

한국형 도로포장 설계 프로그램의 소석회 사용 아스팔트 혼합물 특성 적용

Application of Hydrated Lime-Modified Asphalt Mixture Properties to Korean Pavement Research Program

김도완	Dowan Kim	정회원 · (주)건화 도로공학부 사원 (E-mail : kimdw@kunhwaeng.co.kr)
이상염	Sangyum Lee	정회원 · 인덕대학교 건설정보과 조교수 (E-mail : yummy0220@induk.ac.kr)
문성호	Sungho Mun	정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail : smun@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The hydrated lime-modified asphalt, which improves moisture resistance, is normally used for pavements to reduce the number of potholes. However, the method of applying the material properties of the lime-modified asphalt mixture for use in pavements is not covered in the Korean Pavement Research Program (KPRP). The objective of this research is to find a method for the design application of lime-modified asphalt's material properties to the KPRP.

METHODS : The section for test design is selected in some conditions which are related to the level of design regarding Annual Average Daily Traffic (AADT). To define the application methods of hydrated lime in the KPRP, the models of fatigue, rut and international roughness index (IRI) are determined based on the M-EPDG test results from some earlier research results. Moreover, it is well known that dynamic moduli of the unmodified mixture are not different from those of the lime-modified mixture.

RESULTS : The performance results of hydrated lime-modified asphalt pavement were not very much different from those of the unmodified pavement, which meant the limited design regulations regarding fatigue failure, rutting deformation and IRI.

CONCLUSIONS : The KPRP uses the weather model from the data for previous 10 years. It implies that the KPRP cannot predict abnormal climate changes accurately. Hence, the predictive weather data regarding the abnormal climate changes are unreliable. Secondly, the KPRP cannot apply the moisture resistance of asphalt mixtures. Therefore, a second level of design study will have to be performed to reflect the influence of moisture. It means that the influence on pavement performance can be changed by the application of hydrated lime in asphalt mixture design.

Keywords

Korean pavement research program (KPRP), international roughness index (IRI), master curve, hydrated lime-modified asphalt, performance analysis, dynamic modulus

Corresponding Author : Sungho Mun, Associate Professor
The Road Pavement Research Division, No.43, Seoul National
University of Science and Technology, 232, Gongneng-ro, Nowon-gu,
Seoul, 01811, Korea
Tel : +82.2.970.9014
E-mail : smun@seoultech.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jul. 14, 2015 Revised Jul. 29, 2015 Accepted Jul. 30, 2015

1. 서론

도심지 내 아스팔트 포장도로에서 최근 급격하게 부

각된 문제가 포트홀에 관련된 것이다. 2013년 서울시
내에서 발생한 포트홀의 수는 74,112건으로 그 수는 해

가 지날수록 증가하고 있다. 이러한 현상은 결국 도로의 LOS(Level Of Service)를 낮추고 국민 생활의 질을 떨어뜨리기 때문에 경제적 문제뿐만 아니라 사회적인 이슈로 발전할 수 있다. 기술적으로 이를 해결하기 위해 서울시에서는 펠렛형 소석회를 개발하고 박리방지제를 사용하고 있으며, 사회적으로는 버스나 택시에 GPS(Global Positioning System)기능을 설치하여 신고하는 등의 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 환경조건에 민감한 아스팔트 포장 도로는 서울시와 같은 도심지 내의 하중 조건 및 기상 조건에 의해 파손현상이 증가하고 있는 추세이다. 포장의 역학적 면에서 보면 LOS가 C등급 이하인 도심지에서 버스와 같은 증차량이 저속으로 운행하는 경우 러팅이 빈번하게 발생되고 이로 인해 평탄성의 문제가 발생할 수 있다. 환경적인 면에서는 수분에 취약한 아스팔트 혼합물의 경우 이상 기후에 의한 폭우, 폭설이 파손의 원인이 되고 이와 관련하여 주행성에도 영향을 미치게 된다. 이 뿐만이 아니라 서울시 내에서는 시공 후 오랜 시간 피로를 겪으면서 피로균열이 발생하기 때문에 서울시 내의 도로는 다른 지역과 다른 포장을 실시해야 한다. 기존의 설계법에서는 강도-두께 결정에 의한 방법에 의존하여 설계하였으나 최근 한국형 포장 설계법이 국내 KPRP 연구단에 의해 개발되었다. 기존 TA설계법, '72/'86 AASHTO 설계방법은 모두 강도에 따른 설계이다. 이는 포장층 및 노상, 노체 각층의 지지력을 전체층에 대한 SN 강도로 나타내어 설계 교통량으로 인해 발생하는 강도 저하를 견디는가에 의존하기 때문에 포장의 공용성 저하에 대한 예측이 불가능하다.

