

# MEPDG를 이용한 아스팔트/연속철근 콘크리트 복합포장 간편 설계

## Simple AC/CRC Composite Pavement Design Using MEPDG

백 종 은 Baek, Jongeun | 정희원 · 한국건설기술연구원 도로포장연구실 수석연구원 (E-mail : pocketdream@gmail.com)  
김 형 배 Kim, Hyung Bae | 정희원 · 도로교통연구원 도로연구실 수석연구원 (E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)  
이 현 종 Lee, Hyun Jong | 정희원 · 세종대학교 건설환경공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** Analysis and design of asphalt concrete (AC) and continuously reinforced concrete (CRC) composite pavements.

**METHODS :** In this study, the service life of the AC/CRC composite pavements was determined based on the probabilistic method in the mechanistic-empirical pavement design guide(MEPDG). Typical pavement design was provided with respect to heavy truck traffic volume of highways.

**RESULTS :** The service life of the composite pavements based on IRI was shorter than that based on rutting at lower traffic volume, but this trend was switched at higher traffic volume.

**CONCLUSIONS :** It is concluded that the main distress affecting the service life of the composite pavements was longitudinal roughness and rutting. Roughness became lower, but rut depth became greater as the stiffness of the CRC increased.

### Keywords

composite pavement, mechanistic-empirical pavement design, service life, IRI, rut depth

Corresponding Author : Lee, Hyun Jong, Professor  
Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University  
209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 143-747, Korea  
Tel : +82.2.3408.3812 Fax : +82.2.3408.4332  
E-mail : hlee@sejong.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Sep. 15, 2014 Revised Sep. 17, 2014 Accepted Nov. 20, 2014

## 1. 연구목적 및 배경

도로포장기술의 발전에 따라 다양한 기능과 내구성을 높여 보다 양질의 서비스를 제공하고 또한 유지보수 및 사용자 비용을 절감할 수 있는 고내구성, 고기능성 포장의 개발이 요구되고 있다. 이를 위해서 쾌적하고 안전한 주행환경을 위한 소음저감 및 배수기능이 우수한 포장재료의 개발과 더불어 설계수명을 향상시켜 유지보수를 근본적으로 줄일 수 있는 포장 기술이 요구된다. 하지만 일반적인 아스팔트 콘크리트(AC) 포장과 시멘트 콘크리트(PCC) 포장은 재료적 구조적 한계가 있기 때문에 두 포장의 장점을 접목한 복합포장이 미국, 유럽, 일본

을 중심으로 적용되고 있다.

일반적인 복합포장은 노후된 콘크리트 슬래브를 아스팔트 덧씌우기로 보수한 결과로 발생한 AC/PCC 복합포장이다. 이러한 경우 기존 콘크리트 포장의 내구성으로 소성변형에는 강하지만 줄눈 또는 횡방향 균열부에서 반사균열이 많이 발생하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 연속철근 콘크리트(CRC, continuously reinforced concrete)를 기층으로 사용하고, 배수성 아스팔트 포장을 표층으로 사용한 AC/CRC 복합포장을 적용하였다(Hassan et al. 2008). 이 AC/CRC 복합포장의 공용성을 10년 이상 조사한 결과 우수한 소음감소

효과뿐만 아니라 반사균열도 전혀 발생하지 않은 것으로 나타났다. 또한 생애주기비용 분석결과 시멘트처리기층(Cement Treated Base, CTB) 또는 CRC기층을 가지는 복합포장이 경제성이 가장 우수한 것으로 나타났다(Flintsch et al. 2008). 최근 들어 미국에서는 SHRP 2(The Second Strategic Highway Program)의 일환으로 고성능 아스팔트 표층을 가지는 신규 콘크리트 포장으로 구성된 복합포장을 개발하였다(Rao et al. 2013). 이러한 결과로부터 고성능, 장수명 AC/PCC 복합포장이 기존 AC, PCC 포장을 대신할 수 있을 것으로 전망된다.

국내에서도 최근 들어 복합포장에 대한 관심이 높아지고는 있다. 한국건설기술연구원에서는 섬유보강 콘크리트 기층과 기능성 아스팔트 표층을 사용하여 포장 두께를 줄인 복합포장을 개발하고 포장 해석 및 간편 설계방법을 제안하였다(Yoo et al. 2009, Lee et al. 2012, Jang et al. 2012, Yoo et al. 2013).

본 연구에서는 저소음·배수성 아스팔트 표층과 CRC 기층을 가지는 복합포장의 거동특성을 바탕으로 공용수명을 추정하고, 고속도로 교통량에 적합한 복합포장 단면을 제안하고자 한다.

