

일반국도 줄눈 콘크리트 포장의 성능인자와 임계한도

Performance Indicator and Threshold Value of National Highway Jointed Concrete Pavements

여현동* · 서영국** · 서영찬*** · 정진훈****

Yeo, Hyun Dong · Seo, Youngguk · Suh, Young Chan · Jeong, Jin Hoon

Abstract

Recently, researches on the performance warranty contracting has been going on to improve construction quality in road pavement area. The performance warranty contracting gives construction companies opportunity to select materials and methods freely while asks them to maintain a certain level of performance during a given period. To introduce the performance warranty contracting in Korea, lots of research results on performance indicator and threshold value of asphalt pavement have been made to be included in the warranty specification. However, research effort on the performance indicator and threshold value of concrete pavement which is commonly constructed in expressway and national highway has not been enough. In this study, the warranty duration, performance indicator, and threshold value of the concrete pavement were investigated by reviewing literatures on cases of the performance warranty contracting in European countries and states of the US. Major distresses influencing the performance of jointed concrete pavement were investigated and analyzed to be compared to the warranty duration, performance indicator, and threshold value of foreign countries.

Keywords : concrete pavement, national highway, performance warranty, performance indicator, threshold value

요 지

최근 도로포장 분야에서는 시공품질을 개선하기 위한 방편으로 성능보증 계약제도에 관한 연구가 진행되고 있다. 성능보증 계약제도는 시공회사에게 자유롭게 재료와 공법을 선택할 수 있는 기회를 부여하고 발주자가 제시하는 일정 수준 이상의 성능을 주어진 기간 동안 유지하게 하는 것이다. 성능보증 계약제도의 도입을 위하여 아스팔트 포장 분야에서는 성능보증 시방서에 포함될 성능인자와 임계한도에 관한 연구가 많이 진행된 상태이다. 그러나 고속국도뿐만 아니라 일반국도에서도 많이 시공되고 있는 콘크리트 포장 분야에서는 성능인자와 임계한도에 관한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 유럽 국가와 미국 각 주의 성능보증 계약제도 사례에 관한 문헌을 검토하여 콘크리트 포장의 성능보증기간, 성능인자, 그리고 임계한도에 관한 조사를 실시하였다. 수원, 의정부, 예산, 충주, 전주, 포항, 남원, 진영, 정선, 영주, 진주, 홍천, 보은의 일반국도 13구간에서 줄눈 콘크리트 포장의 성능에 영향을 미치는 주요 파손을 조사하고 분석하여 해외의 성능보증기간, 성능인자, 그리고 임계한도와 비교하였다.

핵심용어 : 콘크리트 포장, 일반국도, 성능보증, 성능인자, 임계한도

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 도로포장 분야에서는 시공품질을 개선하기 위한 방편으로 성능보증 계약제도(Performance Warranty Contracting) 도입에 대한 연구가 시작되고 있다. 성능보증 계약제도는 일반적으로 제품의 성능을 기반으로 한 보증계약제도의 한 종류로서 제품의 보전을 보증하고 계약상대자에게 결함에 대한 보수와 교체에 대한 책임을 지게 하는 계약 제도이다.

성능보증 계약제도는 시공회사가 시공을 실시함에 있어서 주어진 시방기준대로만 따르던 기존의 방식을 지양함으로써 시공회사가 자유롭게 재료와 공법을 선택할 수 있도록 기회를 부여하고 발주자가 제시하는 일정 수준 이상의 성능을 주어진 기간 동안 유지하도록 요구하고 있다. 여기서 도로 포장에 있어서의 성능이란 공용성과 관련된 파손의 정도와 노면의 평탄성, 마찰 특성 등을 일컫는다. 따라서 성능보증 계약제도는 새로운 재료와 공법을 자유롭게 도입할 수 있는 계기가 되어 시공회사에서 자발적으로 시공 기법 및 품질관리

*인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : yhd19831@naver.com)

**정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사 (E-mail : seoyg89@ex.co.kr)

***정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : suhyc@hanyang.ac.kr)

****정회원 · 교신저자 · 인하대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : jhj@inha.ac.kr)

기법 개발에 노력하게 되고 건설기술이 향상되도록 유도할 수 있다. 발주자는 적은 관리 비용으로 좋은 품질의 결과물을 얻을 수 있다.

해외 사례를 살펴보면 유럽은 1960년대에 도로포장분야에 성능보증 계약제도를 도입하여 수십 년 동안 재료 및 공법에 대해서 시행해 오고 있다(D'Angelo 등, 2003). 미국의 경우 2000년도 이래로 미네소타, 인디애나, 텍사스, 버지니아, 오하이오, 유타 주 등 많은 주에서 도로포장분야에 성능보증 계약제도를 시행해오고 있다(Minnesota DOT, 2001; Ferragut, 2003; Anderson 등, 2001; Ozbek, 2004; Hastak, 2003; Anderson 등, 2005).

현재 국내에서는 성능보증 계약제도 도입에 관한 연구의 일환으로 아스팔트 포장 분야에서 성능보증시방서와 관련하여 성능인자와 임계한도에 대한 연구가 많이 진행된 상태이다. 그러나 고속국도뿐만 아니라 일반국도에서도 많이 사용되고 있는 콘크리트 포장 분야에서는 성능보증시방서와 관련하여 성능인자와 성능보증기간, 임계한도에 관한 연구가 상대적으로 부족한 실정이다. 그러므로 국내 콘크리트 포장에 발생하는 주요 파손의 종류와 재령에 따른 파손 정도를 분석하고 해외 성능보증시방서에 사용되고 있는 성능보증기간, 성능인자, 임계한도에 관한 사례를 조사하여 국내에 적합한 성능보증기간, 성능인자, 임계한도를 제안할 필요가 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 콘크리트 포장의 성능보증시방서의 중요한 요소인 성능보증기준을 수립하기 위하여 유럽 및 미국 각 주의 사례에 대한 문헌 조사를 실시하여 성능보증기간과 성능인자 및 임계한도에 대한 조사를 실시하였다. 국내 고속국도와 일반국도의 PMS(Pavement Management System) 조사항목(박성태 등, 2007; 한국건설기술연구원, 1997)과 해외의 성능인자를 비교하였다. 국내 일반국도 중 줄눈 콘크리트 포장인 수원, 의정부, 예산, 충주, 전주, 포항, 남원, 진영, 정선, 영주, 진주, 홍천, 보은의 13개 구간에서 조사된 파손 조사 자료를 사용하여 국내 콘크리트 포장의 주요 파손의 종류와 파손 정도를 분석하였다(한국건설기술연구원, 1997). 국내 고속국도 줄눈 콘크리트 포장은 자료의 부족으로 본 연구에서 제외되었으나 차후에 추가로 연구할 예정이다. 조사구간에 발생한 각종 파손의 평균값으로만 결과를 제시하던 기존 방법과는 달리 본 연구에서는 주요 파손을 재령에 따라 정구분포화하여 통계적으로 분석하였으며 그 결과를 해외 성능보증시방서에 사용되고 있는 성능보증기간, 성능인자, 임계한도와 비교하였다.

