

노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기 포장 수명에 미치는 영향인자에 관한 연구

A Study for the factors affecting to the life of Asphalt Overlay on Aged Cement Concrete Pavement

손 현 장 Son, Hyeon Jang	강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : jangi85@naver.com)
아스카트 Turgynbekuly Askhat	강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : askhat.isic@gmail.com)
김 영 규 Kim, Young Kyu	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : kingdom1980@nate.com)
이 승 우 Lee, Seung Woo	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

More than sixty percentage of highway in South Korea were constructed by concrete pavements and more than half of the concrete pavements were twenty years or older. The most of highway have difficulty in providing detour due to the traffic and road condition of South Korea. So far, asphalt concrete has been used for the overlay of aged cement concrete pavement. However, the frequent early damage and maintenance of typical asphalt overlay due to repetitive maintenance causes inconvenience of road users and expensive costs. It is necessary to investigate the factors affecting the performance of asphalt concrete overlay to improve the performance of asphalt overlay. However, the performance data of asphalt concrete overlay in South Korea does not exist. In this research, to investigate on the factors affecting the life of asphalt concrete overlay was attempted based on statistical analysis of the performance data of asphalt concrete overlay included in LTPP (Long-Term Pavement Performance) Database of U.S.A.

KEYWORDS

LTPP, asphalt overlay, pavement condition index, overlay life

요지

국내 고속도로의 60% 이상이 시멘트 콘크리트 포장으로 건설되었으며, 그 중 공용년수가 20년이 넘어선 구간이 절반 이상에 달하고 있다. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 보수·보강은 국내의 도로 교통여건상 우회도로가 준비되기 어렵기 때문에 조기 교통개방이 요구되며 현재까지는 주로 아스팔트 덧씌우기가 사용되고 있다. 반면에 아스팔트 포장은 조기파손과 잦은 보수 때문에 보수·보강에 대한 비용이 크다. 현 시점에서 아스팔트 덧씌우기가 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 현실을 감안할 때, 아스팔트 덧씌우기의 수명에 미치는 영향인자가 무엇인지 검토할 필요가 있다. 따라서 아스팔트 덧씌우기 공법의 성능에 영향을 미치는 인자에 대해 조사할 필요가 있으나, 국내의 경우 아스팔트 덧씌우기의 공용 중 파손상태에 대한 자료가 체계적으로 구축되어있지 않다. 본 연구에서는 아스팔트 덧씌우기 수명과 영향인자간의 상관성을 비교하기 위해 다양한 파손자료를 구축하고 있는 미국의 LTPP data를 이용하여 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기에 대해 조기파손을 방지하고, 효율적인 보수·보강을 위해서 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명에 미치는 영향인자에 대해서 통계분석을 수행하였다.

핵심용어

LTPP, 아스팔트 덧씌우기, 포장상태지수, 덧씌우기 수명

1. 서론

국내에서는 1984년에 88고속도로를 건설하면서 콘크리트

포장을 본격적으로 적용하기 시작하였다. 2002년도 기준에 따르면 국내의 전체 콘크리트 포장은 약 15,000km(2차선기

준)로 이 중 공용년수가 20년이 넘어선 구간이 50% 이상에 달하고 있으며, 최근 들어 공용년수가 20년이 넘는 콘크리트 포장에 대해서는 포장파손상태가 심각한 경우 덧씌우기 포장을 실시하고 있다(건설교통부, 2005).

국내의 2007년도 건설교통통계연보 기준에 따르면 도로유지보수비로 약 1조 9,000억 원이 사용되었다. 이 중 약 20%인 3,650억 원을 포장의 보수비용으로 지출되었고, 보수유형으로는 표면처리, 소파보수, 덧씌우기, 재포장비용으로 분류되었으며, 그 중 덧씌우기 포장은 포장보수의 약 55%인 2,002억 원이 지출되었다(국토해양부, 2009). 이처럼 덧씌우기 포장에 대해서 매년 많은 비용이 지출되고 있는 실정이다. 일반적으로 노후 된 콘크리트 포장에 사용되는 보수·보강 공법으로는 균열 및 줄눈부 보수, 소파보수공법, Diamond Grinding 등의 포장표면처리 공법이 있으며, 덧씌우기 포장의 보수공법인 아스팔트 덧씌우기, 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기, 접착식 콘크리트 덧씌우기, 비접착식 콘크리트 덧씌우기 등이 사용되고 있다. 현재 국내에서 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 덧씌우기 포장이 필요할 경우 조기교통개방이 가능한 아스팔트 덧씌우기가 사용되고 있으나 아스팔트와 콘크리트 간의 재료적 특성이 상이하어 그림 1과 같은 반사균열 및 부착 파괴 등의 많은 문제점이 발생하고 있다.



그림 1. 중부 및 호남고속도로에 아스팔트 덧씌우기 공법이 적용된 구간의 파손(김형배 외, 2008)

Wu(U.S. DOT FHWA, 2010)는 미국의 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 대하여 보수·보강공법을 적용한 현장의 공용 후 파손상태를 장기간 모니터링을 실시하였으며, 이

data들을 토대로 보강 공법별 적용효과를 분류하였다. 전체 모니터링 된 구간 중 파쇄 기층화(Rubblization) 및 전처리 공법이 적용되지 않은 아스팔트 덧씌우기 구간은 미국의 Kansas, Michigan, Minnesota, Washington에 대한 4개의 주와 12구간에 대해 모니터링을 실시하였고, 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 Crack and Seat 및 파쇄 기층화(Rubblization) 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간은 Michigan, Minnesota, Texas인 전체 3개의 주와 8구간에 대해서 평가되었다. 또한 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 비접착식 콘크리트 덧씌우기를 적용한 구간은 Michigan, Minnesota, Washington인 3개의 주와 8구간에 대해 모니터링을 실시하였다. 그 결과를 토대로 각 구간별 공용년수를 산정한 결과 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 파쇄 기층화(Rubblization) 및 전처리공법이 없이 아스팔트 덧씌우기를 적용한 구간은 전체 12구간으로써 약 1~20년의 공용년수를 나타냈고, 덧씌우기 공법 후 2구간에서 조기파손이 발생한 것으로 확인되었다. 반면에 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 Crack and Seat 및 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간은 전체 8구간 중 7구간에서 공용년수가 약 10년~17년으로 나타났으며, 대부분의 구간에서 공용년수가 10년 이상인 것으로 확인되었다. 또한 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 비접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 적용된 구간은 전체 8구간으로 공용년수가 약 15년~31년으로 나타났다. 따라서 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 공법 없이 아스팔트 덧씌우기를 실시한 구간에 비해 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 공법을 적용한 아스팔트 덧씌우기와 비접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에서 수명이 더 높게 나타났다며, 일정한 수명이 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

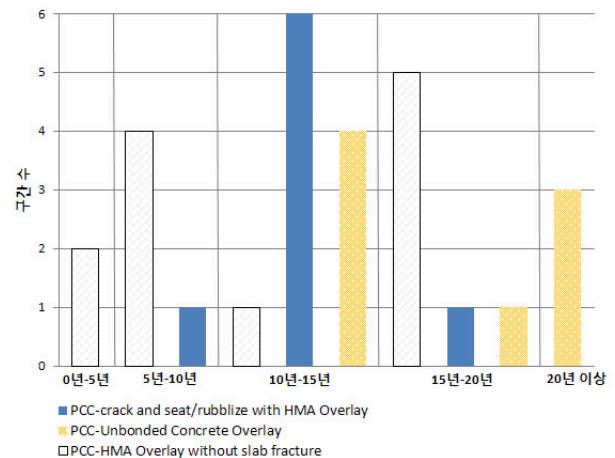


그림 2. 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 적용된 공법별 수명비교 (Wu 외, 2010)

국내의 경우 일반적으로 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장

에 대해 아스팔트 덧씌우기 공법이 시행되고 있다. 최근 들어 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 대해서 콘크리트 덧씌우기를 적용하고자 하는 연구가 시도되고 있다(김영규 등 2010). 현 시점에서 1980년 이후에 시공 된 콘크리트 포장의 공용년수가 대부분이 20년이 넘어서면서 대대적인 보수·보강에 대한 필요성이 부각되고 있으며, 국내의 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장이 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 없이 적용 된 아스팔트 덧씌우기 공법에 대해서 수명과 영향을 미치는 인자에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 국내의 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해서 충분한 파손 자료를 구축하고 있는 미국의 LTPP Data를 이용하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간과 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 연도별 공용 중 파손자료를 토대로 수명을 추정하고, 이에 영향을 미치는 인자에 대해서 고찰하였다.