이러한 도로의 각종 파손 및 변형을 사전에 예측하기 위해 개발된 프로그램이 한국형 도로포장 설계 프로그램(Korean Pavement Research Program)이다. 이 프로그램은 역학적-경험적 설계법에 기반하고 있으며, 설계자에 의해 설정된 SN치를 이용해 포장층의 두께를 결정하는 AASHTO Interm 설계법을 탈피하고자 개발된 프로그램이다. 또한, 이 프로그램은 우리나라의 조건에 맞춘 입력변수를 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

이와 관련하여 본 연구에서는 소석회를 투여한 아스팔트 혼합물의 특성을 한국형 도로포장 설계 프로그램에 적용하여 공용성을 평가하고자 하며, 나아가 한국형 도로포장 설계 프로그램에 소석회 적용방법을 모색하고자 한다.

2. 소석회 첨가 아스팔트 포장

최근 도심지 부근에서 이슈화되는 포트홀 문제를 해결하기 위해 박리방지제를 투과한 아스팔트 포장 시공을 실시하고 있다. 그러나 우리나라는 박리방지제 사용을 의무화하고 있는 해외와는 다르게 현재 국토교통부의 지침인 아스팔트 생산 및 시공 지침에 따라 강화된 간접인장강도비(Tensile Strength Ratio, TSR) 시험 결과 기준에 미달될 경우에 박리방지제 사용이 의무화될 뿐, 상시 사용이 의무화 되어 있지는 않다. 또한 급격한 기후변화로 인해 우리나라에서는 가뭄지역이 발생하고, 반대로 국지성 폭우 혹은 폭설이 발생하는 등 예년 같지 않은 기상변화가 빈번히 발생하고 있다. 이에 따라서 수분의 영향에 취약한 아스팔트 도로의 경우 파손이 발생하게 되며, 여름 폭염으로 인해 러팅이 가속화되고 겨울의 폭설 또는 동결에 의해 피로파괴가 가속화된다. 특히 포장층 내의 수분은 합성재료로 구성된 교면포장의 방수층과 표층사이 부착력을 약화시키며, 차량하중으로 인한 과잉 수압으로 인해 포장층 자체의 내구성을 크게 저하시켜 급격한 파손으로 연결된다. 이뿐만 아니라 시공이 불량하거나 플랜트에서의 바인더 저장 문제 및 품질 문제로 인해 파손이 발생하는 원인으로 작용하고 있다. '서울기술이야기' 제 231호(Sungho Mun, 2013)에 따르면 이러한 현상을 종합적으로 볼 때 포트홀의 문제는 계절에 따라 그 편차가 다르며, 장마기간에 포트홀의 수가 급격하게 증가된다(Dowan Kim et al, 2014)는 것을 알 수 있다.

포트홀과 관련된 수분저항성 문제를 해결하기 위해 서울시에서는 운반 및 품질관리 면에서 유리하고 교반 문제를 해결할 수 있는 펠렛형 소석회를 개발하였다. 소석회는 다양한 국내·외 연구에서 증명한 것과 같이 아스팔트 혼합물의 수분저항성 증가로 인해 LCC(Life Cycle Cost)저감의 이점을 취할 수 있다. 또한 바인더의 공용성 등급(PG, Performance Grade)을 증가시켜



Fig. 1 Pellet Type of Hydrated Lime

골재간의 결합력을 높이는 효과를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. Fig. 1은 서울시에서 개발한 펠렛형 소석 회이다.

