

LWD를 활용한 에폭시 아스팔트 포장의 정상 표면처짐 범위 연구

박기선* · 김경남** · 김낙석***

Park, Ki Sun*, Kim, Kyung Nam**, Kim, Nak Seok***

A Study on Normal Range of Surface Deflection for Epoxy Asphalt Pavement using Light Weight Deflectometer

ABSTRACT

In this study, the resilient modulus test and Light Weight Deflectometer (LWD) test were conducted to simulate the moving vehicle load for the evaluation of the internal failure of epoxy asphalt pavement. The Measured displacement in the resilient modulus test of epoxy asphalt concrete showed very little residual deformation under repeated loads unlike the conventional asphalt. Therefore, the test results were evaluated as a normal state due to its similarity with elastic deformation. The deflection results from the resilient modulus tests were converted to the surface deflection modulus and the normal range of surface deflection modulus was estimated applying LWD measurement of 1 SIGMA level. Internal failure of pavements were estimated using the suspicious failure range at 60°C and hysteresis. Internal moisture penetration and a decrease in bonding were observed in partial areas at 140 μ m of surface deflection. However, the areas showed inflection points in the hysteresis. Field investigation by suggested criterion indicated a high degree of accuracy.

Key words : LWD, Epoxy asphalt, Surface deflection, Resilient modulus

초 록

본 연구는 에폭시 아스팔트 포장 내부 상태 평가를 위해 이동 차량하중 모사가 가능한 회복탄성계수 실험과 LWD 실험을 수행하였다. 회복탄성계수 실험에서 측정된 변위는 일반 아스팔트와 달리 잔류변형이 매우 미소한 수준으로 탄성변형과 유사한 거동을 보여 정상 상태로 해석해도 무리가 없는 것으로 나타났다. 회복탄성계수에서 측정된 변위 결과를 처짐 탄성계수로 변환 후 1 SIGMA 단계를 적용하여 정상 처짐 탄성계수 범위를 산정하였다. 60°C에서의 파손 의심 처짐 범위와 하중-변위 선도 개형으로 포장 내부 상태를 예측하였다. 정상 표면처짐 구간인 140 μ m의 일부 구간에서 수분 침투 및 접착성능 저하가 관찰되었으나, 하중-변위 선도 개형에서 변곡점 발생 구간으로 확인되었다. 현장 확인 결과 제시된 기준은 높은 수준의 정확도를 보이는 것으로 나타났다.

검색어 : LWD, 에폭시 아스팔트, 표면처짐, 회복탄성계수

1. 서론

주요 이동 수단으로 자동차의 보급이 확대됨에 따라 도로의 설계 및 시공 기술에서도 많은 발전을 이룩하였다. 도로 기술의 발전은 이동거리를 감소시킬 목적으로 교량기술에도 영향을 미쳐 최근에는 섬과 섬, 섬과 육지를 연결하는 초장대교량의 건설이 증대하고 있는 추세이다. 초장대교량은 현대 도로 기술의 집약체로서 사용되는 재료의 양을 적게하여 사하중을 최대한으로 줄이지만, 내구성은 충분히

* 경기대학교 토목공학과 석사과정 (Kyonggi University · kei.sun.p@gmail.com)

** 정회원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 석사과정 (Corresponding Author · Kyonggi University · kimgoon000@nate.com)

*** 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Kyonggi University · nskim1@kyonggi.ac.kr)

Received November 24, 2014/ revised December 12, 2014/ accepted December 15, 2014

발휘할 수 있도록 한다. 그러나 교통량의 증가와 차량의 중량화, 대형화로 교면포장의 파손 및 내하력 저하가 가속되고 있으며, 사하중을 줄이기 위해 일반 토공부 포장도로보다 박층으로 설계되어 그 영향력은 더욱 심하게 나타난다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 현재 가장 주목받고 있는 특수포장인 에폭시 아스팔트는 내구성과 가용성 등 뛰어난 물성을 지닌 포장 재료이다.

고내구성의 박층용 특수 포장을 시공하기 위해서는 윤택층에 의해 발생하는 층간 전단력을 견딜 수 있는 충분한 접착성능을 필요로 한다. 에폭시 아스팔트의 경우 접착성능이 뛰어난 본드코트를 사용하며 강바닥판 교량과의 접착성도 우수하여 소요의 강도를 발휘할 수 있게 한다. 그러나 이런 고강도의 접착성과 내구성으로 인해 포장 내부 파손 상태 파악을 위한 코어 채취시 강바닥판과 포장 접착 부위의 파손을 야기할 수 있어 일반적인 방법으로는 평가가 어렵다.

현재 포장 구조체의 역학적 상태를 파악하기 위해 비파괴 시험(Non-destructive Testing)이 국내외에서 주로 사용되고 있다. 탄성과 탐사에 의한 방법과 포장체 표면에 하중을 가하여 표면처짐을 측정하는 방법으로 분류할 수 있다. 탄성과 탐사의 경우 포장층 내부의 두께, 공극, 균열 등을 관찰할 수 있으나 현장 시험시 많은 기술적 문제가 있고, 시험결과 해석이 상당히 까다롭다. 표면처짐을 활용한 측정 방법의 경우 교통하중을 가장 정확히 묘사할 수 있는 우수한 장비로 역산프로그램을 통해 포장의 잔존수명을 예측하고 효율적인 유지관리 및 덧씌우기 설계를 가능하게 한다.

