



포장가속시험을 이용한 아스팔트 안정처리층의 피로모형 개발

Development of Fatigue Model for Asphalt Black Base by Accelerated Pavement Testing

여 인 수* 서 영 찬** 문 성 호***
Yeo, In Soo Suh, Young Chan Mun, Sung ho

Abstract

This thesis develops a fatigue model for the asphalt black base using the APT(Accelerated Pavement Testing) and analyzes the correlation of the APT analysis result with results of previous laboratory tests. For the APT testing, aggregate of the maximum grain size of 25mm (BB-3) was used as the material for the asphalt black base. The result of the APT revealed that the variable of the fatigue model, i.e. the maximum tensile stress on the bottom part of the pavement, increased as the number of loading increased while the modulus of elasticity for the pavement layer decreased gradually. The tensile strain was obtained from a strain gauge, and it was used to derive the values of $k_1 = 1.29 \times 10^{-6}$ and $k_2 = 3.02$ from the basic equation of the asphalt fatigue model, $N_f = k_1 (\frac{1}{\epsilon})^{k_2}$. The fatigue life predicted from the asphalt fatigue model was greater than that obtained from laboratory experiments, given the same tensile strain. Additionally, a theory to estimate the remaining life of the pavement was developed using FWD, a non-destructive experiment.

Keywords : accelerated pavement testing, fatigue model, FWD, remaining life

요 지

본 논문에서는 포장가속시험기를 이용하여 아스팔트 안정처리층의 피로모형을 개발하여 기존의 실내실험결과와의 상관관계를 분석하였다. 아스팔트 안정처리층의 피로모형은 Miner(1945)의 누적파손(Cumulative Damage)가설을 적용하였다. 포장가속시험에 사용된 아스팔트 안정처리층은 골재최대입경 25mm(BB-3)의 재료를 사용하였다. 포장가속시험결과 피로모형의 변수인 포장하부의 최대인장응력은 하중재하회수가 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있었으며 포장층의 탄성계수는 점차 작아지는 것을 알 수 있었다. 아스팔트 피로모형의 기본식 $N_f = k_1 (\frac{1}{\epsilon})^{k_2}$ 에서 변형률계를 통하여 얻은 인장변형률을 통하여 $k_1 = 1.29 \times 10^{-6}$, $k_2 = 3.02$ 의 값을 도출하였으며, 같은 인장변형률에서의 피로수명은 실내실험을 통한 모형보다 크게 나타났다. 또한, 비파괴실험인 FWD를 이용하여 포장의 잔존수명을 추정하는 논리를 개발하였다.

핵심용어 : 포장가속시험, 아스팔트 피로모형, 잔존수명

* 정회원 · 한국도로교통협회 선임연구원

** 정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원



1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내의 아스팔트포장은 중차량과 교통량의 급증으로 인하여 파손이 지속적으로 발생되고 있다. 아스팔트포장의 파손중 국내에서 많이 발생하는 파손으로는 크게 소성변형과 균열 등이 있다. 소성변형은 그동안 많은 연구개발과 품질관리의 노력으로 많이 감소되고 있으나 최근 국도를 포함 고속도로에서 빈번히 피로균열이 발생하는 추세이다. 따라서 균열의 경우 실험을 통한 피로모형을 적용하여 포장을 설계하여 균열의 발생을 최소화하여 포장의 공용성을 증가시킬 수 있다.

현재 가장 많이 사용하고 있는 공용성 예측실험들은 모델에 근거한 수치해석, 실내/실외실험, 포장가속시험기, 시험도로, 실제 경험으로 나눌 수 있다. 이러한 방법들은 포장의 공용성을 예측함으로써 포장설계법의 개발 또는 수정, 도로 신재료의 적용성 등을 평가하는데 목적이 있다. 그러나 각 연구방법으로 예측되는 포장의 공용성은 연구시간/비용에 따라 예측결과의 신뢰도가 많은 차이를 나타내고 있다. 포장가속시험기는 시간 또는 비용에 따른 연구결과의 신뢰도 측면에서 실내/실외실험이나 모델에 근거한 수치해석보다 효율적인 방법으로 알려져 있다.

본 논문은 포장가속시험기를 이용하여 아스팔트 안정처리층의 피로모형을 개발하여 기존의 아스팔트 표층에 대한 실내실험결과와의 상관관계를 분석하고 실내실험보다 현장조건이 충분히 반영된 아스팔트 안정처리층의 피로모형을 개발하는데 그 목적이 있다. 또한, 비파괴시험장비인 FWD를 이용한 포장의 잔존수명 산출논리를 개발함으로써 실제 도로현장에서 FWD 측정을 통하여 쉽게 포장의 잔존수명을 산출하는 방법을 제시하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 논문은 포장가속시험을 이용한 피로시험을 실시하여 포장의 파손을 직접 확인하고 실험결과인 탄성계수의 변화와 하부인장응력의 변화를 통하여 피로모형을 개발하는 것을 주요내용으로 한다. 아스팔트 안정처리층의 피로모형을 개발하는데 있어서 Miner(1945)의 누적손상(Cumulative Damage) 가설을 이용하였다. 기존의 실내실험과 달리 포장가속시험에서는 Wandering을 고려하여 실제의 도로현장을 모사하였다.