본 연구에서는 최근 이슈가 되고 있는 포트홀에 대한 문제를 해결함과 동시에 나아가 한국형 포장 설계 프로그램에 이를 적용할 수 있는 방안을 모색하고자 하는 목적으로 소석회를 활용한 아스팔트 혼합물에 대한 기존 연구결과를 KPRP를 이용해 공용성을 평가하고자 한다.

3. Korean Pavement Research Program

한국형 도로포장 설계 프로그램 설치 파일은 통상 KPRP로 칭한다. 그러나 KPRP는 한국건설기술연구원과 도로공사 등 많은 연구진으로 구성되어 한국형 포장 설계법을 개발하기 위해 만들어진 연구 기관의 이름이다. KPRP에서는 한국형 도로포장 설계 기술을 개발함과 동시에 국가적 포장 설계의 기준을 정비하고자 하는 목적을 가지고 2001년부터 2011년까지 연구를 실시하였다. KPRP는 가요성포장 및 강성포장 설계의 공용성을 통해 포장에 대한 경제성과 생애주기를 파악하는 것에 가장 큰 중점을 두고 있다.

한국형 도로포장 설계법이 개발되기 이전에 국내에서는 72 AASHTO 잠정지침, 86 AASHTO 설계법, TA 설계법을 활용하였다. 여기서, 72 AASHTO 잠정지침은 결국 86 AASHTO 설계법으로 보완되었으며, 이 설계법을 SN(Structural Number)치 설계법이라고도 한다. 그러나 국내에서는 일반적으로 72 AASHTO 설계법이 보편적으로 활용되었으며 이 설계법은 서비스지수, ESAL(Equivalent Single Axle Load), 지역계수, 노상지력계수(SSV), 노상토의 설계 CBR(California Bearing Ratio), 상대강도에 대한 포장두께지수로 인한 포장층의 안정성검토로 포장의 두께를 산정하는 경험적 설계방법이다. 다음 Eq. (1)은 18kips 단축하중 통과횟수에 대한 SN치 설계법의 가요성 포장 설계 기본식을 나타낸다.

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{G_i}{0.4 \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} \quad (1)$$

여기서, G_i 는 반복적 하중재하로 인해 서비스지수가 1.5까지 저하되는 것에 대한 PSI의 손실비율함수를 나타내며, SN은 포장 두께지수로 포장층에 대한 상대강

도계수와 두께로 결정된다.

이 설계방법은 국내의 환경조건을 반영하기 어렵다는 점과 다양한 포장층의 성능을 적용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 결국 오차시행법에 의한 검토결과로는 공학적, 경제적 설계 및 이에 대한 공용성을 예측하기 어렵다는 것을 내포하고 있다. 이러한 기존 설계법의 단점을 극복하기 위해 개발된 것이 한국형 도로포장 설계법이다. 한국형 도로포장 설계법의 가장 큰 특징은 아스팔트 포장의 변형과 관련된 러팅, 피로 및 IRI(International Roughness Index)에 중점을 두어 포장의 공용성을 평가하는 점이다. 포장의 파손형태를 영구변형과 피로파괴에 대한 손상으로 분류한다는 것은 공학적인 면에서 환경적 요인을 반영한다는 내용을 반영하고 있으며, 국제평탄성지수는 주행성과 관련되기 때문에 매우 중요한 의미를 가지고 있다고 할 수 있다. 실제 KPRP를 구동시켜보면 1등급 설계 시 아스팔트 혼합물의 특성인 마스터 커브를 작도하도록 되어 있으며, 2등급 설계 시에는 재료의 물성특성을 활용하도록 설정되어 있다. 피로의 경우 Miner의 누적 피로손상이론을 접목하였으며, 실제 포장환경을 반영하기 위해 실내 시험 데이터를 활용하여 데미지 모형을 개발하였다. 다음 Eq. (2)는 한국형 도로포장 설계법에서 제시한 피로균열에 대한 시험 모형을 나타낸다.

$$N_f = 10^A \epsilon_0^B E^C \quad (2)$$

여기서, A, B, C는 포장이 피로파괴 될 때 까지 하중의 재하회수(N_f)에 대한 시험계수를 의미하며, ϵ_0 및 E는 아스팔트 혼합물의 변형률 및 강성을 나타낸다.