2. 연구전략 및 범위

본 연구는 아스팔트 덧씌우기 수명에 미치는 아스팔트 덧씌우기 구간의 다양한 단면, 교통, 환경 조건과 각각의 구간에 대한 공용 중 연도별 도로파손상태에 대한 정보가 필요하다. 따라서 공용중인 파손상태정보에 대해서 구축되어 있는 미국의 LTPP Database를 이용하였다. 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해 공용 중 포장의 파손 및 유형을 평가하기 위해 국제적으로 많이 사용하는 포장상태지수(PCI, Pavement Condition Index)를 사용하였다. 사용된 모듈은 Monitoring, Rehabilitation, Inventory 등에 대해서 수록되어져 있으며, 이를 통해 각각의 덧씌우기 구간의 수명추정을 위한 파손 및 영향인자에 대해서 추출하였다. 따라서 각 구간별 덧씌우기 수명산정과 이에 영향을 미치는 인자의 비교·분석을 위한 절차는 그림 3과 같다.

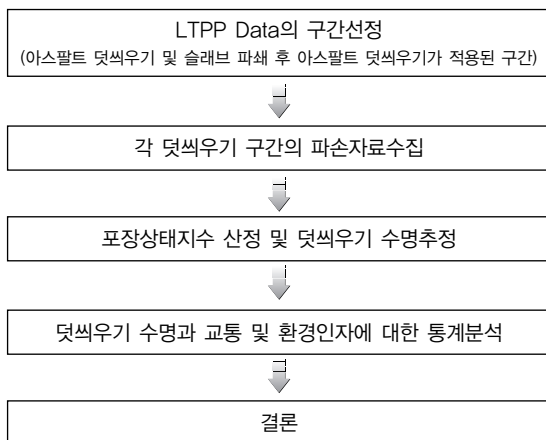


그림 3. 덧씌우기 수명 및 영향인자의 비교·분석을 위한 절차

3. 아스팔트 덧씌우기 구간과 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명 비교·분석을 위한 LTPP Database

미국의 LTPP 프로그램은 SHRP(Strategic Highway Research Program) 일환으로 1987년에 시작되었다. 약 20년에 걸쳐 구축된 LTPP data를 토대로 광범위한 포장연구에 활용되고 있다. LTPP 프로그램은 미국과 캐나다에 대해서 현재 공용중인 GPS(General Pavement Studies)의 약 800여개의 구간과 SPS(Specific Pavement Studies)의 약 1600여개의 신설포장, 유지보수, 보수·보강을 포함하는 특성화 구간에 대해 중심으로 구성되어져 있다. 또한 SMP(Seasonal Monitoring Program)는 온도, 강수량, 습도 등 환경 및 기후에 대해서 구성되어져 있다. 따라서 각 GPS 및 SPS 구간은 포장형식에 대해 각 8~9개의 공법유형 및 포장의 구조적 특성, 재료물성, 환경영향 등과 같은 다양한 영향인자로 구축되어 있다. 이 중 덧씌우기 수명에 대한 database의 추출을 위한 GPS-7A 구간은 아스팔트 덧씌우기 공법이 적용된 구간으로 전체 20개의 주와 35개의 구간으로 구성되어 있다. 또한 SPS-6 구간은 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간으로써 전체 7개의 주와 28개의 구간으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 LTPP data에서 추출한 파손 database를 통해 포장상태지수를 산정 후, 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명을 추정하고, 이에 영향을 미치는 인자에 대해서 고찰하였다.

3.1. 아스팔트 덧씌우기 구간의 기본정보 Database 구축

노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간은 LTPP의 Inventory 및 Testing 모듈을 통해 포장 기본정보에 대한 database를 구축하였다. 국내의 경우와 동일한 비교·분석을 위해 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간만을 추출하였다. 추출된 구간으로는 전체 10개 주(Colorado, Illinois, Michigan, Missouri, Nebraska, Ohio, Oregon, Pennsylvania, Texas, West Virginia)와 13개의 구간으로 표 1과 같이 구성되어 있다.

노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대한 포장기본정보는 표 2와 같이 나타내고 있다. 각 구간에 대해서 모니터링 된 면적은 차선평 3.66m, 연장 152.4m, 1차로로 평가되었고, 덧씌우기 층의 두께는 약 5~14cm, 기존 콘크리트 포장의 두께는 19~26cm로 나타났다. 복합지지력계수는 AASHTO 86 설계법의 노상반력계수 산정법을 통해 각각의 기층과 노상에 대한 탄성계수 및 덧씌우기 두께를 고려하여 복합지지력계수를 산정하였으며, 복합지지력계수는 전체 구간에서 217~597MN/m³의 범위로 나타났다.

표 1. 아스팔트 덧씌우기가 적용된 주와 구간에 따른 범위

주(주 번호)		구 간
CO(8)	Colorado	7035 7036
IL(17)	Illinois	5453 7937
MI(26)	Michigan	7072
MO(29)	Missouri	7073
NE(31)	Nebraska	7040
OH(39)	Ohio	7021
OR(41)	Oregon	7018 7019
PA(42)	Pennsylvania	7025
TX(48)	Texas	7165
WV(54)	West Virginia	7008

표 2. 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 포장기본정보

주	구 간	차선평 폭 (m)	연장 (m)	덧씌우기 총 두께(cm)	기존 PCC 총 두께(cm)	복합지지력 계수(MN/m ³)	덧씌우기 종류
8	7035	3.66	152.4	12	21	244	HMA
8	7036	3.66	152.4	8	20	271	HMA
17	5453	3.66	152.4	7	21	488	HMA
17	7937	3.66	152.4	5	23	407	HMA
26	7072	3.66	152.4	14	23	597	HMA
29	7073	3.66	152.4	6	21	353	HMA
31	7040	3.66	152.4	8	20	217	HMA
39	7021	3.66	152.4	7	23	217	HMA
41	7018	3.66	152.4	10	20	488	HMA
41	7019	3.66	152.4	5	19	244	HMA
42	7025	3.66	152.4	10	24	326	HMA
48	7165	3.66	152.4	11	26	244	HMA
54	7008	3.66	152.4	5	22	217	HMA

표 4. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 포장기본정보

주	구 간	차선평 폭 (m)	연장 (m)	덧씌우기 두께(cm)	기존 PCC 총 두께 (cm)	복합지지력 계수 (MN/m ³)	덧씌우기 종류	전처리 공법
1	0607	3.66	150	11	26	326	HMA	Crack and Seat
1	0608	3.66	150	21	26	326	HMA	Crack and Seat
1	0661	3.66	150	9	27	543	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
1	0662	3.66	150	19	26	515	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
17	0607	3.66	152.4	9	26	705	HMA	Crack and Seat
17	0608	3.66	152.4	17	26	705	HMA	Crack and Seat
17	0663	3.66	152.4	20	25	380	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
17	0664	3.66	152.4	15	25	380	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
19	0607	3.66	152.4	10	25	326	HMA	Crack and Seat
19	0608	3.66	152.4	20	25	705	HMA	Crack and Seat
29	0607	3.66	152.4	11	24	434	HMA	Crack and Seat
29	0608	3.66	152.4	20	24	488	HMA	Crack and Seat
29	0659	3.66	152.4	11	24	543	HMA	Crack and Seat
29	0660	3.66	152.4	20	25	488	HMA	Crack and Seat

(표 계속)

3.2. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 기본정보 database 구축

노후화 된 시멘트 콘크리트 포장에 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간은 LTPP의 Inventory 및 Testing 모듈을 통해 database를 구축하였다. 따라서 전체 7개의 주로는 Alabama, Illinois, Iowa, Missouri, Oklahoma, Pennsylvania, Tennessee 가 있으며, 28개 구간으로 표 3과 같이 구성되어 있다.

표 3. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 포장기본정보

주(주 번호)		구 간
AL(1)	Alabama	607 608 661 662
IL(17)	Illinois	607 608 663 664
IA(19)	Iowa	607 608
MO(29)	Missouri	607 608 659 660 661 662 663 664 A607 A608
OK(40)	Oklahoma	608
PA(42)	Pennsylvania	607 608 660 661 662
TN(47)	Tennessee	607 608

노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대한 모니터링 된 면적은 차선평 폭은 3.66m, 슬래브 길이 6.1m, 총연장 150~152.4m, 1차로로 구성되어 있다. 덧씌우기 두께는 약 9~33cm이며, 기존 콘크리트 포장의 두께는 18~27cm의 두께로 나타났다. 복합지지력계수의 경우 위와 동일한 방법으로 산정하였으며, 복합지지력계수는 전 구간에서 326~1085MN/m³의 범위이며, 기존포장형식 및 덧씌우기 종류, 전처리 공법에 대한 내용은 다음 표 4와 같이 구성되어 있다.

