설계 온도를 추정하고 있다.^(4,5)

본 연구에서는 국내의 연중 기후특성 자료를 근거로 한 포장체 각 층의 탄성계수 변화모델을 설정하고 다층탄성해석 전산 프로그램인 SINELA⁽⁶⁾를 이용하여 우리나라에 적합한 설계온도를 damage effect 분석으로 부터 추정하고자 한다. 본 연구에서의 설계온도 추정 과정은 다음과 같다.

우리나라의 지역적 특성에 따른 월 별 기후특성을 분석하고 이를 이용한 포장체의 월 별 탄성계수 변화모델을 설정한다. 우선 가정 설계온도 20°C의 기준에서의 파괴기준식을 이용하여 월 별 damage effect를 산정하고 연평균 damage effect를 결정한다. 연 평균 damage effect와 같은 조건을 주는 대기 온도를 추정하여 이 조건을 기준으로한 파괴기준식을 재 설정하고 다시 damage effect를 산정하는 과정을 수행하게 된다. 이와 같은 일련의 과정을 수행하여 추정된 설계온도가 전단계 추정치와의 차이가 허용 범위에 들 때까지 이를 반복 수행하게 된다. 이와 같은 과정을 흐름도를 통하여 살펴보면 그림 1과 같다.

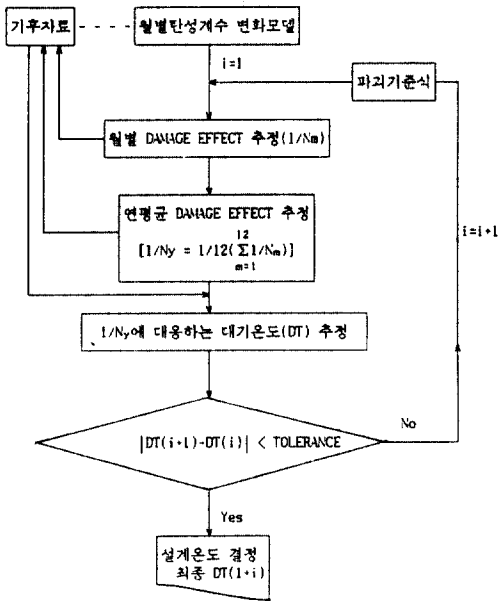


그림 1. 설계온도 추정 알고리즘

3. 포장체의 월 별 탄성계수 변화모델

아스팔트 콘크리트 포장체는 일반적으로 표층, 기층, 보조기층, 노상으로 구성된 4층 구조체로서 제 기후 특성의 변화에 따라 각 층의 탄성계수가 변화한다. 이와 같은 포장체 각 층의 탄성계수 변화 특성을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 아스팔트 콘크리트 층의 탄성계수 변화모델

아스팔트 콘크리트 층의 탄성계수는 온도변화에 따라 그 물성을 달리한다. 이와 같은 변화 특성을 이용하여 포장 구성층 중 아스팔트 콘크리트 층의 월 별 탄성계수 변화모델을 설정할 수 있다. 아스팔트 콘크리트 층 내부의 온도를 측정하는 방법은 직접측정방법과 간접측정방법이 있다. 직접측정방법은 시공시 매설한 측정기구를 이용하거나 포장체에 부분적 파손을 주어 측정할 수 있으나 그 작업이 번거롭기 때문에 대부분 간접측정방법을 사용한다. 간접측정방법은 5일간의 평균대기온도, 시험시의 포장표면온도, 아스팔트 콘크리트 층의 두께로부터 추정하는 방법과 단순히 평균 대기온도로 부터 경험적 관계식을 이용하여 추정하는 방법이 사용된다.⁽⁷⁾

