

노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 대한 콘크리트 및 아스팔트 덧씌우기의 포장성능 비교

Comparison of the Pavement Performance for Concrete Overlay and Asphalt Overlay on Aged Cement Concrete Pavement

이 승 우 Lee Seung-Woo
손 현 장 Son Hyeon-Jang

정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)
한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 (E-mail : sonhyeonjang@kict.re.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. Maintenance and rehabilitation of aged cement concrete pavements required early transportation opening due to difficulty of preparing bypass roads, given South Korea's transportation condition and so far, mostly asphalt concrete overlay has been used. However, asphalt concrete pavement maintenance and rehabilitation is costly because of early damage and at the same time, it causes inconvenience to the road users. Recently, as an effective method of rehabilitation for aged cement concrete pavement, bonded concrete overlay is being attempted. Therefore, utilizing various data on year-by-year basis is needed to rationally analyze of the damage on asphalt concrete overlay and bonded concrete overlay is necessary. However, in South Korea database of Serviceability damage on asphalt concrete overlay and bonded concrete overlay does not exist. In this research, performance is evaluated by the LTPP (Long Term Pavement Performance) Data of U.S.A, which accumulated various damage data of asphalt concrete overlay and bonded concrete overlay. However, the pattern distress of asphalt concrete overlay and bonded concrete overlay are different. Therefore, the pavement distress data of each section is collected into database and distress are calculated PCI(Pavement Condition Index) in order to compare life of asphalt concrete overlay and bonded concrete overlay.

KEYWORDS

LTPP, asphalt concrete overlay, bonded concrete overlay, pavement condition index, concrete pavement

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 교통여건상 우회도로가 준비되기 어렵기 때문에 조기 교통개방이 요구되며 현재까지는 주로 아스팔트 덧씌우기가 사용되고 있다. 반면에 아스팔트 덧씌우기 포장은 조기 파손으로 인해 많은 유지보수비용이 지출됨과 동시에 도로사용자의 불편을 초래하고 있다. 최근 들어 노후화 된 시멘트 콘크리트 포장의 효율적인 보강공법으로 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에 대해서 적용을 시도하고 있다. 따라서 아스팔트 덧씌우기 포장과 접착식 콘크리트 덧씌우기 포장의 합리적인 선택에 대한 비교·분석을 위해 포장의 연도별 파손상태에 대한 다양한 data가 필요하다. 하지만, 국내에서는 아스팔트 덧씌우기 포장과 접착식 콘크리트 덧씌우기 포장의 공용 중 파손상태에 대한 자료가 체계적으로 구축되어있지 않다. 본 연구에서는 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 적용된 구간의 파손에 대해 충분한 자료를 구축하고 있는 미국의 LTPP Data를 이용하여, 공용성에 대해서 평가하였다. 단, 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법은 파손형태가 서로 상이함으로써, 상대적인 비교를 위해 각각의 구간에 대해 포장상태지수(PCI, Pavement Condition Index)를 Database화 하였으며, 아스팔트 덧씌우기 구간과 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명에 대해서 비교·분석을 수행하였다.

핵심용어

LTPP, 아스팔트 콘크리트 덧씌우기, 접착식 콘크리트 덧씌우기, 포장상태지수, 콘크리트 포장

1. 서론

국내에서는 1984년에 88고속도로를 건설하면서 시멘트 콘크리트 포장을 본격적으로 적용하기 시작하였다. 2002년도 기준에 따르면 국내의 전체 콘크리트 포장은 약 15,000km(2차선기준)로 이 중 공용년수가 20년이 넘은 구간이 50% 이상에 달하고 있으며, 최근 들어 공용년수가 20년이 넘는 시멘트 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 시멘트 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 국내에서는 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 덧씌우기 포장이 필요할 경우 슬래브 파쇄 및 전처리공법 없이 조기교통개방이 가능한 아스팔트 덧씌우기가 사용되고 있으나, 아스팔트와 콘크리트 간의 재료적 특성이 상이하여 그림 1과 같이 반사균열 및 부착 파괴 등의 많은 문제점이 발생하고 있다.



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

이에 대해 동질의 재료를 사용하는 시멘트 콘크리트 덧씌우기 포장에 대한 필요성이 부각되고 있으며 조기 교통개방에 대한 문제를 해결하기 위해 초속경 콘크리트 덧씌우기 공법에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 최근에 접착식 콘크리트 덧씌우기의 도입이 막 시작되는 시점으로 공용기간 동안의 평탄성 및 파손자료 등 분석을 위한 포장 data가 충분치 않다. 따라서 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기 간의 신뢰성 있는 예측이 어렵고, 실용적인 연구가 이루어지지 않은 실정이다.