## 2. 복합포장 해석

### 2.1. 단면구조

본 연구에서 대상으로 하는 복합포장은 Fig. 1과 같이 AC 표층(10cm), CRC 기층(18~25cm), 보조기층(15cm), 노상의 4층 구조로 되어있다. AC 표층 상부는 배수 및 저소음 기능을 고려한 배수성 포장으로 구성되어 있고, 하부에는 방수와 균열방지를 위하여 매스틱 아스팔트(Mastic asphalt)가 사용된다. 배수성 포장 상부(3cm)는 최대골재크기 10mm, 공극률 19%, PG82-22 등급 개질아스팔트 바인더 함량 4.7%인 아스팔트 혼합물이 사용되었다. 배수성 포장 하부(4cm)는 최대골재크기 19mm, 공극률 15%, PG76-22 등급의 개질아스팔트 함량이 4.5%인 아스팔트 혼합물이 사용되었다. 매스틱 아스팔트의 최대골재크기는 10mm이고, PEN40-50 등급의 아스팔트 바인더가 8.0% 사용되었다. 시멘트 콘크리트 층은 고속도로의 중차량에 의한 교통하중에 대한 충분한 지지력을 확보하기 위하여 사용되었으며, 아스팔트 콘크리트 층에서의 반사균열 발생을 최소화하기 위하여 CRC를 사용하였고, 두께는 교통량에 따라 18~25cm로 적용하였다.



Fig. 1 Composite Pavement Layer Composition

## 2.2. 포장 해석 조건

### 2.2.1. 일반조건

AASHTO(the American Association of State Highway and Transportation Officials)에서 개발한 역학적-경험적 포장설계법(Mechanistic-empirical pavement design guide, MEPDG)을 이용하여 Fig. 1에 나타난 복합포장 단면에 대하여 공용수명을 계산하였다. 이를 바탕으로 설계수명 20년에 적합한 복합포장 단면을 결정하였다. MEPDG에서는 신규 아스팔트 및 시멘트 콘크리트 포장, 아스팔트 및 시멘트 덧씌우기를 가지는 복합포장 등 다양한 종류의 포장 단면에 대하여 포장파손을 예측하여, 이를 통하여 공용수명을 예측할 수 있다. 하지만 덧씌우기 포장이 아닌 신설 복합포장에 대한 해석 방법은 아직 없다(ARA 2004). 따라서 주어진 해석 방법 중 신규 복합포장에 가장 유사한 방법인 연속철근 콘크리트 포장(CRCP) 위에 아스팔트 콘크리트 덧씌우기를 가지는 단면을 기초로 하여 해석을 실시하였다. 신설 CRCP의 공용기간은 공사기간만을 고려하여 1개월로 가정하였다. 이때 CRCP 표면상태는 종·횡방향 균열 및 Punch-out과 같은 손상이 발생하지 않은 매우 우수한 상태로 가정하였다. 복합포장의 초기 IRI는 신규 아스팔트 포장의 HPCI(Highway Performance Condition Index) 값이 5.0인 경우를 기준으로 하여 0.6m/km로 가정하였다. 신설 복합포장의 경우 콘크리트 층과 아스팔트 층간의 부착력이 매우 우수하므로 층경계면은 완전부착조건으로 가정하였다.

### 2.2.2. 교통량

본 연구에서는 중차량의 비중이 높은 남해고속도로 서부산 IC에서 사상 IC 구간의 교통량 자료를 기초로 하였다. 이 구간의 2013년 일일 총 교통량은 122,038대이다. Table 1에 나타난 바와 같이 총 교통량 중 포장의 손상에 미치는 영향이 가장 큰 보통 버스, 대형 트럭

Table 1. Daily Traffic Volume on Express Highway 104 from Seobusan IC to Sasang IC

Location	Year	Passenger car	Bus		Truck				Sum	
			Small	Large	Small	Medium	Large	Trailer	Heavy	Total
Seobusan IC~ Sasang IC	2013	57,654	4,873	<b>3,619</b>	22,911	17,829	<b>8,891</b>	<b>6,261</b>	<b>18,771</b>	122,038
	2022	61,207	5,174	<b>3,842</b>	24,323	18,928	<b>9,439</b>	<b>6,647</b>	<b>19,928</b>	129,560
	2032	66,124	5,590	<b>4,151</b>	26,277	20,448	<b>10,197</b>	<b>7,181</b>	<b>21,529</b>	139,968

및 트레일러를 포함하는 중차량 통행량은 18,771대 (15.4%)이다. 연도별 교통량 증가량은 1%로 크지 않은 것으로 가정하였다. MEPDG에서는 중차량을 Class 4~13으로 세분화하여 교통량을 입력한다. 따라서 본 해석에서는 각 중차량 종류에 따른 교통량을 MEPDG Class에 맞게 환산하여 적용하였다.

### 2.2.3. 환경조건

포장체의 물성에 영향을 미칠 수 있는 대기온도 및 일조량, 강수량과 같은 환경조건은 Enhanced Integrated Climatic Model(EICM)을 이용하여 고려하였다(ARA 2004). 환경조건은 대구지역에서 2000~2001년도에 수집된 데이터를 기초로 하여 강수량 및 바람속도, 대기 온도 등으로부터 포장체 각 층의 온도변화를 추정하였다.