포장가속시험에 사용된 아스팔트 혼합물은 골재최대입경 25mm(BB-3)의 재료를 사용하였으며, 포설은 현장조건과 동일하게 아스팔트 피니셔를 사용하였다.

포장가속시험기를 이용하여 개발된 아스팔트 피로모형을 한국형포장설계법에서 간접인장 피로시험을 이용하여 개발된 피로모형과 해외의 피로모형과 비교하여 그 상관관계를 비교하였다.

또한 비파괴시험인 FWD를 이용하여 포장면의 위치별 탄성계수를 확인하여 하중이 통과한 지점과 통과하지 않은 지점의 탄성계수변화를 확인하였다.

2. 이론적 배경

2.1 아스팔트포장의 피로모형

아스팔트포장층은 차량이 통과하는 짧은 시간동안 하중을 받으며, 이로 인해 포장하부에 인장응력이 발생한다. 반복적인 인장응력은 결국엔 포장의 강성의 손상으로 이어져 파괴를 일으킨다. 따라서 포장의 피로파괴와 일치하는 하중재하회수는 응력 또는 변형률과 관계가 있으며, 다음의 식(1)과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{k_2} \quad (1)$$



여기서, N_f : 피로수명

ϵ_t : 인장변형률

k_1, k_2 : 실험에 의해 결정된 상수

다음의 피로모형은 몇몇 기관에서 사용하고 있는 피로모형이다.

Illinois Department of Transportation (Thompson, 1987)

$$N_f = 5 \times 10^{-6} (\epsilon_t)^{-3.0}$$

Transport and Road Research Laboratory (Powell et al., 1984)

$$N_f = 1.66 \times 10^{-10} (\epsilon_t)^{-4.32}$$

Belgian Road Research Center (Verstraeten et al., 1982)

$$N_f = 4.92 \times 10^{-14} (\epsilon_t)^{-4.76}$$

국내에서도 한국형 포장설계법에서 제시한 몇 가지 피로모형이 있다.

표 1. 실내실험을 통한 피로모형의 계수(건설교통부, 2004)

혼합물의 종류	Average Air Void(%)	피로모델식의 계수	
		k_1	k_2
화강암 19mm, PG 64-22 Air Void 4%	4.18	4×10^{-7}	-2.7882
화강암 19mm, PG 64-22 Air Void 6%	5.34	7×10^{-11}	-3.8222
화강암 19mm, PG 64-22 OAC -1%	5.00	5×10^{-14}	-4.6223
화강암 19mm, PG 64-22 OAC +1%	2.33	1×10^{-12}	-4.3005

본 연구에서는 그림 1의 피로모형 개발 흐름도에 의하여 피로모형을 개발하였다.

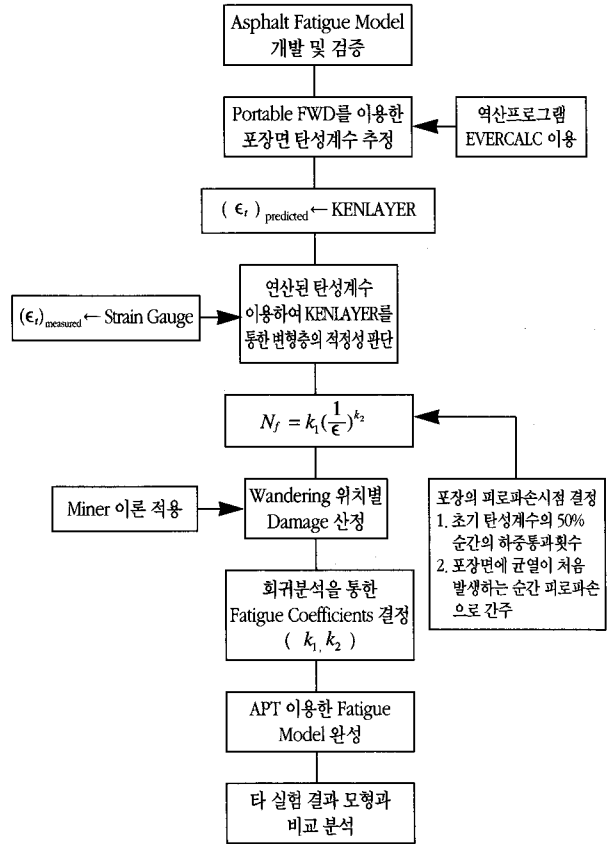


그림 1. 피로모형 개발 흐름도

3. 포장가속시험

3.1 시험포장층 시공

피로균열 모사를 위한 포장가속시험단면은 그림 2와 같으며 피로균열 발생시기를 앞당기기 위하여 표층은 시공하지 않았다. 아스팔트 안정처리층용 혼합물은 국내 기준용 입도(BB-3)를 사용하였으며 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트 함량을 공극률 5%에서 결정하였다. 최적 아스팔트함량(OAC)은 4.5%로 현장배합설계를 통해 생산하였다. 또한 연약지반 모사를 위한 수침이 가능하도록 포장단면을 설계하