Wu(U.S. DOT FHWA, 2010)는 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에서 실시한 보수·보강공법을 현장의 data자료를 통해 장기간 모니터링을 실시하였다. 전체 모니터링된 구간 중 Rubblization 및 전처리공법이 적용되지 않은 아스팔트 덧씌우기 구간은 미국의 Kansas, Michigan, Minnesota, Washington에 대한 4개의 주와 12구간에 대해 모니터링을 실시하였고, 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Crack and Seat 및 Rubblization 공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간은 Michigan, Minnesota, Texas로써 전체 3개의 주와 10구간에 대해서 평가되었다. 또한 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 비접착식 콘크리트 덧씌우기를 적용한 구간은 Michigan, Minnesota, Washington에 대한 3개의 주와 8구간이며 이에 대해 모니터링을 실시하였다. 그 결과를 토대로 각 구간별 사용수명을 그림 2와 같이 산정한 결과 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 Rubblization 및 전처리공법이 적용되지 않고 아스팔트 덧씌우기를 적용한 구간은 전체 12구간으로써 약 1~20년의 공용년수가 나타났으며, 덧씌우기 공법 후 2구간에서 조기파손이 발생한 것으로 확인되었다. 반면에 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Crack and Seat, Rubblization 등 전처리공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간은 전체 10구간 중 7구간에서 공용년수가 10년~17년으로 나타났으며, 대부분 구간에서 10년 이상의 공용년수를 보였다. 또한 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 비접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 적용된 구간은 전체 8구간으로 공용년수가 15년~31년으로 나타났다. 따라서 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 Rubblization 등 전처리공법이 적용되지 않은 아스팔트 덧씌우기 구간에 비해 Rubblization 등 전처리공법이 적용된 아스팔트 덧씌우기와 비접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에서 수명이 더 높게 나타났으며, 일정 이상의 수명이 유지되는 것으로 확인되었다.

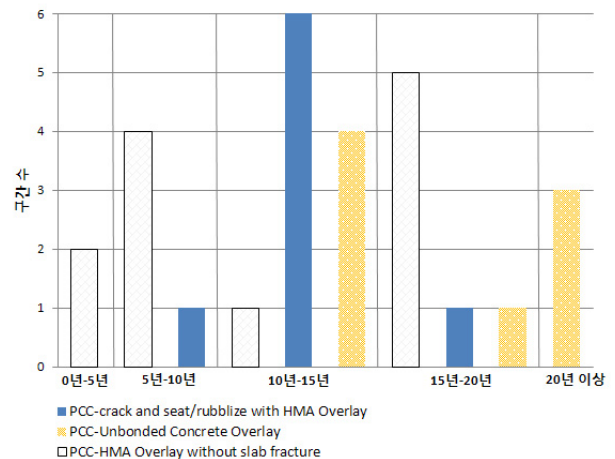


그림 2. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 적용된 공법별 수명 비교 (Wu 외, 2010)

국내의 경우 일반적으로 아스팔트 덧씌우기 공법이 시행되고 있으며, 최근 들어 이를 대체하기 위한 공법으로 조기 교통개방형 접착식 콘크리트 덧씌우기와 비접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 대해 적용을 시도하고 있다. 현 시점은 시멘트 콘크리트 포장의 공용년수가 20년이 넘어서면서 대대적인 보수·보강에 대한 필요성이 부각되고 있으며, 국내의 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 전처리공법을 통하여 실질적인 포장의 사용수명에 대한 검토가 필요한 시점이 되었다.

본 연구에서는 국내의 경우 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법 간에 대한 비교·분석을 위한 자료가 충분치가 않으므로, 체계적으로 구축되어 있는 미국의 LTPP Data를 이용하여 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Rubblization 등 전처리공법이 적용되지 않은 아스팔트 덧씌우기와 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해서 덧씌우기 수명을 고찰하였다.

2. 연구전략 및 범위

본 연구에서는 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간의 다양한 포장단면, 교통 및 환경 조건과 각각의 구간에 대한 공용 중 연도별 도로파손상태에 대한 정보가 필요하다. 따라서 공용 중인 파손상태정보에 대해서 구축되어 있는 미국의 LTPP Database를 이용하였다. 이를 통해 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에 대해 공용 중 포장의 파손 및 파손량을 평가하기 위

