



차량의 이동 하중과 횡방향 이격거리가 아스팔트 콘크리트 포장의 현장 거동에 미치는 영향 평가

An Evaluation of Moving Load and Wandering Effects on Asphalt Concrete Pavement Behavior

조명환* 박창우** 서영국*** 김낙석****
 Cho, Myung-hwan Park, Chang-woo Seo, Youngguk Kim, Nakseok

1. 서론

아스팔트 콘크리트 포장 설계에서 사용되고 있는 설계인자인 응력과 변형률은 차량 하중에 의해 발생하며, 이때 차량 하중은 타이어와 포장 표면 사이에서 발생하게 된다. 이러한 차량 하중은 전통적으로 하중 속도를 고려하지 않는 정적 하중으로 가정하여 포장 설계를 위한 하중으로 사용하게 된다(Westergaard, 1925; Huang, 2004). 그러나 실제 공용상태의 아스팔트 콘크리트 포장에서 발생하는 응력과 변형률은 정적 상태의 하중이 아니라 속도를 가지고 이동하는 동적 상태를 보이며, 이때의 접지면적과 접지압력도 기존의 가정과 틀리다는 여러 연구가 보고되고 있다. 또한 정적 상태의 차량 하중은 접지면적과 접지압력 뿐만 아니라 아스팔트 콘크리트 포장 재료의 점탄성 재료 특성과 맞물려 실제 거동과 수치해석 결과의 차이를 발생시키게 된다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 포장 설계에 사용되는 차량 하중을 현실화하기 위한 연구가 1970년대 초반부터 이루어져오고 있지만(Myers et al, 1999; Pezo et al., 1989; Sebaaly, P.E, and Tabatabaee, 1989) 현장에서 발생하는 포장의 실제 거동에 대한 연구는 아직도 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 한국도로공사 시험도로의 아스팔트 콘크리트 포장 구간(A5 단면과 A8 단면)에 대하여 동적하중 재하시험을 수행하고, 동적하중에 의한 현장거동을 분석함으로써 포장 기술자에게 현장 거동 특성에 대한 제반 지식을 제공하고자 한다.

2. 동적하중 재하시험

2.1 시험 위치

아스팔트 콘크리트 포장의 현장 거동은 동적하중 재하시험을 통하여 수행하고자 하며, 시험 대상 도로는 현장의 접근성과 안전성을 고려하여 한국도로공사 시험도로에서 수행하고자 한다. 한국도로공사 시험도로는 포장 구조체의 단면 특성과 사용 재료에 따라서 여러 단면으로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 A5 단면과 A8 단면을 동적하중 재하시험 대상 구간으로 선정하였다. 본 연구에서 동적하중 재하시험 대상구간으로 선정한 A5 단면과 A8의 단면 정보를 <표 1>과 <그림 1>에 나타내었으며, <표 1>과 <그림 1>을 살펴보면 두 단면의 차이는 동일한 층간 재료를

