

고속도로 접착식 콘크리트 덧씌우기 포장의 공용성 분석

Performance Evaluation of Bonded Concrete Overlay in Highway

박종원	Park, Jong Won	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : hansum1234@naver.com)
김영규	Kim, Young Kyu	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : kingdom1980@nate.com)
한승환	Han, Seung Hwan	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 · 공학박사 (E-mail : hansu@ex.co.kr)
이승우	Lee, Seung Woo	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aimed to evaluate the long-term performance of bonded concrete overlay in Korean Highway, and factors influencing the performances.

METHODS : The evaluation for long-term performance of bonded concrete overlay is investigated based on the following study :

- The pavement distress of bonded concrete overlay sections in Korean highway are collected through field measurement, and PCI for each section is calculated.
- Performance of LTPP data of bonded concrete overlay sections in U.S.A is analysed. And it is compared with bonded concrete overlay of Korean highway.
- An analysis of the factors influencing to long-term performance of bonded concrete overlay is investigated.

RESULTS : Performance analysis was confirmed that the overlay thickness was affecting significantly on the Bonded Concrete Overlay life. The comparison of LTPP data(U.S.A) and field measurement data(Korean) was showed.

CONCLUSIONS : It was showed that the performance of Korean bonded concrete overlay is relatively lower than that of the bonded concrete overlay in U.S.A. The cause of lower performance can be explained by the lack of overlay thickness.

Keywords

bonded concrete overlay, LTPP data, overlay thickness, bond stress, pavement condition index

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Professor
Department of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University, 7, Jukheon-gil, Gangneung-si, Gangwon-do, 210-702, Korea
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.641.1391
E-mail : swl@gwnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Aug. 19, 2013 Revised Aug. 23, 2013 Accepted Jan. 27, 2014

1. 서론

국내의 경우 콘크리트 포장의 내구 연한이 가까워짐에 따라 많은 구간에서 유지보수의 수요가 증가하고 있다. 유지보수의 방법 중 최근 들어 적용사례가 증가하고 있는 접착식 콘크리트 덧씌우기는 기존 콘크리트 포장의 상태가 비교적 양호한 구간에 실시하는 공법으로 완

전부착을 통한 일체화 거동으로 높은 구조적 안정성을 확보하는 특징이 있다.

콘크리트 재료의 특성상 비교적 긴 양생기간으로 인해 시공 시 기술적인 문제가 발생하여 적용이 어려웠으나 최근 들어 덧씌우기 재료의 개발로 인해 접착식 콘크리트 덧씌우기의 시공빈도가 높아지고 있다. 하지만 접

착식 콘크리트 덧씌우기의 도입이 막 시작되어 공용기간 동안의 교통량 및 파손에 대한 data가 충분치 않아 장기 공용성 분석이 어려운 실정이다. 국내의 접착식 콘크리트 덧씌우기의 장기공용성 분석은 조기교통개방 가능한 콘크리트 덧씌우기 공법 개발의 일환으로 1996년 88고속도로에 시공한 시험포장에서 최초로 실시되었다. 시험 포장 구간 중 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간은 6cm와 10cm의 덧씌우기 두께로 시공되었으며 시험 시공 1년경과 후 기존 포장의 전단면 보수부에서 약간의 접착력 상실이 보였으나 전반적으로 양호한 상태를 확인할 수 있었다. 이를 통해 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법의 시공성과 공용성을 증진시키는 방안이 연구되었다 (Ministry of Construction & Transportation, 2004; Kim et al, 2001).

접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 국외 사례를 살펴보면, 미국의 경우 일반적으로 덧씌우기 두께 설계를 통하여 8~16cm로 시공하고 있으나 국내의 경우 경험적으로 기존 포장층을 5cm 절삭한 후 5cm 덧씌우기 두께로 시공하는 것이 일반적이다. 그러나 재료적 특성이나 구조적 요인을 고려하지 않고 획일적인 덧씌우기 두께로 시공하는 것은 시공구간의 지역적 특성을 충분히 고려하지 못하여 장단기 구조적 성능을 만족시키지 못한다. 또한 설계 및 시공이 최적화되지 못할 경우 충분한 내구성 확보가 불가능하여 경제성을 감소시키는 요인이 된다. 포장상태와 덧씌우기 두께가 설계수명에 미치는 영향을 분석한 결과 현재 국내에서 시공되고 있는 획일적인 방법의 경우 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법의 원리 및 특성을 제대로 활용하지 못할뿐더러 조기파손에 의한 재보수를 실시하여 불필요한 경제적 손실을 초래할 수 있다. 따라서 지역상황, 공법, 교통량, 기존 콘크리트 포장의 상태 등을 종합적으로 고려하는 덧씌우기 두께설계가 필요한 실정이다(Lee et al, 2012).