도로 포장에 있어 표면처짐 측정하는 방법으로는 FWD (Falling Weight Deflectometer)가 널리 사용되고 있다. 에폭시 아스팔트는 고강도 및 고탄성의 포장 재료이나 FWD의 경우 표면처짐 측정을 위해 재하 하는 하중이 크기 때문에 박층용 포장을 적용한 교량에 영향을 줄 수 있으며 전체 포장에 생기는 진동으로 인해 측정결과에 영향을 미칠 수 있고, 장소의 제약이 많은 것이 단점이다. 그에 비해 하중이 작고, 운반이 용이한 LWD (Light Weight Deflectometer)는 세밀하게 구간을 나누어 포장 표면처짐 측정이 가능하다. LWD에 의해 측정된 처짐과 하중을 통해 FWD와 마찬가지로 역산프로그램을 사용하여 덧씌우기 두께 산출 및 부족한 지지력을 평가할 수 있으나, 반복적인 변수 입력, 해석 절차의 불편함과 포장 해석 시간 및 포장 하부의 정보를 필요로 하여 불편함이 가속되고 있다. 따라서 본 연구는 현장에서 신속, 간편하게 포장의 파손상태를 평가하기 위해 정상 구간에 대한 온도별 표면처짐 기준을 제시하였다.

2. 에폭시 아스팔트 혼합물

에폭시 아스팔트 혼합물은 고내구성과 유연성을 지니고 있는 물질로 에폭시 수지와 경화제를 골재와 섞은 혼합물이다. 근본적으

로 아스팔트를 열경화성으로 바꾸고 아스팔트에 새롭고 우수한 물리 역학적 특성을 갖게 한다(Huang, 2003). 초기 공사비용이 크고, 혼합물이 완전하게 양생되는데 약 30~60일 정도 소요되지만, 양생시간 없이도 일반 아스팔트에 준하는 내구성을 보여 빠른 시간내 차량 통행이 가능하며 공용수명이 30년 이상이라는 보고도 있듯이 특수 포장용으로 사용하기에 적합한 혼합물이다. 에폭시 아스팔트는 양생이 완료된 후 미살안정도가 45kN으로 일반 가열아스팔트 8~10kN에 무려 4~5배 가량 큰 내구성을 보인다(Jang, 2012). 또한 고온시 소성변형과 저온 균열에 대한 저항성도 뛰어나며, 동일 응력 하에서 일반 아스팔트 수명보다 10~30배 길다. 실례로 Chemco systems사의 보고에 따르면 샌프란시스코 오클랜드 베이 브리지는 1969년에 에폭시 아스팔트가 포장된 이후로 교통량이 많았음에도 불구하고 30년이 지나도록 공용성을 유지한 기록이 있다(Chemco systems, 2012). 에폭시 아스팔트는 현재 가장 주목받고 있는 특수 포장으로 유연성과 휨 추중성이 뛰어나 일반 아스팔트에 비해 신축, 팽창, 진동, 처짐에 민감한 반응을 보여 LWD 측정시 정밀한 정보를 얻을 수 있기 때문에 본 연구 진행에 있어 적합한 재료이다.

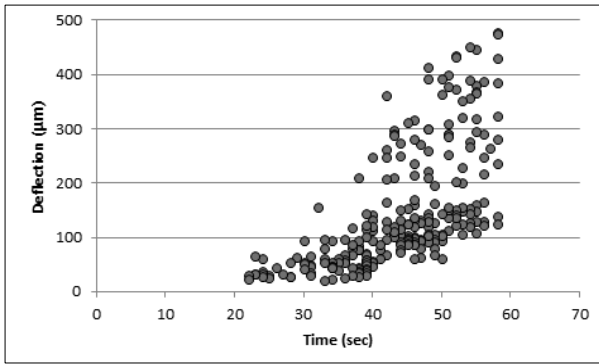
3. LWD 측정

하중조건에 의한 응력-시간이력과 변형률-시간이력 비교시 FWD는 포장 구조체에 가해지는 차량하중조건을 가장 잘 나타낼 수 있다(Bohn et al., 1972). LWD는 FWD의 소형화된 모델로 간편성과 신속성을 향상 시킨 장비이다. 무게추가 자유낙하 하며 포장 표면에 등분포에 가까운 하중을 가하게 된다. 하중은 1~25kN으로 무게 추를 10~15kg까지 다양하게 변화시킬 수 있다. 이때 가해진 충격력은 완충기와 재하판을 통해 표면으로 전달되고 변위계로 재하판 중앙에서의 표면처짐을 측정하게 된다. ASTM E 2583-07 기준에 따라 시간 의존적 차량 이동 하중 영향을 고려하여 0.03sec의 단위로 일정 하중에 대한 변위를 측정 하였다.

