

교차로 포장 소성변형 저감을 위한 해석적 연구

An Analytical Study to Reduce Plastic Deformation in Intersection Pavements

최준성	Choi, Jun Seong	정회원 · 인덕대학교 공과대학 토목환경설계학과 부교수 (E-mail : soilpave@induk.ac.kr)
이강훈	Lee, Kang Hun	정회원 · 인하대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (E-mail : smileo16@hanmail.net)
권수안	Kwon, Soo Ahn	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 선임연구위원 (E-mail : sakwon@kict.re.kr)
정진훈	Jeong, Jin Hoon	정회원 · 인하대학교 공과대학 토목공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : jhj@inha.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Plastic deformation is frequently made in intersection asphalt pavement at its early age due to deceleration and stoppage of vehicles. This study has been performed to provide a mechanistic basis for reasonable selection of paving method to minimize the plastic deformation at intersection.

METHODS : Pavement layer, temperature, traffic volume of the intersections managed by the Daejeon Regional Construction and Management Administration were collected to calculate asphalt dynamic modulus with pavement depth by using a prediction equation suggested by the Korean pavement design guide. Performance of ordinary dense-graded asphalt pavement, polymer modified asphalt pavement, and fiber reinforced asphalt pavement was analyzed by finite element method and the results were used in a performance model to predict the plastic deformation.

RESULTS : In aspect of performance, the three paving methods were usable under low traffic while the fiber reinforced asphalt pavement was the most suitable under heavy traffic.

CONCLUSIONS : Reasonable paving method suitable for traffic characteristics in the intersection might be decided by considering economic feasibility.

Keywords

intersection, plastic deformation, ordinary dense-graded asphalt, polymer modified asphalt, fiber reinforced asphalt, finite element analysis

Main Author : Jeong, Jin Hoon, Associate Professor
 Dept. of Civil Engineering, Inha University, 100 Inha-ro,
 Nam-gu, Incheon, Korea
 Tel : +82.32.860.7574 Fax : +82.32.873.7560
 E-mail : jhj@inha.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
 ISSN 1738-7159 (Print)
 ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 연구 배경과 목적

경제성장에 따른 교통량 증가와 지구 온난화로 인한 집중호우 및 폭설 등의 기상 변화 때문에 파손이 급격히 증가하여 도로 포장의 수명이 단축되고 있다. 도로 포장은 도로의 기능과 주변 지역의 기상 및 통행하는 교통

특성에 따라 거동과 공용성이 다양하므로 이러한 요인을 충분히 고려하여 설계하여야 한다. 하지만 국내 일반 토공부의 도로 포장은 대체로 일정한 두께로 설계되며, 대부분 일반 아스팔트로 포장되고 있다. 일반 아스팔트 포장은 아스팔트의 재료적 특성인 점탄성으로 인해 온도 변화에 민감하며, 소성변형과 균열 등의 파손이 빈번

히 발생한다. 특히 소성변형은 차량이 저속으로 주행하거나 정지하는 곳에서 두드러지게 나타나는데, 이러한 교통 특성이 나타나는 대표적인 곳이 교차로이다. 교차로는 도로와 도로, 또는 도로와 철도가 서로 교차 및 접촉되는 공간 혹은 그 내부의 교통시설물로, 노선을 선정하는 주요한 의사결정 지점이다. 그러므로 교차로에는 차량의 진행, 횡단, 회전, 정지 등의 상황이 연속적으로 발생하여 일반 구간보다 복잡한 차량의 통행 행태가 나타난다. 이로 인해 교차로 및 교차로 접근부에는 교통량이 집중되며, 차량의 회전, 정지, 감속으로 인해 일반 구간보다 크고 다양한 교통하중이 가해진다. 이러한 하중재하는 교차로 포장이 조기에 파손되는 원인이 되어 운전자의 안전과 편의에 문제를 발생시킨다. 하지만 국내 평면교차로 설계지침(국토해양부, 2011) 등을 보면 교차로의 기하구조 설계에 관한 내용만 존재할 뿐 포장 설계에 관한 언급은 전혀 없다. 따라서 본 연구에서는 조기파손이 많이 발생하는 교차로 구간 일반 아스팔트 포장의 대안을 국외 지침에서 많이 제시되는 개질 아스팔트 포장과 섬유보강 아스팔트 포장으로 선정하고, 이들 공법의 공용성을 비교하여 합리적인 교차로 포장 설계의 역학적 근거를 제공하고자 하였다.