미국의 경우 도로포장의 기본 이력 및 공용 중 발생하는 파손에 대한 데이터를 구축 후 도로포장의 장기적인 상태 체크를 통해 LTPP(Long-Term Pavement Performance) database를 마련하고 있다. Kim 등(2012)의 LTPP data 분석에 따른 덧씌우기 공용수명 평가 연구에 의하면 덧씌우기 공법 적용 후 2~3년 내에 일반적인 덧씌우기 구간에 비하여 횡방향 균열 등의 대량 파손이 발생하였으며, 이러한 조기파손구간의 경우 덧씌우기 층과 기존 포장층의 경계면에서의 낮은 부착력으로 인한 구조적 손실을 원인으로 분석하였다 (Kim et al, 2012). 따라서 국내의 경우에도 공용수명의 증가 및 유지보수 비용 감소를 위하여 교통량과 지

역상황을 고려한 포장 두께설계의 기준이 필요한 것으로 판단된다.

덧씌우기 설계 기준정립을 위하여 접착식 콘크리트 덧씌우기(Bonded Concrete Overlay: BCO) 구간의 기본 이력 및 공용 중 발생하는 포장파손에 대한 체계적인 data 구축이 필요하다. 본 연구에서는 국내 고속도로의 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 포장파손 및 파손량을 수집한 후 PCI(Pavement Condition Index)를 산정하였으며 이를 미국의 LTPP data의 구간별 PCI와 비교하여 덧씌우기 두께에 따른 공용수명과 PCI의 상관관계를 분석하였다. 이를 통해 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간을 분석하여 장기적인 접착식 콘크리트 덧씌우기의 공용성을 평가하고자 하였다.

2. 미국 LTPP data의 BCO 구간 공용성 분석

접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 공용수명을 예측하기 위해서는 다양한 단면, 교통량, 환경조건 및 공용 중에 발생하는 연도별 포장파손상태에 대한 분석이 필요하다. 국내의 경우 접착식 콘크리트 덧씌우기의 기본 이력 및 공용 중 발생하는 포장파손에 대한 체계적인 data 구축이 미흡한 실정으로, 공용수명에 영향을 미치는 다양한 포장파손자료를 구축하고 있는 미국의 LTPP data를 활용하였다. Kim 등(2012)의 LTPP data 분석에서는 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간에 대하여 균열과 스폴링, 펌핑 및 패칭 등의 포장파손 및 파손량을 수집한 후 PCI를 산정하였다(Kim et al, 2012). 따라서 Table 1과 같은 미국 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 기본정보 구축자료를 활용하여 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 현장조사 data와 비교하고자 하였으며, 다양한 파손자료를 활용하여 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기의 공용수명을 평가하였다.

2.1. 미국 LTPP data(U.S.A) 중 BCO구간의 덧씌우기 두께에 따른 공용성 분석

Fig. 1~3은 Kim 등(2012)의 미국 LTPP 연구내용을 바탕으로 덧씌우기 두께에 따른 공용수명(누적교통량)과 PCI의 상관관계를 재분석한 것이다. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간에 대해 덧씌우기 두께를 8~10cm, 11~13cm, 14~16cm로 구분하여 공용수명(누적교통량)과 PCI의 상관관계를 분석하였으며, 이때 조기파손으로 판단되는 구간의 데이터를 표기 후 해당 구간은 통계상에서 Outlier로 고려하였다.

Table 1. General Performance Data Description of BCO from LTPP data (Kim, 2012)

State	Section	Overlay Thickness (cm)	PCI of Cumulative Years													Cumulative Years of Record	Cumulative ESAL ($\times 10^6$)			
			0yr	1yr	2yr	3yr	4yr	5yr	6yr	7yr	8yr	9yr	10yr	11yr	12yr			13yr	14yr	15yr
19	703	10	100	100							92								11	10.0
19	707	16	100	100							99								11	9.6
19	708	13	100	100							94								11	9.7
19	709	14	100	100							93								11	9.9
22	702	9	100	100		100		93											2	0.5
22	705	10	100	100		90		91											2	0.5
22	706	15	100	100		67		63											2	0.5
22	707	15	100	98		52		51											2	0.5
22	709	14	100	98		90		91											2	0.5
27	703	9	100		100	98		98			100							96	3	0.8
27	704	8	100		100	100		100			100							93	3	0.8
27	706	13	100		100	100		97										59	3	0.8
27	707	13	100		100	98		92										76	3	0.8
27	708	14	100		100	100		74										71	5	0.8
27	709	12	100			100		100										93	3	0.8
29	702	10	100	100	98	98	99	98			98			95					8	2.1
29	703	8	100	100	97	92	96	85			85			83					14	8.4
29	704	9	100	96	97	96	58	97			47			44					14	8.3
29	705	8	100	100	93	90	88	91			59			55					14	8.2
29	708	12	100	100	88	88	92	88			94			84					14	8.0
29	760	10	100	100	92	91	97	90			90			66					14	8.2