본 연구와 관련하여 기존의 제한적 자료로도 분석이 가능한 단순 평균대기온도로 부터 아스팔트 콘크리트 표층 및 안정처리 기층의 온도추정 및 탄성계수 변화모델의 설정방법은 다음과 같다. 아스팔트 콘크리트 표층의 온도(T_{AC})추정은 Barker 등⁽⁸⁾이 제안한 식 (1)을 사용하며, 아스팔트 안정처리 기층의 온도($T_{AC base}$) 추정은 식 (1)과 Witczak⁽⁹⁾이 제안한 10 inch 이상의 아스팔트 콘크리트 층의 온도 (T_{AC}') 추정식인 식 (2)를 이용한 식 (3)으로 추정한다.

$$T_{AC} = 1.2 \times T + 3.2^{\circ}C \quad (1)$$

$$T_{AC}' = 1.05 \times T + 3.67^{\circ}C \quad (2)$$

$$T_{AC base} = [T_{AC}' \times (h_1 + h_2) - T_{AC} \times h_1] / h_2 \quad (3)$$

여기서, T는 평균대기온도(°C), h_1 과 h_2 는 각각 AC 표층 및 AC안정처리 기층의 두께(cm)이다. 평균 대기온도로 부터 추정된 아스팔트 콘크리트 층의 온도를 그림 2 와 같은 온도-reference 탄성계수의 관계에 적용, 온도조건의 변화에 따른 아스팔트 콘

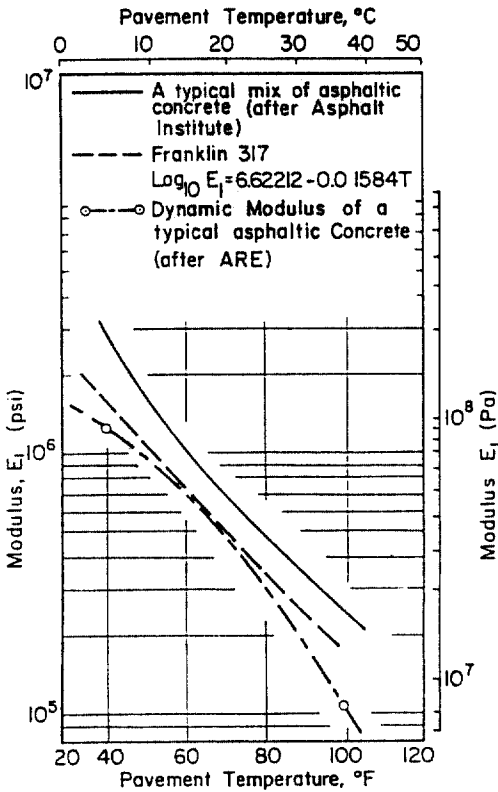


그림 2. 온도 - reference 탄성계수 관계

크리트 층의 탄성계수의 변화모형을 설정한다.⁽¹⁰⁾

3.2 노상의 월 별 탄성계수 변화모형

1979년 Sharma 등⁽¹¹⁾이 노상토의 탄성계수가 함수조건에 따라 변화됨을 밝힌 이후, 1982년 Thompson 등⁽¹²⁾은 미 농무성 분류 흙의 종류에 대해 배수조건과 동결-융해의 유무에 따른 노상 탄성계수의 보정계수를 제안하였으며, 1985년 Husain⁽⁷⁾은 흙의 종류에 상관없이 미국 북부와 남부를 기준으로 한 계절 별 노상의 탄성계수 보정계수를 제안하였다. 한편 1987년 Ullidtz⁽¹³⁾는 상기와 같은 단순 보정계수 적용 방법을 피하고 그림 3에서 보는 바와 같은 함수 및 동결유무에 따른 탄성계수 변화모형을 제안하였다.

그림 3에서 spring thaw type은 동결-융해의 결과로 봄철 해빙기에 노상토의 탄성계수가 상당히 저하되는 경우에 적용할 수 있으며, wet period type은 습윤 건조의 기후특성을 보이는 경우와 동

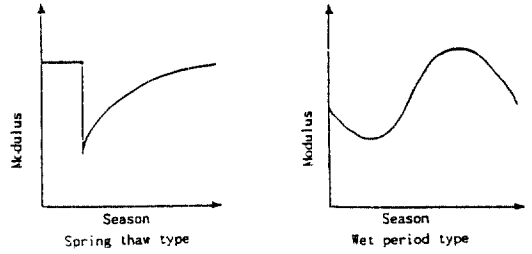


그림 3. 노상 탄성계수의 변화모형

상이 충분히 억제되어 있는 경우에 적용할 수 있다.