2. 국외 교차로 포장 설계 지침

2.1. 미국

Wisconsin 주에서는 교차로 및 오르막 차로와 같이 차량이 저속으로 주행하거나 정지하는 구간의 소성변형 및 쇼빙과 같은 포장 파손을 저감하기 위해 Deep Strength 아스팔트, 장수명 아스팔트, 일반 아스팔트, 시멘트 콘크리트 포장 중 현장 상태에 따라 선정하도록 하고 있다(Wisconsin Department of Transportation, 2007). 선정 시 고려할 사항은 본선 포장의 종류, 현재 혹은 미래 교통량, 교통하중, 기존 포장의 상태 및 공용년수, 교차로 확장 가능성, 유지보수의 지속성 등이다. 아스팔트 교차로의 경우에는 STSP 460-030 'HMA Pavement Intersections'에서 규정하고 있는 아스팔트 혼합물을 사용해야 한다. STSP 460-030은 교차로 및 오르막 차로와 같은 저속차량의 주행이 빈번한 구간의 공용성을 보장하기 위해 아스팔트 바인더를 규정한 지침으로 교차로의 경우 PG 64-22~PG 70-28의 범위를 제시하고 있다.

Texas 주에서는 교차로 구간의 교통 조건에 맞는 포장 두께를 결정하기 위해 신설 포장의 경우 보조기층의

강도, 배수, 교통량 등을 설계에 고려하고 있으며, 기존 포장의 경우 파손 부위나 취약한 부분을 제거한 후 시공하는 것을 전제로 하고 있다. 또한 소성변형 및 포장 파손 저감을 위해 설계 대상 지역의 기상조건을 잘 반영할 수 있는 Superpave 공용성 등급 체계를 이용하여 아스팔트 바인더를 선택하도록 권장하고 있다. 이때 하중전달 및 전단저항을 높이기 위해 골재 맞물림이 양호한 골재를 사용하며, 소성변형에 대한 저항성이 양호해지도록 Superpave 체적기준에 따라 배합하거나 SMA(Stone Mastic Asphalt)를 사용하도록 권장하고 있다.

2.2. 일본

교차로 구간에서 차량의 제동과 정제로 인해 소성변형 혹은 코루게이션과 같은 유동변형이 쉽게 발생하기 때문에 일본에서는 유동변형 저항성이 강한 재료를 사용하여 포장하도록 권장하고 있으며, 이에 따라 아스팔트 콘크리트에 시멘트 페이스트를 주입시킨 반강성 포장 또는 개질 아스팔트 포장을 주로 사용하고 있다. 이외에도 교차로 구간에는 정지하는 차량이 많기 때문에 차량의 제동효과를 향상시키기 위한 미끄럼 방지대책도 제시하고 있다. 일본의 지침에서 미끄럼 방지대책으로 권장하는 포장은 개립도 아스팔트 혼합물을 사용한 포장 혹은 수지 박층 포장이다. 교차로 구간 공용 초기의 소성변형 방지를 위하여 아스팔트 포설 후에는 포장온도가 충분히 저하될 때까지 충분한 양생기간을 확보해야 하며, 이를 위해 무리 없는 공사계획을 수립하여야 한다(杉田美昭, 1993).

2.3. 호주

호주 Victoria 주의 Warrnamboll시에서는 차량의 제동 및 회전 교통량 등으로 인해 교차로 구간 아스팔트 포장의 표면 파손이 빈번히 발생하기 때문에 교차로 구간 아스팔트 포장 기준을 따로 제시하고 있다(Warrnamboll-City Council, 2007). Warrnamboll시의 교차로 및 교차로 진입부 아스팔트 포장 기준에는 표층두께 35mm, 골재의 공칭 크기 14mm, 아스팔트 혼합물의 종류는 Type V를 사용하도록 권장하고 있다. 호주 지침에서 정의하는 Type V는 일반 아스팔트 혼합물보다 공극률이 커서 소성변형 저항성 및 미끄럼 저항성이 우수한 것이다. Australian Capital Territory에서도 교차로 구간에 대한 기본적인 권장사항을 제시하고 있으며, 소성변형과 미끄럼 저항에 기초하여 교차로 진입부의 AADT가 3,000대 이상일 경우 개질 아스팔트,

SMA, PMB(Polymer Modified Bitumen) 포장 사용을 권장하고 있다(Australian Capital Territory, 2007).

3. 교차로 포장 구조해석

상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 구조해석을 수행하였다. 구조해석 대상인 대전 국토관리청 관내의 8개 교차로 가운데 교통정보제공 시스템을 통해 교통량이 가장 많은 것으로 조사된 신흥사거리와 안덕길 삼거리 구간의 표층 10cm, 기층 20cm, 보조기층 30cm를 대표단면으로 선정하였다.

3.1. 유한요소 모형

3차원 유한요소 모형으로 해석을 수행할 경우에는 요소 및 절점의 수가 많아지고 이로 인해 해석에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 기 수행된 연구에서는 2차원 축대칭 유한요소 해석과 3차원 유한요소 해석의 결과가 거의 유사하다고 보고되었다(이희구, 2002). 2차원 축대칭 유한요소 모형은 Fig. 1(a)와 같이 어떤 평면 내의 모형을 동일한 평면 내의 축으로 회전시켜 3차원으로 모사하는 것이며, 3차원 모형에 비해 해석시간이 크게 줄어든다. Fig. 1(b)의 단순 2차원 평면 변형률 유한요소 모형은 포장체의 절단된 단면을 단순 모사하기 때문에 응력, 변형률, 변위를 상대적으로 과대평가할 수 있으므로 본 연구에서는 2차원 축대칭 모형을 사용하였다(ABAQUS, 2006).