였다. 실제로 피로균열은 국부적으로 지반이 약하거나 배수가 잘 안 되는 곳에서 많이 발생되므로 수침 시험은 국부적 취약지점을 모사하는데 유용하리라 판단된다.

표 2. 국내 기층용 입도(BB-3) 분포(건설교통부, 2005)

체크기 (mm)	체통과 중량백분률 (%)		
	하한입도	상한입도	제안입도
25	100	100	100
20	75	100	87.5
10	50	85	67.5
5	30	70	50
2	20	50	35
0.4	5	25	15
0.08	1	7	4

시험포장면은 12.5m길이에 2.3m폭으로 총 12.5m중 6.4m구간은 일반밀입도 아스팔트로 시공하였으며 나머지 6.1m구간은 고강성 개질아스팔트로 시공하였다. 본 논문에서는 일반밀입도 아스팔트

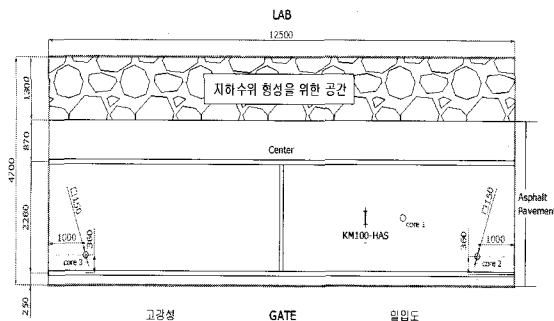
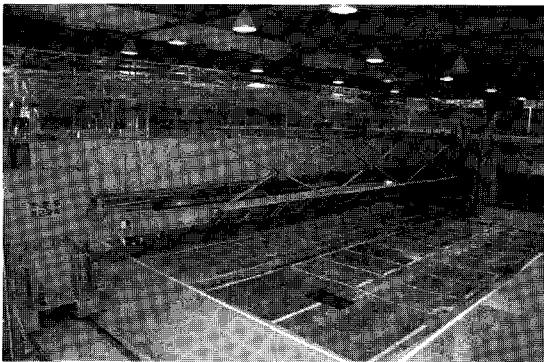


그림 2. 포장가속시험 개요

구간을 피로모형 개발의 대상구간으로 하였다. 또한 지하수위를 조절하기 위하여 포장면 가장자리에 약 1.3m의 공간을 보조기층상태로 두었다. 아스팔트기층의 온도를 측정하기 위하여 기층아래 2cm, 5cm, 8cm 지점에 Thermocouple을 매설하였다.

3.2 포장가속시험 시험조건

3.2.1 운행조건

시험포장구간이 아스팔트 기층으로만 구성되어있고 국부적 연약지반을 모사하기 위하여 지하수위를 형성하였으므로 실험초기에는 조기파손을 우려하여 처음 2,000회는 8ton으로 시험을 실시하였고 그 후는 10ton으로 하중을 높여 시험하였다.

표 3. 포장가속시험 운행조건

하중	10 ton		
하중 종류	Truck Tire (Dual Tire)		
타이어 종류	TUBE TYPE 11.00R20		
속도	10 km/h		
시험기간	2005. 11. 28 ~ 2006. 5. 11		
Wandering	폭 (Wandering의 분산)	좌	우
		20cm	20cm
하중재하방향	양방향		

또한, 현장의 상황과 동일하게 하기 위하여 Wandering을 적용하였다. Wandering 적용상황은 강민수(2001)가 제시한 포장가속시험기의 카트와 유사한 6종 차량의 Wandering 표준편차인 19.7cm(약 20cm)을 적용하여 Wandering 계획을 수립하였으며, Random 방식으로 하중의 위치를 변화시켜 시험하였다.

3.2.2 환경조건(지하수위 형성)

실제 빗물이나 지하수위가 포장면 아래로 침투하였을 때의 포장에 적용된 악조건을 모사하고 피로파손을 가속시키기 위하여 그림 3과 같이 포장면 아래



30cm 지점까지 지하수위를 일정하게 유지하여 실험하였다.