3.3 쇄석기층 및 보조기층의 탄성계수 변화모형

쇄석기층 및 보조기층의 탄성계수 변화특성은 노상의 탄성계수 변화와 밀접한 관계가 있기 때문에 노상의 탄성계수 변화모형으로부터 쇄석기층 및 보조기층의 탄성계수 변화모형을 설정할 수 있다. 쇄석기층 및 보조기층의 탄성계수-노상의 탄성계수 관계는 다음과 같다.

Ullidtz⁽¹³⁾는 다음 식 (4), 식 (5)와 같은 탄성계수 관계식을 제안하였다.

$$E_3 = 0.2 \cdot h_3^{0.45} \cdot E_4 \quad (4)$$

$$E_2 = 0.2 \cdot h_2^{0.45} \cdot E_3 \quad (5)$$

여기서, E_2 , E_3 , E_4 는 기층, 보조기층, 노상의 탄성계수(kg/cm^2)이고, h_2 , h_3 는 기층, 보조기층의 두께(mm)이다.

영국의 Nottingham⁽⁴⁾에서는 식 (6)에서와 같이 노상 탄성계수에 특정계수 R을 곱하여 보조기층의 탄성계수를 단순 추정하고 있으며, Yeager와 Wood⁽¹⁴⁾는 노상 탄성계수로 부터 기층 및 보조기층의 두께에 따른 대상층의 탄성계수를 결정할 수 있는 도표를 제시한 바 있다.

$$E_3 = R \cdot E_4 \quad (6)$$

또한, 미국의 Asphalt Institute에서는 노상의 CBR과 기층의 탄성계수와의 관계⁽⁹⁾를 그림 4와 같이 제시한 바 있다.

4. 파괴기준식

포장 구조해석에서의 파괴기준식은 포장체의 잔

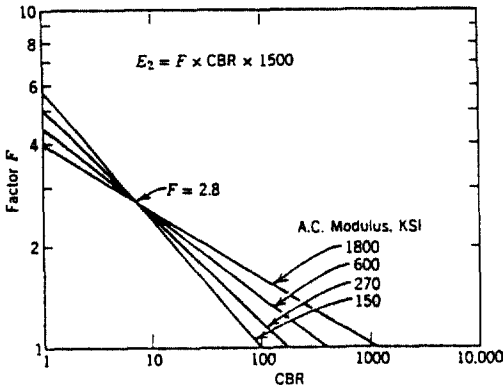


그림 4. 노상 CBR - 기층 탄성계수 관계

존수명 예측, 해석적 방법에 의한 덧씌우기 설계, damage effect 분석 등에 필요한 요소로 작용한다. 파괴기준식의 일반적 형태는 다음 식 (7)과 같이 예상교통량과 특정 변형률의 관계로 나타내고 있다. (15,16)

$$N = a \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^b \quad (7)$$

여기서, N은 예상교통량, ϵ 은 포장체 내부의 특정 변형률, a와 b는 상수이다. 이와 같은 파괴기준식의 설정은 기존 포장설계식, 도로시험자료, 실내시험자료 등을 이용하게 되며, 설정된 각 파괴기준식은 대상지역의 기후, 포장재료 등의 조건을 반영하기 때문에 제 조건이 다른 지역에서의 사용은 신중을 기해야 할 필요가 있다. (17)