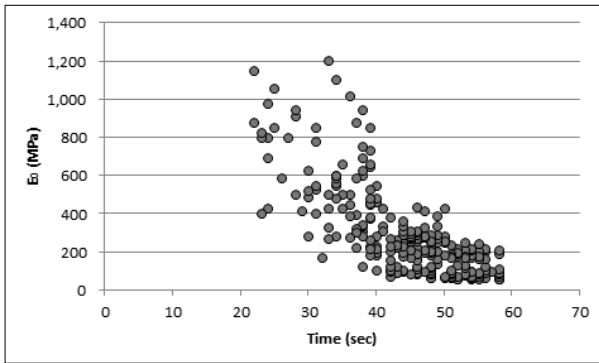
3.1 표면 처짐 측정

강바닥판 교량의 교면포장으로 포설된 5cm 에폭시 아스팔트 포장 표면에서 표면처짐을 측정하였다. 측정은 여름철 오전 7시부터 오후 6시까지 진행하여 포장 표면의 온도가 20~60°C까지 다양하게 분포하였으며, 차량 하중에 주로 영향을 받는 휠패스(Wheel-Pass) 구간에서 수행하였다. LWD에 의해 재하되는 하중은 에폭시 아스팔트의 뛰어난 응력 흡수 및 하중 분산으로 포장 하부로 전달되는 하중이 작고, 강성이 큰 강바닥판으로 LWD의 작은 하중에 의한 영향을 고려하지 않고 측정이 가능하다.

Fig. 1은 온도별 LWD에 의해 측정된 표면처짐(Surface Deflection)



(a) Results of Surface Deflection Measurement



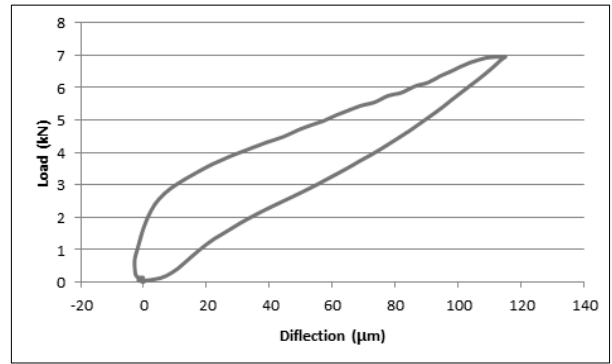
(b) Results of E_0 Measurement

Fig. 1. Results of LWD Test

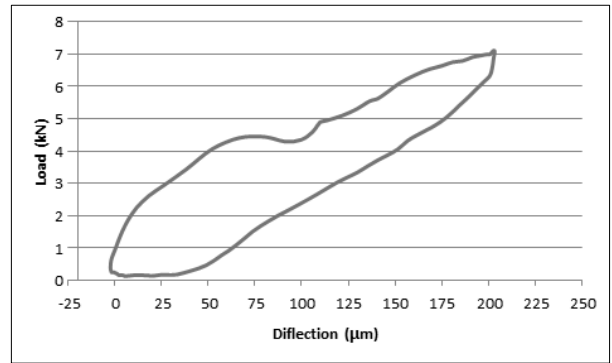
과 표면처짐 탄성계수(Surface Deflection Modulus, E_0)를 나타낸다. 약 7kN의 하중을 재하하여 육안 관찰시 정상 지점 및 포장 표면에서 파손이 관찰된 지점까지 모두 표면처짐을 측정하였다. 30°C미만 에서는 처짐의 변화 폭이 크지 않았으나, 고온으로 갈수록 낮아진 강성과 파손 지점의 영향으로 점차 넓은 변화 폭을 보이며 60°C에서는 92~565 μm 의 표면처짐이 측정되었다. 이는 일반 아스팔트와 같이 에폭시 아스팔트 혼합물도 온도에 대한 영향이 크고, 저온으로 갈수록 강성을 띄는 것을 알 수 있다. 또한 고온시에는 탄성이 감소하여 포장 상태에 따라 재하 하중에 민감하게 반응하는 것을 보이고 있다. 표면처짐 탄성계수는 LWD에 의해 측정된 하중과 표면처짐을 Boussinesq의 방정식을 통해 산출 하였다.

3.2 하중-변위 선도 측정

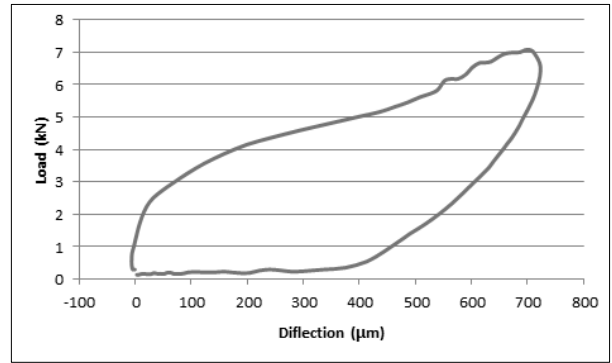
LWD의 역산프로그램 Dynatest LWDmod를 사용하여 하중과 변위 이력에 대한 하중-변위 선도(Hysteresis)를 나타낼 수 있다. 아스팔트 혼합물은 점탄성 재료로 최대 하중과 최대 변위 사이 위상차가 존재하여 하중-변위 선도가 길쭉한 고리 형태를 보인다. Fig. 2는 강바닥판 교면포장으로 사용된 에폭시 아스팔트에서 나타난 하중-변위 선도 개형을 나타낸 것으로 크게 3종류로 나뉜다. (a)형은 주로 표면처짐 약 150 μm 이하에서, (b)형은 120~180 μm