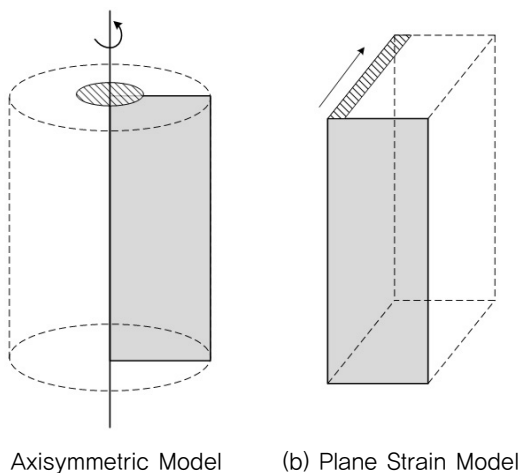
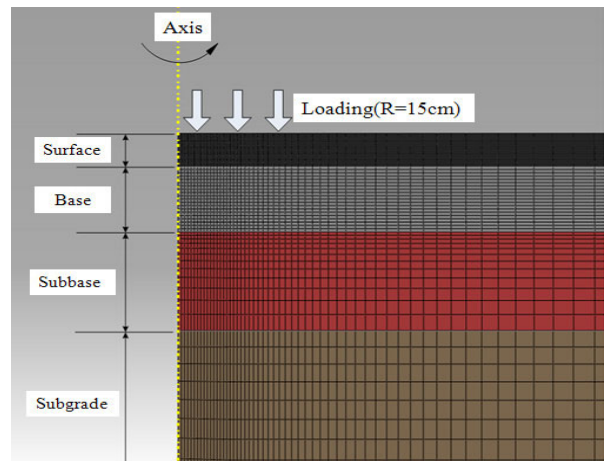


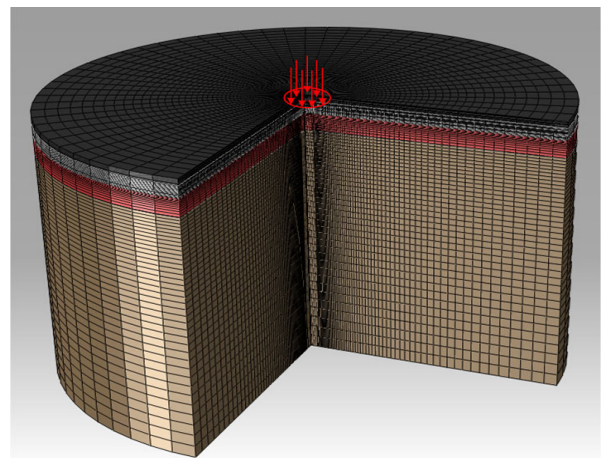
Fig. 1 2-Dimensional Finite Element Model

Fig. 2는 본 연구에서 2차원으로 구현된 유한요소 모형과 이에 상응하는 3차원 모형이다. 축대칭 모형으로

아스팔트 포장체를 구현하였기 때문에 Fig. 2(a)와 같이 축 바로 옆의 포장체 상부 모서리에 압력 565.4kPa를 갖는 반경 15cm의 원형 하중을 위치시켜 포장 상부 중앙에 하중이 재하되는 것을 모사하였다. 대칭축을 따라 롤러가 지지하여 대칭축 방향의 변위는 허용되지 수평 방향의 변위는 발생하지 않도록 하였으며, 포장체의 바닥을 힌지로 지지하여 수평과 수직의 양 방향으로 변위가 발생하지 않도록 하였다. 유한요소 모형에는 2차원 4절점의 CAX4R Solid 요소를 사용하였으며, 섬유보강 아스팔트의 보강재에는 선형 2절점의 MAX1 Membrane 요소를 사용하였다. 유한요소 해석 결과는 요소의 크기와 개수에 영향을 많이 받기 때문에 하중이 직접적으로 재하되는 표층은 1cm×1cm 크기의 작은 요소를 사용하였으며, 깊이가 깊어질수록 그리고 하중 위치에서 멀어질수록 큰 요소를 사용하였다(인식연 외, 2003).