본 연구에서의 damage effect 분석을 토대로한 설계온도 추정과 관련하여 파괴기준식의 초기 입력치는 기존 포장설계식을 이용하는 방법을 택하여 개발하였다. (19) 설계식을 이용하는 방법은 포장구조체를 다층탄성모델화하고 표준축하중(8.2 ton_r ESAL)의 한 쪽 차륜부하중(4.1 ton_r 복륜조건)에 의하여 유발되는 아스팔트 콘크리트 층 하단에서의 해석적 인장변형률과 AASHTO 설계식에 해석대상 모델의 제반 물성을 적용하여 산정된 통과 예상교통량과의 관계를 회귀분석하는 방법이다. 다층탄성해석에 사용한 전산프로그램은 Huang⁽⁶⁾이 개발한 SINELA를 사용하였고, AASHTO 설계식에는 최종 공용성을 PSI=2.5로 한 $\Delta PSI=1.7$, 혼합표준오차는 장래 차량의 분산을 고려치 않은 경우인 0.49로 하여

신뢰도 95% 수준인 경우에 대하여 교통량-변형률의 관계를 회귀분석하였다. 포장물성 및 단면특성이 상이한 2430개의 포장모델⁽¹⁹⁾을 대상으로한 회귀분석 결과는 식 (8)과 같으며, 결정계수는 0.723 이다.

$$N = 1.07 \times 10^{-7} (1/\epsilon)^{3.49} (E_4/500)^{2.03} \quad (8)$$

여기서, E_4 는 노상의 탄성계수, 500(kg/cm²)은 노상의 reference 탄성계수이다. 95%신뢰도 조건인 식 (8)은 다른 관계기관에서 제안된 파괴기준과의 비교를 통하여 균열 발생을 파괴로 보는 피로 파괴 기준과 유사한 수준의 교통량을 추정하고 있음을 밝힌 바 있다. (19)

5. 해석 모델

본 연구에서 제안한 설계온도추정 알고리즘으로부터 남한의 기후조건을 고려한 아스팔트 콘크리트 층의 설계온도를 추정하기 위하여, 지역적 특성을 고려한 포장단면모델을 선정하고 1년을 기준으로한 포장체 각 층의 월 별 탄성계수 변화모델을 설정 하였다. 해석대상 지역은 서울, 대전, 부산 3개 지역을 선정하고 각 지역 별 2개의 포장단면모델을 적용하여 6개의 해석대상 포장단면을 구성하였다. 그림 5는 각 지역에 적용한 신설 포장단면(I)과 덧 씌우기된 포장단면(II) 모델을 보여주고 있다.

아스팔트 콘크리트 층의 월 별 탄성계수 변화모델은 표 1에 나타난 바와 같은 해석대상지역의 기상청⁽²⁰⁾ 월평균 대기온도자료(1904년 이후 80년 평균치)를 식 (1)~식 (3)에 적용하여 AC층 내부의 온도를 추정하고, 그림 2의 온도 - reference 탄성계수 관계 중 일반적으로 사용할 수 있도록 제안한 Franklin의 온도 - reference 탄성계수의 관계와 식 (9)를 이용하여 설정하였다. (10)

$$E_i = E_{20} \times \frac{E_i}{E_{20}} \quad (9)$$

식 (9)에서 E_i 는 층 내부온도 $i^\circ C$ 인 경우의 탄성계수, E_{20} 은 층 내부온도 $20^\circ C$ 인 경우의 탄성계수이며, E_i 와 E_{20} 은 층 내부온도 $i^\circ C$ 와 $20^\circ C$ 인 경우 Franklin의 관계식으로 추정된 reference 탄성계수이다.

함수조건에 민감한 노상의 탄성계수 변화모델은

7.5 cm AC 표층	8 cm AC 표층
15 cm 쇄석 기층	15 cm AC 안정처리 기층
40 cm 보조 기층	39 cm 보조 기층
∞ 노상	∞ 노상
(a) 경부고속도로 신설단면 (서울 I, 대전 I)	(b) 남해고속도로 신설단면 (부산 I)
22.5 cm AC 덧씌우기	5 cm AC 덧씌우기
7.5 cm AC 표층	5 cm AC 표층
15 cm 쇄석 기층	15 cm AC 안정처리 기층
40 cm 보조 기층	30 cm 보조 기층
∞ 노상	∞ 노상
(c) 경부고속도로 덧씌우기된 단면 (서울 II, 부산 II)	(d) 남해고속도로 덧씌우기된 단면 (대전 II)