29	0661	3.66	152.4	29	24	380	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
29	0662	3.66	152.4	19	24	380	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
29	0663	3.66	152.4	27	24	380	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
29	0664	3.66	152.4	18	25	407	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
29	A607	3.66	152.4	12	18	407	HMA	Crack and Seat
29	A608	3.66	152.4	21	19	407	HMA	Crack and Seat
40	0608	3.66	152.4	20	23	380	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
42	0607	3.66	152.4	10	26	651	HMA	Crack and Seat
42	0608	3.66	152.4	21	26	597	HMA	Crack and Seat
42	0660	3.66	152.4	24	27	380	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
42	0661	3.66	152.4	33	25	407	HMA	파쇄기층화(Rubblization)
42	0662	3.66	152.4	20	26	570	HMA	Crack and Seat
47	0607	3.66	152.4	10	22	1085	HMA	Crack and Seat
47	0608	3.66	152.4	21	22	1085	HMA	Crack and Seat

3.3. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명의 비교·분석을 위한 영향인자 Database 구축

교통 및 환경인자는 공용 중인 포장에 파손 및 결함을 유발하는 인자로 작용함으로써 아스팔트 덧씌우기 구간과 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해서 교통 및 환경인자를 다음과 같이 구축하였다.

교통인자는 LTPP Data의 Traffic Table을 통해서

data를 구축하였으며, 구축 시 교통하중에 대한 data의 부재로 누적 교통량(ESAL×10⁶)을 사용하여 구축하였다. 덧씌우기 이후 누적된 8.2tons(80kN)의 등가단축하중(ESAL, Equivalent Single-Axle Loads)과 함께 환경인자로는 연평균 강수량(mm), Freezing index(°C-day), days above 32°C, Climate Region으로 표 5, 6과 같이 구축하였다.

표 5. 아스팔트 덧씌우기 구간의 교통 및 환경인자 Database 구축

주	구 간	누적 교통량 (ESAL×10 ⁶)	연평균 강수량 (mm)	SNOW_COVERED_DAYS_YR	Freezing index (°C-day)	days Above 32°C	Climate Region
8	7035	18.6	409.75	45.95	281.41	30.78	Dry Freeze
8	7036	7.4	395.16	50.91	353.78	38.02	Dry Freeze
17	5453	12.1	1066.98	16.26	236.79	28.33	Wet No Freeze
17	7937	0.1	933.42	39.14	532.32	15.06	Wet No Freeze
26	7072	0.4	769.83	57.55	510.2	5.31	Wet No Freeze
29	7073	1.3	960.42	6.76	420	30.5	Wet Freeze
31	7040	0.2	761.32	36.92	483.18	33.37	Wet Freeze
39	7021	-	850.56	10.36	366.47	20.53	Wet Freeze
41	7018	6.2	1183.76	2.52	20.71	11.29	Wet No Freeze
41	7019	0.5	523.35	2.43	18.1	46.83	Wet No Freeze
42	7025	1.2	1146.74	45.47	314.49	9.16	Wet Freeze
48	7165	2.2	1301.04	0.02	2.24	85.89	Wet No Freeze
54	7008	7.4	1071.65	17	165.4	15.71	Wet Freeze

표 6. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 교통 및 환경인자 Database 구축

주	구 간	누적 교통량 (ESAL×10 ⁶)	연평균 강수량 (mm)	SNOW_COVERED_DAYS_YR	Freezing index (°C-day)	days Above 32°C	Climate Region
1	0607	-	1382	-	37	34.39	Wet No Freeze
1	0608	-	1382	-	37	34.39	Wet No Freeze
1	0661	-	1382	-	37	34.39	Wet No Freeze
1	0662	-	1382	-	37	34.39	Wet No Freeze

〈표 계속〉

17	0607	9.5	1052	-	278	21.14	Wet Freeze
17	0608	7.8	1052	-	278	21.14	Wet Freeze
17	0663	8.7	1052	-	278	21.14	Wet Freeze
17	0664	8.7	1052	-	278	21.14	Wet Freeze
19	0607	10.0	958	-	619	15.71	Wet Freeze
19	0608	10.1	958	-	619	15.71	Wet Freeze
29	0608	11.3	1145	-	401	25.3	Wet Freeze
29	0660	11.3	1145	-	401	25.3	Wet Freeze
29	0661	11.3	1145	-	401	25.3	Wet Freeze
29	0662	11.3	1145	-	401	25.3	Wet Freeze
29	0663	11.3	1145	-	401	25.3	Wet Freeze
29	0664	11.3	1145	-	401	25.3	Wet Freeze
29	A607	5.2	1201	-	184	29.73	Wet Freeze
29	A608	6.1	1201	-	184	29.73	Wet Freeze
40	0608	1.5	951	-	69	69.22	Wet Freeze
42	0607	14.7	1027	-	337	4.14	Wet Freeze
42	0608	14.8	1027	-	337	4.14	Wet Freeze
42	0660	14.8	1027	-	337	4.14	Wet Freeze
42	0661	14.8	1027	-	337	4.14	Wet Freeze
42	0662	14.8	1027	-	337	4.14	Wet Freeze
47	0607	2.8	1311	-	46	42.63	Wet Freeze
47	0608	2.8	1311	-	46	42.63	Wet Freeze

3.4. 포장상태지수 산정을 위한 database 구축

아스팔트 덧씌우기와 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간에 대한 포장파손 및 파손유형을 LTPP data의 Distress Table과 표 7을 통해 분류를 실시하였으며, 각 구

표 7. Asphalt Surfaced Roads and Prking Lots
(U.S Army Corps of Engineers, 2007)

Pavement Distress	Distress Type
1. Alligator Cracking	Load
2. Bleeding	Other
3. Block Cracking	Climate/Durability
4. Bumps & Sags	Other
5. Corrugation	Other
6. Depression	Other
7. Edge Cracking	Load
8. Joint Reflection Cracking	Climate/Durability
9. Lane/shoulder Drop Off	Other
10. Longitudinal/Transverse Cracking	Climate/Durability
11. Patch/Utility Cut	Other
12. Polished Aggregate	Other
13. Pothole	Load
14. Railroad Crossing	Other
15. Rutting	Load
16. Shoving	Other
17. Slippage Cracking	Other
18. Swell	Other
19. Weathering/Raveling	Climate/Durability

간별로 경과년수에 따라 database를 구축하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간에서 측정된 파손은 중방향 균열, 횡방향 균열, 거북등 균열, 패칭, 단부균열, Bleeding, Raveling이 주로 나타났으며, 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간은 중방향 균열, 횡방향 균열, 거북등 균열, 패칭, 블록균열, 펌핑, Raveling 등으로 나타났다.

파손 및 파손량에 대한 database는 data의 양이 방대하여 본 연구에서는 포함시키지 않았으며, 미공병단(U.S Army Corps of Engineers)에서 개발한 PAVER 4.2를 사용하여 표 8, 9와 같이 포장상태지수를 산출하였다.

노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기와 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기를 적용한 구간에 대해서 각각의 포장파손 및 파손 량에 따른 포장상태지수를 산정하였으며, 산정절차는 그림 4와 같이 구축을 실시하였다.

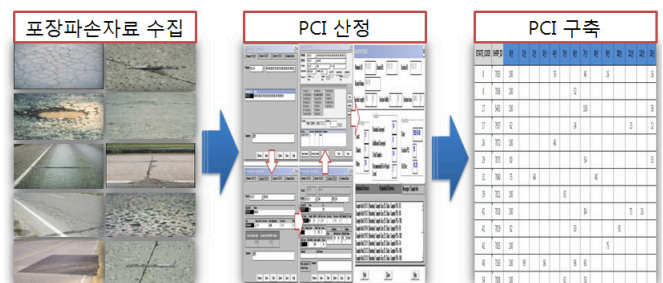


그림 4. 포장상태지수 구축을 위한 산정절차

표 8. 아스팔트 덧씌우기 구간의 경과년수에 따른 PCI 산정

주	구 간	0년	1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년	8년	9년	10년	11년	12년	13년	ΔPCI /year	R2
8	7035	100				76			46		16				16	-9.1	0.96
8	7036	100						52								-8.0	1.00
17	5453	100							100						58	-7.0	1.00
17	7937	62						24					23		12	-3.5	0.87
26	7072	100				46										-13.5	1.00
29	7073	80							54						53	-3.7	1.00
31	7040	75		64						48						-3.2	0.97
39	7021	100					83									-3.4	1.00
41	7018	100							84				75	16		-5.1	0.58
41	7019	82						50				50				-3.3	0.84
42	7025	100									75					-2.8	1.00
48	7165	100	99		86				60							-6.0	0.98
54	7008	100					61		58							-6.3	0.95