(a) 2-D Axisymmetric Model



(b) 3-D Axisymmetric Model (270° Rotation)

Fig. 2 FEM Model of Intersection Asphalt Pavement

3.2. 포장체 물성

아스팔트 층의 탄성계수는 온도와 하중재하 시간의 함수이며, 일반적으로 동탄성계수 시험을 통하여 결정된다. 본 연구에서는 선행연구에서 제시하고 있는 차량 속도, 포장 온도, 포장 표면으로부터의 깊이가 고려된 Eq. (1) 과 Eq. (2)의 모형으로 일반 아스팔트 PG 64-22와 개질 아스팔트 PG 76-22의 동탄성계수를 예측하여 구조해석 모형에 적용하였다(Seo, J.W, 2010). 동탄성계수 예측모형에 포함된 바인더 종류별 계수의 값은 Table 1과 같다.

$$\log(E^*) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^\theta} \quad (1)$$

$$\theta = a_1 T^3 + a_2 T^2 + a_3 T + a_4 d - 0.3134 \log(a_5 V^2 + a_6 V + a_7) + a_8 \quad (2)$$

where, T : 포장 깊이에 따른 온도(°C)

V : 차량 속도(km/h)

d : 포장 표면으로부터의 깊이(mm)

α, δ, θ : 동탄성계수 마스터곡선 파라미터

$a_1 \sim a_8$: 예측모형 계수

Table 1. Coefficient of Dynamic Modulus Prediction Model

Coefficient	PG 64-22	PG 76-22
a_1	-6.861E-06	-6.899E-06
a_2	3.068E-04	3.625E-04
a_3	4.255E-02	3.633E-02
a_4	5.454E-04	5.454E-04
a_5	8.700E-04	8.700E-04
a_6	8.500E-01	8.500E-01
a_7	-3.300E-01	-3.300E-01
a_8	-1.978E+00	-2.045E+00

Table 2는 한국형 포장설계법 프로그램 입력변수 정량화의 연구결과로 얻어진 포장 층별 및 아스팔트 유형별 동탄성계수 마스터 곡선에 사용되는 파라미터이다(국토해양부, 2010). Table 2의 파라미터를 Eq. (1)에 대입하여 골재 입도와 포장 유형별 및 층별로 포장 온도, 차량 속도, 포장 표면으로부터의 깊이에 따른 동탄성계수를 예측하게 된다. 본 연구에서 일반 밀입도 아스팔트 포장의 경우 표층은 가장 일반적으로 사용되는 밀입도 13mm와 PG 64-22, 기층은 밀입도 25mm와 PG 64-22의 계수를 사용하여 동탄성계수를 예측하였다. 개질 아스팔트 포장의 경우 표층은 밀입도 13mm와 PG 76-22, 기층은 일반 밀입도 아스팔트 포장과 동일하게 밀입도 25mm와 PG 64-22의 계수를 사용하였다.

Table 2. Parameter of Dynamic Modulus Master Curve

Pavement Layer	Asphalt Type	Aggregate Gradation	Binder Grade	Void (%)	δ	α
Surface	DGA, FRA*	DGA 13mm	PG 64-22	4	2.299	2.276
Surface	PMA	DGA 13mm	PG 76-22	4	2.332	2.227
Base	DGA,PMA, FRA	DGA 25mm	PG 64-22	4	3.306	1.308

* FRA: Fiber Reinforced Asphalt

아스팔트 층은 포장 깊이에 따라 하중 주파수가 변화하기 때문에 합리적인 동탄성계수 산정을 위해 표층을 2.5cm씩 4개의 층으로 나누고 기층은 10cm씩 2개 층으로 나누었다. 한국형 포장설계법 프로그램의 서브루틴인 포장 온도 예측 프로그램을 사용하여 포장온도를 깊이에 따라 예측하였으며, 대전지역 기상청의 약 20년 동안의 평균 기온을 바탕으로 월별 대표일의 24시간을 4시간씩 6개의 시간그룹으로 나누어 예측하였다. 높은 온도에서 소성변형이 더 크게 발생하는 특성을 고려하여 매 계절 3개월 중 포장 표면에 최고 온도가 나타나는 5월, 7월, 9월, 2월을 봄, 여름, 가을, 겨울의 대표 월로 정하고 포장 온도가 가장 높은 시간 그룹의 동탄성계수를 Table 3과 같이 계산하였다.

Table 3. Predicted Dynamic Modulus

Season	Depth(mm)	DGA(MPa)	PMA(MPa)
Spring	12.5	3519.448	4849.497
	37.5	3685.925	5051.949
	62.5	4175.833	5640.405
	87.5	4762.302	6322.831
	150	13313.308	13313.308
	250	15264.624	15264.624
Summer	12.5	4308.378	5807.313
	37.5	4405.065	5916.781
	62.5	4720.690	6280.210
	87.5	5101.173	6710.712
	150	13497.311	13497.311
	250	14987.195	14987.195
Fall	12.5	3519.448	4849.497
	37.5	3685.925	5051.949
	62.5	4175.833	5640.405
	87.5	4762.302	6322.831
	150	13313.308	13313.308
	250	15264.624	15264.624
Winter	12.5	4308.378	5807.313
	37.5	4405.065	5916.781
	62.5	4720.690	6280.210
	87.5	5101.173	6710.712
	150	13497.311	13497.311
	250	14987.195	14987.195

이 외에도 아스팔트 층의 공극률을 4%로 가정하였으며, 포아송비는 표층 0.4, 기층 0.4, 보조기층 0.35, 노상 0.3로 일정하게 적용하였다. 섬유보강 아스팔트 포장의 보강재는 고강재 섬유그리드의 물성인 탄성계수 28,972.45MPa와 포아송비 0.35를 사용하였다(안태봉 외, 2001).