그림 5. 분석대상 포장단면 모델

1월과 7월에 각각 건조와 습윤의 최대치를 기록하고 있는 표 1의 기상청 자료와 국내의 포장설계에서 일반적으로 반영되는 동상방지층을 고려하여 Ullidtz의 wet period type을 적용하였다. 한편, 쇄석기층 및 보조기층의 탄성계수 변화모델은 Ullidtz가 최근에 제안한 바 있는 식 (4)와 식 (5)를 적용하였다.

본 연구의 설계온도추정 알고리즘에는 고속도로 단면모델 6개와 각 단면모델에 대하여 9종(아스팔트 콘크리트 층의 탄성계수 3개 수준, 노상의 탄성계수 3개 수준)의 포장물성을 적용하여 모두 54개의 포장체 월 별 탄성계수 변화모델을 해석대상으로 하

표 2. 탄성계수 변화모델의 설정에 필요한 기준 탄성계수의 요인배치

수준	AC 층*	노 상	
		습윤	건조
상	32000(24000)	420	700
중	20000(14000)	315	420
하	8000(4000)	230	345

*AC층 내부온도 20°C 기준

() : 아스팔트 안정처리 기층

였다. 본 해석에 사용한 포장체의 물성에 대한 요인배치는 표 2에 나타난 바와 같다.

6. 결과분석 및 비교고찰

남한에 적합한 아스팔트 콘크리트 포장체의 설계온도를 추정하기 위하여 설계온도추정 알고리즘을 제안하고 이를 전산화 하였으며, 국내 3지역(서울, 대전, 부산)의 기후조건과 각 지역 별 2종의 고속도로 포장단면 모델을 대상으로, 식 (8)의 파괴기준식을 설계온도추정 전산 알고리즘에 초기입력치로 하여 본 해석을 수행하였다. 표 3은 포장체의 월 별 탄성계수의 변화와 damage effect를 보여주는 것으로 알고리즘 반복 해석과정의 중간출력한 일례이며, 표 4는 이와 같은 자료들을 근거로 출력된 각 반복 단계 별 결과이다.

표 4에서 보는 바와 같이 모두 4차례의 반복과정을 거쳐 최종 결과가 출력되었으며, 3개 지역의 평균온도는 17.06°C를 보이고 있다. 이와 같은 결과

표 1. 분석대상지역 월평균 기후자료

(대기온도 : °C, 강수량 : mm)

지역	월 기후구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		서울	대기온도	-3.5	-1.1	4.1	11.4	17.1	21.1	24.5	25.3	20.5	13.9
	강수량	20.6	28.2	49.0	105.2	88.3	151.1	383.1	263.0	160.3	48.4	42.9	24.7
대전	대기온도	-2.1	-0.3	4.3	11.9	17.1	21.4	24.9	25.1	20.1	13.3	6.1	-0.2
	강수량	33.1	44.1	62.2	119.5	105.1	161.4	284.0	281.3	149.7	53.6	40.9	33.5
부산	대기온도	2.2	3.8	7.7	12.7	17.1	20.0	23.9	25.5	21.8	17.0	11.1	5.1
	강수량	26.9	50.4	83.4	151.8	154.7	212.8	242.7	198.5	181.5	65.8	64.0	33.7

표 3. 월 별 탄성계수 변화모델(서울, 경부고속도로(I)) 일례

월	탄성계수(kg/cm ²)				잔존수명, N _m (18 kip ESAL)	damage effect (1/N _m)
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄		
1	99972	3957	1075	700	15186807.1	0.0000006585
2	82749	3851	2020	681	10053423.0	0.0000009947
3	54935	3561	1868	630	3946337.4	0.0000025340
4	30909	3165	1660	560	1121619.9	0.0000089157
5	19727	2770	1453	490	383878.1	0.0000260499
6	14395	2480	1301	439	175493.2	0.0000569823
7	11012	2374	1245	420	117689.0	0.0000849690
8	10340	2480	1301	439	140467.9	0.0000711906
9	15091	2770	1453	490	303095.9	0.0000329929
10	25383	3165	1660	560	893649.5	0.0000111901
11	45114	3561	1868	630	2977887.5	0.0000033581
12	79553	3851	2020	681	9438219.8	0.0000010595