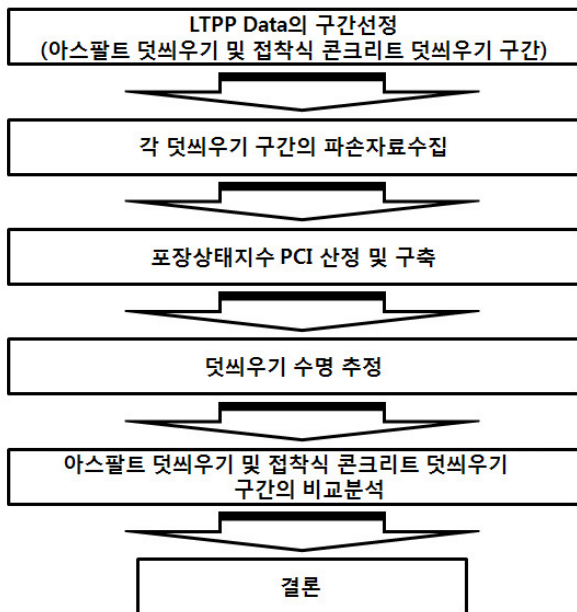


그림 3. 덧씌우기 수명의 비교·분석을 위한 절차

해 국제적으로 많이 사용하는 포장상태지수(PCI, Pavement Condition Index)를 사용하였다. 사용된 모듈은 LTPP Database의 Monitoring, Rehabilitation, Inventory 등에 대해서 수록되어져 있으며, 이를 통해 아스팔트 덧씌우기 및 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명추정을 실시하였다. 수명추정을 위한 절차는 그림 3과 같다.

3. 아스팔트 덧씌우기 및 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명 비교·분석을 위해 사용된 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 공용 중인 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 구간의 수명 비교·분석을 위해서는 단면이력, 교통, 환경 조건과 각각의 구간에 대한 공용 중 연도별 도로파손상태에 대한 정보가 필요하다. 따라서 각각의 덧씌우기 구간의 수명 비교·분석을 위한 구간으로써 GPS-7A 구간은 노후화된 시멘트 콘크리트 포장 위에 아스팔트 덧씌우기 공법이 적용된 구간으로 전체 20개의 주와 35개의 구간으로 구성되어 있으며, SPS-7 구간은 노후화된 시멘트 콘크리트 포장 위에 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간으로 전체 4개의 주와 39개의 구간으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 LTPP Data의 각각의 구간에서 추출한 파손 database를 통해 PCI를 산정 후, 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 아스팔트 덧씌우기 구간과 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명에 대해서 고찰하였다.

3.1. 아스팔트 덧씌우기 구간의 기본정보 database 구축

노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 Rubblization 등 전처리 공법 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간은 LTPP의 Inventory 및 Testing 모듈을 통해 포장기본정보에 대한 database를 구축하였다. 국내의 경우와 동일한 비교·분석을 위해 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Rubblization 등 전

처리공법 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간만을 추출하였다. 추출된 구간으로는 표 1과 같이 전체 10개 주 (Colorado, Illinois, Michigan, Missouri, Nebraska, Ohio, Oregon, Pennsylvania, Texas, West Virginia)와 13개의 구간으로 구성되어 있다.

표 1. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Rubblization 등 전처리 공법 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 주와 구간에 따른 범위

주	구 간
CO(8)	7035 7036
IL(17)	5453 7937
MI(26)	7072
MO(29)	7073
NE(31)	7040
OH(39)	7021
OR(41)	7018 7019
PA(42)	7025
TX(48)	7165
WV(54)	7008

노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Rubblization 등 전처리공법 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간에 대한 포장기본정보는 표 2와 같이 나타내고 있다. 각 구간에 대해서 모니터링 된 면적은 차선평폭 3.66m, 연장 152.4m, 1차로로 평가되었고, 덧 씌우기 층의 두께는 약 5~14cm, 기존 콘크리트 포장의 두께는 19~26cm로 나타났다. 복합지지력계수는 AASHTO 86을 설 계법을 통해 각각의 기층과 노상만을 고려하여 각각의 재료에 대한 탄성계수 및 덧씌우기 두께를 통하여 산정하였으며, 복합 지지력계수는 전반적으로 217~597MN/m³로 산출되었다.

표 2. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Rubblization 등 전처리공법 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 주와 구간의 포장기본정보

주	구간	차선평 폭(m)	연장 (m)	적용 차선	덧씌우기층 두께(cm)	기존 PCC층 두께(cm)	복합지지력 계수(MN/m ³)	덧씌우 기종류
8	7035	3.66	152.4	1	12	21	244	HMA
8	7036	3.66	152.4	1	8	20	271	HMA
17	5453	3.66	152.4	1	7	21	488	HMA
17	7937	3.66	152.4	1	5	23	407	HMA
26	7072	3.66	152.4	1	14	23	597	HMA
29	7073	3.66	152.4	1	6	21	353	HMA
31	7040	3.66	152.4	1	8	20	217	HMA
39	7021	3.66	152.4	1	7	23	217	HMA
41	7018	3.66	152.4	1	10	20	488	HMA
41	7019	3.66	152.4	1	5	19	244	HMA
42	7025	3.66	152.4	1	10	24	326	HMA
48	7165	3.66	152.4	1	11	26	244	HMA
54	7008	3.66	152.4	1	5	22	217	HMA