2. 해외 사례조사

일리노이 주(Button, 2005)를 포함한 미국 대다수 주에서

표 1. 파손 식별 매뉴얼에 따른 콘크리트 포장 파손의 종류와 정의(Miller and Bellinger, 2003)

파손 종류		정 의
균열 (Cracking)	종방향 균열(Longitudinal Cracking)	차량 진행 방향과 평행으로 발생하는 균열
	횡방향 균열(Transverse Cracking)	차량 진행 방향과 수직으로 발생하는 균열
	우각부 파손(Coner Breaks)	차량 진행 방향의 45 각도로 발생된 균열로 인해 슬래브 우각부가 떨어져 나가는 현상
	내구성(D) 균열(Durability Cracking)	슬래브 우각부에 머리카락 형태로 다수 발생하여 슬래브 표면이 검은 색을 띠게 하는 균열
줄눈 결함 (Joint Deficiencies)	종방향 줄눈 채움재 손상 (Longitudinal Joint Seal Damage)	종방향 줄눈 채움재의 경화, 비부착, 또는 완전한 손실
	횡방향 줄눈 채움재 손상 (Transverse Joint Seal Damage)	횡방향 줄눈 채움재의 경화, 비부착, 또는 완전한 손실
	종방향 줄눈의 스펠링 (Spalling of Longitudinal Joints)	종방향 줄눈에서 0.3m 이내에 균열이 발생되어 슬래브 모서리가 떨어져 나가는 현상
	횡방향 줄눈의 스펠링 (Spalling of Transverse Joints)	횡방향 줄눈에서 0.3m 이내에 균열이 발생되어 슬래브 모서리가 떨어져 나가는 현상
표면 파손 (Surface Defects)	맵 균열(Map Cracking)	슬래브 표면에서 얇은 깊이로 서로 이어진 연속적 균열로서 종방향으로 큰 균열이 나타나고 횡방향으로 잔균열이 나타남
	스케일링(Scaling)	3mm에서 13mm 깊이로 슬래브의 표면이 벗겨지는 현상
	골재마모(Polished Aggregate)	노출된 굵은 골재 표면의 모르타르와 표면처리제가 벗겨지는 현상
	팝 아웃(Pop out)	13mm에서 50mm 깊이로 25mm에서 100mm 직경의 작은 슬래브 조각이 떨어져 나가는 현상
	블로우 업(Blow up)	횡방향 줄눈이나 균열 위치에서 슬래브가 상향으로 치솟는 현상
기타 파손 (Miscellaneous Distress)	단차 (Faulting of Transverse Joints and Cracks)	줄눈이나 균열 위치에서 높이가 갑자기 달라지는 현상
	차로/길어깨 단차 (Lane/Shoulder Drop-off)	길어깨의 침하 등으로 인해 길어깨와 슬래브의 높이가 서로 달라지는 현상
	차로/길어깨 분리 (Lane/Shoulder Separation)	길어깨와 슬래브 종방향 모서리 간의 줄눈이 벌어지는 현상
	패칭(Patch/Patch Deterioration)	0.1m ² 이상의 기존 슬래브가 제거되고 재포장된 부분
	블리딩/뿔뿔(Water Bleeding/Pumping)	줄눈이나 균열 틈으로 포장 내부의 물이 방출되는 현상

는 미연방도로국(FHWA)에서 발간한 LTPP 프로그램을 위한 파손 식별 매뉴얼(Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program)에 따라 아스팔트 포장뿐만 아니라 콘크리트 포장의 파손을 식별하고 있다(Miller and Bellinger, 2003). 표 1과 표 2는 파손 식별 매뉴얼에 따라 콘크리트 포장에 발생하는 파손의 유형과 정의 및 측정 방법을 정리한 것이다.

미국에서는 35개 주에서 성능보증 계약제도를 도입하여 사용하고 있다(Gharaibeh 등, 2008). 각 주의 성능보증 시방서를 조사한 결과, 대부분의 주에서 아스팔트 포장에 대해서만 성능인자와 임계한도를 갖고 있으며, 미네소타, 위스콘신, 인디애나, 일리노이, 미시간, 플로리다, 유타 주 등에서만 아스팔트 포장과 함께 콘크리트 포장에 대한 성능인자를 제시하고 있다. 본 논문에서는 콘크리트 포장에 대한 성능보증 계약제도가 나름대로 정착된 대표적인 주인 미네소타,

인디애나, 플로리다 주에 대하여 관련된 자료를 수집하여 분석을 실시하였다(Gharaibeh, 2008; Minnesota DOT, 2001; Ferragut, 2003; Brautigam, 2007).

미네소타, 인디애나, 플로리다 주의 성능보증 시방서는 공통적으로 균열에 대한 성능인자를 포함하고 있으나 줄눈 채움재 손상, 스케일링은 미네소타와 인디애나 주에서만 사용되었고 스포링, 부서진 슬래브는 미네소타와 플로리다 주에서만 사용되었다. 이 밖에도 미네소타 주에서는 내구성(D) 균열, 우각부 파손, 팝 아웃, 기능상실 줄눈, 맵 균열을 성능인자로 사용하고 있었으며, 인디애나 주는 국제 평탄성 지수(International Roughness Index)와 마찰 지수(Friction Number)를 성능인자로 사용하고 있었다. 또한, 플로리다 주에서는 주행 안정성(Rideability)을 Ride Number로 정의하고 있었다. 본 연구에서는 임계한도의 비교를 위해서 Ride Number를 IRI로 치환하여 표에 추가로 나타냈다(Hassan 등,

표 2. 파손 식별 매뉴얼에 따른 콘크리트 포장 파손의 측정 방법(Miller and Bellinger, 2003)

파손 종류		측정 방법
균열 (Cracking)	종방향 균열 (Longitudinal Cracking)	파손 정도(상, 중, 하)에 따른 종방향 균열의 길이를 측정 (양호한 상태로 실링된 경우 종방향 균열의 실링 길이를 측정)
	횡방향 균열 (Transverse Cracking)	파손 정도(상, 중, 하)에 따른 횡방향 균열의 길이를 측정 (양호한 상태로 실링된 경우 횡방향 균열의 실링 길이를 측정)
	우각부 파손(Coner Breaks)	우각부 균열의 개수를 파손 정도(상, 중, 하)에 따라 측정 (패칭이 실시된 경우에는 패칭으로 간주)
	내구성(D) 균열 (Durability Cracking)	내구성 균열이 발생된 슬래브의 개수와 발생 면적을 파손 정도(상, 중, 하)에 따라 측정
줄눈 결함 (Joint Deficiencies)	종방향 줄눈 채움재 손상 (Longitudinal Joint Seal Damage)	채움재가 사용된 종방향 줄눈의 개수와 채움재가 손상된 종방향 줄눈의 총 길이를 파손 정도의 구분 없이 측정
	횡방향 줄눈 채움재 손상 (Transverse Joint Seal Damage)	채움재가 손상된 횡방향 줄눈 개수를 파손 정도(상, 중, 하)에 따라 측정
	종방향 줄눈의 스포링 (Spalling of Longitudinal Joints)	0.1m 이상 길이의 스포링이 발생된 종방향 줄눈의 총 길이를 파손 정도(상, 중, 하)에 따라 측정 (패칭이 실시된 경우는 패칭으로 간주)
	횡방향 줄눈의 스포링 (Spalling of Transverse Joints)	줄눈 길이의 10%이상 스포링이 발생된 횡방향 줄눈의 개수와 스포링의 길이를 파손 정도(상, 중, 하)에 따라 측정 (패칭이 실시된 경우는 패칭으로 간주)
표면 파손 (Surface Defects)	맵 균열(Map Cracking)	맵 균열의 개수와 면적을 측정
	스케일링(Scaling)	스케일링의 개수와 면적을 측정
	폴재마모(Polished Aggregate)	폴재마모가 발생된 면적을 측정
	팝 아웃(Pop out)	-
기타 파손 (Miscellaneous Distress)	블로우 업(Blow up)	블로우 업의 개수를 측정
	단차 (Faulting of Transverse Joints and Cracks)	슬래브 바깥 쪽 모서리로부터 0.3m와 0.75m 떨어진 곳 (비 휠패스 지점)에서 측정 (3회 측정 평균값)
	차로/길어깨 단차 (Lane/Shoulder Drop-off)	15.25m 간격으로 차로와 길어깨 사이의 단차를 측정
	차로/길어깨 분리 (Lane/Shoulder Separation)	15.25m 간격으로 차로와 길어깨 사이의 이격거리를 측정
	패칭(Patch/Patch Deterioration)	패칭의 개수, 면적, 패칭이 떨어져 나간 정도를 파손 정도(상, 중, 하)에 따라 측정
	블리딩/뽀핑(Water Bleeding/Pumping)	1m 이상 길이의 블리딩/뽀핑의 개수와 길이를 측정