차량 속도의 경우, 선행연구에서는 황색신호 시점에 정지선으로부터 160m 이내에 위치하고 있는 차량들을 교차로 통과 차량군과 교차로 정지 차량군으로 구분하고, 각 차량군의 정지선까지의 속도변화 특성을 10m 단위로 나누어 분석하였다(교통과학연구원, 2002). Fig. 3은 교차로 통과 차량군과 정지 차량군의 단위 구간별 평균 주행속도의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 소성변형이 가장 크게 발생하는 정지선 직전 10m 단위 구간의 정지 차량군 평균 주행속도인 10km/h를 동탄성계수 예측에 사용하였다.

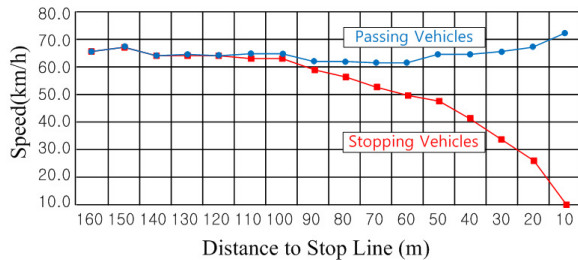


Fig. 3 Average Speed of Vehicle Approaching to Stop Line

4. 대안 공법별 공용성 분석

포장 각층을 구성하는 요소들의 중간 높이에 발생한 수직변형률을 사용하여 일반 아스팔트, 개질 아스팔트, 섬유보강 아스팔트 포장의 소성변형을 예측하였다. 사용된 소성변형 예측모형은 한국형 포장설계법에서 제시하고 있는 것으로 Eq. (3) 및 Eq. (4)와 같다.

$$\epsilon_p = \epsilon_r \times K_{RUT} \times 10^D \times N^A \times T^B \times Va^C \quad (3)$$

$$K_{RUT} = 1.4 \times e^{-0.07 \times TH_{AC}} + 0.07 \quad (4)$$

where, ϵ_p : 소성변형률

ϵ_r : 탄성변형률

A, B, C, D : 예측모형 계수

N : 하중재하 횟수

T : 온도(°C)

Va : 공극률(%)

TH_{AC} : 아스팔트 층(표층+중간층+기층) 두께

eq. 4의 K_{RUT} 는 아스팔트 포장의 구조적 특성을 고려하기 위하여 개발된 것으로, 예측모형의 결과와 실제 현장 소성변형의 차이를 비교하기 위한 경험적 함수이다. 이 함수는 한국형 포장설계법 연구 과정에서 131개 구간의 소성변형을 산정하기 위해 사용되기도 했다. Table 4는 사용된 골재입도와 바인더 등급에 따른 소성변형 예측모형의 계수이다(국토해양부, 2011).

Table 4. Coefficient of Plastic Deformation Prediction Model

Aggregate Gradation	Binder Grade	Coefficient			
		A	B	C	D
DGA 13mm	PG 64-22	0.153558826	1.035918777	0.837909281	0.091072086
	PG 76-22	0.233558826	1.085918777	0.837909281	-0.018927914
DGA 25mm	PG 64-22	0.203558826	1.085918777	0.781909281	-4.108927914

본 연구에서는 유한요소 해석에 의해 포장체 내에 발생하는 수직 변형률을 구한 후 Eq. (3)에 대입하여 표층과 기층의 소성변형을 구하였다. 노상과 보조기층의 경우는 한국형 포장설계법 프로그램을 이용하여 포장 전체의 소성변형에서 노상과 보조기층의 소성변형이 차지하는 비율로 구하였다. 일반 아스팔트 포장의 경우, 전체 소성변형에 대한 보조기층과 노상의 소성변형의 비율은 Table 5와 같이 환산축하중 교통량이 1,000대일 때 공용 1년 후 43.81%였으나 공용 20년 후에는 24.42%로 크게 감소하였고, 1,500대의 경우는 51.36%에서 28.51%로, 2,000대인 경우는 48.45%에서 28.03%로, 3,000대인 경우는 37.75%에서 22.40%로 각각 감소하였다. 공용 초기에는 지반의 침하로 인해 보조기층과 노상의 소성변형이 크게 나타났으나 시간이 지날수록 침하가 크게 감소하였기 때문에 그 비율이 줄어든 것으로 판단되었다. 또한 일반 아스팔트 바인더인 PG 64-22를

Table 5. Plastic Deformation Ratio of Subbase and Subgrade to Whole Pavement

ESAL	PG 64-22		PG 76-22	
	1year(%)	20years(%)	1year(%)	20years(%)
1,000	43.81	24.42	48.68	24.43
1,500	51.36	28.51	52.71	29.21
2,000	48.45	28.03	56.56	29.59
3,000	37.75	22.40	59.63	35.55

사용했을 때보다 점도가 높은 개질 아스팔트 바인더인 PG 76-22를 사용했을 때 전체 소성변형에 대한 보조기 층과 노상의 소성변형 비율이 더 큰 것으로 나타났다.