영구 변형의 경우 아스팔트 혼합물의 재료성질에 따라 달라지는 계수를 활용한 예측식을 제시하였다. 한국형 포장설계법에서 제시한 예측식은 포장의 온도(T), 하중재하수(N), 공극률(V_a)에 대한 회복변형률(ϵ_r)과 영구변형(ϵ_p)의 비로 구성된다. 다음 Eq. (3)은 한국형 도로포장 설계법에서 제시한 아스팔트 혼합물의 영구변형 예측식을 나타낸다.

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = 10^D N^A T^B V_a^C \quad (3)$$

M-EPDG(Mechanical-Empirical Pavement Design Guide) 설계법인 KPRP에서는 피로균열과 러팅에 대한 계수를 아스팔트 바인더와 골재입도에 대한 시험결과 데이터를 활용해 제안하고 있다. 다음 Table

1과 Table 2는 한국형 도로포장설계 프로그램에서 도입한 각 계수를 의미한다.

Table 1. Coefficients for Determining Rut Model

	DGA (13mm)	DGA (20mm)	SMA (13mm)
A	0.173558826	0.240288723	0.258288723
B	1.175918777	0.222505211	0.157505211
C	0.837909281	0.418683015	0.423683015
D	-0.018927914	1.534267137	1.384267137

Table 2. Coefficients for Determining Fatigue Model

	DGA (13mm)	DGA (20mm)	SMA (13mm)
A	-21.7489	-31.4736	-26.0785
B	-5.946	-5.9125	-6.0225
C	-6.0225	1.2976	0.3904

IRI의 경우 최근 2014년 업데이트 된 한국형 포장설계 프로그램에서 공용성 분석을 통하여 러팅의 영향을 감소시키고, 시간과 균열의 영향을 증가시킨 새로운 모형을 제시하여 적용시켰다.

$$IRI = IRI_0 + 0.07A + 0.04R + 0.065C \quad (4)$$

여기서, IRI_0 , A , R 및 C 는 각각 초기 평탄성지수, 공용기간, 영구변형량 및 총 균열(%)을 의미한다.

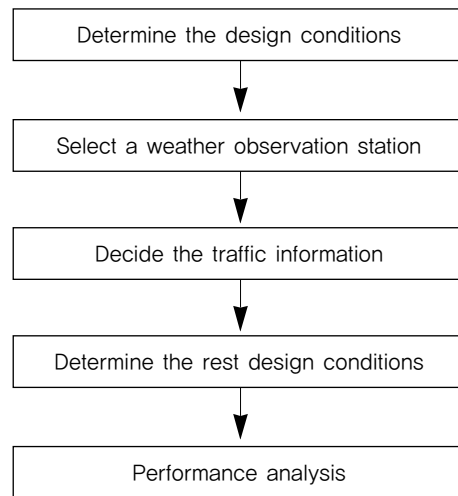
4. 한국형 도로포장 설계 프로그램의 적용

국내에서는 아직까지 서울시를 제외한 다른 자치단체에서 소석회를 사용하지 않고 있다. 그러나 해외 연구 및 시공 사례로 보면 소석회가 아스팔트 포장의 수분저항성이나 영구변형 저항성에 도움이 되는 것으로 알려져 있으며(Sangyum Lee, 2013), 이미 벨기에, 네덜란드 등 다양한 국가에서는 소석회를 포장에 사용하는 것을 의무화하고 있다. 이러한 소석회의 사용 방법은 플랜트배합 시 아스팔트 혼합물에 일괄적으로 투과하는 방법, 포장 석분을 소석회 함량으로 치환하는 방법, 소석회 첨가비율에 따른 최적아스팔트함량을 도출하여 배합설계를 실시하는 방법이 존재한다. 이렇듯 국제적으로 혼합물에 소석회를 투여하는 것은 소석회가 아스팔트 포장의 수분저항성을 증가시키기 때문이다. 그러나 국내에서 M-EPDG에 근간한 KPRP에서

는 이러한 수분저항성을 표현할 기능이 존재하지 않는다. 다만 설계 1등급도로의 공용성을 평가하는 경우, 시험에 의한 아스팔트 혼합물 파괴모델의 계수 및 마스터커브의 입력변수를 활용하는 방안이 존재한다. 이 방법은 혼합물의 거동특성 및 강성을 구현할 뿐이다. 이와 관련하여 본 연구에서는 기존 연구를 활용한 소석회 아스팔트 혼합물의 특성을 KPRP에 반영하고자 한다.