※ 0년 : 덧씌우기 공법 후 1년 미만

표 9. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 경과년수에 따른 PCI 산정

주	구간	0년	1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년	8년	9년	10년	11년	12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	ΔPCI /year	R ²		
1	0607	100	100	86	44		42	12														-15.0	0.90	
1	0608	100	100	100	92	86	78	75		42													-6.9	0.87
1	0661	100	100	62			58																-9.0	0.71
1	0662	100	100	100		84	77	69		44													-7.0	0.92
17	0607		100	100	100		95			66	66		47			14	17	1					-6.9	0.96
17	0608	100	98	98		98			78	68		69			46	35	22						-5.0	0.94
17	0663			100			100			95	68		62			57	42	42					-4.7	0.89
17	0664			99			100			94				69		37	36	33					-5.5	0.89
19	0607				76	76						49		47	40		25			0			-4.8	0.95
19	0608	100			77	76				47		53		53	45		30			4			-4.5	0.92
29	0608		100		90					43		55	55	48									-4.8	0.83
29	0660		100		91								67	54									-3.8	0.97
29	0661		100		90			63					67	54									-3.6	0.81
29	0662		100		100			75					67	66									-3.4	0.90
29	0663		100		85								67	54									-3.5	0.94
29	0664		100		92			53					67	66									-2.9	0.51
29	A607			100	100	100	81	80	79	78													-4.6	0.81
29	A608			100	100	85	80	81	81	81													-3.5	0.70
40	0608	100		100	100		77	69		64	57	56	50	50		53							-4.4	0.90
42	0607			100			80		85	79	78	73	67	47	44								-4.6	0.83
42	0608			100			100		89	88	76	76	73	71	71								-3.2	0.91
42	0660			100			100		91	95	96	91	78	73	72								-2.7	0.74
42	0661			100			97		91	99	97	92	86	71	77								-2.3	0.62
42	0662			100			85		85	72	72	72	72	72	43								-3.9	0.77
47	0607	100				83	79	60															-5.8	0.87
47	0608	100			91	89	82	79	75	74													-3.5	0.98
47	0607	100			67	83	79	60															-5.3	0.62
47	0608	100			91	89	82	79	75	74													-3.5	0.98

※ 0년 : 덧씌우기 공법 후 1년 미만

3.5. 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 포장상태지수 산정

포장상태지수는 아스팔트 덧씌우기 구간의 파손 database를 통해 연도별 포장상태지수를 이상치 제거 후 database를 구축하였다. 이에 대해 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해서 회귀분석을 실시 후 연평균 PCI감소율을 산정하였다.

아스팔트 덧씌우기 구간의 포장상태지수 산정결과는 표 8과 같이 구축하였으며, 전 구간 중 연평균 PCI감소율이 약 2.8~13.5의 범위로 나타났다. 연평균 PCI감소율의 경우 전체 13구간 중 7.0 이상인 구간이 4구간이며, 평균 5.8의 감소율을 보였다.

슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간도 위와 동일한 방법으로 파손 database를 통해서 포장상태지수를 표 9와 같이 구축하였다. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해서 연평균 PCI감소율이 전 구간에서 약 2.7~15의 범위로 나타났다. 산정된 전체 28개의 구간 중 연평균 PCI감소율이 7.0 이상인 구간은 5구간이며, 평균 5.0으로 나타났다. 따라서 이는 아스팔트 덧씌우기 구간과 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 연평균 PCI감소율을 비교·분석한 결과 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기를 적용한 구간에서 포장 수명이 더 연장될 것으로 사료된다.

4. 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기 구간에 대한 포장성능평가

4.1. 포장상태지수를 이용한 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명 산정방법

각 덧씌우기 공법에 대한 덧씌우기 수명을 추정하기위해서 포장상태지수의 보수·보강 범위 기준을 통하여 덧씌우기 수명에 대해 산정을 실시하였다. 포장상태평가지수는 Critical PCI의 범위가 55일 때를 기준으로 그림 5, 6과 같이 포장상태에 따라 보수·보강시점을 산정하였다.

각각의 구간별 data에 대해서 신뢰성 있는 분석을 위해 이상값을 5% 내외로 제거하였고, 수명추정 시 변동 폭이 없거나 분석이 불가피한 구간의 data에 대해서는 포함 시 오차가 발생함으로 제외 후 회귀분석을 수행하였다. 아스팔트 덧씌우기와 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대한 수명추정은 그림 7, 8과 같은 방법으로 실시하였다. 그림 7은 아스팔트 덧씌우기 구간인 8-7035구간으로써 수명추정을 경과년수를 별 포장상태지수를 통해 회귀분석 실시하였다. 수명 추정 시 연평균 PCI감소율의 변화폭이 작은 경과년수의 data에 대해서는 분석에서 제외하였으며, 포장상태지수가 55일 때의 수명을 추정한 결과 약 7년으로 산정되었다. 그림 8은 슬래브 파쇄 후 아

스팔트 덧씌우기가 적용된 47-608구간으로 위와 동일한 방법으로 실시하였으며, 수명은 약 14년으로 산정되었다.

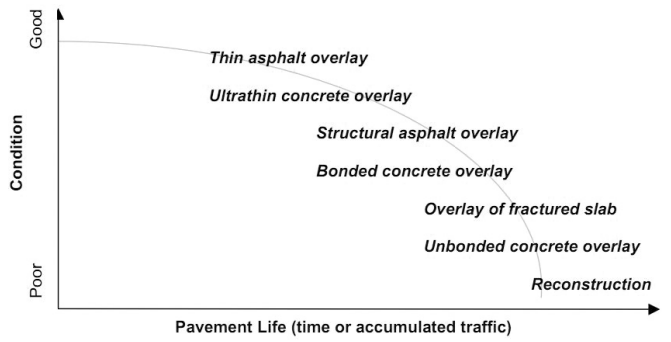


그림 5. Structural improvement options most suitable at different points in a pavement's life(NCHRP, 2009)

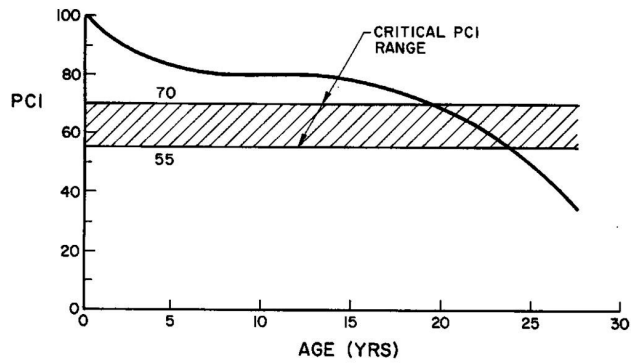


그림 6. Critical PCI 범위(U.S Army Corps of Engineers,2007)

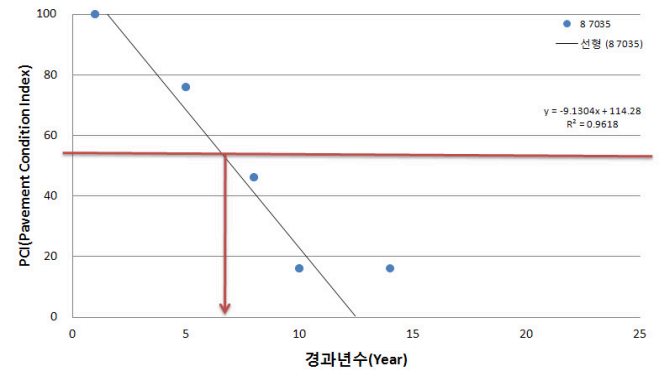


그림 7. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명추정 예(8-7035구간)

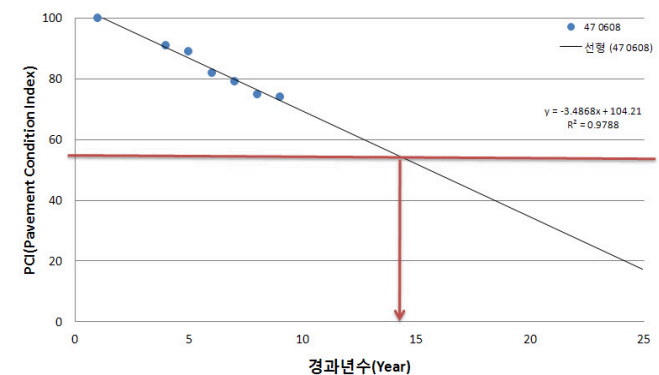


그림 8. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명추정 예 (47-608구간)

4.2. 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧 씌우기 구간의 수명 비교·분석

아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해서 경과년수별 포장상태지수를 통해 회귀분석을 실시하였다. 이에 대해 수명산정이 불가피한 구간은 제외 후 산정하였으며, 표 10, 11과 같이 덧씌우기 수명에 대해서 기술하였다.