표 3. 미네소타, 인디애나, 플로리다, 위스콘신, 미시간 주의 성능보증기간, 분석구간, 임계한도 산정근거(Gharaibeh, 2008)

	미네소타	인디애나	플로리다	위스콘신	미시간
성능보증기간	5년	5년	5년	5년	5년
분석구간	160m (0.1 mile)	성능인자에 따라 다양함	160 m/차로 (0.1 lane mile)	1mile 당 2개의 0.1mi 구간	160 m/차로 (0.1 lane mile)
임계한도 산정근거	PMS 자료	PMS 자료	재령 3-5년 포장 95% 수준	재령 5년 포장 90% 수준	PMS 자료

표 4. 미네소타, 인디애나, 플로리다 주의 성능인자와 임계한도(Minnesota DOT, 2001; Ferragut, 2003; Brautigam, 2007)

파손 종류	미네소타	인디애나	플로리다
종방향 균열(Longitudinal Cracking)	분석구간 길이의 5%	허용 안함	- 모든 균열에 대하여 폭이 3mm(1/8 inch) 이하인 균열 4개 허용 - 균열 폭 10mm(3/16 inch)를 초과하는 균열은 허용 안함
횡방향 균열(Transverse Cracking)	허용 안함	허용 안함	
우각부 균열(Coner Breaks)	분석구간 중 1개	-	
내구성(D) 균열(Durability Cracking)	분석구간 중 3개 슬래브	-	
줄눈 채움재 파손(Joint Sealant Damage)	분석구간에서 총 파손 길이 3.6m(12ft) 이하	2 m	-
스케일링(Scaling)	분석구간 면적 중 1%	40 m ²	-
스폴링(Joint Spalling)	0.6m 이내 길이의 각 스폴링이 분석구간에서 총 길이 3.6m(12ft) 이하	-	휠패스 : - 폭 25mm(1inch), 길이 150mm(6inch)의 스폴링 4개 허용 - 폭 76mm(3inch)와 길이 300mm(12inch)를 초과하는 스폴링은 허용 안함 휠패스 이외 : - 폭 38mm(1.5inch), 길이 300mm(12inch)의 스폴링 4개 허용 - 폭 76mm(3inch)와 길이 300mm(12inch)를 초과하는 파손 허용 안함
부서진 슬래브(Shattered Slab)	허용 안함	-	허용 안함
팝 아웃(Popouts)	0.836 m ² (1제곱 야드) 당 15개	-	-
기능상실 줄눈(Nonfunctioning Joints)	허용 안함	-	-
맵 균열(Map Cracking)	허용 안함	-	-
국제 평탄성 지수(IRI)	-	1.4 mm/m	1.66 mm/m(Ride Number < 3.7)
마찰 지수(Friction Number)	-	Friction Number 25	-

2001; Sayers 등, 1996).

미네소타와 플로리다 주에서 공통으로 제시한 성능인자인 스폴링의 임계한도를 비교해 보면 미네소타 주는 스폴링을 종방향과 횡방향 줄눈에서 0.6m 이내의 길이를 가지는 파손으로 정의하며 분석구간(160m)에서 전체 스폴링의 길이가 3.6m(12ft) 미만이 되도록 규정하고 있다. 플로리다 주는 휠패스 지점에서 폭 25mm(1inch), 길이 150mm(6inch)의 스폴링을 4개까지 허용하고 비 휠패스 지점에서는 폭 38mm(1.5inch), 길이 300mm(12inch)의 스폴링을 4개까지 허용하고 있다.

3. 국내 콘크리트 포장 파손 조사 및 분석

3.1 조사 방법

현재 국내에서는 전 국토에 대해서 PMS(Pavement Management System)의 일환으로 아스팔트 포장뿐만 아니라 콘크리트 포장에 발생하는 파손을 지속적으로 조사하고 있다. 국내 콘크리트 포장은 대부분 고속국도에 시공되어 있고 일부 일반국도에 시공되어 있다. 고속국도의 포장 상태 조사 및 분석은 한국도로공사에서 수행하고 있고 일반국도는 건설기술연구원에서 실시하고 있다(박성태 등, 2007; 한국건설기술연구원, 1997). 표 5는 일반국도와 고속국도에서 사용하

고 있는 콘크리트 포장 조사 항목을 정리한 것이다.

한국건설기술연구원(2008)에서는 일반국도 PMS 조사 시 자동 포장상태 조사장비를 사용하여 포장에 발생된 결함을 조사하고 있다. 자동 포장상태 조사장비는 주행 중인 차량에 설치된 고성능 카메라로 노면을 촬영하여 스캔된 노면을 분석할 수 있도록 하는 장비이다. 일정한 크기의 노면 이미지로 격자망을 형성하고 결함이 발생된 곳을 체크함으로써 결함 발생량을 정량화하는 격자망 분석 방법을 사용하며, 조사된 이미지 자료를 입력으로 분석한 후 분석된 자료를 자동으로 수치화하는 방법을 사용하고 있다. 포장 표면에 발생된 결함 뿐 아니라 고정밀 고속레이저를 차량에 장착하여 포장의 굴곡을 측정함으로써 차량 주행방향에 대한 종단 평탄성도 측정하고 있다.

콘크리트 포장의 경우 10m 간격으로 포장에 발생된 종방향 균열, 횡방향 균열, 우각부 균열, 내구성 균열, 스폴링, 패칭 등의 결함 자료를 얻은 후 수집된 자료를 각 슬래브 별로 구분함으로써 결과적으로는 슬래브 별로 발생된 종류별 결함을 얻게 된다.

3.2 조사 대상 및 분석 방법

3.2.1 조사 대상

국내의 포장 조사 항목과 해외의 성능보증 시방서에 사용

표 5. 고속국도와 일반국도의 콘크리트 포장 파손 조사 항목(박성태 등, 2007; 한국건설기술연구원, 1997)

구 분	공통 조사 항목	추가 조사 항목
일반국도(한국건설기술연구원)	종방향 균열, 횡방향 균열, 내구성(D) 균열, 우각부 균열, 스폴링, 패칭, 종단 평탄성	줄눈 파손
고속국도(한국도로공사)		단면보수, 편차아웃, 스케일링

되고 있는 성능인자는 콘크리트 포장에 구조적 및 기능적으로 큰 영향을 끼치는 결합인 종방향 균열, 횡방향 균열, 우각부 균열, 내구성(D) 균열, 스폐링 등을 공통적으로 포함하고 있다(박성태 등, 2007; 한국건설기술연구원, 1997). 하지만, 미네소타 주는 국내 포장 조사 항목과 공통적인 성능인자 이외에도 맵 균열과 같은 미세 결합을 성능인자로 규정하고 있는 반면 국내폴링 등미세 결합이 1996년 국토유지보수조사 항목에 포함되지 않았으며, 인디애나 주폴링 성능인자로 사용하고 있는 등Friction Number 역 1996년 국토유지보수조사 항목에 포함되어 있지 않아 국내 포장 조사항목과 외국의 성능인자는 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다(Minnesota DOT, 2001; Ferragut, 2003; 한국건설기술연구원, 1997).