## 2.3. 포장체의 물성

### 2.3.1. 아스팔트 콘크리트

MEPDG에서는 설계의 중요도와 입력물성의 수준에 따라서 3가지 수준으로 포장 해석을 실시한다. 본 연구에서는 제한된 실내시험 자료로 인하여 가장 낮은 해석 수준인 Level 3을 적용하여 기존 예측 모델을 이용하여 아스팔트 콘크리트의 물성을 추정하였다. 배수성 아스팔트 혼합물의 경우 동탄성계수 예측 모델에 포함되지 않았기 때문에 정확한 값을 추정하기 어렵다. 따라서 배수성 아스팔트 혼합물과 유사한 동적안정도를 나타내는 개질 밀입도 아스팔트 혼합물로 가정하여 동탄성계수를 추정하였다. 10mm 배수성 아스팔트 혼합물의 경우 10mm 밀입도 아스팔트 혼합물의 골재입도를 가지고, PG 82-22 등급의 바인더를 사용하였고, 유효바인더 함량은 혼합물 체적대비 9~11%, 공극률은 5%로 가정하였다. 19mm 배수성 아스팔트 혼합물의 경우 19mm 밀입도 아스팔트 혼합물의 골재입도를 가지며, PG 76-22 등급의 바인더를 사용하였고, 유효바인더 함량은 혼합물 체적대비 9~11%, 공극률은 5%로 가정하였다. 매스틱 아스팔트의 경우 10mm 구스아스팔트 입도, PEN 40-50 등급의 바인더를 사용하였고, 유효바인더 함량

은 11~15%, 공극률은 1%로 하였다. 아스팔트 혼합물의 포아송비는 모두 0.35로 가정하였다.

### 2.3.2. 시멘트 콘크리트

CRC에 사용되는 시멘트 콘크리트의 28일 휨강도는 고속도로 시멘트 콘크리트 포장공사 지침에서 제시한 설계기준인 4.5MPa를 만족하는 4.7~5.0MPa 범위의 값을 사용하였다. 균열간격 및 폭에 많은 영향을 미치는 철근량은 면적대비 0.5~0.7% 범위에서 사용하였다. 시멘트 콘크리트의 탄성계수는 30.4GPa, 포아송비는 0.15로 가정하였다.

### 2.3.3. 보조기층 및 노상

보조기층과 노상의 탄성계수는 각각 300MPa과 150MPa로 가정하였고, 포아송비는 0.4로 동일하게 가정하였다.

## 2.4. 공용성 평가기준

복합포장의 공용성 평가는 IRI 및 소성변형, 종방향 균열, 횡방향 균열 등 4가지 항목을 대상으로 하였다. 이 중에서 종·횡방향 균열은 아스팔트와 콘크리트 층의 경계면이 완전부착일 경우 아스팔트 포장에서 인장응력이 발생하지 않으므로 20년의 공용기간 동안에 발생하지 않는다. 따라서 공용기간 동안에 한계값이 발생할 가능성이 높은 IRI와 소성변형량에 대한 공용수명 중 작은 값을 복합포장의 공용수명으로 최종 결정하였다. 여기서 보수시기 즉, 공용수명을 결정하는 기준은 한국도로공사 기준으로 IRI는 3.5m/km, 소성변형량은 12.5mm를 사용하였다(Han et al. 2011). MEPDG에서 사용하는 IRI(Eq. 1)와 소성변형량(Eq. 2) 예측 모델 식은 다음과 같다(ARA 2004).

$$IRI = IRI_0 + 0.0082627(t) + 0.0221832(RD) + 1.33041 \left( \frac{1}{(TC_s)_{MH}} \right) \quad (1)$$

여기서,  $IRI_0$ 는 초기 IRI(m/km),  $t$ 는 덧씌우기 후 시간(년),  $RD$ 는 평균 소성변형량(mm),  $(TC)_{MH}$ 는 중규모 이상 횡방향 균열의 평균거리(m)를 나타낸다.