표 10. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명

주	구간	$\Delta PCI/year$	R^2	덧씌우기 수명(Year)
8	7035	-9.1	0.96	7
8	7036	-8.0	1.00	7
17	5453	-7.0	1.00	14
17	7937	-3.5	0.87	2
26	7072	-13.5	1.00	4
29	7073	-3.7	1.00	7
31	7040	-3.2	0.97	6
39	7021	-3.4	1.00	15
41	7018	-5.1	0.58	12
41	7019	-3.3	0.84	8
42	7025	-2.8	1.00	17
48	7165	-6.0	0.98	9
54	7008	-6.3	0.95	7

표 11. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명

주	구간	$\Delta PCI/year$	R^2	덧씌우기 수명(Year)
1	0607	-15.0	0.90	4
1	0608	-6.9	0.87	8
1	0661	-9.0	0.71	6
1	0662	-7.0	0.92	8
17	0607	-6.9	0.96	11
17	0608	-5.0	0.94	12
17	0663	-4.7	0.89	14
17	0664	-5.5	0.89	14
19	0607	-4.8	0.95	9
19	0608	-4.5	0.92	10
29	0608	-4.8	0.83	11
29	0660	-3.8	0.97	14
29	0661	-3.6	0.81	13
29	0662	-3.4	0.90	16
29	0663	-3.5	0.94	14
29	0664	-2.9	0.51	15
29	A607	-4.6	0.81	14
29	A608	-3.5	0.70	15
40	0608	-4.4	0.90	12
42	0607	-4.6	0.83	14
42	0608	-3.2	0.91	18
42	0660	-2.7	0.74	22
42	0661	-2.3	0.62	25
42	0662	-3.9	0.77	15
47	0607	-5.8	0.87	9
47	0608	-3.5	0.98	14

아스팔트 덧씌우기 구간에서 추정된 수명은 약 2~17년으로 평균 9년의 수명을 보였다. 국외연구에 따르면 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리공법 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명이 8~15년인 점을 감안할 때, 예상수명 범위 안에 드는 것으로 나타났다(NCHRP, 2001). 아스팔트 덧씌우기 공법이 적용된 후의 수명은 전체 13구간 중 5년 미만인 구간이 2구간, 10년 미만인 구간이 7구간, 15년 미만인 구간이 2구간, 15년 이상인 구간은 2구간으로써 공법 초기인 2구간에서 조기 파손이 발생하였다.

슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 추정 수명은 약 4~25년으로 평균 13년의 수명을 나타냈다. 일반적으로 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리가 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명은 약 8~20년으로 예상수명범위 안에 드는 것으로 나타났다(NCHRP, 2001). 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에서 수명이 5년 미만인 구간은 1구간이었으며, 10년 미만인 구간은 5구간, 20년 미만인 구간은 18구간, 20년 이상 구간이 2구간으로 나타났다. 이에 대해 두 공법이 적용된 구간의 통계분석을 실시한 결과 각각의 덧씌우기 구간별 수명에 대한 정규분포는 그림 9, 10과 같이 나타났다.

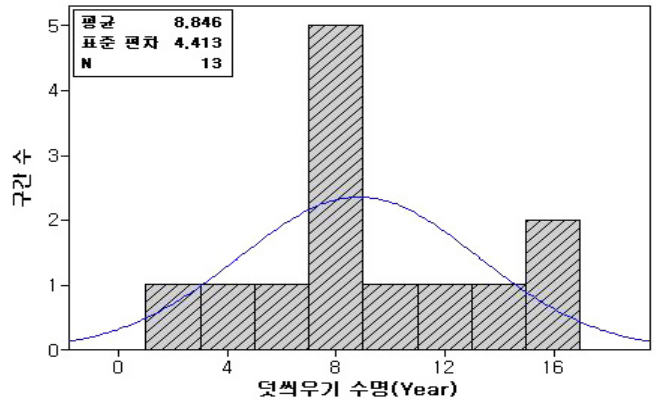


그림 9. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명

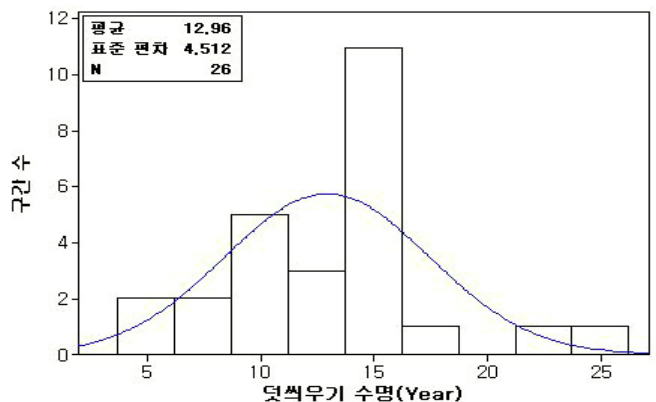


그림 10. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명

아스팔트 덧씌우기 구간과 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명에 대해서 95% 신뢰구간의 수명을 표 12와 같이 산정하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명은 최소 6.2년에서 최대 11.5년으로 평균 8.8년인 것으로 나타났다. 반면에 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대한 수명은 최소 11.1년에서 최대 14.8년으로 평균 13년의 수명으로 산정되었다. 이를 통해 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명이 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명보다 더 높게 나타났으며, 약 4년 이상의 수명이 연장된 것으로 확인되었다.

그림 12. 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 95% 신뢰 구간의 수명 비교

구 분	아스팔트 덧씌우기 구간	슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간
평균수명 (year)	8.8	13
95% 신뢰구간	6.2~11.5	11.1~14.8

5. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명에 대한 영향인자 고찰

아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명에 영향을 미칠 것으로 판단되는 인자를 다음과 같이 분류하였다. 영향인자로는 덧씌우기 두께, 복합지지력계수, 누적 교통량($ESAL \times 10^6$), 연평균강수량(mm), Freezing Index($^{\circ}C$ -day), day above $32^{\circ}C$ 로 구성되어 있다. 각 구간에 대해서 덧씌우기 수명과 영향인자 간의 신뢰성 있는 통계분석을 위해 이상 값을(5% 내외) 제거 후 비교·분석을 수행하였다.

5.1. 덧씌우기 수명 및 덧씌우기 두께의 비교·분석

아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명과 덧씌우기 두께에 대해서 그림 11, 12와 같이 회귀분석을 수행하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간의 덧씌우기 두께는 약 5~14cm이며, 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 덧씌우기 두께는 약 9~33cm이다. 두 구간에 대해서 수명과 덧씌우기 두께에 대해 분석한 결과, 아스팔트 덧씌우기 구간의 결정계수는 0.00이며, P-value는 0.957로 상관성이 현저히 낮은 것으로 나타났다. 반면에 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 결정계수는 0.39이며, P-value는 0.001로 일정이상 상관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명과 덧씌우기 두께에 대해서 상관성을 찾지 못한 반면 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해서는 덧씌우기 두께가 증가할수록 포장 수명도 연장되는

것을 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명은 반사균열 및 부착파괴 등으로 인해 덧씌우기 두께가 수명에 직접적인 영향을 미치지 못한 것으로 판단되며, 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간은 이러한 반사균열 등의 문제를 제거함으로써 두께 증가 시 수명을 연장하는 효과를 발휘할 것으로 판단된다.

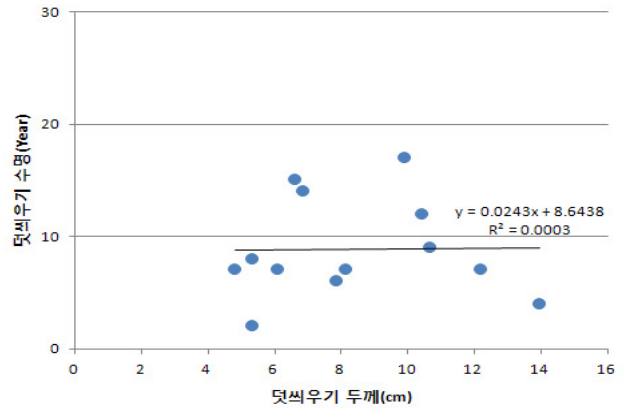


그림 11. 아스팔트 덧씌우기 수명과 덧씌우기 두께(cm)의 상관관계

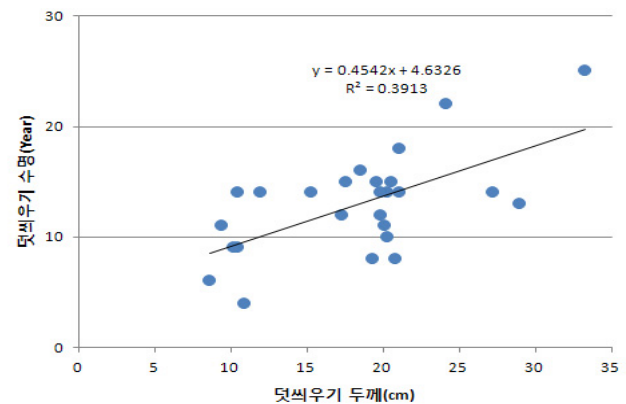


그림 12. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명과 덧씌우기 두께(cm)의 상관관계

5.2. 덧씌우기 두께 및 누적 교통량의 비교·분석

덧씌우기 두께와 누적 교통량을 그림 13, 14와 같이 비교한 결과, 아스팔트 덧씌우기 구간의 경우 누적 교통량이 약 0.1~18.6($ESAL \times 10^6$)의 범위로 나타났으며, 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간은 누적 교통량이 1.5~14.8($ESAL \times 10^6$)의 범위에 드는 것으로 나타났다. 두 구간에 대해서 분석한 결과는 덧씌우기 두께가 두꺼워질수록 더 많은 교통량을 수용할 수 있는 것으로 나타났으며, 덧씌우기 두께 설계 시 장래교통량에 대해서 설계두께를 일정이상 고려한 것으로 판단된다. 단, 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 두께가 약 5~14cm, 9~33cm의 범위로 산정된 결과에 따른 것이다.