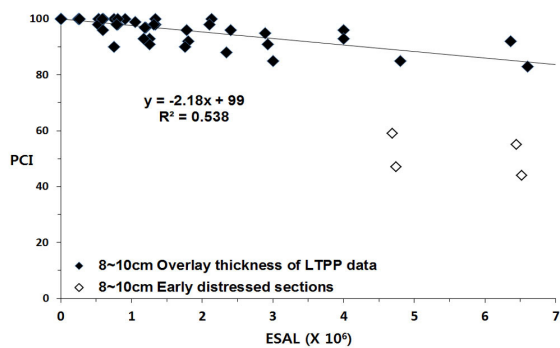


Fig. 1 PCI with Cumulative ESAL of BCO (Overlay thickness, 8~10cm)

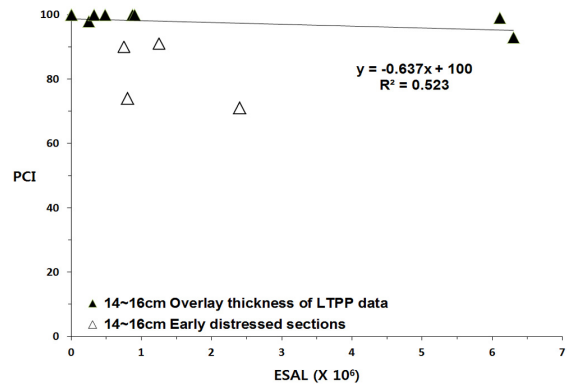


Fig. 3 PCI with Cumulative ESAL of BCO (Overlay thickness, 14~16cm)

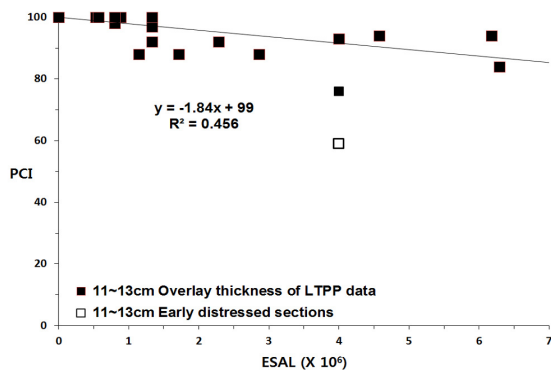
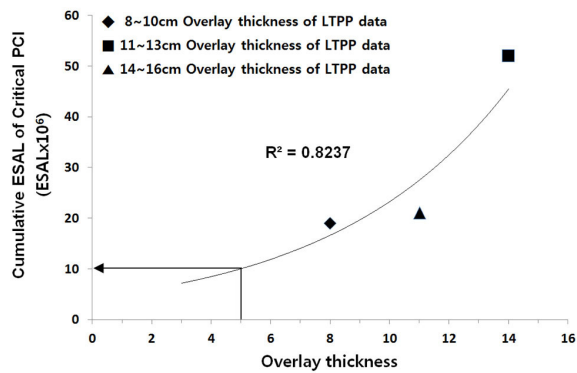


Fig. 2 PCI with Cumulative ESAL of BCO (Overlay thickness, 11~13cm)

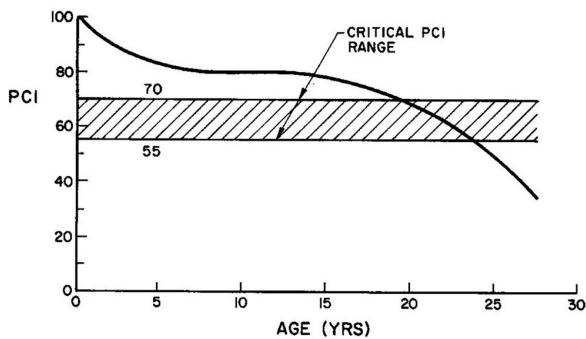
각 포장 두께를 8~10cm, 11~13cm, 14~16cm의 구간으로 분류하여 Fig. 1, 2 및 3과 같이 분석한 결과 공용수명이 1×10^6 ESAL 증가 시 각 포장 두께 별 PCI는 8~10cm의 경우 2.18, 11~13cm의 경우 1.84, 14~16cm의 경우 0.63 만큼 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 덧씌우기 두께에 따라 공용성 감소율이 더 큰 것으로서 덧씌우기 두께가 얇을수록 더 빠른 공용수명 감소가 되는 것으로 나타났다. 8~10cm의 구간과 14~16cm의 구간을 비교할 경우 공용수명은 약 3.4배 이상 차이가 나는 것으로 분석된다.