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = k_1 \times 10^{-3.4488} \times T^{1.5606} \times N^{0.479244} \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon_p$ 는 N번째 하중까지 누적된 소성변형률,  $\epsilon_r$ 는 아스팔트 콘크리트에서의 회복변형률,  $T$ 는 온도(°F),  $d$ 는 측정 깊이(in),  $h_{ac}$ 는 아스팔트 층 전체 두께(in)를 나타낸다. 또한 깊이에 따른 영향을 고려하기 위하여 다음과 같은 보정계수를 적용한다.

$$k_1 = (C_1 + C_2 + d) \times 0.328196^d \quad (3)$$

여기서,

$$C_1 = -0.1039 \times h_{ac}^2 + 2.4868 \times h_{ac} - 17.342 \quad (4)$$

$$C_2 = 0.0172 \times h_{ac}^2 - 1.7331 \times h_{ac} + 27.428 \quad (5)$$

## 2.5. 복합포장의 공용수명 결정

### 2.5.1. 주요 변수

복합포장의 공용수명에 가장 많은 영향을 미칠 수 있는 주요 인자들은 교통량, 아스팔트 혼합물 바인더 함량, 시멘트 콘크리트 슬래브 두께, 철근량, 휨강도 등이다. Table 2는 주요 인자 항목과 가능한 범위를 나타낸다. 여기서, 복합포장의 주요 인자 중의 하나인 아스팔트 층의 두께는 시공성을 고려하여 고정시켰고, 보조기층과 노상의 영향은 고려하지 않았다. 주어진 변수들의 범위 내에서 포장 해석을 실시하여 각각의 교통량에 따른 최적의 복합단면을 결정하였다.

Table 2. Variables used in the Pavement Analysis

Variables		Value
Daily heavy truck traffic volume(x1000)		10, 18, 25
10mm permeable AC	Effective binder content(%)	9, 10, 11
19mm permeable AC	Effective binder content(%)	9, 10, 11
	Binder grade	PG82-22, PG76-22
Concrete	Thickness(cm)	18, 20, 23, 25
	Steel content(%)	0.5, 0.6, 0.7
	Flexural strength(MPa)	4.7, 5.0

### 2.5.2. 공용수명 결정방법

주어진 조건에 대하여 공용기간에 따른 IRI와 소성변형량을 계산하고 각각의 경우에 대해 공용수명을 결정하였다. 이 때 입력변수와 예측 모델의 불확실성을 고려하기 위하여 확률론적 방법으로 신뢰도 50%와 80%에 대하여 공용수명을 Fig. 2와 같이 결정하였다. Fig. 2(a)에 나타낸바와 같이 신뢰도 80%인 경우 IRI값은 8년 후 기준치인 3.5m/km에 도달하였고, 신뢰도 50%인 경우에는 11년 후에 기준치에 도달하였다. 따라서 IRI 기준 복합포장의 공용수명은 신뢰도 80% 수준에서 8년, 50% 수준에서 11년으로 결정하였다. Fig. 2(b)에 나타낸바와 같이 소성변형량 기준의 경우 공용수명이 신뢰도 80%에서는 18년, 50%에서는 20년 이상으로 추정된다. 따라서 예시된 포장단면은 소성변형량보다 중단평탄성에 좀 더 취약하다고 할 수 있고, 최종 공용수명은 신뢰도 80%에서 8년, 50%에서 11년이 된다.

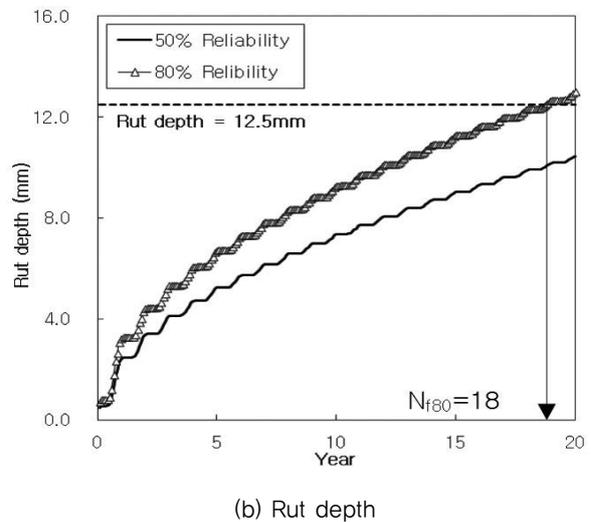
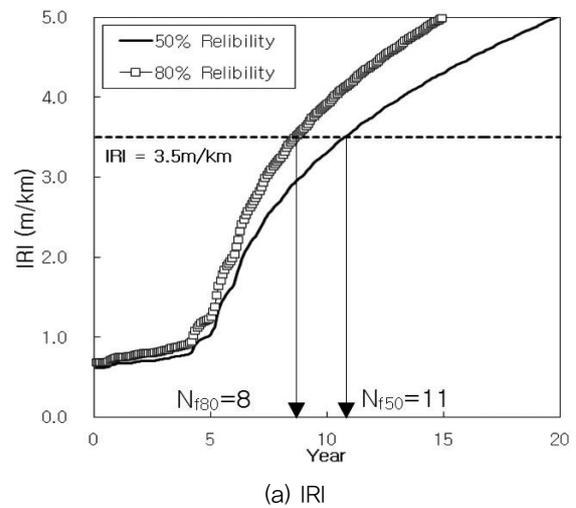


Fig. 2 Service Life of Composite Pavement based

### 2.5.3. 복합포장의 공용수명

교통량과 복합포장 설계조건에 대하여 신뢰도 50%와 80% 수준에서 결정된 복합포장의 공용수명은 Table 3 과 같다. 교통량은 중차량 기준으로 소(10,000대/일), 중(19,000대/일), 대(25,000대/일)로 구분하였다. 각 교통량에 대하여 복합포장의 공용수명 분석결과는 다음과 같다.