한국형 포장설계법에서 제시된 예측모형으로는 섬유보강 아스팔트 포장의 소성변형을 정확하게 예측할 수 없다. 따라서 선행 연구에서 휠 트래킹 실험으로 얻은 동적안정도를 이용하여 소성변형을 예측하였다. 휠 트래킹 실험은 실제 차량하중이 통과함에 따라 발생하는 소성변형을 실내에서 평가할 수 있는 시험으로, 반복주행으로 인한 바퀴패임의 정도를 측정하여 동적안정도를 산정한다. 다수의 선행 연구에서 휠 트래킹 시험으로 아스팔트 포장의 소성변형에 대한 저항성을 판단하였는데, 개질 아스팔트 시편의 동적안정도는 평균 5484.06 회/mm(박희문 외, 2007; 조삼덕 외, 2003; 김준형 외, 2006; 이상범 외, 2004), 섬유보강 아스팔트 시편은 5775.0회/mm로 측정되었다(조홍동 외, 2010). 본 연구에서는 개질 아스팔트에 대한 섬유보강 아스팔트의 동적안정도의 비를 구조해석으로 예측된 개질 아스팔트 포장의 소성변형에 곱하는 방법으로 섬유보강 아스팔트 포장의 소성변형을 예측하였다.

Fig. 4는 환산축하중 교통량에 따라 대안 공법별로 교차로 포장의 소성변형을 예측한 결과이다. 환산축하중 교통량이란 설계기간 동안 통과한 각종 차량을 표준축하중이 통과한 횟수로 환산한 것을 말한다. 동일한 환산축하중 교통량일 때 섬유보강 아스팔트, 개질 아스팔트, 일반 아스팔트 포장 순으로 소성변형에 저항성이 큰 것으로 나타났다. 환산축하중 교통량 1,000대에서는 본 연구에서 보수의 기준으로 권장하는 소성변형인 15mm에 도달할 때까지 일반 아스팔트 포장과 개질 아스팔트 포장에 각각 12.79년과 19.07년이 소요되어 1.49배의 차이가 있었으며, 섬유보강 아스팔트 포장의 경우에는 공용 후 20년이 지날 때까지도 15mm에 도달하지 않았다. 환산축하중 교통량 1,500대의 경우에는 수명이 7.09년인 일반 아스팔트 포장에 비해 개질 아스팔트 포장과 섬유보강 아스팔트 포장의 수명은 각각 10.26년과 15.73년으로 1.45배와 2.22배 더 길었다. 환산축하중 교통량이 2,000대인 경우에는 수명이 5.01년인 일반 아스팔트 포장에 비해 개질 아스팔트 포장과 섬유보강 아스팔트 포장의 수명이 각각 6.48년과 10.07년으로 1.29배와 2.01배 길어졌다. 환산축하중 교통량 3,000대의 경우에는 일반, 개질, 섬유보강 아스팔트 포장의 수명이 각각 3.04년, 3.77년, 4.73년으로 일반 아스팔트 포장과 비교하여 개질 아스팔트 포장이 1.24배, 섬유보강 아스팔트 포장이 1.56배 수명이 더 길었다. Table