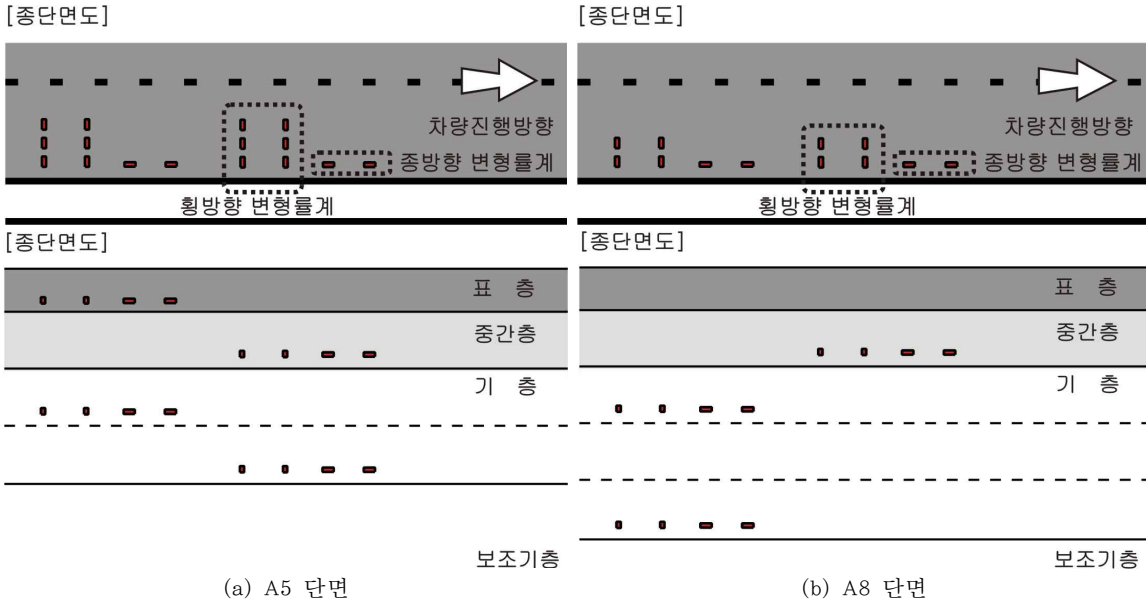
* 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 선임연구원 · 공학박사 · 02-2050-6226 (E-mail : dragonjo@dohwa.co.kr)
 ** 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원 · 공학석사 (E-mail : tanwoo@kict.re.kr)
 *** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail : seoyg89@ex.co.kr)
 **** 정회원 · 경기대학교 토목환경공학부 교수 · 공학박사 · 031-249-9710 (E-mail : nskim1@kyounggi.ac.kr)



사용하여 재료의 차이는 없다. 다만 기층의 두께를 변수로 사용한 것을 알 수 있다. 또한 <그림 1>을 살펴보면 A5 단면과 A8 단면에는 표층, 중간층 그리고 기층에 대하여 ‘L’ 형태로 변형률계가 매설되어 있으며, 차량의 진행 방향에 대하여 종방향과 횡방향으로 구분하여 변형률을 측정 할 수 있도록 되어있는 것을 알 수 있다.

<표 1> A5 단면 및 A8 단면의 구조적 특징

구분		표층	중간층	기층	보조기층	선택층
A5 단면	층 두께(cm)	5	7	18	30	30
A8 단면	층 두께(cm)	5	7	28	30	30



<그림 1> A5 단면 및 A8 단면의 변위계 위치

2.1 시험 방법

동적하중 재하시험은 15톤 3축 덤프트럭을 사용하였다. 이때 시험 차량의 목표 운행 속도는 50Km/h 와 80Km/h로 하였으며, 변형률계와 차량의 이격거리와 차량의 실제 운행 속도는 피에조 센서 측정방식을 사용하여 <그림 2>와 같이 측정 하였다. 피에조 센서 측정방식은 종래의 비디오 판정 방식, 수계측 판정방식과는 다른 실시간 계측 방식으로써, 센서와 연결된 컴퓨터에 실시간으로 주행 차량의 이격거리를 수신하고 저장되는 방식이다. 차량의 이격거리 측정 시스템은 윈더링 측정센서, 연결케이블, 데이터 로거, 휴대용 컴퓨터로 구성되어 있으며, <그림 3>에 피에조 센서 측정 방식에 대한 개략도를 나타내었다. 피에조 센서 측정방식은 수직센서와 경사센서의 위상차로 주행하중의 위치를 추적하게 되며, 수직센서와 경사센서(45°)의 거리로 주행속도를 알 수 있는 방식이다. 피에조 센서를 포장도 위에 설치할 때 길어깨(아래방향)쪽을 기준으로 거리를 측정하였으며 1번과 3번 센서는 속도를 2번과 4번 센서는 이격거리를 측정하는데 사용되어진다. 차량의 주행속도는 진입지점과 진출지점을 구분하여 각각 센서를 설치하여 위상차 및 지점 거리를 이용하여 진입속도, 진출속도 그리고 수행속도를 산정할 수 있다. 이때 각각의 속도는 식 (1), (2) 그리고 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다(김낙석 등, 2006).