- 1) 소규모 교통량에서는 다양한 조건에서 설계기준 20년을 만족하는 경우가 나타났다. 소성변형량 기

준인 경우 신뢰도 50%와 80% 경우 모두 설계기준을 만족하였다. 반면 IRI 기준인 경우 신뢰도 50%인 경우 70%, 신뢰도 80%인 경우 50% 경우에서만 설계기준을 만족하는 것으로 나타났다.

- 2) 중규모 교통량에서는 설계기준 20년을 만족하는 단면이 소규모에 비해서 적게 나타났다. 특히 소성 변형량 기준 공용수명의 경우 소규모 교통량에서는 모두 설계기준을 만족하였으나 중규모 교통량에서는 신뢰도 80%에서 33%는 만족하지 못하는

Table 3. Service Life of the Composite Pavement by IRI and Rut Depth based Criterion

10mm permeable		19mm permeable		Mastic asphalt		Concrete			IRI criterion				Rut depth criterion				
Veb (%)	Va (%)	Veb (%)	Va (%)	Veb (%)	Va (%)	% steel	H (cm)	MR (MPa)	IRI (m/km)	P (%)	Service life		Rut depth (mm)	P (%)	Service life		
											50%	80%			50%	80%	
Daily large traffic volume of 10,000																	
10	5	10	5	11	1	0.6	18	4.8	3.50	<b>49.8</b>	<b>19.9</b>	<b>14.8</b>	7.4	99.1	20	20	
10	5	10	5	11	1	0.7	18	5.0	2.34	<b>97.4</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	7.4	99.1	20	20	
10	5	10	5	11	1	0.7	18	4.8	2.80	<b>85.1</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	7.4	99.1	20	20	
9	5	9	5	11	1	0.5	20	5.0	3.23	<b>64.3</b>	<b>20.0</b>	<b>17.2</b>	7.4	99.1	20	20	
9	5	9	5	11	1	0.5	20	4.8	3.87	<b>31.9</b>	<b>17.1</b>	<b>13.4</b>	7.4	99.1	20	20	
10	5	10	5	11	1	0.5	20	5.0	3.22	<b>64.7</b>	<b>20.0</b>	<b>17.3</b>	7.6	98.2	20	20	
10	5	10	5	11	1	0.5	20	4.8	3.86	<b>32.4</b>	<b>13.5</b>	<b>17.3</b>	7.6	98.2	20	20	
9	5	9	5	11	1	0.6	20	4.8	2.82	<b>84.3</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	7.4	99.1	20	20	
10	5	10	5	11	1	0.6	20	4.8	2.81	<b>84.6</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	7.6	98.2	20	20	
9	5	9	5	11	1	0.6	23	4.8	2.24	<b>98.5</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	7.6	98.5	20	20	
Daily large traffic volume of 19,000																	
10	5	10	5	11	1	0.5	20	4.8	5.0	<b>4.5</b>	<b>10.8</b>	<b>8.6</b>	10.4	77.2	20.0	19.7	
9	5	9	5	11	1	0.6	20	4.8	3.7	<b>38.4</b>	<b>18.0</b>	<b>13.3</b>	9.9	83.3	20.0	20.0	
10	5	10	5	11	1	0.6	20	4.8	3.7	<b>39.0</b>	<b>18.0</b>	<b>13.3</b>	10.4	<b>77.2</b>	<b>20.0</b>	19.7	
10	5	10	5	11	1	0.7	20	4.8	3.0	77.3	20.0	<b>19.3</b>	10.4	<b>77.2</b>	<b>20.0</b>	19.7	
11	5	11	5	11	1	0.7	20	4.8	3.0	77.7	20.0	19.3	10.9	<b>71.2</b>	<b>20.0</b>	<b>17.8</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	20	5.0	2.5	95.2	20.0	20.0	10.4	<b>77.2</b>	<b>20.0</b>	<b>19.7</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	20	4.8	3.0	77.3	20.0	19.3	10.4	<b>77.3</b>	<b>20.0</b>	<b>19.7</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	20	5.0	2.5	95.2	20.0	20.0	10.2	<b>81.0</b>	<b>20.0</b>	<b>20.0</b>	
9	5	9	5	11	1	0.6	22	4.8	3.0	<b>76.1</b>	<b>20.0</b>	<b>19.2</b>	10.4	78.6	20.0	19.8	
9	5	9	5	11	1	0.6	25	4.8	2.4	96.3	20.0	20.0	10.7	<b>74.6</b>	<b>20.0</b>	<b>18.8</b>	
9	6	9	6	11	1	0.6	25	4.8	2.4	96.2	20.0	20.0	0.45	<b>66.0</b>	<b>20.0</b>	<b>16.7</b>	
Daily large traffic volume of 30,000																	
10	5	10	5	11	1	0.7	20	4.8	3.3	<b>57.6</b>	<b>20.0</b>	15.8	11.9	58.4	20.0	<b>14.9</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	20	5.0	2.8	86.3	20.0	20.0	11.9	<b>58.4</b>	<b>20.0</b>	<b>14.9</b>	
11	5	11	5	11	1	0.7	20	5.0	2.8	86.5	20.0	20.0	12.4	<b>51.7</b>	<b>20.0</b>	<b>13.8</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	20	5.0	2.8	86.4	20.0	20.0	11.7	<b>63.1</b>	<b>20.0</b>	<b>15.8</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	23	5.0	2.3	98.1	20.0	20.0	12.4	<b>52.6</b>	<b>20.0</b>	<b>13.8</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	23	5.0	2.3	98.1	20.0	20.0	12.2	<b>57.2</b>	<b>20.0</b>	<b>14.8</b>	
10	5	10	5	11	1	0.7	25	5.0	1.9	99.9	20.0	20.0	13.0	<b>48.0</b>	<b>19.8</b>	<b>12.9</b>	