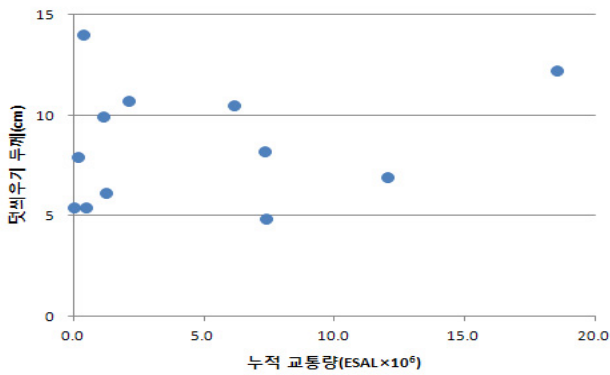


그림 13. 아스팔트 덧씌우기 구간의 덧씌우기 두께 및 누적 교통량 (ESAL×10⁶)의 비교

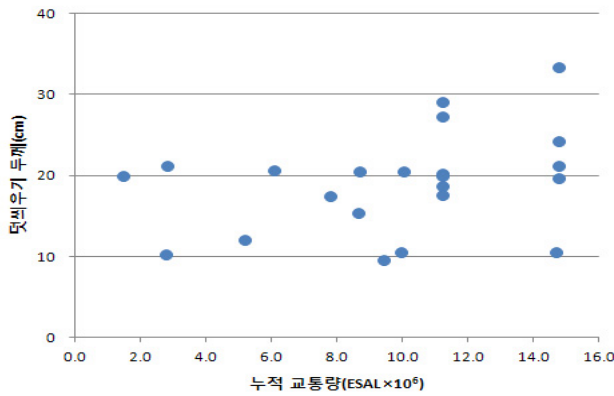


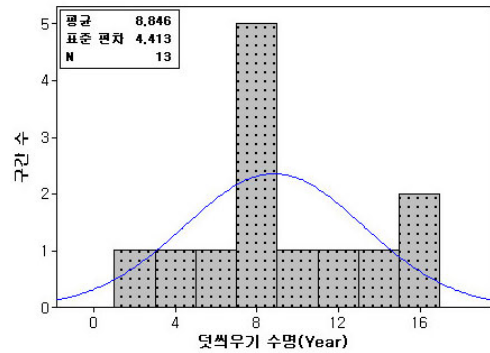
그림 14. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 덧씌우기 두께 및 누적 교통량(ESAL×10⁶)의 비교

5.3. 아스팔트 덧씌우기 구간의 보수·보강공법별 수명 비교

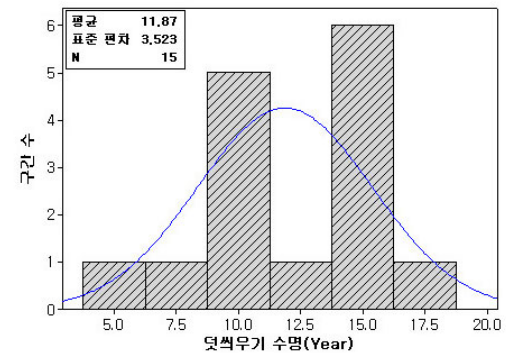
일반적으로 아스팔트 덧씌우기 공법은 노후화 된 콘크리트포장의 균열 및 결함부분에 대해서 표면질삭과 보수 등을 실시한 후 덧씌우기를 적용한다. 또한 기존의 포장층의 파손상태가 심각하거나 반사균열 등이 있을 경우 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리공법을 적용함으로써 기존 포장층에 미세균열을 유도하거나 포장층을 완전파쇄 시킨 후 덧씌우기를 실시하기도 한다. 따라서 아스팔트 덧씌우기 구간과 Crack and Seat 공법을 적용한 아스팔트 덧씌우기 구간, 파쇄 기층화(Rubblization) 공법을 적용한 아스팔트 덧씌우기 구간에 대해서 각각의 적용공법별 수명을 그림 15와 같이 비교하였다.

아스팔트 덧씌우기 구간의 수명은 전체 13구간으로 약 2~17년, 평균 8.8년으로 나타났다. Crack and Seat 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간은 전체 15구간으로써 약 4~18년으로 평균 11.8년으로 나타났다. 파쇄 기층화(Rubblization) 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간은 전체 11구간으로써, 수명이 약 4~25년으로 평균 14.5년의 수명을 보였다. 따라서 각각의 적용된 공법별 수명을 비교한 결

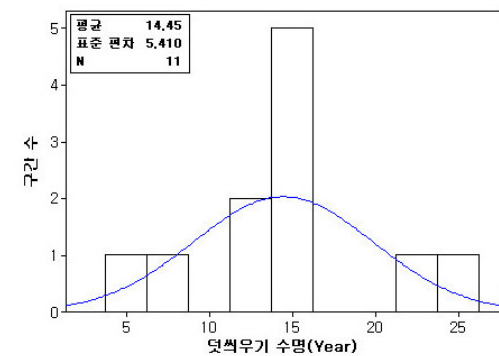
과 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리공법 없이 아스팔트 덧씌우기를 실시한 구간의 경우 덧씌우기 수명이 8.8년으로 가장 짧게 나타났다. 반면에 파쇄 기층화(Rubblization) 공법을 적용한 구간의 수명은 평균 14.5년으로 가장 긴 것으로 나타났으며, 약 4년 이상의 수명차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Asphalt Concrete Overlay



(b) Asphalt Concrete Overlay(Crack and Seat)



(c) Asphalt Concrete Overlay(Rubblization)

그림 15. 아스팔트 덧씌우기 구간의 보수·보강공법에 대한 수명 비교

5.4. 덧씌우기 수명 및 복합지지력계수의 비교·분석

아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명과 복합지지력계수에 대해 그림 16, 17과 같이 회귀분석을 실시하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간의 복합지지력은 약 217~597 MN/m³의 범위로서, 회귀분

석을 수행한 결과 결정계수는 0.00이며, P-value가 0.838로 나타났다.

슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 경우 복합지지력계수는 약 326~1085 MN/m³의 범위로 나타났으며, 회귀분석을 수행한 결과 결정계수는 0.01이며, P-value는 0.576으로 두 구간 모두 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 이를 통해 복합지지력이 포장수명에 대해서 직접적인 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다.

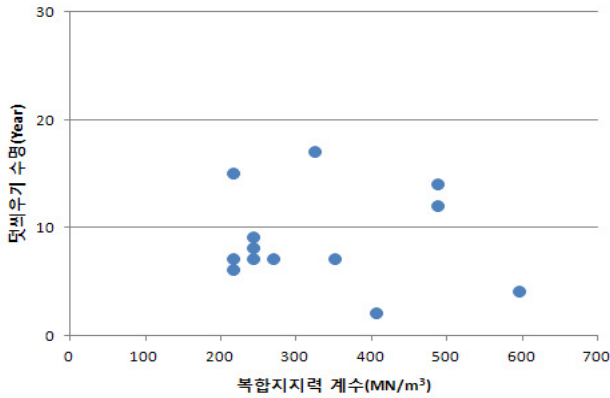


그림 16. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명 및 복합지지력계수의 비교

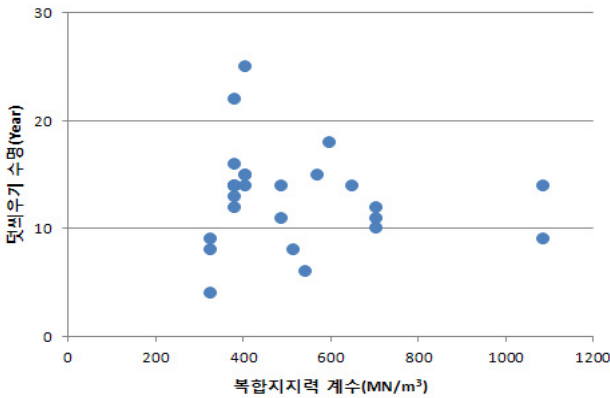


그림 17. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명 및 복합지지력계수의 비교

5.5. 덧씌우기 수명 및 연평균강수량(mm)의 비교·분석

포장에서의 강수량은 기존포장의 하부 층 내로 물이 침투하여 각 층의 강도 및 강성을 저하시킴으로써 포장표층에 조기 파손 및 공용수명을 단축시키는 영향으로 작용한다(국토해양부, 2009). 이처럼 강수량과 수명에 대해 상관성이 있을 것으로 판단되어 각 구간의 연평균강수량에 대해서 그림 18,19와 같이 회귀분석을 수행하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간의 연평균강수량은 약 395~1300mm의 범위를 보였으며, 회귀분석을 실시한 결과 결정계수는 0.15이며, P-value가 0.188로 상관성은 낮은 것으로 확인되었다.

슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 연평

균 강수량은 약 951~1382mm의 범위로서, 연평균 강수량이 증가할수록 덧씌우기 수명은 감소하는 것으로 나타났다. 회귀분석을 실시한 결과 결정계수는 0.27이며, P-value는 0.006으로 수명에 일정이상 상관성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 경우 연평균강수량이 증가할수록 하부 층 내로 많은 물이 침투하여 강도 및 강성을 저하시켜 수명을 단축시킨 것으로 판단된다.

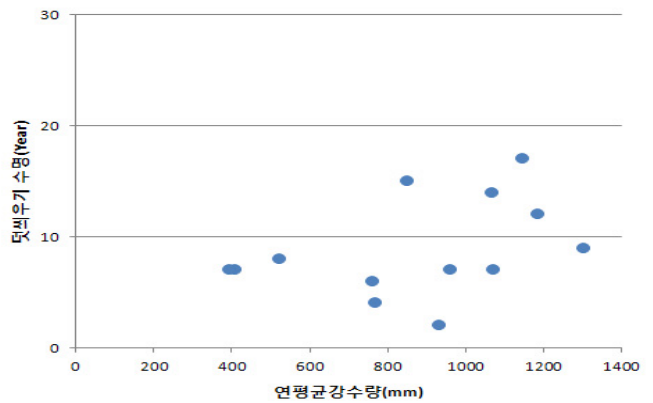


그림 18. 아스팔트 덧씌우기 구간의 덧씌우기 수명과 연평균 강수량(mm)의 상관관계

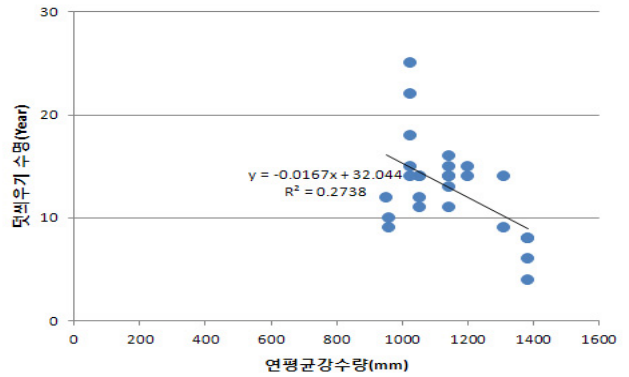


그림 19. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 덧씌우기 수명과 연평균 강수량(mm)의 상관관계

5.6. 덧씌우기 수명 및 Freezing Index(°C-day)의 비교·분석

포장에서의 동결지수는 포장내의 동결관입깊이를 산정하기 위한 대표적인 지표로 사용된다. 이처럼 노상 및 비처리 기층에 동상현상이 발생함으로써 부피팽창으로 인한 융기 및 파손이 발생하여 포장수명에 영향을 미칠 것으로 판단된다(김부일, 2009). 따라서 포장의 덧씌우기 수명과 동결지수간의 비교분석을 위해 그림 20, 21과 같이 수행하였다.

아스팔트 덧씌우기 구간은 Freezing Index가 약 2.24~532.32(°C-day)값의 범위로 나타났으며, 회귀분석을 실시한 결과 결정계수는 0.14이며, P-value가 0.214로 상관

성은 낮은 것으로 확인되었다. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간은 Freezing Index가 약 37~619(°C-day)의 범위를 나타내며, 회귀분석을 실시한 결과 결정계수는 0.12이며, P-value는 0.079로 상관성은 낮은 것으로 나타났다. 두 구간에 대해서 분석한 결과 서로 상반되는 경향을 보였으며, 두 구간 모두 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 기존포장의 하부 층에 대해서 노상처리 및 동상방지층 등을 설치하거나 설치하지 않음으로써 동결지수에 대한 경향이 서로 다르게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 두 구간 모두 동결지수가 덧씌우기 수명에 대해 직접적인 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다.

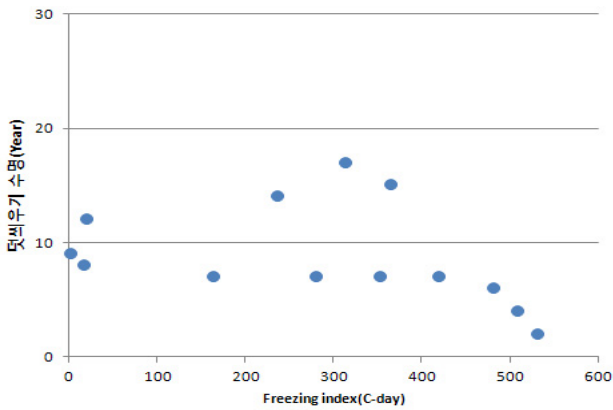


그림 20. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명과 Freezing Index(°C-day)의 상관관계

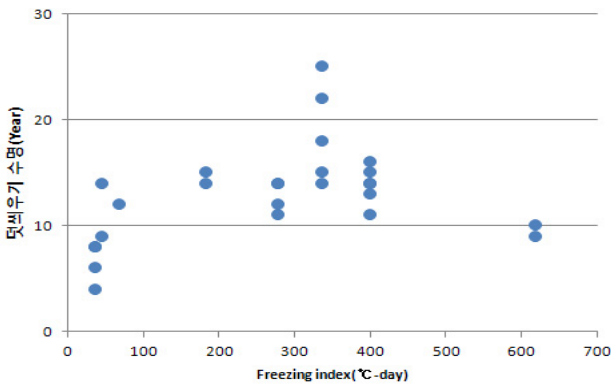


그림 21. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명과 Freezing Index(°C-day)의 상관관계

5.7. 덧씌우기 수명 및 days Above 32°C의 비교·분석

아스팔트 포장에서 여름철의 이상고온 및 과적하중의 증가는 아스팔트포장에서 주로 발생하는 소성변형의 원인으로 작용한다. 따라서 온도가 상승 시 포장의 구조적인 거동과 수명에 대해서 상관성이 있을 것으로 판단된다. 이에 대해 온도에 따른 덧씌우기 수명을 비교하기 위해 days Above 32°C를 통하여 그림 22, 23과 같이 분석을 실시하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간의 days Above 32°C는 약 5.31~85.89로써, 회

귀분석을 수행한 결과 결정계수는 0.00이며, P-value는 0.817로 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다.

슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간은 days Above 32°C가 약 4.14~69.22로써 days Above 32°C가 증가할수록 포장수명은 감소하는 것으로 나타났다. 회귀분석을 실시한 결과 결정계수는 0.27이며, P-value는 0.006으로 수명에 대해서 일정이상 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 아스팔트 덧씌우기 구간의 경우 소성변형 이전에 반사균열 및 부착과괴 등에 의해서 파손을 유발함으로 인해 온도와의 상관성이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 반면에 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간에서는 소성변형 및 교통하중 등에 의해서 덧씌우기 수명에 영향을 미친 것으로 판단된다.