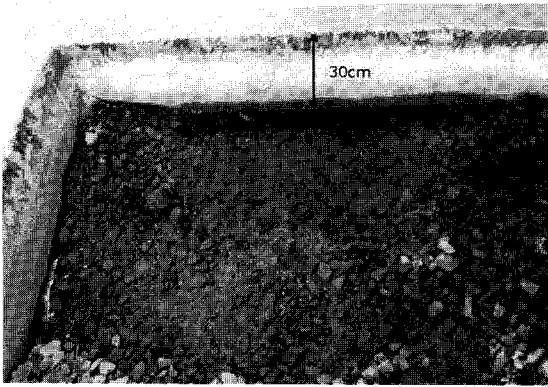


그림 3. 지하수위 조절

4. 계측 및 자료분석

4.1 Portable FWD Data를 통한 포장의 탄성계수 추정

하중재하횟수가 증가함에 따라 비파괴 실험인 Portable FWD(Falling Weight Deflectometer)를 이용하여 시험구간의 치짐의 변화를 측정하였다. 하중재하횟수가 증가할 수록 포장의 치짐은 크게 발생하였으며 역산프로그램(EVERCAL.)을 이용하여 아스팔트 안정처리층의 탄성계수를 역산하였을 때 그 값은 그림 4와 같이 점차 감소하는 것을 알 수 있

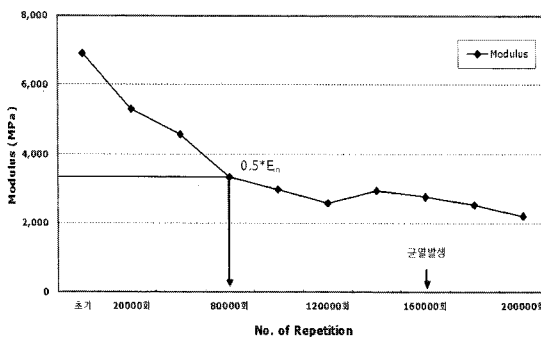


그림 4. Portable FWD Data를 통한 탄성계수 변화

었다. 여러 문헌에서 포장의 피로파괴시점을 강성이 초기값에서 50% 감소된 값이 되었을 때로 제안하고 있지만, 본 연구에서는 강성이 초기값의 50%가 되었음에도 불구하고 포장의 균열은 찾아볼 수 없었다. 포장의 강성이 초기값의 약 40%가 된 160,000회에서 포장면에 균열이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

4.2 Strain Data

포장하부의 수평인장변형은 아스팔트포장의 피로 균열을 발생시키는 주된 요인이다. 따라서 수평인장 변형은 피로모형의 독립변수로 작용하며 이를 위하여 아스팔트용 변형률계(KM-100HAS)를 포장가속 시험구간의 포장면 하부에 매설하여 인장변형률을 측정하였다. 포장가속시험 동안 인장변형률을 측정하려 하였지만 160,000회 이후의 데이터는 심하게 훼손되어 측정이 불가능 하였다.

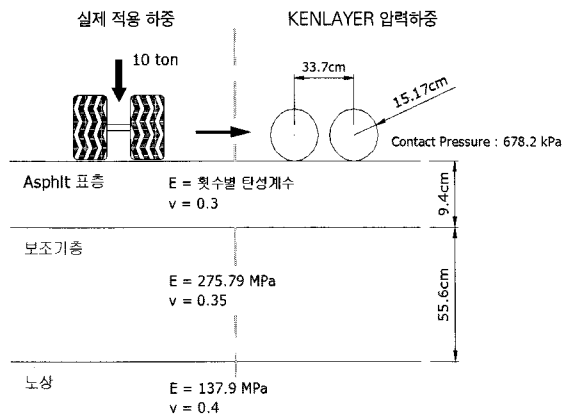


그림 5. 구조해석 입력단면 및 물성

또한 Portable FWD를 이용하여 추정된 탄성계수를 이용하여 다층탄성 구조해석프로그램인 KENLAYER를 사용해 아스팔트 표층 하부의 인장 변형률을 산정하여 실측값과 비교하였다. KENLAYER의 입력단면 및 물성은 그림 5와 같으며 그 결과는 그림 6과 같다.

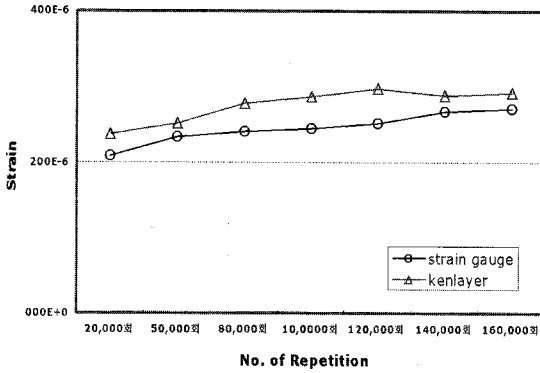


그림 6. 실측 Strain Data와 구조해석을 통한 Strain Data의 비교

그림에서 알 수 있듯이 실측 Data와 구조해석을 통한 Data를 비교해보면 약 13%정도(약 31.0×10^{-6} Strain)의 차이로 구조해석결과가 큰 값을 보였다. 이는 구조해석 프로그램의 한계점에 기인한 결과라 사료된다.