국내에 적합한 성능인자를 결정하기 위해서 콘크리트 포장의 파손 중에서 종방향 균열, 횡방향 균열, 내구성(D) 균열, 우각부 균열, 스폐링, 줄눈 파손, 종단 평탄성(IRI)을 콘크리트 포장의 주요 파손으로 정하고 자료를 수집한 후 분석하였다. Friction Number는 분석을 위한 자료의 부족으로 주요 파손에서 제외되었으나 차후에 자료를 수집하여 국내의 성능인자로서 적합한지 판단해야 할 것으로 보인다. 주요 파손의 재령 별 파손 정도를 알기 위해 한국건설기술연구원에서 1996년에 조사한 PMS 자료 중 표 6과 같이 수원, 의정부, 예산, 충주, 전주, 포항, 남원, 진영, 정선, 영주, 진주, 홍천, 보은의 일반국도에 시공된 줄눈 콘크리트 포장(Jointed Concrete Pavement)의 재령 별 파손을 분석하였다. 고속국도 콘크리트 포장은 자료가 부족하여 본 연구에서 제외되었으나 차후에 추가로 연구할 예정이다.

한국건설기술연구원(1997)에 의하면 분석을 위하여 전체 구간을 500m 분석구간으로 나누고 분석구간에서 포장 결합이 발생한 콘크리트 슬래브의 개수를 파악하였다. 결합의 정도는 조사에서 제외되었다. 줄눈 파손은 줄눈에 발생한 파손의 개수와 결합 정도를 종합하여 매우 양호한 '0'에서 매우 불량한 '3'까지 4단계로 분리, 조사를 실시하였다. 종단 평탄성은 측정 장비인 APL(Longitudinal Profile Analyser)을

사용하여 측정된 포장의 평탄성을 QI(Quarter-car Index)로 산출하였다. 본 조사에서는 APL로 포장의 요철을 250mm마다 측정하고 분석구간 내의 측정값들을 평균하여 QI를 산출하였다. 본 연구에서는 평탄성지수 QI를 국제평탄성지수인 IRI(International Roughness Index)로 환산하여 분석하였다(Hong, 2007).

3.2.2 분석 방법

조사된 자료는 재령에 따라 정규분포화하여 통계적으로 분석하였다. 예로서 재령 5년인 콘크리트 포장에 발생한 스폐링의 통계적인 분석 과정을 살펴보면 다음과 같다. 여기서 재령 5년인 포장에 발생한 파손이라 함은 도로가 개통된 이후 5년 동안 누적된 파손을 의미한다.

- 1) 전체 조사구간을 500m 분석구간 단위로 구분한다.
- 2) 스폐링이 발생한 슬래브 개수를 500m 분석구간별로 측정한다.
- 3) 스폐링이 발생한 슬래브 개수 별로 500m 분석구간이 몇 %씩 분포하는지를 그림 1과 같이 나타낸다.
- 4) 500m 분석구간에서의 스폐링이 발생한 슬래브의 평균 개수 μ 와 표준편차 σ 를 구한 후 그림 2와 같이 표준 정규화 하여 상위 95%, 90%, 50%의 확률을 갖는 스폐링 발생 슬래브의 개수를 정한다.

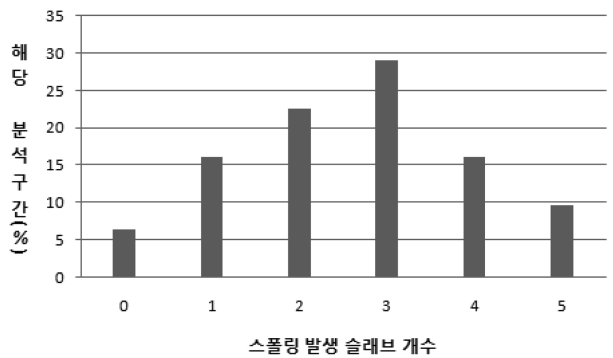


그림 1. 스폐링 발생 슬래브 개수별 분석구간 비율 예

표 6. 분석구간 정보(한국건설기술연구원, 1997)

재령	분석 지역 (일반국도)	조사구간 길이 (km)	분석구간 개수 (개)	재령	분석 지역 (일반국도)	조사구간 길이 (km)	분석구간 개수 (개)
5년	보은	8.0	16	8년	진영	2.5	5
	예산	11.5	23		진주	11.0	22
	충주	2.0	4		홍천	13.0	26
6년	진영	3.0	6	9년	남원	12.5	25
	충주	9.5	19		예산	12.5	25
	홍천	5.0	10		의정부	47.5	95
7년	의정부	6.0	12		전주	13.0	26
	진영	8.0	16		진영	7.5	15
	충주	10.0	20	포항	9.0	18	
8년	남원	16.5	33	10년	수원	38.0	76
	영주	8.0	16		예산	1.5	3
	의정부	1.0	2		의정부	1.5	3
	정선	8.0	16		충주	6.0	12

조사구간 길이¹ = 500m (분석구간 길이) x 분석구간 개수

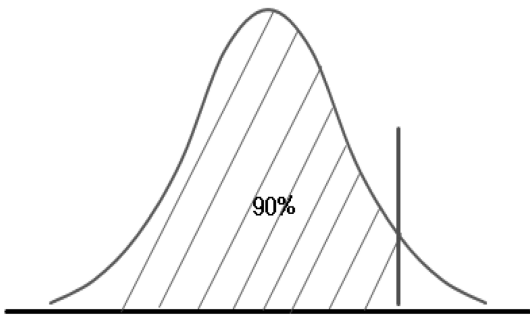


그림 2. 스폐링 발생 슬래브 개수의 표준 정규분포화 예

3.3 분석 결과

3.3.1 종방향 균열 (Longitudinal Cracking)

인디애나 주는 종방향 균열을 허용하지 않고 있으며 (Ferragut, 2003), 미네소타 주는 5년의 성능보증기간 안에 종방향 균열의 총 길이가 분석구간 160m(0.1mile)의 5%인 8.0m를 초과하지 않도록 임계한도로 규정하고 있다 (Minnesota DOT, 2001). 플로리다 주는 160m(0.1mile)의 분석구간에서 재령 3~5년인 콘크리트 포장에 대해 95% 확률로 임계한도를 결정하여 종방향 균열을 포함한 폭 3mm(1/8inch)를 전후의 모든 균열을 4개까지 허용하고 폭 10mm(3/16inch)를 초과하는 균열은 허용하지 않는다 (Brautigam, 2007). 본 연구에서는 균열의 길이와 폭에 대한 고려 없이 균열이 발생된 슬래브의 개수만으로 조사된 자료로 분석을 실시하였으므로 미네소타 및 플로리다 주의 임계한도와는 비교가 불가능하다. 따라서 미네소타 및 플로리다 주와의 정확한 비교를 위해서는 향후 균열의 길이와 폭에 대한 조사와 분석이 필요한 것으로 판단된다.