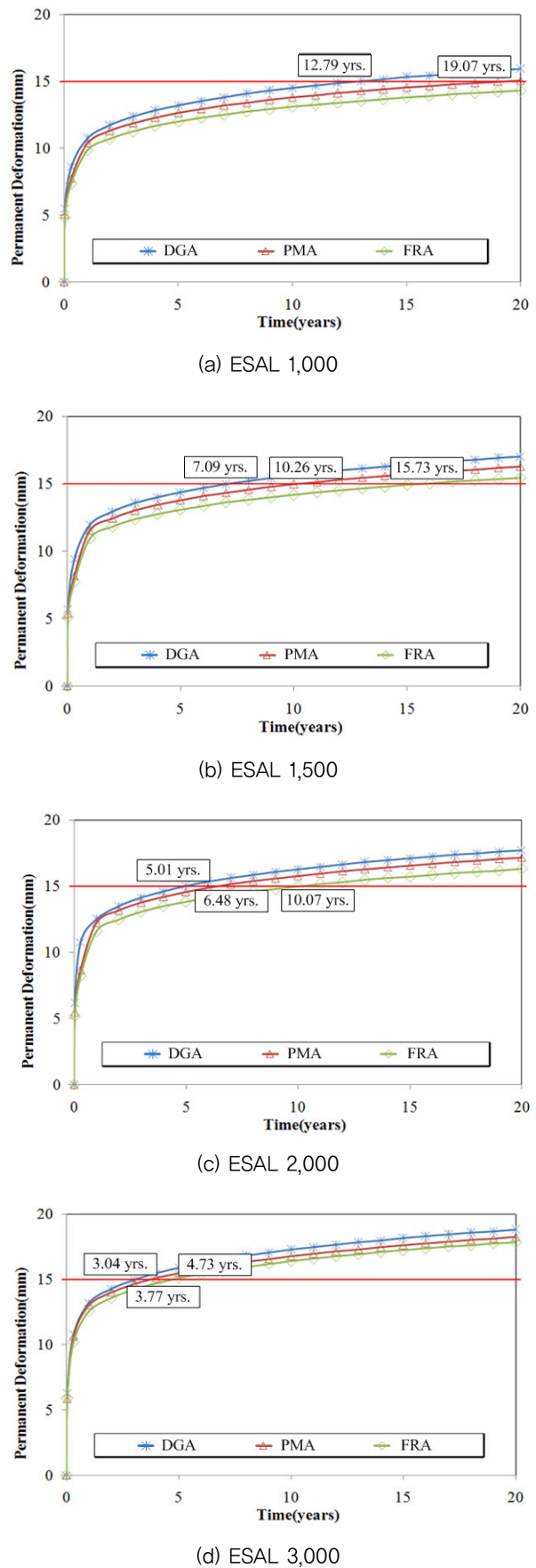


Fig. 4 Predicted Plastic Deformation of Intersection Pavement

6은 대안 공법별로 교통량에 따라 소성변형 15mm에 도달할 때까지의 공용년수를 예측한 결과이다.

Table 6. Required Time to Reach 15mm Plastic Deformation

ESAL	DGA(years)	PMA(years)	FRA(years)
1,000	12.79	19.07	> 20
1,500	7.09	10.26	15.73
2,000	5.01	6.48	10.07
3,000	3.04	3.77	4.73

소성변형에 대한 공용수명의 변화를 교통량에 따라 포장 공법별로 회귀분석하여 Fig. 5와 같이 로그함수로 나타내었다. 그래프 내의 숫자는 보수권장 기준인 소성변형 15mm에 도달했을 때의 각 공법의 공용수명이다. 포장의 설계수명을 10년이라고 가정할 때 환산축하중 교통량이 1,000대인 경우에는 세 가지 포장공법 모두 설계수명을 만족하였다. 하지만, 환산축하중 교통량이 약 1,200대에 이르면 일반 밀입도 아스팔트 포장이 설계수명을 만족하지 못했으며, 환산축하중 교통량 약 1,800대 이상에서는 섬유보강 아스팔트 포장만이 설계수명을 만족하는 것으로 분석되었다. 또한 교통량 증가에 따라 개질 아스팔트 포장의 수명이 가장 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 하지만 로그함수로 회귀분석하기에는 자료가 충분치 않았으므로 보다 정확한 경향을 보기 위해서는 충분한 자료의 확보가 필요한 것으로 판단되었다.

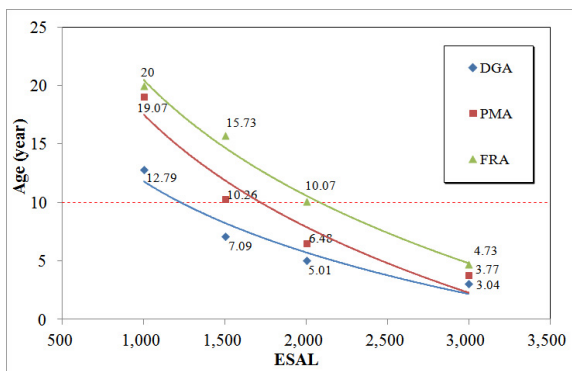


Fig. 5 Predicted Life of Intersection Pavement

5. 결론

본 연구는 차량의 속도 저감 및 정차가 빈번하게 발생하는 교차로 구간 아스팔트 포장의 소성변형을 최소화하기 위한 합리적 포장 공법 선정의 역학적 자료를 제공하기 위하여 수행되었다. 대전국토관리청 관할의 교차