5. 포장가속시험 결과

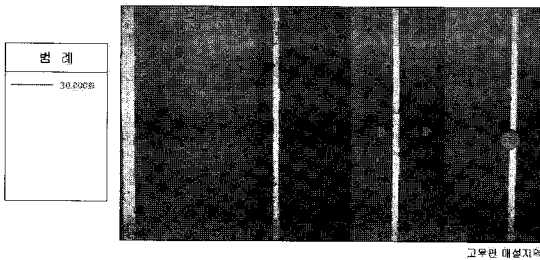
5.1 균열

초기피로균열은 하중이 약 30,000회 통과후에 고무판을 매설한 지역에서 발생하였다. 이 후로 계속해서 고무판부근에서 피로균열이 발생하였으며 고무판 매설지역이 아닌 일반지역에서는 약 160,000회 하중통과후에 피로균열이 발생하였다. 다음의 그림 7은 횡수별 균열발생상황을 보여주고 있다.

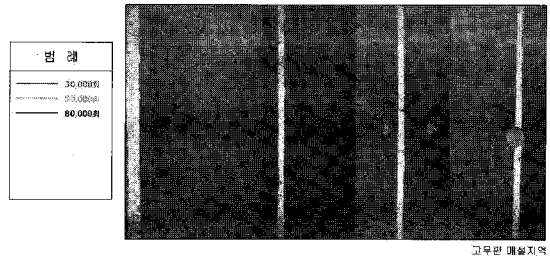
5.2 아스팔트 피로파손모형 개발

5.2.1 Failure Criteria의 설정

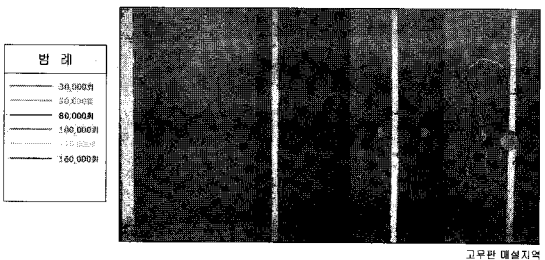
아스팔트 혼합물의 피로수명을 결정하는 방법은 여러 가지가 있다. 일반적인 방법은 아스팔트 혼합물의 표면에 균열이 시작되는 순간의 하중재하횟수를



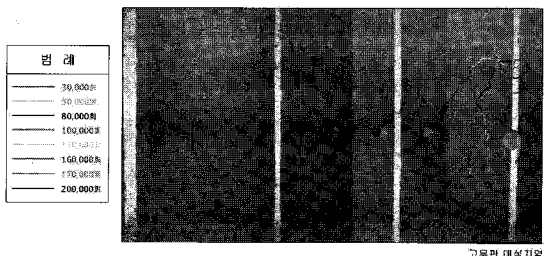
(a) 30,000회 하중적용 후 균열발생상황



(b) 80,000회 하중적용 후 균열발생상황



(c) 160,000회 하중적용 후 균열발생상황



(d) 200,000회 하중적용 후 균열발생상황

그림 7. 횡수별 균열발생상황

피로수명으로 결정하는 방법(Newcomb, et al., 1999)과 피로시험을 통하여 아스팔트 혼합물의 강성(Stiffness)이 초기 강성의 50%에 도달했을 때까지 아스팔트 혼합물에 가해진 하중재하횟수를 피로수명으로 결정하는 방법이다(Carpenter, S. H., 2003). 하지만 그림 4를 보면 포장의 강성이 초기 강성의 50%가 된 시점인 80,000회 하중통과시점에서 균열이 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문에서는 아스팔트포장의 표면에 균열이 시작되는 순간의 하중재하횟수(160,000회)를 피로수명으로 결정하여 모형을 개발하였다.

5.2.2 피로파손모형 개발

기존의 아스팔트포장의 피로파손모형은 간접인장시험을 통한 모형으로 실제 도로현장에서 발생하고 있는 Wandering을 고려하지 못하고 있다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 포장가속시험을 통하여 실제 도로현장에서 발생하는 Wandering을 그대로 모사하여 피로모형의 계수 k_1, k_2 를 찾아내었다.