종방향 균열이 발생된 슬래브의 개수는 그림 3과 같이 재령에 따라 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 분석된 결과를 살펴보면 90% 확률일 때 500m 분석구간에서 종방향 균열이 발생된 슬래브의 개수는 재령 5년에서는 0.56개로 매우 적었으나 재령 6년에서 재령 9년 사이에서는 1.97~2.01개로 크게 증가했다. 재령 10년에서는 종방향 균열이 발생된 슬래브의 개수가 12.06개로 재령 9년에 2.01개였던 것에 비해 10.04개가 급격히 늘어났다. 분석결과를 통해서 종방향 균열은 콘크리트 포장 재령 9년 이후에 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

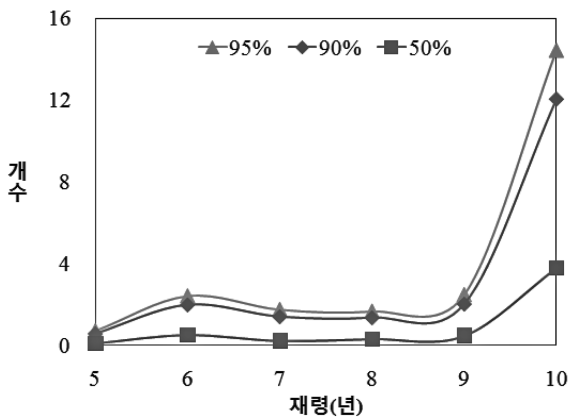


그림 3. 재령별 분석구간에 대한 종방향 균열 발생 슬래브 개수

3.3.2 횡방향 균열(Transverse Cracking)

미네소타와 인디애나 주는 횡방향 균열을 허용하지 않고 있으며(Minnesota DOT, 2001; Ferragut, 2003), 플로리다 주는 재령 3~5년인 콘크리트 포장에 대해 95% 확률로 결정된 임계한도로 160m(0.1mile)의 분석구간에서 횡방향 균열을 포함한 폭 3mm(1/8inch)를 전후의 모든 균열을 4개까지 허용하고 폭 10mm(3/16inch)를 초과하는 균열은 허용하지 않고 있다(Brautigam, 2007). 본 연구에서는 균열의 길이와 폭을 고려하지 않고 균열이 발생된 슬래브의 개수를 조사한 자료로 분석을 실시하였으므로 플로리다 주의 임계한도와는 비교가 불가능하다. 따라서 플로리다 주와의 정확한 비교를 위해서는 균열의 길이와 폭에 대한 조사와 분석이 필요한 것으로 판단된다.

횡방향 균열이 발생된 슬래브의 개수는 그림 4와 같이 재령에 따라 점차 증가하는 것으로 나타난다. 특히, 90% 확률일 때 재령 5년과 6년에 분석구간 내에서 횡방향 균열 발생 슬래브의 개수가 0.88개와 1.66개로서 1개 안팎이었던 반면 재령 7년 이후에는 3.06개 이상으로 크게 증가하였다. 재령 7년부터 10년까지의 경향을 살펴보면 90% 확률일 때 분석구간 내 횡방향 균열이 발생된 슬래브의 개수는 3개 내외로 거의 동일하게 나타났다. 재령 10년 이후 횡방향 균열이 크게 증가했을 가능성이 있으므로 재령 10년 이후에 대한 조사와 분석이 추가로 필요한 것으로 판단된다.

3.3.3 내구성(D) 균열 (Durability Cracking)

미네소타 주는 내구성 균열의 임계한도로서 분석구간 160m(0.1mile) 내 내구성 균열이 발생된 슬래브의 개수를 3개까지 허용하고 있다(Minnesota DOT, 2001). 플로리다 주는 재령 3~5년인 콘크리트 포장에 대해 95% 확률로 결정된 임계한도로 160m(0.1mile)의 분석구간에서 내구성 균열을 포함한 폭 3mm(1/8inch) 전후의 모든 균열을 4개까지 허용하고 폭 10mm(3/16inch)를 초과하는 균열은 허용하지 않는다(Brautigam, 2007).

그림 5를 살펴보면 재령 7년 이후 내구성 균열이 발생된 슬래브의 개수가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 증가된 절대량은 매우 작아 90% 확률일 때 재령 10년에 분석구간에서 내구성 균열이 발생된 슬래브의 개수는 0.79개로서 1개가 되지 않는 작은 개수였다. 즉, 재령 10년에 걸쳐 내구성 균열이 매우 적게 발생된 것으로 내구성 균열에

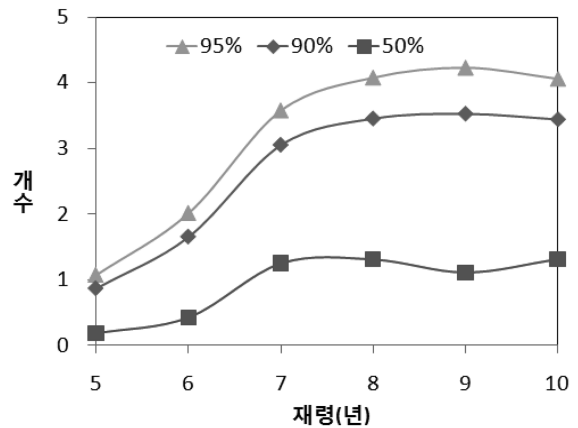


그림 4. 재령별 분석구간에 대한 횡방향 균열 발생 슬래브 개수

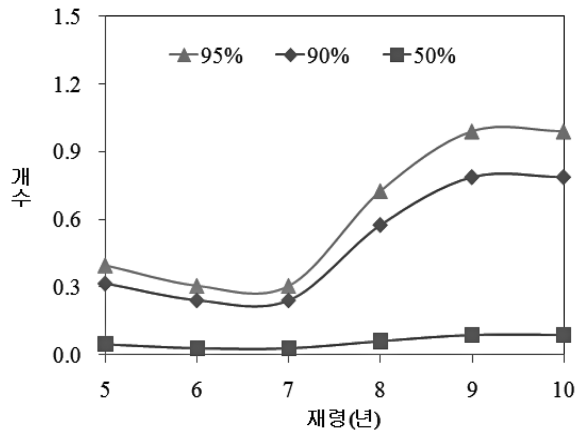


그림 5. 재령별 분석구간에 대한 내구성 균열 발생 슬래브 개수

대한 임계한도 및 성능보증기간을 결정하기 위해서는 본 연구의 조사기간인 재령 10년보다 더 긴 재령까지 조사하고 분석하여 내구성 균열이 급격하게 발생하는 재령을 파악해야 할 것으로 판단된다.

3.3.4 우각부 균열 (Coner Breaks)

인디애나 주에서는 우각부 균열을 성능인자에 포함하고 있지 않으나 미네소타 주의 경우 5년의 성능보증기간 내에 160m(0.1mile) 분석구간에서 1개가 발생하는 것을 우각부 균열의 임계한도로 결정하고 있다(Minnesota DOT, 2001; Ferragut, 2003; Brautigam, 2007). 플로리다 주는 재령 3~5년인 콘크리트 포장에 대해서 95% 확률로 임계한도를 결정하여 160m(0.1mile)의 분석구간에서 우각부 균열을 포함한 폭 3mm(1/8inch) 전후의 모든 균열을 4개까지 허용하고 폭 10mm(3/16inch)를 초과하는 균열은 허용하지 않고 있다(Brautigam, 2007). 본 연구에서는 우각부 균열의 폭을 고려하지 않고 우각부 균열이 발생된 슬래브 개수만을 조사한 자료를 분석하였다. 따라서 향후에는 콘크리트 포장에 발생된 우각부 균열의 폭에 대한 조사와 분석이 필요한 것으로 판단된다.