(a) Surface Deflection 150 μm Less



(b) Surface Deflection 120~180 μm



(c) Surface Deflection More Than 200 μm

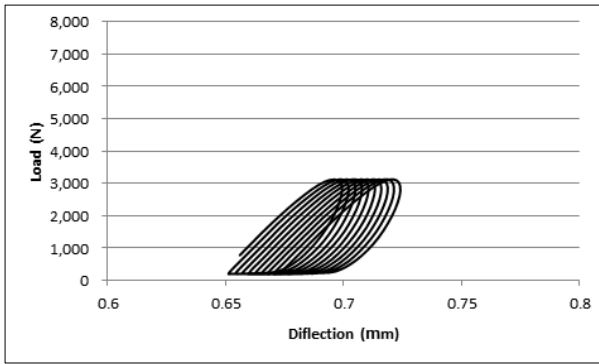
Fig. 2. Hysteresis Loop of LWD

구간에서 관찰할 수 있었다. (c)형은 모두 200 μm 이상에서 보이는 하중-변위 선도이다. 120~150 μm 구간에서는 (a)형과 (b)형 모두 관찰되는 지점으로 표면처짐의 증가가 하중-변위 선도 개형 변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

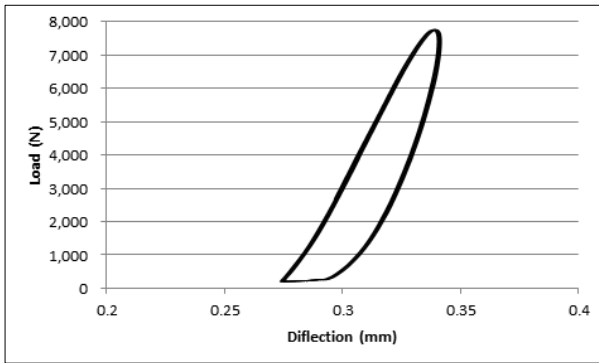
4. 에폭시 아스팔트 표면처짐 기준 설정

4.1 회복탄성계수 실험

회복탄성계수 측정 방법은 간접인장강도 실험을 통해 얻어진 파괴 하중의 20%만을 반복적으로 재하 하여 측정하였으며, 하중



(a) Conventional Asphalt Mixture



(b) Epoxy Asphalt Mixture

Fig. 3. Hysteresis Loop of Resilient Modulus

반복재하 횡수는 ASTM 4123기준에 따라 실험하였다. 에폭시 아스팔트의 특성을 파악하기 위해 35°C에서 일반 아스팔트와 비교하였다. Fig. 3은 회복탄성계수 실험에서 측정된 하중-변위 선도이다. 일반 아스팔트의 경우 반복하중에 의해 변위가 회복되지 않고 잔류변형이 남아 변위가 지속적으로 커지고 있으며, 에폭시 아스팔트는 일반 아스팔트에 비해 2배 이상의 하중을 사용하였으나 소성변형 및 잔류변형 없이 탄성적인 변형을 보여 정상 거동 상태로 해석해도 무리가 없을 것으로 나타났다.

4.2 정상 처짐 범위 결정

회복탄성계수 실험은 반복되는 하중으로 발생하는 탄성변형과 소성변형의 누적 변위를 측정한다. 그러나 에폭시 아스팔트의 특성인 높은 탄성은 회복탄성계수 실험시 재하되는 반복하중에도 잔류

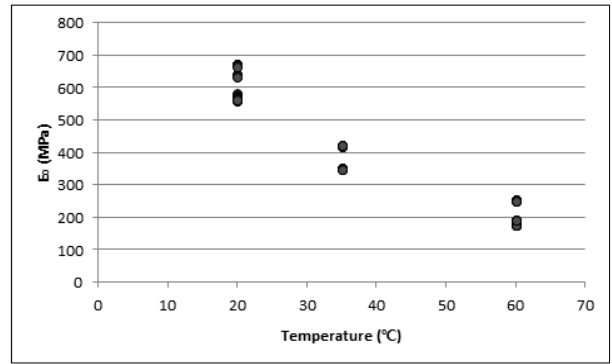


Fig. 4. Surface Deflection Modulus Calculation Results

및 소성변형 없이 일정한 변위를 유지하여 정상 거동 상태로 평가하기에 무리가 없다. 또한, 하중 재하 시간 및 조건이 LWD와 유사하여 측정된 하중과 변위를 통해 정상 처짐 범위 결정에 활용 하였다. 현장에서 발생하는 아스팔트 포장 온도 영역을 고려하여 20, 35, 60°C로 나누어 회복탄성계수 실험을 수행하였으며, 측정된 하중과 변위 결과를 통해 LWD 역산프로그램을 사용하여 Fig. 4와 같이 온도별 표면처짐 탄성계수를 산정하였다.