3.2. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 기본정보 database 구축

노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간은 LTPP의 Inventory 및 Testing 모듈을 통해 database를 구축하였으며 이용된 구간은 전체 4개의 주로 Iowa, Louisiana, Minnesota, Missouri로 나타나있 으며, 39개의 구간으로 구성되어 있다. 이 중 노후화된 시멘 트 콘크리트 포장에 덧씌우기가 적용되지 않은 구간과 아스 팔트 구간, 수명추정의 비교가 불가능한 구간에 대해서는 제 외하였다. 최종적으로 추출한 구간은 표 3과 같이 전체 4개 주의 24개 구간에 대해서 database를 구축하였다.

표 3. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 주와 구간에 따른 범위

주	구 간
IA(19)	703 707 708 709
LA(22)	702 705 706 707 709
MN(27)	703 704 706 707 708 709
MO(29)	702 703 704 705 706 707 708 709 760

노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간의 모니터링된 면적은 차선평폭은 3.66m, 슬 래브 길이 6.1m, 총연장 152.4m, 1차로로 구성되어 있다. 따라서 접착식 콘크리트 덧씌우기 두께는 약 8~16cm이며, 기존 콘크리트 포장의 두께는 18~21cm의 두께로 나타났다. 복합지지력의 경우 전 구간에서 190~597MN/m³로 산출되 었으며, 기존포장형식 및 덧씌우기 종류에 대한 내용은 다음 표 4와 같이 구성되어 있다.

표 4. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 접착식 덧씌우기 적용된 구간의 포장기본 정보

주	구간	차선평 폭(m)	연장 (m)	적용 차선	덧씌우기 층두께 (cm)	기존 PCC층두께 (cm)	복합지지력 계수 (MN/m ³)	기존포 장형식	덧씌우기 종류
19	703	3.66	152.4	1	10	20	326	CRCP	PCC
19	707	3.66	152.4	1	16	20	326	CRCP	PCC
19	708	3.66	152.4	1	13	20	326	CRCP	PCC
19	709	3.66	152.4	1	14	20	326	CRCP	PCC
22	702	3.66	152.4	1	9	19	543	CRCP	PCC
22	705	3.66	152.4	1	10	21	570	CRCP	PCC
22	706	3.66	152.4	1	15	20	570	CRCP	PCC
22	707	3.66	152.4	1	15	21	597	CRCP	PCC
22	709	3.66	152.4	1	14	19	570	CRCP	PCC
27	703	3.66	152.4	1	9	19	326	CRCP	PCC
27	704	3.66	152.4	1	8	21	380	CRCP	PCC
27	706	3.66	152.4	1	13	20	380	CRCP	PCC

(표 계속)

27	707	3.66	152.4	1	13	20	380	CRCP	PCC
27	708	3.66	152.4	1	14	18	380	CRCP	PCC
27	709	3.66	152.4	1	12	20	380	CRCP	PCC
29	702	3.66	152.4	1	10	19	244	JPCC	PCC
29	703	3.66	152.4	1	8	20	190	JPCC	PCC
29	704	3.66	152.4	1	9	21	190	JPCC	PCC
29	705	3.66	152.4	1	8	21	217	JPCC	PCC
29	706	3.66	152.4	1	14	21	-	JPCC	PCC
29	707	3.66	152.4	1	12	21	-	JPCC	PCC
29	708	3.66	152.4	1	12	20	244	JPCC	PCC
29	709	3.66	152.4	1	13	20	217	JPCC	PCC
29	760	3.66	152.4	1	10	20	-	JPCC	PCC

3.3. 포장상태지수 산정을 위한 database 구축

노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Rubblization 등 전처리 공법 없이 적용된 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에 대해서 각각의 포장파손 및 파손량에 따라 포장상태지수를 산정하였다. 하지만 아스팔트 덧씌우기와 접착식 덧씌우기 공법의 파손 및 파손유형이 측정년수 별로 일정하게 나타나지 않았다. 이를 토대로 각 구간에 대해 파손형태 및 파손량을 덧씌우기 공법 후에 대해 포장상태지수를 산출하였으며, 포장상태지수의 산정절차는 아래의 그림 4와 같이 구축하였다.