우각부 균열은 그림 6과 같이 재령에 따라 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 90% 확률일 때 재령 9년에 분석구간에서 우각부 균열이 발생된 슬래브의 개수는 2.42개였던 반면 재령 10년에는 6.69개로 갑자기 증가함을 알 수 있었다. 재령

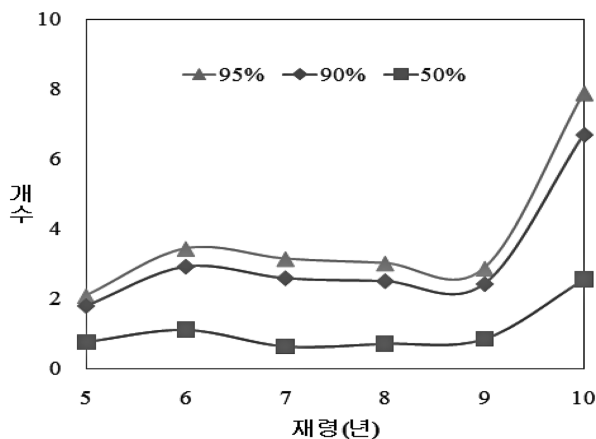


그림 6. 재령 별 분석구간에 대한 우각부 균열 발생 슬래브 개수

7년, 8년, 9년보다 재령 6년에 우각부 균열이 발생된 슬래브의 개수가 약간 더 많은 것으로 나타났는데 이는 재령 6년에 해당되는 구간이 진영과 충주 중 진영에서 재령 7년, 8년, 9년에 해당되는 구간보다 우각부 균열이 더 많이 발생된 것으로 조사되었기 때문이다. 특정 지역인 진영에서 우각부 균열이 더 많이 발생된 이유를 파악하기 위해서 그 구간의 포장 두께, 교통량, 환경적 영향 등에 대한 면밀한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

3.3.5 스포링 (Joint Spalling)

미네소타 주에서 정의하는 스포링은 0.6m 이내의 길이를 갖는 파손으로서 분석구간에 발생된 스포링의 전체 길이가 3.6m(12ft)를 초과하지 않도록 임계한도로 정하고 있다(Minnesota DOT, 2001). 플로리다 주에서는 휠패스 구간과 휠패스 이외 구간으로 나누어 스포링의 임계한도를 정하고 있다. 플로리다 주는 분석구간 160m(0.1mile) 중 휠패스 구간에서는 폭 25mm(1inch)와 길이 150mm(6inch)의 스포링을 4개까지 허용하고 폭 76mm(3inch)를 초과하는 스포링은 허용하지 않고 있다. 휠패스 이외 구간에서는 폭 38mm(1.5inch)와 길이 300mm(12inch)의 스포링을 4개까지 허용하고 폭 76mm(3inch)와 길이 300mm(12inch)를 초과하는 스포링은 허용하지 않고 있다(Brautigam, 2007). 본 연구에서 조사된 자료는 스포링의 폭, 길이, 그리고 위치가 고려되지 않았기 때문에 미네소타 및 플로리다 주와 비교하기 위해서는 향후 스포링의 길이, 폭, 그리고 위치에 대한 조사가 필요한 것으로 판단된다.

스포링이 발생된 슬래브의 개수는 그림 7과 같이 재령 7년과 재령 10년에 크게 증가하였다. 90% 확률일 때 재령 6년과 7년에 분석구간 내에 스포링이 발생된 슬래브의 개수를 비교한 결과 3.89개와 6.98개로 약 3개의 차이가 났다. 또한 재령 9년과 10년에 스포링이 발생된 슬래브의 개수는 8.62개와 12.62개로 4개의 차이가 발생하여 이 두 시기에 스포링이 가장 크게 증가한 것으로 나타났다.

3.3.6 줄눈 파손 (Joint Damage)

1996년 국토유지보수조사에서는 줄눈에 발생된 파손의 개수와 결함 정도를 종합하여 매우 양호한 '0'에서 매우 불량한 '3'까지 4단계로 구분하여 조사를 실시하였다. 그림 8에

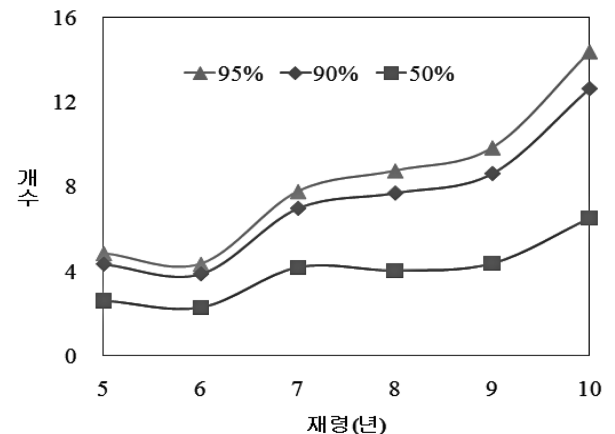


그림 7. 재령 별 분석구간에 대한 스포링 발생 슬래브 개수

서는 95%와 90% 확률인 경우 조사된 줄눈 파손 정도는 재령 10년 이내에 평가 한계인 ‘3’을 넘어선 것을 보여준다. 90% 확률일 때 “3”을 넘어서는 재령 9년 이후에는 심각한 파손으로 인해 분석구간이 도로의 기능을 상실한 것으로 평가하였다. 90% 확률로 재령 8년과 9년에 파손 정도를 비교해 보면 2.64와 3.13로 0.49의 차이를 보여 이 기간 동안 줄눈 파손의 정도가 매우 심해진 것으로 나타났다.

미네소타와 인디애나 주는 줄눈의 파손 상태가 아닌 줄눈 채움재 손상을 성능인자로 정하고 있다. 미네소타 주는 분석구간에서 줄눈 채움재의 총 파손 길이 3.6m(12ft)를, 인디애나 주는 2m를 임계한도로 정하고 있다(Minnesota DOT, 2001; Ferragut, 2003). 향후 성능인자 결정을 위해서 줄눈 채움재 손상 개수와 길이에 대한 조사를 통해 미네소타 및 인디애나 주의 임계한도와 비교 및 분석할 필요가 있는 것으로 판단되었다. 또한, 국내에서 정성적으로 평가되고 있는 줄눈 파손과 국외에서 정량적으로 평가되고 있는 줄눈 채움재 손상 중 어떤 결합이 성능인자로서 보다 적합한지에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3.3.7 종단 평탄성(International Roughness Index)

인디애나와 플로리다 주는 종단 평탄성을 성능인자에 포함하고 있으며 성능보증기간 5년에 대해 각각 1.4mm/m와 1.66 mm/m를 임계한도로 정하고 있다(Ferragut, 2003; Brautigam, 2007). 조사된 자료를 분석한 결과인 그림 9를 보면 90% 확률일 때 재령 5년에 종단 평탄성은 3mm/m로 인디애나 및 플로리다 주의 임계한도를 초과하였다. 이는 국내와 해외 콘크리트 포장의 재료, 환경, 시공 등의 여건 차이 뿐만 아니라 조사에 사용된 종단 평탄성 측정 장비가 달라 결과에 차이가 생긴 것으로 판단되었다. 본 연구에서 사용된 자료는 1996년에 조사된 것으로 종단 평탄성을 IRI(International Roughness Index)로 측정된 것이 아니라 QI(Quarter-car Index)로 측정된 후 IRI로 환산하였으므로 환산 과정에서 실제 IRI와 차이가 생길 수 있는 것으로 판단된다. 또한, IRI는 측정 장비의 속도에 따라 값이 달라지므로(Yu 등, 2006) 향후에는 IRI 측정 시 장비의 속도를 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