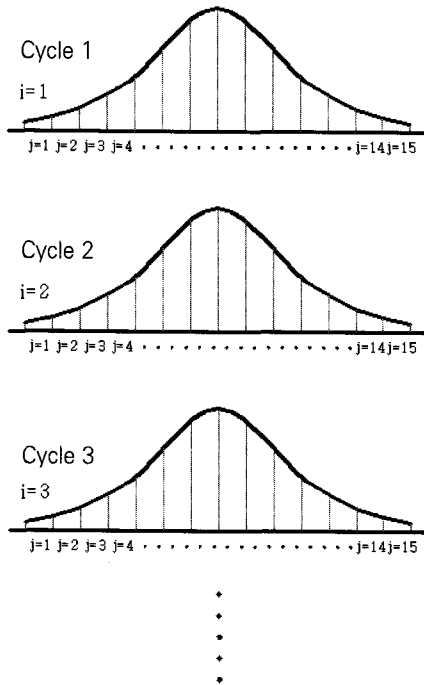


그림 8. Wandering위치별 Damage의 누적

아스팔트포장의 피로수명은 아스팔트포장의 하부의 인장응력과 관련되어 있다는 것이 일반적이다. 따라서 본 논문에서도 인장응력을 이용하여 피로모형을 개발하였다. 또한, 피로모형을 개발하는데 있어서 Wandering의 영향을 Miner(1945)의 누적손상(Cumulative Damage)의 개념을 통하여 적용하였으며 그 내용은 그림 8과 같다.

포장가속시험 중 총 15개의 Wandering구간을 설정하였으며 10,000회 또는 20,000회의 하중반복이 이루어지는 것을 한 Cycle로 설정하였다. 따라서 Miner의 가설을 적용하면 다음과 같다. 각 Wandering 구간에서 발생하는 Damage의 총합의 계산은 다음과 같이 i 번째 Cycle에서 j 지점의 손상 D_{ij} 를 계산하여, 포장면에 균열이 발생할 때까지 각 Cycle의 Damage를 합하여 총 Damage(D_w)를 구한다. 그리하여 총 Damage(D_w)가 1이 되는 순간을 포장의 파손으로 간주하여 모형을 개발하였다.

$$D_w = \sum_i \sum_j D_{ij} = \sum_i \sum_j \frac{n_{ij}}{N_{ij}} = \sum_i \sum_j \frac{n_{ij}}{k_1 \left(\frac{1}{\epsilon_{ij}}\right)^{k_2}} \quad (2)$$

D_w : Wandering이 있는 상태에서 총 반복하중에 의한 Damage

D_{ij} : 특정 Cycle(i), 특정지점(j)에 해당 반복하중(n_{ij})이 작용한 경우의 Damage

N_{ij} : 특정 Cycle(i), 특정지점(j)에 해당 반복하중(n_{ij})이 작용한 경우의 허용반복하중수

위의 식(2)를 이용하여 포장가속시험을 이용한 아스팔트 피로모형의 계수를 산정함에 있어서는 위의 식의 복잡한 비선형 때문에 일반적으로 잘 알려진 최적화 기법인 유전자 알고리즘을 이용하여 계수값을 구하였다.

표 4와 같이 각 횟수별로 Wandering 위치별 Damage의 합이 1이 되게 하는 k_1 과 k_2 를 찾게 되는데 그림 9에서 볼 수 있듯이 k_1 과 k_2 의 적정범위를 정하게 된다. 여기서 k_2 의 경우 3.0~5.671 사이의 값을 가진다고 알려져 있다(Huang, Y. H.).



표 4. 10,000회의 Wandering 위치별 Damage

Wandering	13	12	11	9,10	8	5,6,7	4	1,2,3
n_{ij}	400	100	600	800	400	1,400	500	1,500
ϵ_{ij}	56.2E-6	137.9E-6	161.9E-6	178.8E-6	191.5E-6	200.2E-6	200.2E-6	203.1E-6
D_{ij}	4.3164E-5	1.6293E-4	1.5880E-3	2.8626E-3	1.7605E-3	7.0466E-3	2.5166E-3	7.8896E-3
Wandering	14	15,16,17	18	19,20	21	22	23	계
n_{ij}	500	1,400	400	800	600	100	400	9,900
ϵ_{ij}	200.2E-6	200.2E-6	191.5E-6	178.8E-6	161.9E-6	137.9E-6	56.2E-6	-
D_{ij}	2.5166E-3	7.0466E-3	1.7605E-3	2.8626E-3	1.5880E-3	1.6293E-4	4.3164E-5	3.985E-2

따라서 본 연구에서도 k_2 의 값이 3.0~5.671 사이의 값을 가질 것으로 예상하여 범위를 설정하고 총 Damage를 1이 되게 하는 k_1 과 k_2 를 찾아내었다.

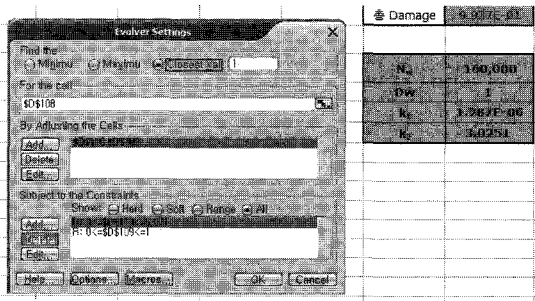


그림 9. Evolver Settings

포장가속시험을 이용한 아스팔트 안정처리층의 피로모형은 다음과 같다.

$$N_f = 1.29 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\epsilon_f} \right)^{3.02} \quad (3)$$

한국형포장설계법에서 제시한 모형 및 해외의 모형과 비교한 결과는 그림 10과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 실내시험을 통한 모형과 그 결과를 비교하여 봤을 때 Wandering을 고려한 모형(HAPT Wandering 모형)의 피로수명이 같은 인장응력에서 더 길게 나타났다. 이는 Wandering으로 인한 포장 하부의 특정지점에서의 인장응력의 발생이 Wandering이 적용되지 않은 상태에 비해 작기 때문이라 판단된다.