것으로 나타났다.

- 3) 대규모 교통량에서는 신뢰도 50%인 경우 대부분 공용수명이 20년 이상으로 나타난 반면에, 80%인 경우 소성변형량 기준에 모두 만족하지 않는 것으로 나타났다. 배수성 아스팔트 포장 하부의 소성변형 저항성을 높이기 위하여 고온 PG 등급을 한 단계 올려 PG82-22를 사용한 경우 소성변형량이 다소 감소하였으나 설계기준을 만족시키지는 못했다.

이러한 경향으로부터 교통량이 적은 구간에서는 IRI가 교통량이 증가함에 따라서 소성변형량이 복합포장의 가장 심각한 문제점이 될 가능성이 높다고 할 수 있다.

### 3. 복합포장 설계변수에 대한 민감도 분석

#### 3.1. IRI와 소성변형과의 상관성

Fig. 3은 복합포장에서 발생한 소성변형량과 IRI의 관계를 나타낸다. 소성변형량과 IRI 사이에는 상관성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 공용수명은 소성변형과 IRI에 대하여 각각 독립적으로 추정해 사용해야 할 것으로 판단된다. 또한 소성변형량은 전체적으로 기준치 12.5mm보다 작게 나타났는데 비하여, IRI값은 3.5m/km보다 큰 값이 상대적으로 많이 나타났으므로, 소성변형보다는 IRI값이 공용수명에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다.

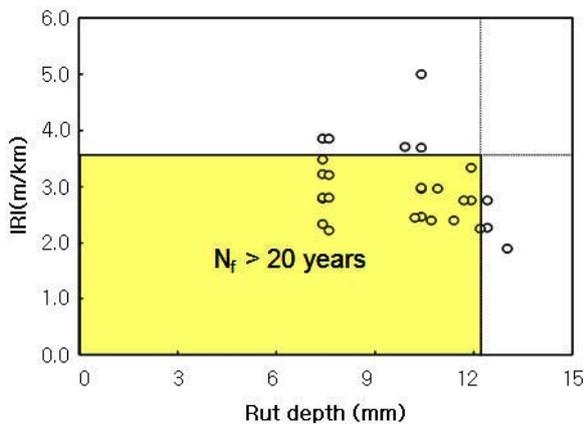


Fig. 3 Distribution of the Service Life of the Composite Pavement in Terms of IRI and Rut Depth

#### 3.2. IRI에 영향을 미치는 변수

IRI에 영향을 미치는 복합포장 설계변수를 알아보기 위하여, 다양한 조건에서 IRI와 변수 사이의 상관성을

분석하였다. Fig. 4는 4가지 변수에 따른 IRI의 변화를 나타낸다. 그림에서 나타낸 바와 같이 IRI에 영향을 가장 많이 미치는 것은 콘크리트의 철근량 및 휨강도, 두께이다. 철근량이 적을수록 또한 휨강도가 낮을수록 콘크리트의 수축·팽창이 커서 종방향균열이 많이 발생하여 Punch-out이 많이 발생하여 IRI가 증가하게 된다. 반면 콘크리트 슬래브의 두께가 증가하면 IRI가 감소하였다. 반면에 배수성 아스팔트의 바인더 함량이 IRI에 미치는 영향은 아주 미비하다고 할 수 있다. 따라서 주어진 교통량에 대해서 IRI 기준을 만족시키는 복합포장 단면을 결정하기 위해서는 콘크리트의 철근량 및 휨강도, 두께를 조절해야 할 것으로 판단된다.