로를 대상으로 포장 단면, 온도, 교통량 등의 자료를 수집하여 유한요소 방법으로 해석하고 그 결과를 공용성 모형에 대입하여 소성변형을 예측하였다. 공용성 측면에서 볼 때, 교통량이 적은 경우에는 세 가지 공법 모두 사용 가능하였으나 교통량이 많아질수록 수명이 긴 섬유보강 아스팔트 포장이 가장 적합한 것으로 나타났다. 환산축하중 교통량 1,000대의 경우, 개질 아스팔트 포장은 본 연구에서 제시된 보수권장 소성변형 15mm에 도달할 때까지 19.07년이 소요되어 일반 아스팔트 포장에 비해 약 1.49배 수명이 길어졌으며, 1,500대인 경우 10.26년으로 1.45배, 2,000대인 경우 6.48년으로 1.29배, 3,000대인 경우 3.77년으로 1.24배 수명이 길어졌다. 섬유보강 아스팔트 포장은 환산축하중 교통량이 1,000대일 때, 소성변형 15mm까지 도달하는데 20년 이상이 소요되었으며, 1,500대 일 때 15.73년, 2,000대인 경우 10.07년, 3,000대인 경우 4.73년으로 일반 아스팔트 포장에 비하여 각각 2.21배, 2.01배, 1.56배 수명이 더 길어진 것으로 나타났다. 또한, 환산축하중 교통량 1,200대까지는 세 가지 공법 모두 공용수명 10년을 만족하였으나 1,200대 이상이 되면서 일반 밀입도 아스팔트 포장의 공용기간이 10년을 넘지 못하였고 1,800대 이상에서는 섬유보강 아스팔트 포장만이 공용수명 10년 이상을 나타냈다. 공용성 측면과 함께 경제성 측면까지 고려한다면 교차로 구간의 교통 특성에 적합한 포장 공법을 합리적으로 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 대전국토관리청과 계룡건설의 지원에 의해 수행된 '교차로 및 오르막차로 설계방안 연구' 결과의 일부로서 지원에 감사드립니다.

References

- ABAQUS, 2006. *ABAQUS User's Manual, Version 6.6, Dassault Systems.*
- Ahn, T.B., Yang, S.C., Cho, S.D., Kim, N.H., 2001. Stress-Strain Behavior of Flexible Pavement Reinforced with Geosynthetics, *International Journal of Highway Engineering*, Vol 3, No. 1, 151-163.
- Australian Capital Territory, 2007. *Design Standards for Urban Infrastructure, Chapter 6 Pavement Design, Edition 1 Revision 0*, Australian Capital Territory.
- Cho, H.D., Oh, S.O., Yun, I.R., Lee, B.J., 2010. Dynamic Stability Test of Glasphalt, *2010 Proceeding of Korean Geosynthetics Society*, 155-161.
- Cho, S.D., Lee, D.Y., Kim, J.H., Kim, N.H., 2003. Evaluation of

- Permanent Deformation Behavior on Geosynthetics-Reinforced Asphalt Pavement by Using the Wheel Tracking Tests, *Journal of Korean Geosynthetic Society*, Vol. 2, No. 3, 83-90.
- In, S.Y., Kim, H.B., Ann, S.S., Suh, Y.C., 2004. Viscoelastic Behaviors of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Pavements, *International Journal of Highway Engineering*, Vol 6, No. 2, 37-45.
- Kim, J.H., Suh, Y.C., Kwon, S.A., Cho, Y.J., 2006. Evaluation of Rutting Resistance of Modified Asphalt Concrete by Accelerated Pavement Testing, *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 2D, 285-292.
- Lee, H.K., 2002. *Effect of Loading Dual-Tire on Geosynthetic-Reinforced Asphalt Pavement*, M.E. Thesis, Hanyang University.
- Li, X.F., Doh, Y.S., Kim, K.W., 2004. Estimation of Rutting Based on Volumetric Properties of Asphalt Mixture, *International Journal of Highway Engineering*, Vol 6, No. 3, 79-90.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010. *Development of Korean Pavement Design Guide and Research of Pavement Performance Improvement Method*, KPRP-H, Final Report 3-2.
(국토해양부, 2010. 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, KPRP-H, 3단계 2차년도 최종보고서)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011. *Development of Korean Pavement Design Guide and Research of Pavement Performance Improvement Method*, KPRP-C, Final Report 3-3.
(국토해양부, 2011. 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, KPRP-C, 3단계 3차년도 최종보고서)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011. *Intersection Design Guide*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
(국토해양부, 2011. 평면교차로 설계 지침, 국토해양부)
- Park, H.M., Choi, J.Y., Lee, H.J., Hwang, E.Y., 2007. Performance Evaluation of the High Durability Asphalt Mixture for Bridge Deck Pavements, *International Journal of Highway Engineering*, Vol 9, No. 2, 51-62.
- Seo, J.W., 2010. *Estimation of In-situ Dynamic Modulus for Asphalt Pavement Analysis Considering Various Vehicle Speeds*, Ph.D. Dissertation, Yonsei University.
- Traffic Science Research Center, 2002. *Development of Community Based Real Time Traffic Signal System II*, Road Traffic Authority.
(교통과학연구원, 2002. 지역 단위 실시간 교통신호체계 개발 II, 도로교통안전공단.)
- Warrnambool City Council, 2007. *Pavement Design Guidelines, Revision A*, Warrnambool City Council.
- Wisconsin Department of Transportation, 2007. *Facilities Development Manual, Chapter 14 Pavements*, Wisconsin Department of Transportation.
- 杉田美昭, 1993. 寫真と圖で見るアスファルト舗装工事の施工ノウハウ, 近代圖書, pp. 166-167.
(접수일 : 2012. 3. 7 / 심사일 : 2012. 3. 8 / 심사완료일 : 2012. 7. 10)