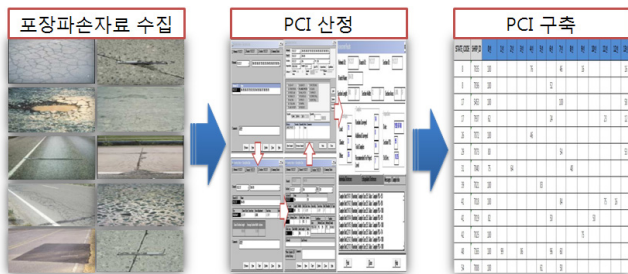


그림 4. 포장상태지수에 대한 산정절차

3.3.1. 아스팔트 덧씌우기 구간에 대한 파손 database 구축

아스팔트 덧씌우기 구간에 대한 포장파손 및 파손유형은 표 5를 통해 분류를 실시하였으며, 각 구간별로 경과년수에 따라 database를 구축하였다. 아스팔트 덧씌우기 구간에서 측정된 파손은 종방향 균열, 횡방향 균열, 거북등균열, 패칭, 단부균열, 포트홀, 펌핑, Bleeding, 라벨링, Shoving, 골재 마모 등으로 나타났다. 이에 따라 아스팔트 덧씌우기 구간에서 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 7과 같이 포장상태지수를 산출하였다.

표 5. 아스팔트 포장 및 주차장 (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

3.3.2. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에 대한 파손 database 구축

접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 포장파손 및 파손유형은 콘크리트 포장에서 발생하는 파손분류를 표 6을 통해서 구축을 실시하였다. 따라서 덧씌우기 공법 후 각 구간에서 발생한 파손의 형태는 종방향·횡방향 균열, 종방향·횡방향 스폐링,

표 6. 콘크리트 포장 및 주차장 (U.S Army Corps of Engineers, 2007)

Pavement Distress	Distress Type
21. Blow Up	Climate/Durability
22. Corner Break	Load
23. Divided Slab	Load
24. Durability Cracking	Climate/Durability
25. Faulting	Other
26. Joint Seal Damage	Climate/Durability
27. Lane/Shoulder Drop Off	Other
28. Linear Cracking	Load
29. Large Patch/Utility Cut	Other
30. Small Patch	Other
31. Polished Aggregate	Other
32. Popouts	Other
33. Pumping	Other
34. Punchout	Load
35. Railroad Crossing	Other
36. Scaling/Crazing	Other
37. Shrinkage Cracking	Climate/Durability
38. Corner Spalling	Climate/Durability
39. Joint Spalling	Climate/Durability

모서리 파손, Map 균열, 펌핑, 패칭 강성, 패칭 연성, 골재마모, 편치아웃 등으로 나타난 것을 확인할 수 있었다. 위와 같이 파손 및 파손량에 대한 database는 data의 양이 방대하여 본 연구에서는 포함시키지 않았으며, 표 8과 같이 포장상태지수를 산출하였다.

3.4. 아스팔트 덧씌우기 및 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 포장상태지수 산정

포장상태지수는 아스팔트 덧씌우기 구간의 파손 database를 통해서 연도별 포장상태지수를 산출하여 database를 구축하였다. 이에 대하여 아스팔트 덧씌우기 및 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 회귀분석을 실시하였으며, 결정계수 및 연평균PCI감소율에 대해서 산정하였다.

아스팔트 덧씌우기 구간의 포장상태지수 산정결과는 표 7과 같이 수록되어 있으며, 전 구간 중 연평균PCI감소율이 약 2.8~13.5의 범위로 나타났다. 연평균PCI감소율의 경우 전체 13구간 중 7.0 이상인 구간이 4구간이며, 평균 5.8의 감소율을 보였다.

표 7. 아스팔트 덧씌우기 구간의 경과년수에 따른 PCI 산정

주	구간	0년	1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년	8년	9년	10년	11년	12년	13년	ΔPCI/year	R ²
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

접착식 콘크리트 덧씌우기 구간도 위와 동일한 방법으로 파손 database를 통해서 PCI를 표 8과 같이 구축하였다. 접착식 콘크리트 덧씌우기 후 연평균PCI감소율은 전 구간에서 약 0.2~11.4의 범위로 나타났다. 또한 산정한 전체 24개의 구간 중 연평균PCI감소율이 7.0 이상인 구간은 2구간이며, 평균 2.2로 나타났다. 이를 통하여 아스팔트 덧씌우기 구간과 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명 차이가 약 2.5배 이상 날 것으로 판단된다.