SIGMA 이론을 통해 온도별 다양성과 같은 온도 및 조건이라 할지라도 나타나는 오차를 고려하여 적정 품질 기준 구간을 설정하였다. 통계적 관점에서의 SIGMA의 의미는 변동을 뜻하는 표준편차로 사용될 때도 있으나 프로세스의 질을 나타내는 척도를 뜻하며 보통 ‘몇 시그마 수준’이라 함은 결함이 없는 작업을 수행 할 수 있는 프로세스의 능력을 정량화 한 값이라고 말할 수 있다(Jeon, 2013). 이는 품질 성능을 동일한 척도로 바꾸어 비교할 수 있는 기준을 제공해 준다.

본 연구에서는 도로 이용자의 안전과 연결된 기준 제시이므로 보수적인 평가를 위해 SIGMA의 1σ 단계를 도입하여 불량품 구간 즉, 파손 상태 구간 범위를 제안한다. 탄성계수 및 처짐에 대한 결과를 가장 객관적으로 대표할 수 있는 평균값을 중심으로 안전율을 적용하여 15.866%를 기준으로 추세를 통해 온도별 정상 범위를 정의한다. Table 1은 회복탄성계수에 의해 측정된 하중과 변위를 표면처짐 탄성계수로 변환하여 Z-분포 형태로 변형한 것이다.

Table 1. Converting the Results Scores to Z Scores

Content		20°C		35°C		60°C	
		Xi	Z	Xi	Z	Xi	Z
Converted Surface Deflection Modulus	1	671.54	-1.41	349.44	0.99	192.19	0.46
	2	672.32	-1.42	349.90	0.97	192.55	0.45
	3	672.10	-1.42	350.31	0.96	192.76	0.45

Table 1. Converting the Results Scores to Z Scores (Continue)

Content	20°C		35°C		60°C		
	Xi	Z	Xi	Z	Xi	Z	
Converted Surface Deflection Modulus	4	672.35	-1.42	350.73	0.95	192.90	0.44
	5	671.64	-1.41	350.52	0.96	192.87	0.44
	6	671.05	-1.40	350.35	0.96	192.79	0.45
	7	670.33	-1.38	350.45	0.96	192.57	0.45
	8	668.96	-1.35	349.72	0.98	192.36	0.46
	9	666.85	-1.31	349.11	0.99	192.01	0.47
	10	665.34	-1.28	348.20	1.02	191.17	0.49
	11	576.29	0.54	423.76	-1.02	254.67	-1.41
	12	573.83	0.59	423.96	-1.02	254.70	-1.41
	13	571.34	0.64	423.87	-1.02	254.38	-1.41
	14	568.10	0.71	423.43	-1.01	254.08	-1.40
	15	565.03	0.77	422.66	-0.99	253.57	-1.38
	16	563.70	0.80	422.04	-0.97	252.96	-1.36
	17	562.84	0.81	421.29	-0.95	251.95	-1.33
	18	561.74	0.84	419.93	-0.91	251.13	-1.31
	19	560.50	0.86	419.78	-0.91	251.28	-1.31
	20	558.90	0.89	420.71	-0.94	251.81	-1.33
	21	581.71	0.43			178.51	0.88
	22	579.93	0.46			178.04	0.89
	23	577.52	0.51			177.61	0.90
	24	575.25	0.56			177.07	0.92
	25	572.37	0.62			176.77	0.93
	26	569.20	0.68			176.97	0.92
	27	565.96	0.75			177.24	0.91
	28	565.31	0.76			177.34	0.91
	29	564.20	0.79			177.39	0.91
	30	563.17	0.81			177.14	0.92
	Average	602.65	0.00	386.01	0.00	207.63	0.00
	Standard Deviation	48.95		37.09		33.27	