소석회 아스팔트 혼합물 특성을 KPRP에 적용하기 위해 우리나라에서 유동 교통량이 가장 많고 최근 소석회를 아스팔트 포장에 적용한 서울시로 선정하였다. 단, KPRP를 적용하는 경우 소석회의 영향성을 평가하기 위한 도로의 설계는 실제로 고려한 덧씌우기보다 신설로 가정하였다. KPRP는 해당 도로의 설계등급에 따라 입력변수가 달라지기는 하지만 횡단 및 노선 종류 선정, 기상, 교통량, 재료의 선택 방법은 변하지 않는다. 이 과정 내에서 소석회의 영향을 반영할 수 있는 부분은 재료 물성을 설정하는 것이다. 다음 Table 3은 KPRP 프로그램 내에서의 공용성 평가 단계를 나타낸다.

Table 3. Flow Chart for KPRP Design

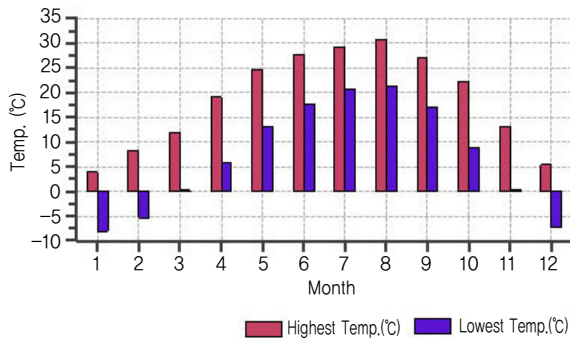


KPRP의 활용과정에서는 재료의 물성이나 단면자체의 지정설정이 가능하며, 기상자료는 KPRP에서 10년 동안 수집된 자료를 활용한다. 그러나 교통량의 경우 도로의 설계등급을 정하는 기준이 되며, 동결심도를 파악해야 하기 때문에 서울시 내에서도 정확한 위치를 설정해야 한다. 이 기준을 명확하게 하기 위해 서울교 인근 지역을 설계 지역으로 설정하였다. Fig. 2는 서울교 근처의 현장 사진이다.

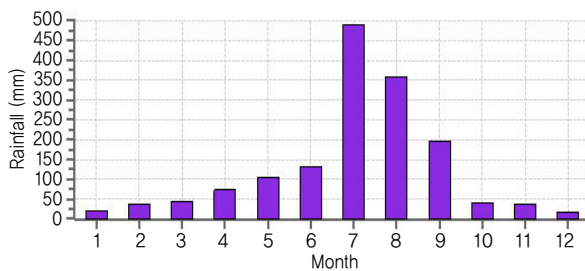


Fig. 2 Site Investigation

서울교 인근 지역은 차로수가 양방향 4차로로 2013년 기준 AADT가 72,008대/일인 1등급 설계 도로이다. 여기서, 소석회 표층의 공용성을 평가한다는 목적을 두고 설계수명 10년과 20년을 구분하였다. KPRP 공용성평가 실시 순서에 따라 기상자료 및 동결심도는 동경(126.917도)과 북위(37.519도)를 이용하여 산출하였으며, 교통량의 경우 2013년도 교통량을 적용하였다. 다음 Fig. 3은 서울교 근처 기온, 강수량에 대한 분석결과이다.