표 4. 설계온도추정 알고리즘에 의한 해석 결과

반복회수	1	2	3	final	
서울 I (°C)	16.59	16.12	16.12	16.11	
서울 II (°C)	17.15	16.94	16.99	16.99	
대전 I (°C)	16.47	15.99	16.04	16.03	
대전 II (°C)	17.39	17.14	17.19	17.19	
부산 I (°C)	17.96	18.03	18.06	18.06	
부산 II (°C)	18.01	17.94	17.98	17.98	
평균 (°C)	17.26	17.04	17.06	17.06	
*과외 기준식	a	1.070	1.112	1.100	1.109
	b	-7	-6	-6	-6
	c	3.49	3.19	3.20	3.20
	d	2.03	2.21	2.21	3.21

*과외기준식 : $N = a \cdot 10^b (1/\epsilon)^c (E_4/500)^d$

는 그림 6의 SHELL 설계온도 추정도표로부터 구한 3지역의 평균 설계온도 17.12°C와 근사함을 알 수 있다. SHELL 도표는 대표적 포장체를 선정하고 다층탄성해석 전산 프로그램인 BISAR를 이용하여 분석된 자료를 근거로 제안된 것으로, 설계온도의 추정방법은 월평균 대기온도로 부터 구한 경중률(weighting factor)의 연간 산술 평균치로 부터 이에 대응하는 대기온도를 찾는 것이다. Illinois 대학에서 제안한 해석적 덧씌우기 설계법에서도 이를 이용하여 설계온도를 추정하고 있다.⁽⁵⁾ 이와 같은 해석결

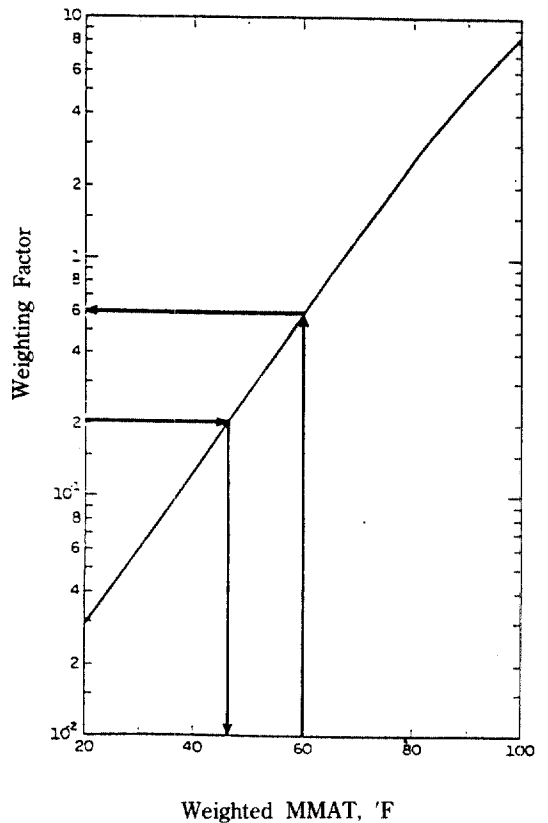


그림 6. SHELL 설계온도 추정도표

과와 표 1의 기후자료로 부터 남한에서는 5월 중순경과 10월 초순경이 해석적 측면에서 포장체가 가장 대표적 물성치를 보이는 것을 알 수 있으며, 이 시기에 포장체의 진단을 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

한편, 신설 포장설계시 아스팔트 콘크리트 표층 재료의 탄성계수가 32000 Kg/cm^2 (재료온도 20°C)로 제안된 경우, 이를 설계온도 17°C , 즉 표층온도 23.6°C [식 (1)참조]로 전환하면 26000 Kg/cm^2 가 된다. 이와 같은 결과로 부터 재료온도 20°C 조건으로 제안된 표층 재료로서의 아스팔트 콘크리트의 탄성계수는 국내 적용시 약 19% 줄이는 것이 필요하며, 실험실에서 재료의 물성치를 평가할 때는 재료온도 23.6°C 상태에서 평가하여야 할 것으로 판단된다.