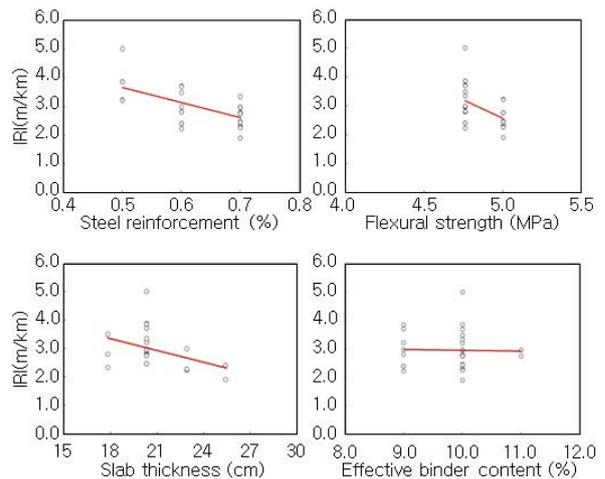


Fig. 4 Effect of Design Parameters on IRI

#### 3.3. 소성변형에 영향을 미치는 변수

IRI와 동일한 조건에서 소성변형량과 설계변수와의 상관관계를 Fig. 5에 나타내었다. 콘크리트의 철근량 및 휨강도, 두께가 증가할수록 소성변형량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 강성이 증가함에 따라서 상대적으로 강성이 낮은 아스팔트 콘크리트 층에 응력이 집중되어 소성변형량이 증가하는 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트의 철근량 및 휨강도, 두께가 증가할수록 IRI는 감소하나 소성변형량이 증가하므로 두 가지 기준을 모두 만족할 수 있는 범위에서 복합포장 단면을 결정해야 한다. 따라서 교통량이 증가하더라도 콘크리트 층 두께를 20cm 이상으로 설계하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다. 따라서 소성변형 기준을 초과할 경우 아스팔트 덧씌우기와 같은 보수를 실시하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 유효 바인더 함량이 증가함에 따라 소성변형량도 증가하므로 바인더 함량을 최소화 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

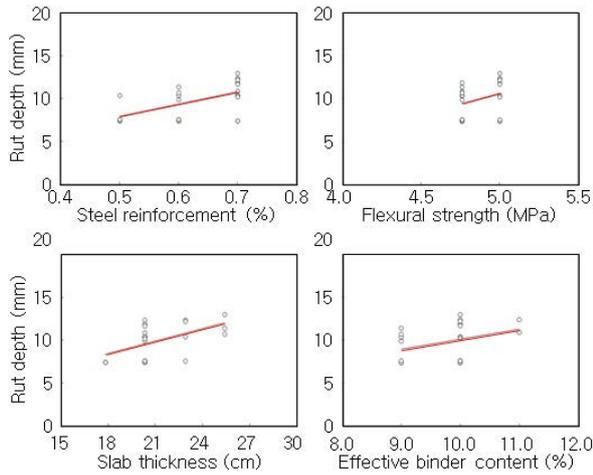


Fig. 5 Effect of Design Parameters on Rut Depth

#### 4. 대표 복합포장 단면

고속도로에 AC/CRC 복합포장을 적용할 경우 Fig. 6 과 같이 교통량, 재료 등을 고려하여 제시된 4가지 복합 포장 단면을 사용할 수 있다. 중차량 교통량이 10,000 대/일 이하인 경우, CRC의 철근량을 고려하여 단면 1과 2 중 현장 시공성과 경제성을 고려하여 최종 단면을 선택할 수 있다. 중차량 교통량이 20,000~30,000대/일 인 경우, PG82-22 등급의 바인더가 배수성 포장 하부에 사용되는 19mm 배수성 아스팔트 혼합물에 사용되고, 콘크리트의 휨강도는 5.0MPa 이상이어야 한다.

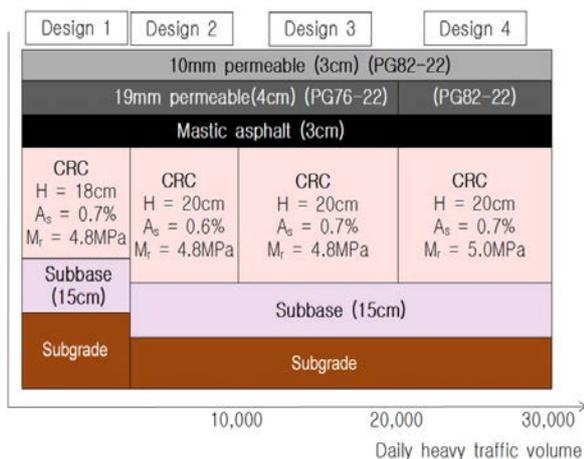


Fig. 6 Simple Design for AC-CRC Composite Pavement

하지만 복합포장이 특수한 환경에 사용될 경우 본 연구에서 제시한 단면이 적합하지 않을 수도 있기 때문에, 이러한 경우에는 MEPDG와 같은 포장설계법을 이용하여 복합포장 단면을 결정해야 한다. 여기서 특수한 환경