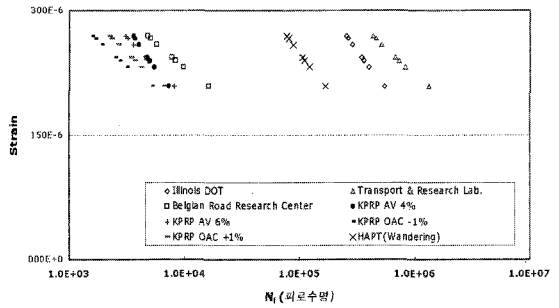


그림 10. 모형별 피로수명 비교

5.3 하중통과량에 따른 포장의 탄성계수의 변화

하중통과량에 따른 포장의 탄성계수의 변화를 알아보기 위하여 다음의 그림과 같이 포장면의 각 지점에서 FWD Test를 하였다. 정규분포를 가정하고 Wandering을 적용하였기 때문에 Wandering의 각 위치별 하중통과횟수가 다르고 이는 곧 각각의 다른 하중이 통과한 위치별 탄성계수가 다를음을 의미한다.

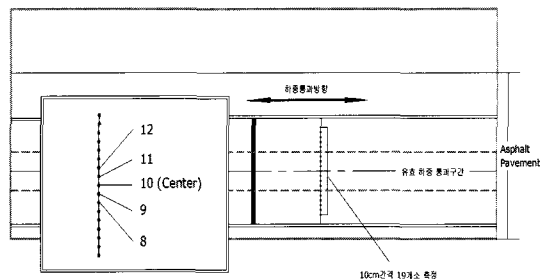


그림 11. 하중통과지점별 FWD 측정위치



따라서, 횡방향으로 유효하중 통과구간을 포함하는 10cm간격의 FWD 측정지점을 선정하고 포장가속 시험이 종료된 시점인 240,000회 하중통과후에 테스트를 실시하였다.

FWD 측정결과 Wandering으로 인해 하중이 가장 많이 가해진 중앙부분에서 가장 큰 처짐이 발생하였고 외각으로 벗어날수록 처짐값이 작아지는 것을 확인하였다. 역산한 결과도 표 5와 같이 처짐이 가장 많이 발생한 중앙부분에서 가장 작은 탄성계수 값을 보이고 있었으며 외각으로 벗어날수록 커지는 것을 확인할 수 있다. 각각의 위치는 Wheel Path의 가장 자리를 기준으로 1, 2, ..., 10(Center), ..., 18, 19 등으로 표기하였다.

표 5. 하중통과지점별 탄성계수

위치	탄성계수 (MPa)	위치	탄성계수 (MPa)
1	7690.6	10(Center)	2506.6
2	6422.0	11	2377.2
3	5086.3	12	2621.3
4	4015.3	13	2998.7
5	4075.4	14	3079.4
6	3486.1	15	3682.8
7	2820.0	16	3904.0
8	2491.8	17	4828.1
9	2587.1	18	4978.8
-	-	19	7557.8

위의 자료를 통하여 하중통과량에 따른 포장의 탄성계수를 살펴보면 다음의 그림 12와 같다. 하중이 주로 가해진 중앙으로부터 좌우로 10cm씩 떨어진 지점에서의 탄성계수값이 가장 적음을 알 수 있으며 하중이 통과하지 않은 부분의 탄성계수값에서 약 67%정도 감소한 것을 확인할 수 있다.

그림 12에서 알 수 있듯이 하중이 통과하지 않은 부분(그림의 0~4구간과 16~20구간)에서도 탄성계수의 감소를 확인할 수 있는데 이는 포장가속시험

기의 하중에 따른 응력영향에 의하여 발생한 것으로 생각되며 실제로 구조해석을 통한 하중의 영향에 대한 결과를 살펴보면 하중이 가해지는 지점에서 좌우로 각각 60cm떨어진 위치에도 중앙에 작용하는 하중의 약 10%정도의 하중의 영향이 있는 것으로 분석되었다.