또한, 아스팔트 콘크리트 층(AC 표층 및 기층)의 두께가 약 25 cm(10 inch)이상이 되고 AC표층의 두께가 5~10 cm 되는 포장체의 경우에 있어서는 설계온도 17°C 조건이 AC기층 내부온도는 약 20°C [식 (2), (3)참조]로 전환된다. 따라서 재료온도 20°C 에서 결정된 아스팔트 안정처리 기층의 탄성계수는 국내 설계온도조건에 부합하는 것으로 동일재료를 설계에 반영할 경우 제안된 물성치(재료온도 20°C 조건)의 탄성계수 또는 상대강도계수를 그대로 적용함이 가능할 것으로 판단된다.

파괴기준식 역시 온도조건에 따라 차이를 보이고 있는데 표 4에서 최종 설계온도 출력시의 파괴기준인 식 (10)이 우리나라에 적합한 파괴기준식(신뢰도 95%)으로 판단된다. 식 (8)과 식 (10)을 교통량과 변형률의 관계로 도시하면 그림 7과 같다. 그림 7에

나타낸 식 (8)과 식 (10)의 파괴기준은 AC 표층 재료의 온도가 각각 20°C 와 23.6°C (설계온도 17°C)인 조건으로, 현재 많이 사용되는 온도조건에서의 파괴기준식인 식 (8)은 신설 포장체의 초기 변형률수준인 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 에서⁽¹³⁾ 식 (10)의 파괴기준에 비해 교통량을 과대 추정하고 있음을 알 수 있다.

$$N = 1.109 \times 10^{-6} (1/e)^{3.20} (E_4/500)^{2.21} \quad (10)$$

본 연구결과에 의한 포장체의 설계온도, 파괴기준식은 기존 아스팔트 콘크리트 포장체의 공용성평가, 잔존수명의 추정, 해석적방법에 의한 덧씌우기 설계뿐 아니라 신설 포장체의 설계시 AC재료의 대표적 물성치 설정에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

7. 결 론

본 논문에서는 아스팔트 콘크리트 포장체의 설계 및 해석에 있어서 기본 요소로 작용하는 설계온도의 추정에 관하여 연구하였다. 설계온도의 추정에는 포장체의 탄성계수 변화모델과 파괴기준식을 이용한 damage effect 분석방법을 기본적으로 사용하였으며, 분석대상지역은 서울, 대전, 부산으로하여 각 지역의 기후자료와 각 지역을 경유하는 경부고속도로, 남해고속도로, 호남고속도로의 신설 및 덧씌우기를 고려한 6개의 단면모델을 해석에 사용하였다. 본 연구의 수행으로 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 국내(남한) 기후조건과 포장 단면모델로 부터 설계온도를 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.
- 2) 국내 지역적 특성을 고려한 아스팔트 콘크리트 포장체의 설계온도를 17°C 로 제시하였으며 제시한 설계온도 조건에서의 파괴기준식을 제안하였다.
- 3) 표층 재료온도 20°C 에서 아스팔트 콘크리트 물성치를 결정하도록 되어있는 AASHTO설계방법을 국내에 적용하면 물성치가 과대 평가됨을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 '89~'91년도 특정연구 지원사업으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케한 관계당국에 깊은 감사를 드립니다.