(a) Temperature



(b) Rainfall

Fig. 3 Weather Analysis Results

본 연구에서는 기본 데이터로 활용하기 위해 일반적인 아스팔트 혼합물을 제작하였으며, 사용한 아스팔트

혼합물은 국내에서 보편적으로 사용하는 바인더인 PG 64-22로 제작하였다. 이에 대한 동탄성계수값을 구하기 위해 AASHTO TP 62-03(AASHTO, 2005)에 따라 동탄성계수 시험을 실시하였다. 다음 Eq. (5)는 KPRP에서 사용하는 AASHTO 2002 설계법의 동탄성계수 Sigmoidal 예측 식이다.

$$\text{Log}|E^*| = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma(\log t_r)}} \quad (5)$$

여기서, δ , α , E^* 및 t_r 은 각각 동탄성계수의 최소값, 동탄성계수의 최대 대역범위, 동탄성계수 및 감쇠대역주파수이다. β 와 γ 는 Sigmoidal Function에 대한 형상계수이다. 이 계수들은 시험 결과에 대한 비선형 최소자승법으로 구해지며, 아래 Fig. 4는 본 연구에서 수행한 아스팔트 혼합물의 마스터 커브를 나타낸다.

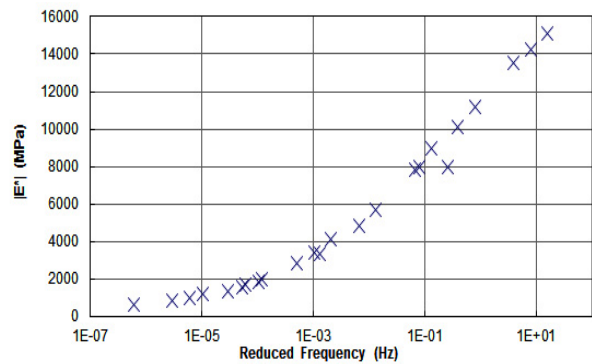


Fig. 4 Master Curve for Normal Mixture

기존 연구결과(Sangyum Lee, 2007)에 의하면 소석회가 아스팔트 혼합물의 강성을 높이는 것은 아니며, 피로 및 소성변형에 대한 모형에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한 바인더에 소석회를 교반하는 경우 바인

Table 4. Determination of Coefficients for Material Properties

	Coefficients				
	δ	α	β	γ	
Master curve	1.89037	1.92564	-0.9883	0.562776	
Rutting model	D	A	B	C	
	UM	-9	0.4	4.256	0.31681
	LM	-6	0.431	2.577	0.63859
Fatigue model	A	B	C		
	UM	9.034227	-5.624	-3.93	
	LM	1.15351	-5.072	-2.292	

더의 점도 및 공용등급에 영향을 미친다(Sebaaly et al, 2010). 이와 관련하여 본 연구에서는 소석회의 영향을 KPRP에 적용하기 위해 마스터커브는 일반 혼합물과 소석회 첨가 혼합물에 차이를 두지 않았으며, 파괴모형과 바인더 특성에서 차이를 두었다. Table 4는 본 연구에서 실제 사용한 마스터커브 모델 계수, 러팅모델 계수, 균열 모델 계수를 나타낸다.

여기서, Table 4의 각 계수들은 Eq. (2), (3), (5)에서 표현한 각 함수 내 계수를 의미한다.

또한, 본 연구에서 활용한 기존 연구에 따르면 공용등급 64-22 바인더에 소석회를 교반하는 경우 공용등급을 76-22까지 증가시킨다. 따라서 이에 대한 공용등급을 적용하면 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Bitumen Properties

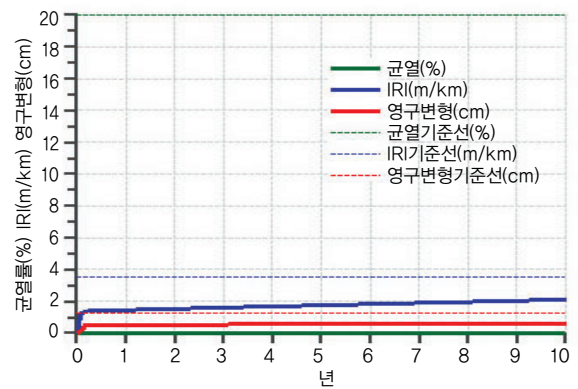
Condition	PG	Bitumen viscosity properties	
		A	VTS
UM	64-22	10.98	-3.68
LM	76-22	9.715	-3.208

여기서, Table 5의 A 및 VTS(Viscosity Temperature Susceptibility)는 AASHTO 2002의 아스팔트 바인더의 점도, 감온성 관계식 점도의 감온성 곡선 절편(A) 및 점도-감온성 관계에 대한 기울기(VTS)를 의미한다. 최종적으로 목표로 하는 포장의 공용성 및 신뢰도는 소성변형, 피로 및 IRI에서 각각 20%, 1.3cm, 3.5m/km로 설정하였다. 이 분석에 대한 공용성 신뢰도는 KPRP에서 90% 범위 이내로 해석하도록 되어 있다.