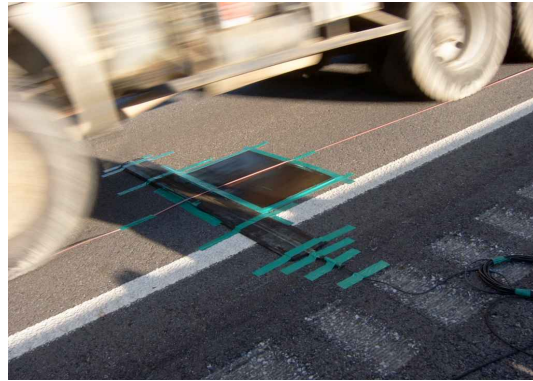
$$\frac{(\text{측거})}{(\text{1번 센서 피크 인터벌})} = (\text{속도})\text{m/s} = 3.6 \times (\text{속도})\text{Km/h} \quad (1)$$

$$\frac{(\text{측거})}{(\text{3번 센서 피크 인터벌})} = (\text{속도})\text{m/s} = 3.6 \times (\text{속도})\text{Km/h} \quad (2)$$

$$\frac{(\text{원더링 센서거리})}{(\text{1번 센서 3번 센서 피크인터벌})} = (\text{속도})\text{m/s} = 3.6 \times (\text{속도})\text{Km/h} \quad (3)$$