표 8. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 경과년수에 따른 PCI 산정

주	구간	0년	1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년	8년	9년	10년	11년	12년	13년	14년	15년	ΔPCI/year	R ²
19	703	100	100							92								-1.2	0.98
19	707	100	100							99								-0.2	0.98
19	708	100	100							94								-0.9	0.98
19	709	100	100							93								-1.1	0.98
22	702	100	100			100		93										-1.3	0.68
22	705	100	100			90		91										-2.2	0.78
22	706	100	100			67		63										-8.6	0.88
22	707	100	98			52		51										-11.4	0.85
22	709	100	98			90		91										-2.0	0.80
27	703	100		100	98			98		100							96	-0.2	0.53
27	704	100		100	100			100		100							93	-0.5	0.74
27	706	100		100	100			97									59	-3.0	0.94
27	707	100		100	98			92									76	-1.7	0.98
27	708	100		100	100			74									71	-2.1	0.67
27	709	100			100			100									93	-0.5	0.90
29	702	100	100	98	98	99	98			98			95					-0.4	0.75
29	703	100	100	97	92	96	85			85			83					-1.7	0.82
29	704	100	96	97	96	58	97			47			44					-5.7	0.71
29	705	100	100	93	90	88	91			59			55					-4.5	0.91
29	706	100	100	93	88			92		73								-3.2	0.85
29	707	63	60	91	68	65	91			90								3.4	0.39
29	708	100	100	88	88	92	88			94			84					-1.0	0.39
29	709	100	100	93	75	97	93			97			98					0.2	0.01
29	760	100	100	92	91	97	90			90			66					-2.6	0.76

※ 0년 : 덧씌우기 공법 후 1년 미만

4. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 덧씌우기 구간에 대한 포장성능평가

4.1. 포장상태지수를 이용한 덧씌우기 수명추정 및 산정방법

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

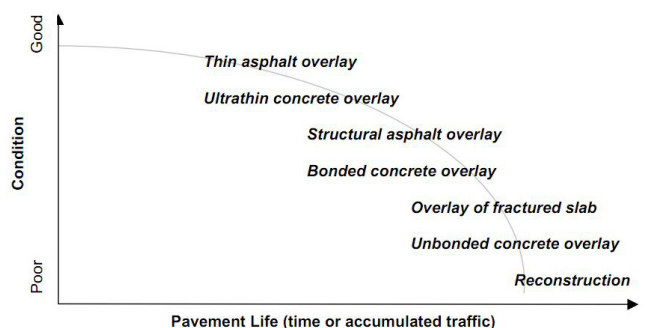


그림 5. Structural improvement options most suitable at different points in a pavement's life(NCHRP, 2009)

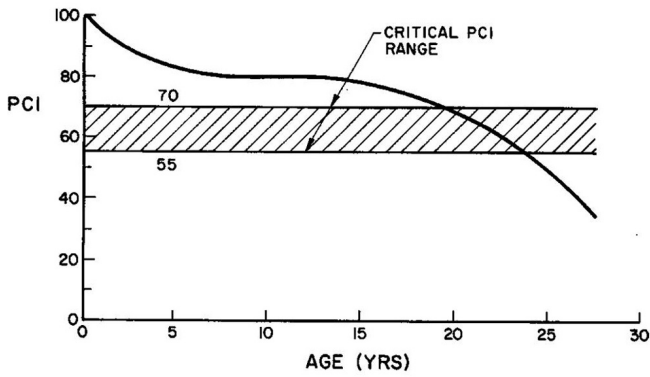


그림 6. Critical PCI 범위 (U.S Army Corps of Engineers, 2007)

각각의 구간별 data에 대해서 신뢰성 있는 분석을 위해 이상 값을 5% 내외로 제거하였고, 수명추정 시 변동폭이 없거나 분석이 불가피한 구간의 data에 대해서는 포함 시 오차가 발생함으로 제외 후 회귀분석을 수행하였다. 또한 추세를 통해 추정된 덧씌우기 수명이 약 50년 이상인 구간에 대해서는 동일하게 50년으로 수명을 추정하였다. 따라서 아스팔트 덧씌우기 구간과 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에 대한 수명 추정은 그림 7, 8과 같은 방법으로 실시하였다. 그림 7은 아스팔트 덧씌우기 구간인 8-7035구간으로써 수명추정은 경과년수별 PCI를 통해 회귀분석 실시하였다. 이에 따른 포장상

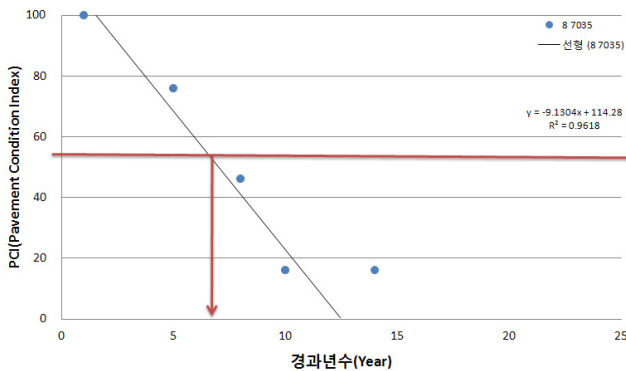


그림 7. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명추정 예 (8-7035구간)