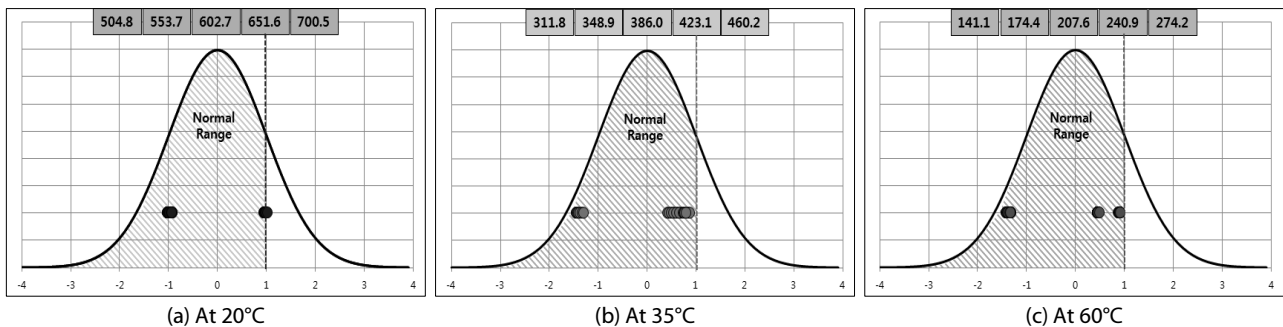


Fig. 5. 1 SIGMA Range of E₀ by Temperature

Fig. 5는 Z-분포 형태로 변형 하였을 때 1σ 구간을 나타낸 것으로 20°C에서는 651.6MPa 이하, 35°C에서는 423.1MPa 이하, 60°C에서는 240.9MPa 이하로 산출되었다. 파손이 발생하지 않은 정상적인 에폭시 아스팔트 공시체에 대하여 회복탄성계수를 측정 한 결과가 정상범위에 들어가지 못하는 것은 SIGMA 이론에서의 통계적 개념으로 불량률(여기서는 파손구간)을 확률로 환산하여 나타난 것으로 측정 데이터의 분산정도에 의해 나타난 결과이다. 따라서 이는 확률에 따른 기준으로 범위가 매우 제한적일 수는 있으나, 도로 이용자 측면에서 안전성과 편의성을 고려한다면 안전을 차원에서 보수적인 평가가 이루어지는 것이 옳다고 판단된다.

Fig. 6은 SIGMA 이론을 통해 제시된 표면처짐 탄성계수 범위에 추세를 적용한 그래프이다. Table 2는 이를 표면처짐으로 환산한

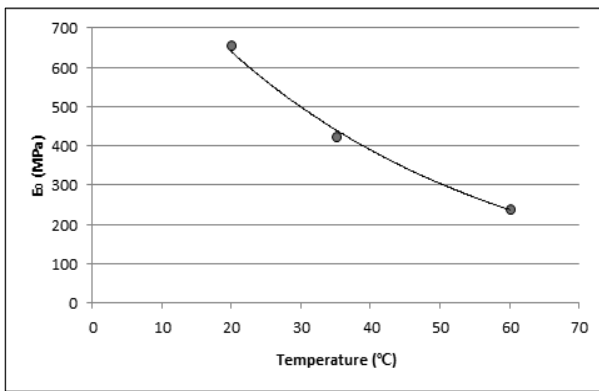


Fig. 6. Normal Range of E_0 by Temperature

Table 2. Normal Range of Surface Deflection by Temperature

Normal Range of Surface Deflection	Deflection (μm)				
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
$26.816 e^{(0.029 T)}$	47.9	64.0	85.5	114.3	152.8

*T : Temperature

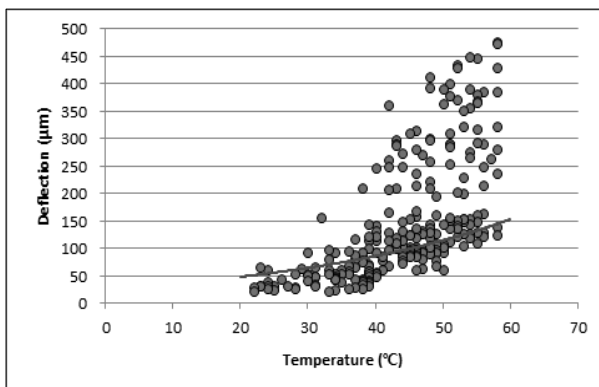


Fig. 7. Comparison between Normal Range and Surface Deflection

온도별 정상 표면처짐 구간을 나타내며, Fig. 7은 현장에서 측정된 LWD 결과와 함께 나타낸 것으로 현장에서 파손 구간의 유무를 신속하게 파악할 수 있다. 5cm 에폭시 아스팔트 포장의 20°C에서는 정상 처짐 범위가 $47.9\mu\text{m}$ 이하, 35°C에서는 $74.0\mu\text{m}$ 이하, 60°C에서는 $152.8\mu\text{m}$ 이하이다. 회복탄성계수 측정 결과와 마찬가지로 온도에 의해 영향이 많으며 고온으로 갈수록 높아지는 점성과 에폭시 아스팔트의 특징인 높은 탄성으로 인해 하중에 의한 처짐이 민감해 지는 것으로 판단된다. 이 범위는 높은 탄성을 지닌 5cm 에폭시 아스팔트 혼합물에 한정적인 범위로 포장 두께 변화시 동일한 방법을 통해 온도별 처짐 정상 범위 제시가 가능하다.

4.3 하중변위 선도 개형 설정

Chen (2013)의 연구에서는 3-D FEM 해석을 통해 하중-변위 선도 개형을 제시하였다. Fig. 8은 본 연구에서와 동일한 조건인 강바닥판 교면포장으로 에폭시 아스팔트를 적용하여 일축 차량 통과 시 하중-변위 선도를 시뮬레이션 하였다. 이를 통해 정상 구간의 하중-변위 선도 개형은 변곡점 없이 길쭉한 고리모양의 Fig. 2(a)임을 알 수 있다.