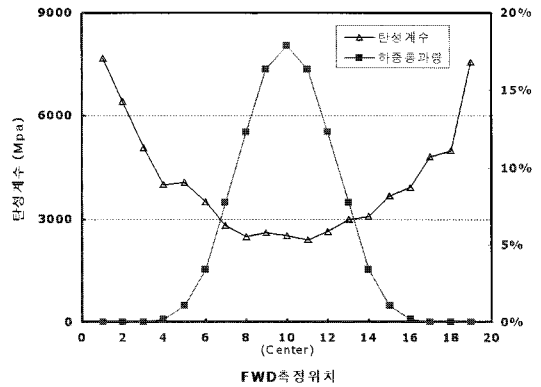


그림 12. 하중통과량과 탄성계수의 관계

6. 결론

본 연구에서는 포장가속시험을 통한 피로균열 저항성 실험이 가능한지를 알아보기 위하여 다양한 Underdesign방법을 이용하여 포장가속시험을 실시하였으며 Miner의 가설을 이용하여 아스팔트 안정 처리층의 피로모형계수를 추정하였다. 연구범위 내에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 하중통과량에 따른 포장의 탄성계수변화를 알아보기 위하여 측정한 횡방향 FWD Test 결과에서 약 75%의 하중통과지점에서의 탄성계수는 하중이 통과하지 않은 부분에서의 탄성계수의 33%로 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 또한, 하중이 통과하지 않은 부분에서도 탄성계수의 감소를 확인할 수 있었는데 이는 포장가속시험기의 하중의 응력영향에 의한 것으로 생각되며 실



제로 구조해석의 결과를 살펴보면 하중이 가해지는 지점에서 좌우로 각각 60cm떨어진 위치에 서도 중앙에 작용하는 하중의 약 10%정도의 하중의 영향이 있는 것으로 분석되었다.

- (2) 하중재하횟수가 증가함에 따라 비파괴실험인 Portable FWD(Falling Weight Deflectometer)를 통하여 포장면의 탄성계수가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) Miner(1945)의 누적손상개념을 적용하여 Wandering을 고려한 포장가속시험을 통한 아스팔트 안정치리층의 피로모형의 계수값 k_1 은 1.29×10^6 , k_2 는 3.02로 도출되었다. 기존의 실내실험을 통한 모형과 그 결과를 비교하여 봤을 때 Wandering을 고려한 모형의 피로수명이 같은 인장응력에서 더 길게 나타났다. 이는 Wandering으로 인한 포장하부의 특정지점에서의 인장응력의 발생이 Wandering이 적용되지 않은 상태에 비해 작기 때문이라 판단된다.
- (4) 여러 문헌에서 Fatigue Criteria를 포장의 강성이 초기값에서 50% 감소된 값이 되었을 때로 제안하고 있지만, 본 연구에서는 포장의 강성이 50%가 되었음에도 불구하고 균열이 발생되지 않은 상태였다.
- (5) 포장가속시험시 매설했던 Strain Gauge의 인장변형률값과 포장가속시험구간의 구조해석을 통한 인장변형률의 차이는 실측 데이터와 약 13% 정도(약 31.0×10^6 strain)의 차이로 구조해석 결과가 큰 값을 보였으며 인장변형률의 변화 패턴은 유사한 것으로 확인되었다. 이를 통하여 구조해석을 통한 인장변형률의 추정도 가능할 것으로 판단된다.
- (6) 아스팔트 기층의 생략, 지하수위 형성, 보조기층의 불충분한 다짐 등 Underdesign 방법으로 포장가속시험을 통한 피로균열모사가 가능한 것을 확인하였다. 또한, 지하수위 조절 및 표층의 생략만으로도 약 20만회의 하중통과로 포장가속시험의 피로균열 모사시험이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 건설교통부 “포장가속시험을 활용한 아스팔트포장 신재료 적용방안 연구” 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

건설교통부 (2004), “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(1단계 3차년도):아스팔트 포장 설계법 개발”

건설교통부 (2005), “장수명 아스팔트포장 공법 개발,” 최종보고서.

강민수 (2001), “차량 Wandering의 포장손상 저감 정량화 연구,” 한양대학교, 석사학위 논문.

Carpenter, S. H., Ghuzlan, K. A., and Shen, S. (2003), “A Fatigue Endurance Limit for Highway and Airport Pavements,” *Transportation Research Board*.

Huang, Y. H. (2004), *Pavement Analysis and Design, Second Edition*, Prentice Hall Inc. p. 480

Newcomb, et al., (1999). “Minnesota Road Research Project:A Five-Year Review of Accomplishments,” *International Conference of Accelerated Pavement Testing*.

Powell, W. D., and N. W. Lister (1984), “The Structural Design of Bituminous Pavements,” TRRL Laboratory Report 1132, *Transportation and Road Research Laboratory*, U.K.

Thompson, M. R. (1987), “ILLI-PAVE based Full Depth Asphalt Concrete Pavements Design Procedure,” *Proceedings, 6th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement*.

Verstraeten, J., V. Veverka, and L. Francken (1982), “Rational and Practical Designs of Asphalt Pavements to Avoid Cracking and Rutting,” *Proceedings, 5th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement*.

접 수 일: 2007. 1. 4
 심 사 일: 2007. 1. 18
 심사완료일: 2007. 11. 19