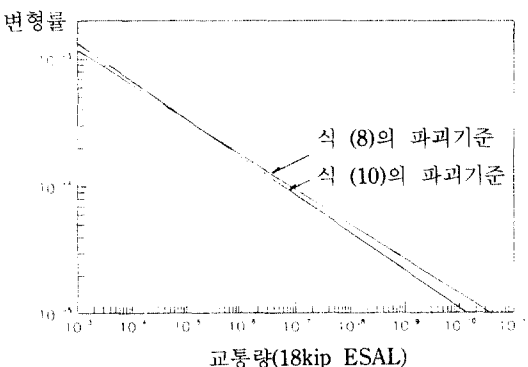


그림 7. 파괴기준식 비교

참 고 문 헌

1. Lytton, R.L. and Smith, R.E., "Use of Nondestructive Testing in the Design of Overlays for Flexible Pavements", *TRR 1007*, TRB, 1985.
2. SHELL, *SHELL Pavement Design Manual: Asphalt Pavements and Overlay for Road Traffic*, SHELL International Petroleum Company, London, 1987.
3. Koole, R.C., "Overlay Design Based on Falling Weight Deflectometer Measurements", *TRR 700*, TRB, 1979, pp.59-72.
4. Brunton, J.M., Brown, S.F., and Pell, P.S., "Developments to the Nottingham Analytical Design Method for Asphalt Pavements", *Proceedings of 6th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, Ann Arbor, 1987, pp. 366-377.
5. Smith, R.E., Palmieri, R.P., Darter, M.I., and Lytton, R.L., "Pavement Overlay Design Procedure and Assumptions, Vol. 1, Analysis of Existing Procedures", *FHWA-RD-85-006*, FHWA, 1986.
6. Huang, Y.H., *Flexible Pavement Analysis Computer Program Manual*, Univ. of Kentucky, 1972.
7. Husain, S., "Evaluation and Overlay Design of Flexible Pavement", *Ph. D. Dissertation*, Univ. of Mississippi, 1987.
8. Barker, W.R., Brabstone, W.N., and Chou, Y.T., "A General System for the Structural Design of Flexible Pavements", *Proceedings of 4th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, Ann Arbor, 1977.
9. Witczak, M.W. and Yoder, E.J., *Principles of Pavement Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc., 1975.
10. Majidzadeh, K. and Ilves, G., "Flexible Pavement Overlay Design Procedures", *FHWA-RD-81-032*, FHWA, 1981.
11. Sharma, M.G., Fornaro, G., and Lim, E.I., "Mechanical Characterization of Pavement Materials", *Interim Report PT-2-7910*, Pennsylvania State Univ., 1979.
12. Thompson, M.R. and Hoffman, M.S., "Concepts for Developing an NDT Based Asphalt Concrete Overlay Thickness Design Procedures", *1982 Annual Meeting of TRB*, Urbana Champaign, 1982.
13. Ullidtz, P., *Pavement Analysis*, Elsevier, 1987.
14. Yeager, L.L. and Wood, L.E., "Recommended Procedure for Determining Dynamic Modulus of Asphalt Mixes", *HRR 549*, HRB, 1975.
15. Kallas, B.F. and Puzinauskas, V.P., "Flexure Fatigue Tests of Asphalt Paving Mixtures", *ASTM STP 508*, ASTM, 1972.
16. Kingham, R.I. and Kallas, B.F., "Laboratory Fatigue and Its Relationship to Pavement Performance", *RR-72-3*, Asphalt Institute, 1972.
17. Newcomb, D.E., Bubushait, A.A., Mahoney, J.P., and Sharma, J., "State of the Art on Pavement Overlay Design Procedures Vol. 1", *WA-RD 65.1*, WSDOT, 1983.
18. AASHTO, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, AASHTO, 1986.
19. 김수일, 이광호, "AASHTO 설계법을 이용한 아스팔트 콘크리트 포장체의 피로파괴기준식 개발에 관한 연구", *대한토목학회논문집*, 제 4 권 제 3호, 1991, pp.59-65.
20. 중앙기상대, 한국기후편람, 중앙기상대, 1985.

(接受 : 1992. 2. 29)