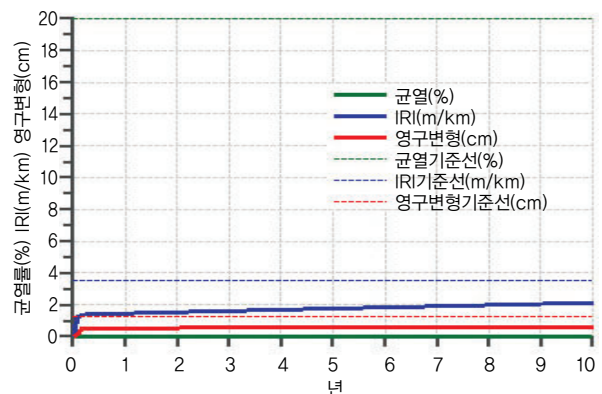
5. 공용성 평가 결과

러팅, 피로 및 바인더의 성능을 개선하여 KPRP에 적용한 후, 아스팔트 포장 10년, 20년의 공용성을 평가한 결과는 Fig. 5와 같다.

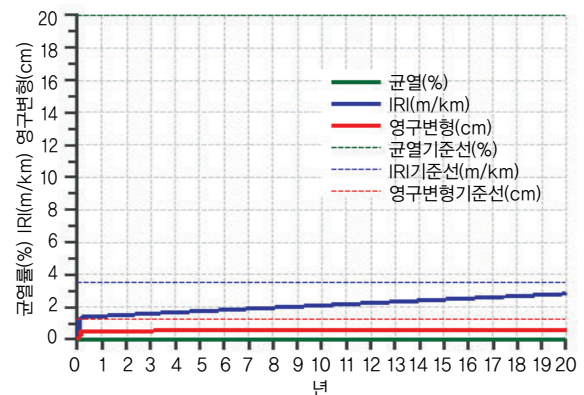
러팅에 대한 공용성의 경우, 공용기간이 10년일 때 소석회 치환 아스팔트 포장과 일반 아스팔트 포장의 차이가 없었으나 공용기간이 20년으로 증가됐을 때는 영구 변형이 소석회를 치환하지 않은 포장과 치환한 포장에 1mm 차이를 보였다. 반면, 피로파괴 및 평탄성 지수에서는 두 포장층 사이에서 차이를 보이지 않았다.



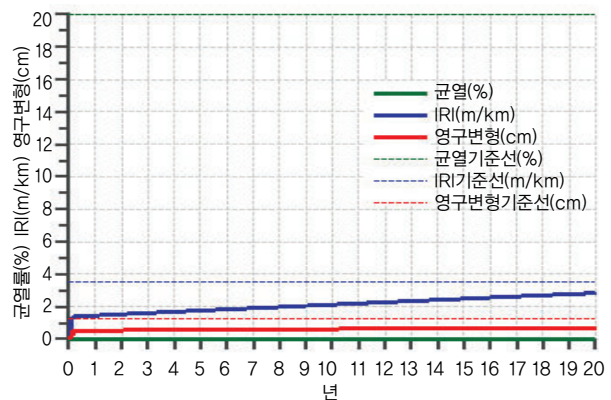
(a) 10 year performance period / Normal



(b) 10 year performance period / Lime-modified



(c) 20 year performance period / Normal



(d) 20 year performance period / Lime-modified

Fig. 5 Performance Analysis Results

6. 결론

본 연구에서는 소석회를 아스팔트 혼합물 배합에 첨가한 것을 가정하여 이를 한국형 포장 설계 프로그램에 반영하고자 하는 목적을 두었다. 기존 연구 논문의 결과를 활용하였으며, 소석회를 사용하는 경우 혼합물의 동탄성계수에 대한 마스터커브 차이는 거의 없으며, M-EPDG에 대한 러팅 및 피로파괴모형 계수가 달라질 수 있다는 것을 적용하였다. 뿐만 아니라, 소석회를 바인더에 교반하는 경우 바인더 자체의 공용등급을 증가시키는 것을 KPRP에 반영하였다. 본 연구 결과에 따른 연구 결론은 다음과 같다.