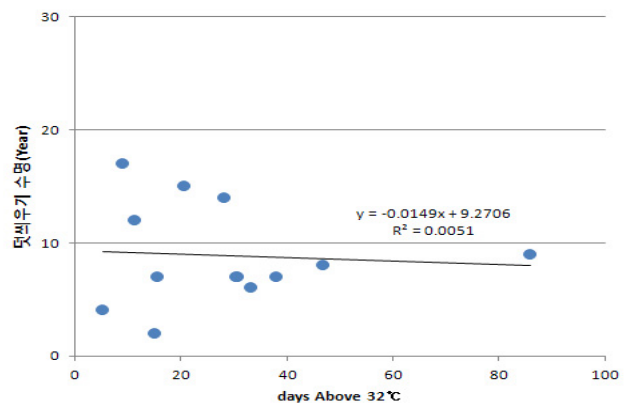


그림 22. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명과 days Above 32°C의 상관관계

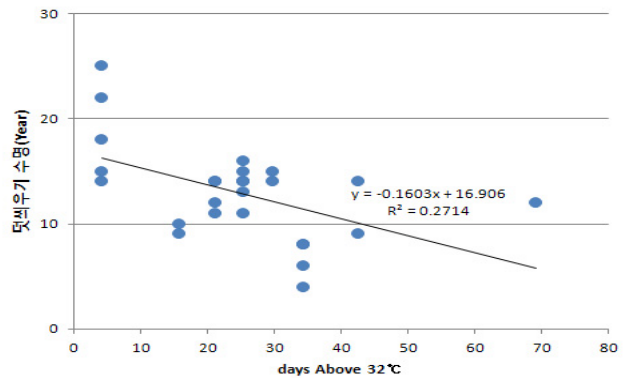


그림 23. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 구간의 수명과 days Above 32°C의 상관관계

5.8. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명과 영향인자에 대한 비교·분석

아스팔트 덧씌우기 구간 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명과 이에 대해 영향을 미치는 인자에 대해서 다음과 같이 분류를 실시하였다. 최종적으로 분류된 인자로는 덧씌우기 층 두께(cm), 복합지력계수(MN/m³), 누

적 교통량($ESAL \times 10^6$), 연평균강수량(mm), Freezing index($^{\circ}C$ -day), days Above $32^{\circ}C$ 에 대해서 분석한 결과를 표 13과 같이 기술하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간의 경우 덧씌우기 층 두께(cm), 복합지력계수(MN/m^3), 누적 교통량($ESAL \times 10^6$), 연평균강수량(mm), Freezing index($^{\circ}C$ -day), days Above $32^{\circ}C$ 에 대해 전반적으로 상관성을 찾지 못했다. 반면에 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 경우 덧씌우기 층 두께, 연평균 강수량, days Above $32^{\circ}C$ 인자가 덧씌우기 수명에 대해 일정이상 상관성이 있는 것으로 확인되었다.

표 13. 포장상태지수를 통한 덧씌우기 수명 및 영향인자별 상관성 비교

영향인자	덧씌우기 수명		아스팔트 덧씌우기 구간		슬래브 파쇄 후 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간	
	R^2	P-value	R^2	P-value	R^2	P-value
덧씌우기층 두께(cm)	0.00	0.959	0.39	0.001		
복합지력계수(MN/m^3)	0.00	0.838	0.01	0.576		
누적 교통량($ESAL \times 10^6$)	0.04	0.532	0.10	0.143		
연평균 강수량(mm)	0.15	0.188	0.27	0.006		
Freezing index($^{\circ}C$ -day)	0.14	0.214	0.12	0.079		
days Above $32^{\circ}C$	0.00	0.817	0.27	0.006		

6. 결론

본 연구에서는 미국의 LTPP data를 통해서 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명과 이에 영향을 미치는 인자에 대해서 비교·분석을 실시하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 포장상태지수를 통해 신뢰도 95%의 수명구간을 추정할 결과, 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명은 약 6.2년~11.5년으로 평균 8.8년의 수명을 보였다. 또한 일반적으로 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 공용년수가 8~15년인 점을 감안할 때, 예상 수명의 범위 안에 드는 것으로 나타났다. 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 신뢰도 95% 수명구간을 추정할 결과 약 11.1년~14.8년으로 평균 13년의 수명으로 나타났다. 이는 일반적으로 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명이 8~20년으로써 예상수명범위 안에 드는 것을 알 수 있었다.
2. 노후화 된 시멘트 콘크리트포장의 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 없이 적용된 아스팔트 덧씌우기, Crack and Seat 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기

구간, 파쇄 기층화(Rubblization)공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간에 대해 각각의 적용공법별 수명을 비교하였다. 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 없이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명은 약 2~17년으로, 평균 8.8년의 수명으로 가장 짧게 나타났으며, Crack and Seat 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간에서는 4~18년으로 평균 11.8년의 수명을 보였다. 또한 파쇄 기층화(Rubblization) 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간에서는 약 4~25년으로 평균 14.5년으로 수명이 가장 긴 것으로 나타났다.

3. 아스팔트 덧씌우기 구간의 경우 덧씌우기 층 두께(cm), 복합지력계수(MN/m^3), 누적 교통량($ESAL \times 10^6$), 연평균강수량(mm), Freezing index($^{\circ}C$ -day), days Above $32^{\circ}C$ 에 대해서 상관성을 찾지 못했다. 반면에 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 경우 덧씌우기 층 두께(cm), 연평균 강수량, days Above $32^{\circ}C$ 인자가 덧씌우기 수명에 대해 일정이상 상관성이 있는 것으로 확인되었다.

본 연구를 통해 각 아스팔트 덧씌우기 및 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대한 수명과 이에 영향을 미치는 인자에 대해서 비교·분석을 실시하였다. 분석을 실시한 결과 아스팔트 덧씌우기 구간보다 슬래브 파쇄 후 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명이 약 4년 이상 연장된 것으로 나타났다. 이 결과를 통하여 아스팔트 덧씌우기 공법보다 수명을 연장할 수 있는 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 공법을 적용한 아스팔트 덧씌우기 공법이 국내에 효율적인 보강공법으로 적용될 수 있다고 판단된다. 따라서 파쇄 기층화(Rubblization) 등 전처리 공법을 적용한 아스팔트 덧씌우기 공법의 국내 적용을 위한 기존 포장층의 상태와 재료, 시공방법 등의 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 강명오(2000), "우리나라 고속도로의 시멘트 콘크리트 포장에 대하여", 대한토목학회, 대한토목학회지, 제48권 제7호 pp. 18~24.
- 건설교통부, "국내 노후 콘크리트포장의 원위치파쇄 기층화 공법 개발(1차년도 최종)", 2005
- 건설교통부, "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, 콘크리트포장 설계법 개발", 2004
- 국토해양부, "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(설계시스템 개발)", 2009
- 권수안, 김남호, 서영찬(2009), "콘크리트 포장상태 평가지수의 개발에 관한 연구", 한국도로학회, 도로, 제2권 제3호 (통권 5호) pp. 145~153.

김영규, 이승우, 이풍희, 박남일, 김정환(2010), "초속경 아크릴계 폴리머 개질 콘크리트의 덧씌우기 포장공법 적용을 위한 연구", *한국도로학회, 학술대회 논문집*, PP.149~156.

김형배, 박준영, 조성찬(2008), "덧씌우기 아스팔트 포장의 공용성 개선", *한국도로학회, 도로*, 제10권 제1호 (통권 35호), pp. 30~37.

위성동(2002), "도로 및 공항 포장유지관리공학", 엔지니어즈.

(주)로드코리아, "최종보고서 고속도로 포장상태 조사 및 분석 (HPMS 연구부문)", 2009

(주)로드코리아, "최종보고서 고속도로 포장상태 조사 및 분석 (HPMS 현황부문)", 2009

한국도로공사, "도로기술지도서, AASHTO 포장설계방법, 1", 1986

한국도로공사 도로연구소, "콘크리트 덧씌우기에 의한 포장보강방안 연구(II)", 1996

한국도로학회(2006), "내구성 증진을 위한 아스팔트 포장기술", 구미서관

황은식, 이승우(2007), "LTPP Data를 이용한 노후 콘크리트 포장의 보수·보강", *대한토목학회, 대한토목학회논문집 D*, 제27권 제3D호 pp. 325~332

Gary E. Elkins, Peter Schmalzer, Travis Thompson, Amy Simpson and Barbara Ostrom (2006), "Long-Term pavement Performance Information Management System: Pavement Performance Database User Reference Guide", FHWA-RD-03-088, U.S DOT FHWA

John S. Miller and William Y. Bellinger (2003), "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program", Fourth Revised Edition, FHWA-RD-03-031, U.S DOT FHWA

Kathleen T. Hall, Carlos E. Correa, Samuel H. Carpenter, Robert P. Elliot (2001), "Rehabilitation Strategies for Highway Pavement", Project C1-38, NCHRP

Kurt Keifer, Lindsey Canney, William Weldorn, David Sawahata (2007), "User Manual MicroPAVER™ 6.0", U.S Army Corps of Engineers

LTPP DataPave Online, [Http://www.ltpm-products.com](http://www.ltpm-products.com)

Zheng Wu, Jonathan L. Groeger, Amy L.Simpson, R.Gary Hicks (2010), "Performance Evaluation of Various Rehabilitation and Preservation Treatments", U.S DOT FHWA

접 수 일 : 2010. 11. 30
 심 사 일 : 2010. 12. 2
 심사완료일 : 2011. 1. 7