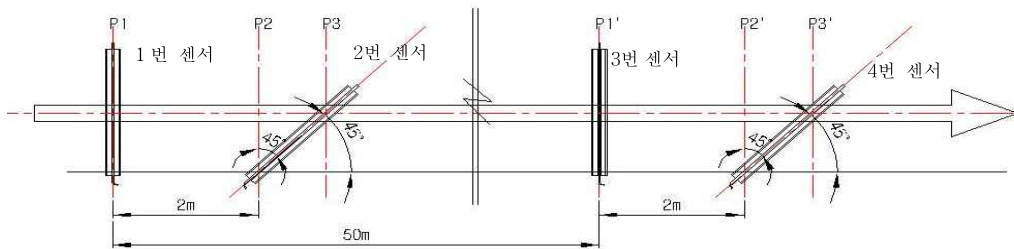


(a) 피에조 센서 설치 모습



(b) 동적하중 재하시험 모습

〈그림 2〉 동적하중 재하시험



〈그림 3〉 피에조 센서 측정방식 개략도

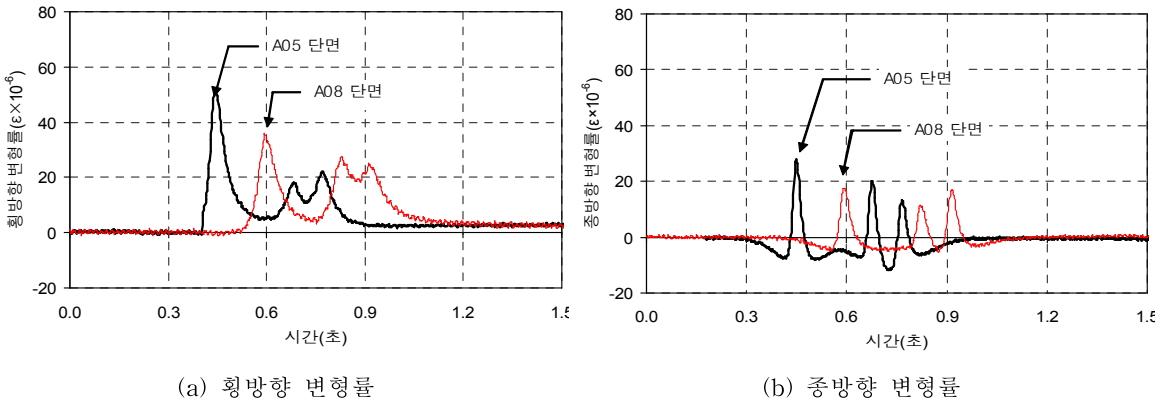
3. 실험 결과 및 분석

3.1 시간 변화에 따른 수평방향 변형률의 이방성

동적하중 재하시험으로부터 얻어진 현장 거동을 〈그림 4〉에 시간이력에 대한 수평변형률로 나타내었으며, 이때 수평변형률은 차량이 변형률로 접근함에 따른 이방성(방향성)을 확인하기 위하여 횡방향 변형률과 종방향 변형률로 구분하였다. 여기서 횡방향 변형률은 차량 진행방향에 대하여 직각 방향을 의미하며, 종방향 변형률은 차량의 진행 방향을 의미한다. 이때 각 변형률의 측정 위치는 〈그림 1〉의 아스팔트 콘크리트 층 하부(기층 하부) 변위계로부터 측정된 것으로 A5 단면은 표층 표면으로부터 27cm 위치이고, A8 단면은 표층 표면으로부터 37cm 위치에서 측정되었다.

시간 변화에 따른 수평방향 변형률을 나타낸 〈그림 4〉를 살펴보면 차량이 각 단면의 변형률계로 접근함에 따라 수평변형률의 횡방향과 종방향(이방성)에 따라서 확연히 다른 거동을 보여주는 것을 알 수 있다. 〈그림 4(b)〉는 차량의 진행에 따라 발생하는 횡방향 변형률을 나타낸 것으로 차량이 변형률계로 접근하면서 변형률의 크기가 점진적으로

증가하다 최대인장변형률이 발생한 이후 점진적으로 감소하는 형태를 보여주고 있다. 그러나 종방향 변형률을 나타낸 <그림 4(b)>의 경우 차량이 변형률계로 접근함에 따라 압축변형률이 발생한 후 점진적으로 최대인장변형률이 발생하고, 차량이 변형률계로부터 멀어지면서 다시 압축변형률이 발생하는 형태를 보여주고 있다. 이러한 변형률의 이방성은 차량이 변형률계의 상부를 통과한 후 횡방향 변형률이나 종방향 변형률 모두 잔류 변형률의 영향으로 1축의 영향이 2축 및 3축으로 전달되지만 횡방향 변형률의 경우는 인장 변형률이 전달되며, 종방향 변형률의 경우는 압축변형률이 전달되는 것을 알 수 있다. 따라서 아스팔트 콘크리트 포장의 설계나 설계기준을 개발할 경우 차축의 위치와 변형률의 이방성의 영향이 함께 고려되어야 할 것으로 사료된다.



<그림 4> 이동하중에 따른 현장 거동(50 km/hr)

3.2 수평방향 변형률의 최대 크기와 이방성의 영향

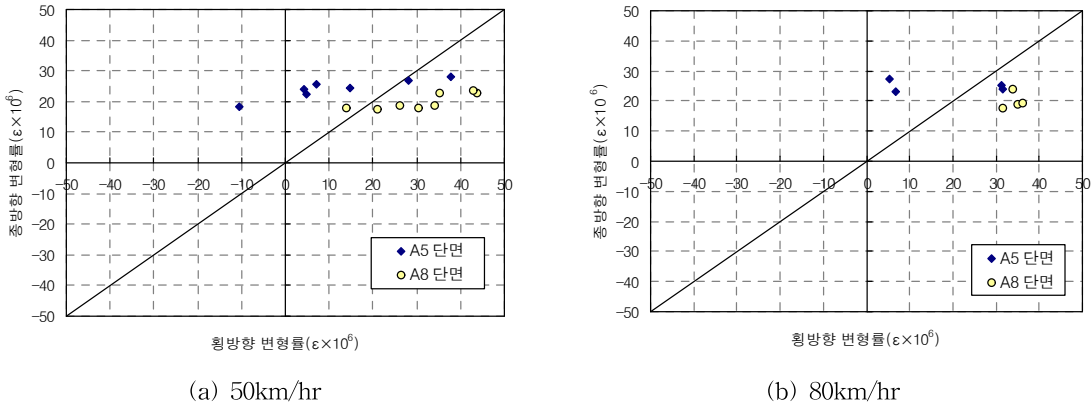
동적하중 재하시험결과로부터 아스팔트 콘크리트 층 하부에서 발생하는 수평변형률의 이방성(방향성)을 전 절의 <그림 4>로부터 확인할 수 있었으며, 본 절에서는 수평방향 변형률의 이방성을 보다 명확하게 확인하기 위하여 <그림 5>에 시간과 이격거리의 영향을 제거하고 차량의 목표 운행속도별로 횡방향 변형률에 대한 종방향 변형률의 그래프를 나타내었다. 횡방향 변형률에 대한 종방향 변형률의 크기비를 나타낸 <그림 5>를 살펴보면 A5 단면의 변형률이 전반적으로 A8 단면보다 큰 것을 알 수 있으며, 이러한 크기 차이는 A8 단면 두께가 A5 단면보다 두껍기 때문이다. 그러나 A5 단면과 A8 단면의 두께 영향을 제외하고 <그림 5>를 살펴보면 두 단면 모두 횡방향 변형률에 대한 종방향 변형률이 수평축과 거의 평행한 것을 알 수 있으며, 이러한 경향으로부터 수평방향 변형률의 이방성에 따른 크기 비가 일정하지 않고 횡방향 변형률의 크기에 대하여 변화한다는 것을 알 수 있다.