그림 9에서 보듯이 재령 10년까지 재령에 따라 IRI가 조

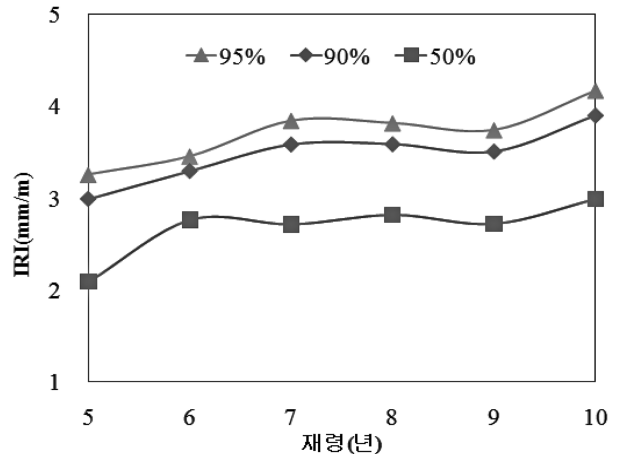


그림 9. 재령별 분석구간에 대한 종단 평탄성(IRI)

급씩 증가하는 것으로 나타났다. 그 중에서도 재령 9년과 10년 사이에 IRI가 가장 크게 증가하였으며 90% 확률로 비교해 보면 각각 3.51mm/m와 3.90mm/m로 0.39mm/m의 차이가 발생했다.

4. 해외사례와의 비교

표 7은 국내 일반국도 콘크리트 포장의 파손 종류별로 상위 90%, 50% 확률일 때 급격히 파손이 증가하는 재령과 그 때의 파손 정도를 미네소타, 인디애나, 플로리다 주의 성능인자별 임계한도와 비교한 것이다. 그리고 미네소타, 인디애나, 플로리다 주에서 성능보증기간으로 정하고 있는 재령 5년에 국내 일반국도에 발생한 주요 파손의 정도를 미네소타, 인디애나, 플로리다 주의 성능인자별 임계한도와 비교하였다.

국내 일반국도에서 주요 파손이 급격히 증가하는 재령은 6년에서 9년까지 매우 다양하게 나타났다. 90% 확률일 때 재령 5년에 종방향 균열, 횡방향 균열, 내구성 균열, 우각부 균열이 발생된 슬래브 개수의 총 합은 국내 일반국도 분석구간 500m 당 3.54개로 플로리다에서 제시하는 임계한도인 분석구간 160m 당 4개보다 좋은 결과를 보였다. 90% 확률일 때 재령 5년에 내구성 균열이 발생된 슬래브는 분석구간 500m 당 0.32개로 미네소타 주에서 제시하는 내구성 균열 임계한도인 분석구간 160m 당 슬래브 3개보다 적은 것으로 나타났다. 우각부 균열 발생 슬래브는 분석구간 500m 당 1.79개로 미네소타 주의 분석구간 160m 당 임계한도인 1개보다 많았으나 국내 분석구간이 500m로서 미네소타 주의 분석구간 160m 보다 긴 것을 감안하면 미네소타에서 제시하는 임계한도 이내의 결과를 보인 것으로 간주할 수 있다.

플로리다 주에서는 스포링에 대한 임계한도로서 휠패스 지점에서 폭 25mm(1inch)와 길이 150mm(6inch)의 스포링을 4개까지 허용하고 휠패스 이외 지점에서 폭 38mm(1.5inch)와 길이 300mm(12inch)의 스포링을 4개까지 허용하고 있다. 90% 확률일 때 재령 5년에 스포링이 발생된 슬래브의 개수는 국내 일반국도 분석구간 500m 당 4.35개로 플로리다 주의 임계한도를 약간 초과하나 국내 분석구간이 500m로서 플로리다 주의 분석구간 160m 보다 긴 것을 감안하면 플로리다 주에서 제시하는 임계한도 이내의 결과를 보인 것으로

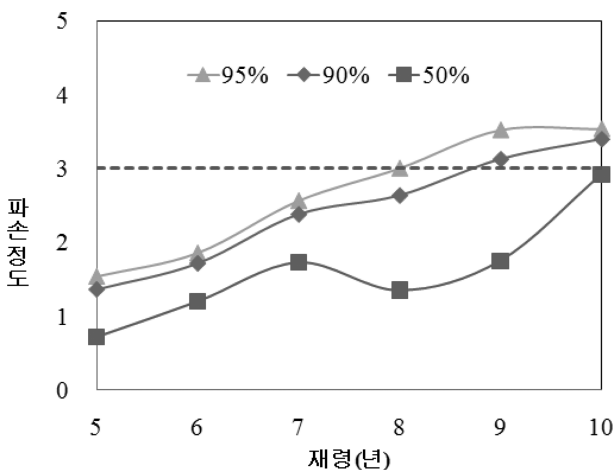


그림 8. 재령별 분석구간에 대한 줄눈 파손 정도

표 7. 국내 일반국도에서 급격한 파손 증가 시의 파손 정도와 재령 5년에서의 파손 정도

파손 종류	미네소타 임계 한도 (160m)	인디애나 임계 한도 (160m)	플로리다 임계 한도 (160m)	급격한 파손 증가 시 파손 정도			재령 5년에서의 파손 정도	
				재령	상위 90% 수준	상위 50% 수준	상위 90% 수준	상위 50% 수준
종방향 균열 (Longitudinal Cracking)	분석 구간 길이의 5%	허용 안함	- 모든 균열에 대하여 폭 3mm(1/ 8 inch) 전후의 균열 4개까지 허 용	9년	슬래브 2.01개 /500m	슬래브 0.46개 /500m	슬래브 0.56개 /500m	슬래브 0.09개 /500m
횡방향 균열 (Transverse Cracking)	허용 안함	허용 안함		6년	슬래브 1.66개 /500m	슬래브 0.43개 /500m	슬래브 0.88개 /500m	슬래브 0.19개 /500m
내구성 균열 (D Cracking)	분석구간 내 슬래브 3개	-		7년	슬래브 0.24개 /500m	슬래브 0.03개 /500m	슬래브 0.32개 /500m	슬래브 0.05개 /500m
우각부 균열 (Coner Breaks)	분석 구간 내 우각부 균열 1개	-		9년	슬래브 2.42개 /500m	슬래브 0.85개 /500m	슬래브 1.79개 /500m	슬래브 0.77개 /500m
스플링 (Joint Spalling)	분석구간내 총 스펀링 길이 3.6m (12ft)	-	휠패스: - 폭 25mm(1inch)와 길이 150mm(6inch)의 스펀링 4개까 지 허용 - 폭 76mm (3inch)를 초과하는 스펀링은 허용 안함 휠패스 이외: - 폭 38mm(1.5inch)와 길이 300mm(12 inch)의 스펀링 4개 까지 허용 - 폭 76mm(3inch)와 길이 300mm(12inch)를 초과하는 스 플링은 허용 안함	9년	슬래브 8.62개 /500m/ 500m	슬래브 4.38개 /500m	슬래브 4.35개 /500m	슬래브 2.61개 /500m
줄눈 파손 (Joint Deficiency)	-	-	-	8년	파손 등급 2.64 /500m	파손 등급 1.35 /500m	파손 등급 1.36 /500m	파손 등급 0.72 /500m
줄눈재 파손 (Joint Sealant Damage)	분석구간내 총 줄눈재 파손 길이 3.6m(12ft)	분석구간내 총 줄눈재 파손 길이 2m	-	-	-	-	-	-
종단 평탄성 (IRI)	-	1.4 mm/m	1.66 mm/m	9년	3.51 mm/m	2.72 mm/m	3.00 mm/m	2.09 mm/m

판단할 수 있었다. 이상의 비교 결과는 이미 각 파손 종류 별로 언급한 바와 같다.

5. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 포장에 대한 성능보증 관련 제도를 국내에 도입함에 있어서 핵심이 되는 성능인자와 임계한도를 결정하기 위한 연구의 일환으로 외국 콘크리트 포장의 성능보증인자와 임계한도에 대해 분석하였으며, 국내 일반국도에 건설된 콘크리트 포장의 주요 파손을 조사하고 자료를 분석하였다. 콘크리트 포장의 주요 파손에 대해 95%, 90%, 50% 확률로 재령에 따라 자료를 통계적으로 분석하였고, 이를 미네소타, 인디애나, 플로리다 주와 비교 및 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 미네소타, 인디애나, 플로리다 주의 성능인자와 국내 콘크리트 포장 파손 조사 항목을 비교하고 국내에 적합한 성능인자를 결정하기 위하여 공통되는 파손유형인 종방향 균열, 횡방향 균열, 내구성(D) 균열, 우각부 균열, 스펀링, 줄눈 파손, 종단 평탄성(IRI)에 대하여 자료수집 및 분석을 실시하였다.

(2) 콘크리트 포장의 주요 파손 중 국내 PMS 조사 항목에 포함되어 분석이 가능한 종방향 균열, 횡방향 균열, 내구성(D) 균열, 우각부 균열, 스펀링, 줄눈 파손, 종단 평탄성(IRI)에 대해 50%와 90% 확률로 분석된 재령별 파손 정도를 미네소타, 인디애나, 플로리다 주의 성능인자별 임계한도와 비교하였다.

(3) 국내에 적합한 성능보증기간을 결정하기 위하여 콘크리트 포장에 급격히 파손이 증가하는 재령을 파손유형별로 분석하였다. 그 결과 횡방향 균열 6년과 내구성 균열 7년을 제외한 다른 주요 파손의 경우 8년 이상이 경과한 후에야 파손이 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

(4) 미네소타, 인디애나, 플로리다 주는 콘크리트 포장의 성능보증 기간을 5년으로 정하고 있으므로 재령 5년의 국내 콘크리트 포장에 대하여 90%와 50% 확률로 재령별 파손 정도를 분석하여 미네소타, 인디애나, 플로리다 주의 성능인자별 임계한도와 비교하였다.

(5) 국내 PMS 조사 시 종방향 균열, 횡방향 균열, 스펀링, 줄눈 파손은 파손의 길이, 폭, 크기와 상관없이 파손이 발생한 슬래브의 개수로만 측정되었다. 하지만 미네소타, 인디애나, 플로리다 주에서는 파손의 길이, 폭, 크기를 고려하여

임계한도를 결정하였으므로 정확한 비교를 위해서는 향후 파손의 길이, 폭, 크기에 대한 추가적인 조사가 필요하다.

자료의 부족으로 본 연구에서 제외된 포장면의 마찰특성은 향후에 자료를 수집하고 분석하여 국내 성능인자로서 적합한지의 여부를 판단할 것이다. 수집된 자료가 부족하여 분석에서 제외된 고속국도뿐만 아니라 재령 10년 이상의 일반국도에서 국내 콘크리트 포장의 주요 파손에 대한 자료를 수집하고 분석하여 향후 국내 실정에 맞는 성능인자와 임계한도, 성능보증기간을 제안할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 포장성능에 근거한 시방기준 요소기술 개발 및 적용 연구과제(06기반구축A01) 4차년도 연구비에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

박성태, 박성욱, 장석명, 조성찬, 남효열, 박경원, 염상국, 인식연 (2007) *고속도로 포장상태 조사 및 분석(HPMS 부문)*, 최종 보고서, 한국도로공사, pp. 17-30.
한국건설기술연구원(1997) *96국토유지보수조사*, 연구보고서, 건설교통부, pp.1~92
한국건설기술연구원(2008) *2007 도로포장관리시스템*, 최종보고서, 국토해양부, pp. 112-119.
Anderson, S. D. and Russel, J. S. (2001) *Guide Lines for Warranty Multi-parameter and Best-value Contracting*, NCHRP Report 451, Transportation Research Board National Research Council, Washington, D.C.
Anderson, S. D., Blaschke, B., Trejo, D., and Erbatur, O. C. (2003) *Draft Warranty Specifications*, FHWA/TX-05/0-4498-1, Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office, Austin, Texas.
Anderson, S. D., Blaschke, B., Trejo, D. and Erbatur, O. C (2005) *Draft Warranty Implementation Plan*, FHWA/TX-05/0-4498-P4, Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office, Austin, Texas.
Brautigam, D. F. (2007) *Proposed Specification: 3550400-Pavement Evaluation and Remedial Action*, Florida DOT, Tallahassee, Florida.
Button, J. W. (2005) *Pavement Aspects in Design-build Contracting for Highway Projects*, Synthesis of Highway Practices Draft, Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office, Austin, Texas.
D'Angelo, J., Huber, G. A., Symons, M. G., Whited, G. C., Sumtzer, R. K., Ramirez, T. L., Molenaar, K. R., Jones, D. R., Wood, J. W., Bower, S. C., Steele, J. J., Rice, J. F., Russell, J. S., and

King, R. E. (2003) *Asphalt Pavement Warranties : Technology and Practice in Europe*, FHWA-PL-04-002, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Alexandria, Virginia.
Ferragut, T. (2003) *Pavement Warranty Symposium Final Report*, Michigan Department of Transportation and Federal Highway Administration, Grand Rapids, Minnesota
Gharaibeh, N. G. and Miron, A. D. (2008) *Warranty specifications for Highway Construction*, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board no 2081*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 77~82.
Hancher, D. E. (1994) *Use of Warranties in Road Construction*, National Cooperative Highway Research Program NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 195, National Academic Press, Washington, D.C, pp. 6-11.
Hassan, R. A. and McManus, K. J. (2001) *Truck Ride Number : A New Management Tool*, 20th ARRB Conference, 19-21 March 2001, Melbourne, Victoria, Australia.
Hastak, M. (2003) *The Evaluation of Warranty Provisions on ODOT Construction Projects*, FHWA/OH-2003/019, Ohio Department of Transportation, Columbus, Ohio.
Hong, F. (2007) *Modeling Heterogeneity in Transportation Infrastructure Deterioration :Application to Pavement*, Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, Texas
Miller, J. S and Bellinger, W. Y. (2003) *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*, FHWA-RD-03-031, US Department of Transportation Federal Highway Administration, McLean, Virginia.
Minnesota DOT (2001) *Design-Build Warranty Requirements*, TH14/218 Design-Build Project, SP 7408-29, Owatonna, Minnesota Department of Transportation, March 20, 2001.
Ozbek, M. E. (2004) *Development of Performance Warranties for Performance Based Road Maintenance Contracts*, Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia
Sayers, M. W. and Karamihas, S. M. (1996) *Estimation of Rideability by Analyzing Longitudinal Road Profile*, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board no 1536*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C, pp. 110~116.
Singh, P., Singh, P., Labi, S., McCullouch, B. G., and Sinha, K. C. (2005) *An Evaluation of the Cost-Effectiveness of Warranty Contracts in Indiana*, FHWA/IN/JTRP-2004/34, Joint Transportation Research Program, West Lafayette, Indiana.
Yu, J., Chou, Y. J., and Yau, J. T. (2006) *Development of speed-related rid quality thresholds using international roughness index*, *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board no 1974*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 47~53.
(접수일: 2009.12.17/심사일: 2010.1.18/심사완료일: 2010.3.24)