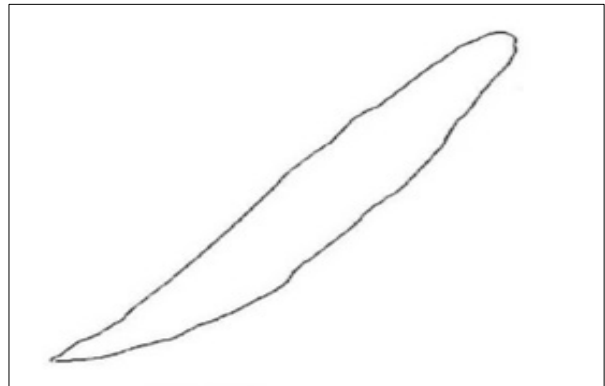


Fig. 8. Quoted Hysteresis Loop from Chen's Study

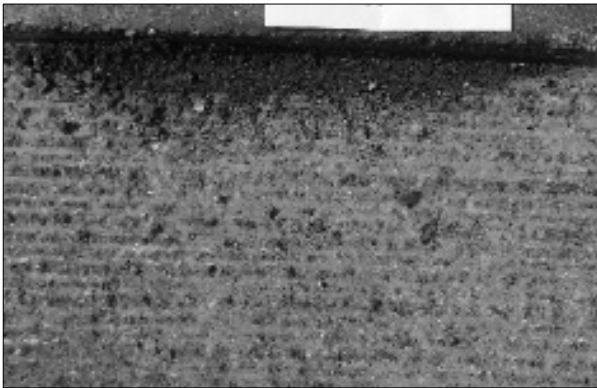
5. 현장평가

기존의 적합성을 확인하기 위해 LWD에 의해 측정된 표면처짐 결과와 하중-변위 선도 개형을 바탕으로 포장층 내부 상태를 평가하였다. 측정 지점이 가장 많은 포장 온도 60°C에서의 표면처짐을 통해 1차 분류를 수행하였으며, (a)형의 하중-변위 선도를 확인하여 2차 분류를 진행하였다. 현장 여건과 도로 이용자의 편의를 위해 표면처짐 별 열 지점씩 포장 내부 상태 확인 지점을 선별 하였고, $200\mu\text{m}$ 이상의 표면처짐이 발생지점에 대해서는 모두 절삭을 통해 포장 상태를 평가하였다.

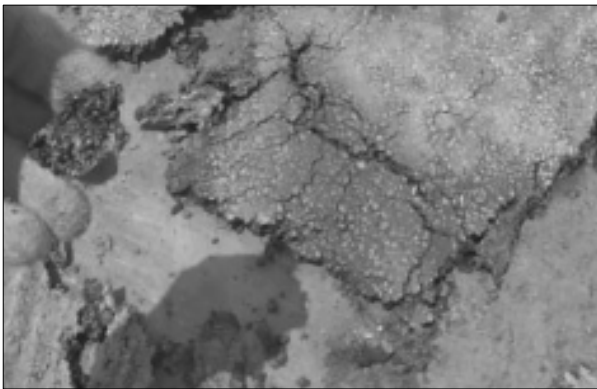
정상 구간으로 추정되는 110, $140\mu\text{m}$ 와 파손구간으로 정의된



(a) At 110 and 140 μ m



(b) At 140 and 170 μ m



(c) At 200 μ m over

Fig. 9. Pavement Condition about Surface Deflection

170 μ m와 200 μ m 이상의 표면처짐 발생 부위의 포장 내부 상태를 우선 확인하였다. Fig. 9는 표면처짐별 포장층 내부 상태로 (a)의 표면처짐 110 μ m 모든 지점과 140 μ m 일부 지점에서는 정상 구간으로 확인 되었다. 140 μ m 일부와 모든 170 μ m 지점 (b)에서는 워터블리딩, 층간 수분이 침투 및 접착상태가 저하된 것을 확인 할 수 있었으며, 200 μ m 이상의 처짐을 보인 (c)구간에서는 하부층 완전 파손, 층간 및 상판과의 접착력 저하를 관찰할 수 있었다.

표면처짐 140 μ m의 경우 정상 구간으로 기준이 설정 되었으나

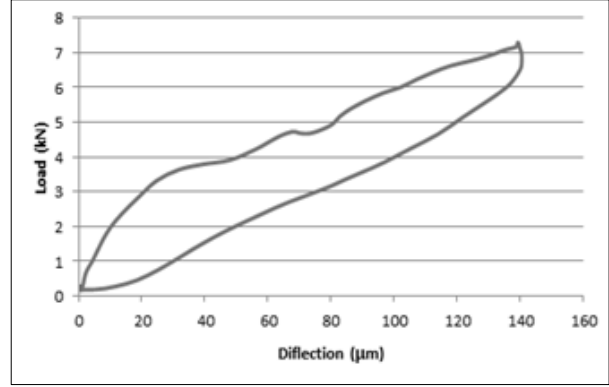
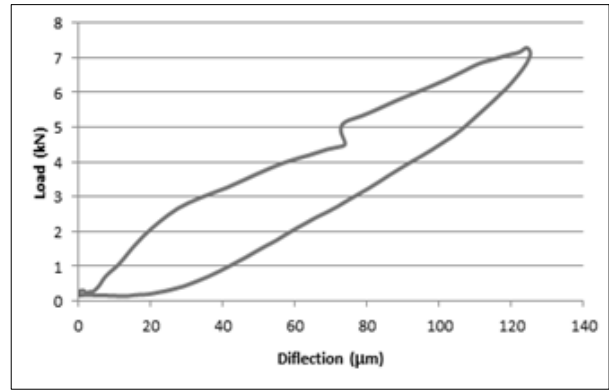