이란 중차량 교통량이 30,000대/일 이상이거나 환경조건이 대구지역과 크게 상이하거나, 복합포장에 사용된 재료가 본 연구에서 사용한 재료와 다른 경우를 말한다. 또한 복합포장이 산악지역과 같이 오르막과 내리막이 많거나, 연약지반 같이 성토지반 환경이 상이한 경우에도 적용하기 어렵다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 저소음·배수성 기능을 가지는 아스팔트 포장 표층, 우수한 부착성의 매스틱 아스팔트 중간층, 고내구성 연속철근콘크리트 기층을 가지는 AC/CRC 복합 포장의 거동특성을 분석하였다. 소성변형량과 IRI값을 기준으로 신뢰성 50%와 80%에 대하여 공용수명을 추정하였다. 이를 통하여 교통량 수준에 따른 4가지 AC/CRC 복합포장의 대표 단면을 제시하였다. 본 연구로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. AC/CRC 복합포장의 공용수명을 결정하는 주요 파손 요소는 소성변형과 IRI이다.
2. AC/CRC 복합포장은 일 중차량 교통량이 10,000대 이하인 저교통량 구간에서는 IRI 기준 공용수명이 소성변형 공용수명에 보다 작고, 교통량이 19,000대 이상인 경우에는 소성변형 기준 공용수명이 더 작게 나타났다. 따라서 저교통량에서는 IRI, 중고교통량에서는 소성변형이 공용수명을 결정하는 인자라고 할 수 있다.
3. 아스팔트 바인더 함량, CRC의 철근량, 휨강도, 두께가 소성변형량과 IRI에 미치는 영향을 분석한 결과 CRC의 강성이 높아짐에 따라(즉 두께가 증가하고, 철근량이 많아지고, 휨강도가 증가할수록) IRI 값은 감소된 반면 소성변형량은 증가하는 것으로 나타났다.
4. 이는 CRC와 AC의 강성비가 커짐에 따라 아스팔트 층에 응력이 집중되어 소성변형이 오히려 크게 발생한다고 판단된다. 따라서 적절한 설계를 위해서는 CRC와 AC의 강성비가 크지 않도록 주의해야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업 중 "복합포장 시스템 및 폴리머 콘크리트 교면포장 개발" 및 국토교통부 "장수명 도로포장의 활성화 방안 연구"의 연구과제비로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## References

- Applied Research Associates (ARA), Inc. 2004. Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures, Final report, NCHRP 1-37A, Transportation Research Board of the National Academies.
- Flintsch, G.W., Diefenderfer, B.K., and Nunez, O. 2008. Composite Pavement Systems: Synthesis of Design and Construction Practices, Report No. FHWA/VTRC 09-CR2, Virginia Department of Transportation, VA, USA.
- Han, S.H., Yoo, T.S., Park, J.Y., Park, Y.H, Cho, J.K. 2011. A study on the reconstruction strategies of the aged concrete pavements, Research Report No. 2012-07-534-9607, Expressway & Transportation Research Institute, Express Corporation.
- Hassan, K.E., Nicholls, J.C., Harding, H.M., and Nuun, M.E. 2000. Durability of Continuously reinforced concrete surfaced with asphalt, Transport Research Laboratory Report TRL 666, United Kingdom.
- Jang, Y.J., Park, C., Park, Y., Jung, W., Choi, S.Y., and Yoo, P.J. 2012. Mechanical Performance of Fiber Reinforced Lean Concrete for Subbase of Newly Developed Multi-Functional Composite Pavement System, International Journal of Highway Engineering, Vol.14, No. 5. 21-29.
- Lee, C.J., Yoo, P.J., Choi, J.Y., and Ohm, B.S. 2012. Development of Viscoelastic Finite Element Analysis Code for Pavement Structures, International Journal of Highway Engineering, Vol.14, No. 5. 1-9.
- Rao, S. et al. 2013. Composite Pavement Systems Volume 1: HMA/PCC Composite Pavements, SHRP 2 Report No. S2-R21-RR-2, Transportation Research Board, Washington, DC., USA.
- Yoo, P.J., Choi, J.Y., and Ohm, B.S. 2009. Fatigue Characteristics of Bi-component Fiber Strands Reinforced Hot-Mix Asphalt, Proceedings of 2009 KSRE Fall Conference, Korea, 145-150.
- Yoo, P.J. et al. 2013. Development of Multifunctional Composite Pavement System : Fiber Reinforced Asphalt Concrete Mixture and Structural Analysis System Development(V), Technical Report KICT 2013-156, Korea Institute of Construction Technology.