<그림 5>에서 보여준 종방향 변형률과 횡방향 변형률의 크기 비의 차이가 크지 않은 원인을 분석하기 위하여 <그림 6>에 수평방향 변형률을 이격거리에 대하여 횡방향 변형률과 종방향 변형률로 구분하여 나타내었다. <그림 6>을 살펴보면 변형률계와 차량 하중의 이격거리가 커질수록 변형률의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 변형률의 감소폭은 수평변형률의 이방성에 따라서 서로 다른 것으로 나타났으며, 타이어의 중심축으로부터 이격거리가 발생함에 따라서 횡방향 변형률의 감소폭이 종방향 변형률보다 큰 것으로 나타났다. 따라서 <그림 6>과 같이 이격거리에 따른 횡방향 변형률과 종방향 변형률의 크기 변화량의 차이가 <그림 5>의 횡방향과 종방향 크기비의 변화율이 없는 형태로 나타난 것으로 사료된다.

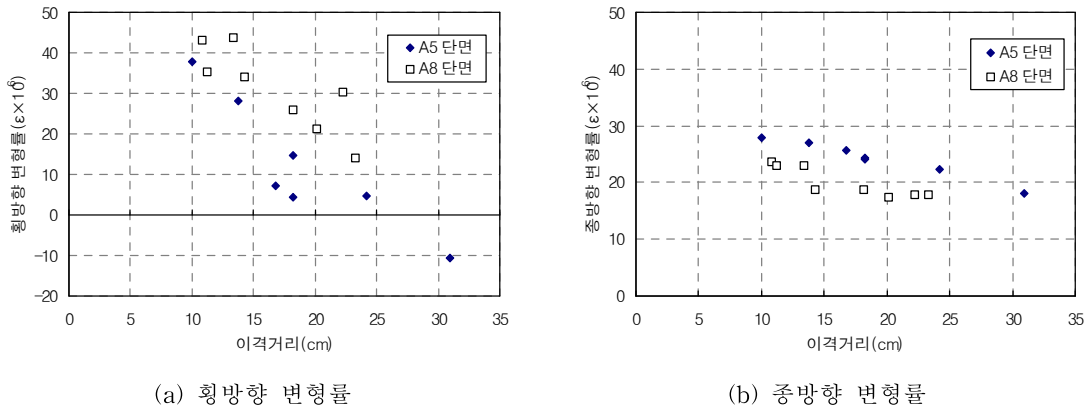
아스팔트 콘크리트 포장의 피로균열을 예측할 때 전통적으로 아스팔트 층 하부에서 발생하는 인장변형률을 사용하게 되며, 탄성재료특성을 사용한 2차원 수치해석결과를 사용하게 된다. 그러나 2차원 수치해석의 경우 본 연구에서 살펴본