1. 10년 관측 기상자료를 활용하는 KPRP의 경우 급변하는 이상기후를 완벽하게 반영한다고 할 수 없기 때문에 이를 근거로 기후변화에 따른 포장 특성 변화를 예측하는 것이 어렵다. 이는 과거자료를 사용하는 KPRP로는 급변하는 기상현상을 독립적으로 반영하기 어렵다는 것을 내포한다.
2. 소석회를 아스팔트 배합에 사용하는 것은 수분민감성을 증가시키지만, KPRP에서는 수분저항성에 대한 사항을 반영하기 위해서는 단지 M-EPDG 모형의 계수값 조정에만 초점을 두고 있다. 따라서 파괴모형에 대한 반영일 뿐, 이는 수분민감도를 반영했다고 할 수 없다.
3. 소석회를 첨가하는 방식은 최적아스팔트 함량의 변화 및 입도변화 등 배합설계에 영향을 미치기 때문에 소석회가 아스팔트 포장에 미치는 영향을 KPRP에서 구현하기 위해 차후 연구에서는 2등급 설계 및 1등급 설계 반영 방안을 찾아내는데 목적을 둘 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) [No. 2011-0030040].

REFERENCE

- Imran Hafeez, Mumtaz Ahmad Kamal, Mohammad Reza Ahadi and Mahir J. N. Msawil. (2011). "Effects of Hydrated Lime on Fatigue and Rutting Behavior of HMA Mixtures in Dynamic Modulus Testing", *Transportation Research Journal*, Vol. 1, No. 1, pp. 23-34.
- Park, JooYoung, Park, JeongWoo, Kim, SangHo, Liu, JuHo and Jeong, JinHoon. (2012). "Comparative Analysis in Sensitivity of Cumulative Fatigue Damage of Mechanistic-Empirical Concrete Pavement Design Program", *Journal of Highway Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp. 15-24.
- Peter E. Sebaaly, Elie Hajj, Dallas Little, Sivakulan Shivakolunthar, Thileepan Sathanathan and Kamilla Vasconcelos. (2010). "Evaluating the Impact of Lime on Pavement Performance", *National Lime Association Final Report from University of Nevada Reno*.
- Saeid Hesami, Hossein Roshani, Gholam Hossein Hamed and Alireza Azarhoosh. (2013). "Evaluate the mechanism of the effect of hydrated lime on moisture damage of warm mix asphalt". *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 47(2013), pp. 935-941.
- Sangyum Lee. (2007). "Investigation of the effects of Lime on the Performance of HMA using Advanced Testing and Modeling Techniques", *Paper for the degree of Doctor of Philosophy of North Carolina State University*.
- Sangyum Lee and Sungho Mun. (2012). "Performance based evaluation of lime addition methods in hot mix asphalt". *Can. J. Civ. Eng.* Vol. 39, pp. 172-179.
- Sangyum Lee, Dowan Kim and Yeon-Woo Choi. (2014). "Development of Predictive Model for the Number of Potholes Using Multi Regression Analysis", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. Vol. 14, No. 3, pp. 91-98.
- Yujin Lim, Jinwook Lee, SeongHyeok Lee and ByeongSik Lee. (2014). "Analysis of Permanent Deformations in Asphalt Mixtures for Design of Asphalt Trackbed Foundation", *Journal of the Korean Society for Railway*. Vol. 17, No. 2, pp. 123-132.
- Yujin Lim, SeongHyeok Lee, Jinwook Lee and ByeongSik Lee. (2014). "Application of a Simple Non Destructive Test Method to Obtain the Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures used for an Asphalt Trackbed Foundation", *Journal of the Korean Society for Railway*. Vol. 17, No. 2, pp. 114-122.