Fig. 10. Hysteresis Loop of areas Observed Failure inside Epoxy Asphalt Concrete at 140 μ m

일부 구간에서 블리딩과 수분 침투, 접착성능 저하 구간이 발견되었다. 이에 대하여 하중-변위 선도를 통해 2차 분류를 진행한 결과 내부 파손이 발견된 일부 구간에서는 Fig. 10과 같이 (b)형의(변곡점을 가지고 있는 하중-변위 선도) 그래프가 관찰되었다. 따라서 LWD를 통해 현장에서 포장 내부 상태 평가를 수행하기 위해서는 SIGMA 이론을 적용하여 제시된 표면처짐 기준과 하중-변위 선도 개형 확인 시 높은 정확성을 보이는 것으로 확인 되었다.

6. 결론

본 연구는 비파괴 시험인 LWD 시험을 통해 공용중인 도로에 파손 없이 현장에서 내부 파손 상태를 확인하고자 온도별 정상 표면처짐 기준을 설정하였다. 차량의 시간 의존적 이동하중 모사가 가능한 반복하중재하 실험을 통해 에폭시 아스팔트 혼합물의 하중과 변위를 측정하였다. 이를 SIGMA 이론에 적용하여 정상 구간 표면처짐 기준을 제시하였으며, 현장 평가를 통해 신뢰성을 검증하였다.

(1) LWD를 통해 강바닥관 교량에 사용된 두께 5cm의 에폭시 아스팔트 처짐을 측정하였다. 접탄성 거동을 하는 아스팔트

혼합물의 특성으로 저온에서는 혼합물의 높은 강성에 의해 표면처짐과 그 범위가 작게 나타났다. 고온이 됨에 따라 유동적으로 변하여 점성거동을 보여 표면처짐과 범위가 증가하였다. 이에 따라 40°C 이상에서는 처짐 범위가 명확한 차이를 보여 고온에서 LWD 실험을 수행하는 것이 효율적인 것으로 나타났다.

- (2) 회복탄성계수 시험결과를 표본 삼아 품질관리 이론중 하나인 6 SIGMA를 통해 안전을 또는 정상구간 범위를 산정하였다. 도로 이용자의 안전을 고려한 보수적인 평가를 위해 1 SIGMA를 사용하였다. 고온으로 갈수록 강성이 낮아져 재하 하중에 민감하게 반응하여 변위의 분산 범위가 커졌다. 그 결과 60°C에서 정상 표면처짐 기준이 152.8 μ m 이하로 나타났다.
- (3) LWD 실험에서 측정된 처짐 결과를 바탕으로 에폭시 아스팔트 포장을 절삭하여 내부 상태를 확인하였다. 60°C에서 측정된 결과를 기준으로 약 110, 140, 170 및 200 μ m 이상의 처짐이 발생한 구간에 대해 포장 내부 상태를 확인한 결과 표면처짐 110 μ m 구간에서는 포장 내부에서 파손 및 결함을 발견하지 못하였다. 140 μ m 일부 구간과 170 μ m 이상의 처짐이 측정된 구간에서는 층간 수분 침투, 교량 상판과의 접착력 저하 및 하부층 완전 파손이 관찰되었다. 140 μ m에서 일부 내부 파손 상태가 관찰 되었으나 하중-변위 선도와 함께 비교 결과 변곡점이 발견된 구간이었다. 표면처짐과 하중-변위 선도를 통해 현장에서 포장 내부 상태 평가시 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2015학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

References

- ASTM D4123-82 (2003). Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures.
- ASTM E2583-07 (2011). Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD).
- Bohn, A., Ullidtz, P., Stubstad, R. and Sorensen, A. (1972). Danish experiments with the french falling weight deflectometer, proceedings, 3rd international Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, Ann Arbor, pp. 1119-1128.
- Chemco systems (2012). http://www.chemcosystems.com/epoxy_info.html
- Chen, X., Liu, X., Qian, Z. and Lei, Z. (2013). State-of art of Asphalt surfacings on long-spanned orthotropic steel deck in China, National Natural Science and Foundation of China.
- Huang, W., Qian, Z., Chen, G. and Yang, J. (2003). "Epoxy asphalt concrete paving on the deck of long-span steel bridges." *Chinese Science Bulletin* 2003, Vol. 48, No. 21, pp. 2391-2394.
- Jang, J. S. (2012). Laboratory performance and field application of epoxy asphalt mixture for long-span bridge, MSc Thesis, Kyonggi University.
- Jeon, J. S. (2013). A study on improvement of performance standards of self-adhesive waterproofing sheet, MSc Thesis, Seoul National University of Science and Technology.