수평변형률의 이방성을 고려할 수 없다. 또한 3차원 수치해석을 사용하더라도 정적해석은 차량의 동적효과를 고려하지 않기 때문에 본 연구의 현장 거동에서 보여준 이동 하중의 접근성을 고려하지 않기 때문에 수평 방향의 이방성을 정확하게 모사할 수 없을 것으로 사료된다. 따라서 아스팔트 콘크리트 포장 파손 중 최근 관심 대상인 상부에서 균열이 발생해서 하부로 전이되는 피로 균열의 정확한 메카니즘 분석이나 피로수명을 정확하게 예측하기 위해서는 본 연구의 현장 거동에서 보여준 수평방향 변형률의 이방성도 고려되어야 하며, 수평방향 변형률의 이방성을 정확하게 고려하기 위해서는 아스팔트 콘크리트 포장의 응력과 변형률을 산정할 때 3차원 수치해석만으로는 부족하며, 이동하중도 함께 고려되어야 할 것으로 사료된다.



〈그림 5〉 수평방향 변형률의 최대 크기와 이방성의 영향



〈그림 6〉 변형률 vs. 이격거리 그래프(50km/h)

4. 결론

한국도로공사 시험도로의 아스팔트 콘크리트 포장 구간에 대하여 동적하중 재하시험을 수행하였으며, 차량의 이동하중과 횡방향 이격거리에 대한 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동적하중 재하시험 결과 차량이 변형률계의 상부를 통과한 후 횡방향 변형률이나 종방향 변형률 모두 잔류 변형률



의 영향으로 1축의 영향이 2축 및 3축으로 전달되지만 수평방향 변형률의 이방성의 영향으로 횡방향 변형률은 인장 변형률이 전달되며, 종방향 변형률은 압축변형률이 전달되는 것으로 나타났다. 또한 수평변형률의 이방성(방향성)은 이동하중이 변형률계로 접근함에 따라 발생하는 변형률의 형태에도 영향을 미치며 아스팔트 콘크리트 포장의 설계나 설계기준을 개발할 경우 차축의 위치와 수평방향 변형률의 이방성 영향도 함께 고려되어야 할 것으로 사료된다.

2. 횡방향 변형률에 대한 종방향 변형률이 수평축과 거의 평행한 것을 동적하중 재하시험 결과로부터 확인하였으며, 타이어의 중심축으로부터 이격거리가 발생함에 따라 수평방향 변형률의 감소폭이 이방성에 따라서 서로 다른 것이 원인으로 사료된다. 따라서 아스팔트 콘크리트 포장 파손 중 최근 관심 대상인 상부에서 균열이 발생해서 하부로 전이되는 피로 균열의 정확한 메카니즘 분석이나 피로수명을 정확하게 예측하기 위해서는 본 연구의 현장 거동에서 보여준 수평방향 변형률의 이방성도 고려되어야 하며, 수평방향 변형률의 이방성을 정확하게 고려하기 위해서는 이동하중을 고려해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김낙석, 정진훈, 이재훈, 박창우(2006), “원더링 장비 적용을 통한 아스팔트 포장 거동 특성 연구”, 대한토목학회논문집, 대한토목학회 제26권 제1D호, pp 89-94.
2. Huang, Y.H.(2004), “Pavement Analysis and Design”, Prentice Hall, New Jersey.
3. Myers, L.A., Roque, R., Ruth, B.E., and Drakos, C.(1999), “Measurement of Contact Stresses for Different Truck Types to Evaluate Their Influence on Near-Surface Cracking and Rutting”, Transportation Research Record 1655, Transportation Research Board(TRB), National Research Council (Washington D.C.)
4. Pezo, R.F., Marshek, K.M. and Hudson, W.R.(1989), “Truck Tire Pavement Contact Pressure Distribution Characteristics for the Bias Goodyear 18-22.5, the Radial Michelin 275/80R/24.5, the Radial Michelin 255/70R/22.5, and the Radial Goodyear 11R24.5 Tires”, Research Report 1190-2F, The University of Texas at Austin, Center for Transportation Research.
5. Sebaaly, P.E, and Tabatabaee, N.(1989), “Effects of Tire Pressure and Type on Response of Flexible Pavement”, Transportation Research Record 1227, Transportation Research Board(TRB), National Research Council (Washington D.C.)
6. Westergaard, H.M.(1925) “Stresses in Concrete Pavement Computed by Theoretical Analysis”, Public Raods, Vol. 7, pp. 25-35.