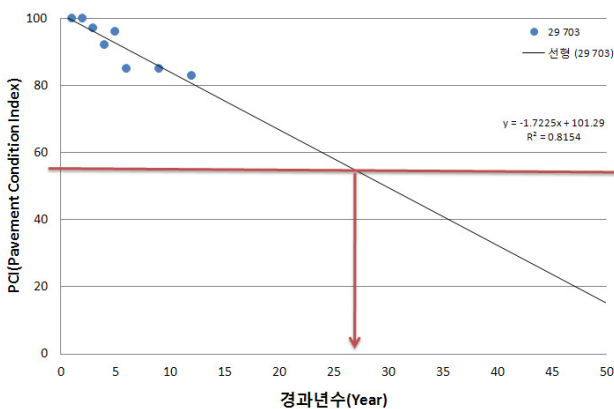


그림 8. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명추정 예 (29-703구간)

태지수가 55일 때에 수명은 7년으로 추정되었다. 그림 8은 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 29-703구간으로 위와 동일한 방법으로 실시하였으며, 수명은 26년으로 추정되었다.

4.2. 포장상태지수에 대한 아스팔트 덧씌우기 및 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명 비교·분석

아스팔트 덧씌우기 구간과 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에 대해서 경과년수별 PCI산정결과를 통해 회귀분석을 실시하였다. 이에 대해 신뢰성이 높은 구간을 선정하였으며, 표 9, 10과 같이 덧씌우기 수명에 대해서 기술하였다.

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

표 9. 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명

주	구간	ΔPCI/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 10. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명

주	구간	ΔPCI/year	R ²	덧씌우기 수명(Year)
19	703	-1.2	0.98	38
19	707	-0.2	0.98	50
19	708	-0.9	0.98	50
19	709	-1.1	0.98	45
22	702	-1.3	0.68	36
22	705	-2.2	0.78	22
22	706	-8.6	0.88	6

〈표 계속〉

22	707	-11.4	0.85	5
22	709	-2.0	0.80	23
27	703	-0.2	0.53	50
27	704	-0.5	0.74	50
27	706	-3.0	0.94	18
27	707	-1.7	0.98	29
27	708	-2.1	0.67	22
27	709	-0.5	0.90	50
29	702	-0.4	0.75	50
29	703	-1.7	0.82	26
29	704	-5.7	0.71	10
29	705	-4.5	0.91	12
29	706	-3.2	0.85	16
29	708	-1.0	0.39	43
29	760	-2.6	0.76	20

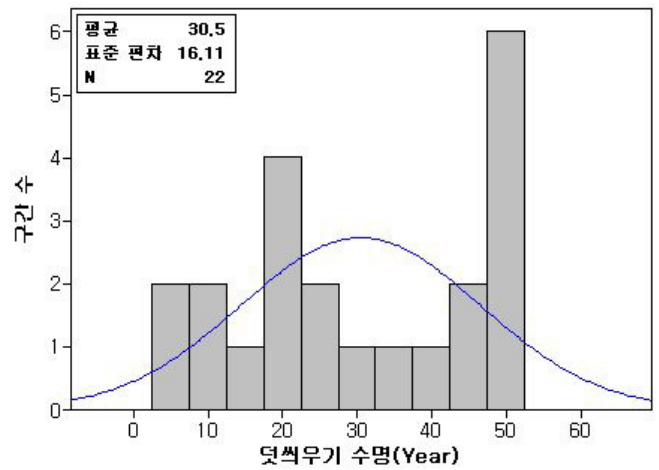


그림 10. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명

접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 추정수명은 약 5~51년으로 평균 31년의 수명을 보였다. 국외 연구에 따르면 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간에 대한 수명 범위는 15~25년으로써(NCHRP, 2001) 본 연구를 통해 추정된 수명이 약 6년 정도가 더 연장된 것으로 확인되었다.

접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에서 수명이 5년 미만인 구간은 없었으며, 10년 미만인 구간은 2구간, 20년 미만인 구간은 4구간, 20년 이상 구간이 16구간으로 나타났다. 따라서 아스팔트 덧씌우기와 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 적용된 구간을 국외연구와 비교 시 두 공법 모두 예상수명범위 안에 드는 것으로 나타났으며, 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 적용된 구간이 아스팔트 덧씌우기 구간보다 약 22년 이상의 수명 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 대해 두 공법이 적용된 구간별 수명에 대해서 통계분석을 실시한 결과 그림 9, 10과 같은 정규분포를 확인할 수 있었다.

아스팔트 덧씌우기 및 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에 대해서 덧씌우기 수명에 관한 통계분석을 실시하였으며, 표 11과 같이 신뢰도 95%인 구간에 대해서 수명을 산정한 결과 아스팔트 덧씌우기 구간의 추정 수명은 약 6.2년~11.5년, 평균 8.8년으로 나타났다. 반면에 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에 대한 추정 수명의 경우 약 23.4년~37.6년, 평균 30.5년으로 산출되었다. 이를 통해 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 추정 수명이 아스팔트 덧씌우기 구간의 추정 수명보다 높게 나타났으며, 약 20년 이상의 수명이 유지될 것으로 사료된다.

표 11. 아스팔트 덧씌우기 및 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 신뢰도 95% 수명구간에 따른 비교·분석

구분	아스팔트 덧씌우기 구간	접착식 콘크리트 덧씌우기 구간
평균 수명 (Year)	8.8	30.5
신뢰도 95% 수명구간 (Year)	6.2~11.5	23.4~37.6

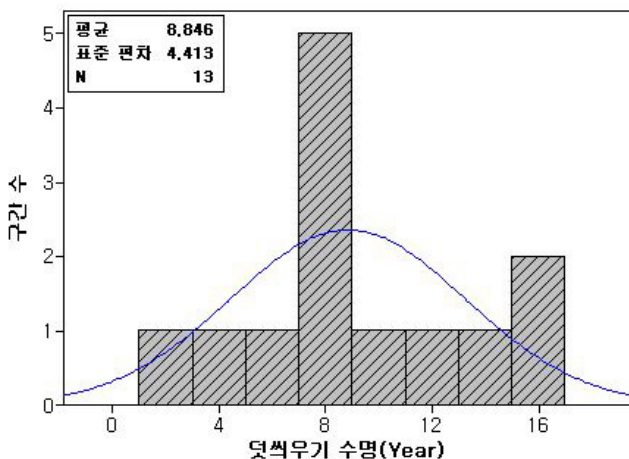


그림 9. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장의 Rubblization 등 전처리 공법 없이 적용된 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명

5. 결론

본 연구에서는 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 Rubblization 등 전처리공법 없이 적용된 아스팔트 덧씌우기와 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간의 수명에 대하여 비교·분석을 실시하였다. 이에 대한 각 공법 간의 덧씌우기 수명에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 Rubblization 등 전처리공법 없이 아스팔트 덧씌우기가 적용된 구간의 덧씌우기 수명에 대해서 통계분석을 실시한 결과 신뢰도 95%

구간의 덧씌우기 수명은 6.2~11.5년으로 나타났으며, 평균 9년의 덧씌우기 수명이 나타났다.

2. 노후화된 시멘트 콘크리트 포장에 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간의 경우 신뢰도 95%구간의 덧씌우기 수명은 약 23.4~37.6년으로 평균 30.5년으로 나타났다. 이를 통해 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명이 아스팔트 덧씌우기 구간의 수명보다 향상된 결과를 보였고, 약 17.2년~26.1년으로 평균 21.7년의 수명차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 아스팔트 덧씌우기 포장과 기존 PCC 포장의 재료물성 및 구조적 거동 등이 상이함으로써 아스팔트에서 주로 발생하는 반사균열 및 소성변형 등에 의해 덧씌우기 수명이 단축된 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 수명에 대한 비교 및 분석을 실시하였으며, 국내의 경우 일반적으로 노후화된 시멘트 콘크리트 포장 위에 아스팔트 덧씌우기 포장을 주로 실시하고 있다. 최근에 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법에 대해 도입을 하는 시점으로 국내의 장래 교통량 및 환경영향, 시공재료 및 방법, 양생조건 등을 고려할 때 기존의 덧씌우기 공법에 대하여 약 20년 이상의 덧씌우기 수명을 확보할 수 있을 지와 덧씌우기 공법 선정에 있어서 교통여건 및 경제성 평가 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

향후 연구로써 포장수명에 대해 교통하중 및 환경영향 등의 영향인자와 기존 포장 층의 포장상태, 재료 및 시공방법 등을 추가 검토함으로써, 덧씌우기 수명에 대한 비교·분석을 함께 병행하여 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

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.

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.
 이형준, 윤경구, 임승욱, 서영찬, 도경구, 박광현(1996), "콘크리트 덧씌우기에 의한 포장보강방안 연구(Ⅱ)", 한국도로공사 도로연구소.
 (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
 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 MicroPAVERTM 6.0", U.S Army Corps of Engineers
 LTPP DataPave Online, 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