Fig. 4(a)는 1×10^6 ESAL 증가 시 PCI의 감소율과 Critical PCI(U.S Army Corps of Engineers, 2007)를 각 포장 두께별로 분석하여 국내 접착식 덧씌우기 두께인 5cm일 경우를 예측한 것이다. 미국 LTPP 구간의 8~10cm, 11~13cm 및 14~16cm의 각각 PCI를 통해 보외법을 이용하여 5cm 경우의 PCI 감소율을 예측하였다. Critical PCI는 Fig. 4(b)와 같이 포장상태가 급격히 악화되거나 포장의 유지보수비용이 급격히 증가하는 시점의 PCI로서 포장상태에 따른 보강시점을 산정할 수 있다. 이를 통해 덧씌우기 두께 증가 시 공용수명의 증가를 확인하였다.

각 포장별 포장상태에 따른 보수시점을 Critical PCI인 55를 기준으로 누적교통량을 산정한 결과 8~10cm구간의 경우 약 19×10^6 ESAL, 11~13cm의 경우 21×10^6 ESAL, 14~16cm의 경우 52×10^6 ESAL로 분석되었다. 이를 외삽법(Extrapolation)를 통해 확대 적용하여 국내의 덧씌우기 두께인 5cm인 경우로 예측 시 보수시점까지 약 10×10^6 ESAL의 누적교통량을 추정할 수 있었다. 이와 같이 덧씌우기 두께가 공용수명에 미치는 영향을 확인하였으며, 이를 통해 현행 덧씌우기 두께인 5cm를 8cm 이상 키울 경우 Critical PCI인 55를 기준으로 예측 시 1.9배의 공용수명 증진효과를 나타낼 것으로 판단된다.



(a) Estimated Critical PCI



(b) Critical PCI

Fig. 4 Estimated Service Life of BCO

Table 2. Predicted Service Life of BCO

	Overlay Thickness (cm)			
	5	8~10	11~13	14~16
Decreasing Rate of PCI	3.2	2.18	1.84	0.63
Cumulative ESAL of Critical PCI ($ESAL \times 10^6$)	10	19	21	52

2.2. 미국 LTPP data(U.S.A) 중 BCO구간의 노후화된 콘크리트 포장형식에 따른 공용성 분석

Fig. 5~6은 Kim 등(2012)의 분석 data를 바탕으로 노후화된 콘크리트 포장형식에 따른 공용수명(누적교통량)과 PCI의 상관관계를 재분석한 것이다. LTPP data 중 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간에 대해 노후화된 콘크리트 포장형식을 JPCP와 CRCP로 구분하여 공용수명(누적교통량)과 PCI의 상관관계 분석을 실시하였다.

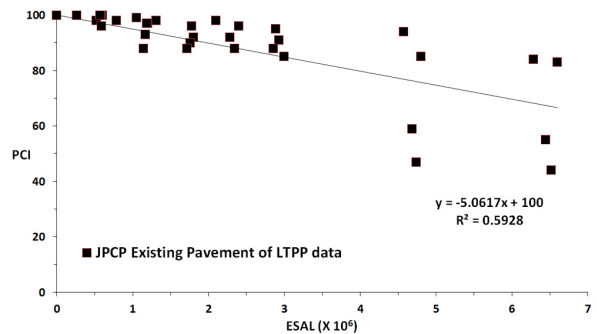


Fig. 5 PCI with Cumulative ESAL of BCO (Existing Pavement, JPCP)

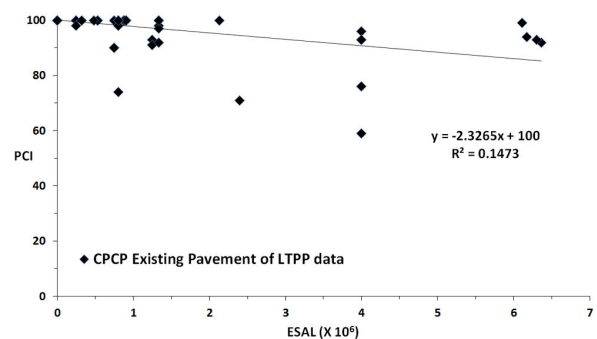


Fig. 6 PCI with Cumulative ESAL of BCO (Existing Pavement, CRCP)

각 구간의 노후화된 콘크리트 포장형식을 JPCP와 CRCP의 구간으로 분류하여 분석한 결과 공용수명이 1×10^6 ESAL 증가 시 각 포장 형식 별 PCI는 JPCP의 경우 5.1, CRCP의 경우 2.3만큼 감소하는 것을 확

인할 수 있었다. CRCP가 하부층일 경우 JPCP에 비해 45%의 PCI감소율을 보이며 덧씌우기 공용수명이 더 클 것으로 분석된다.

Kim 등(2012)에서는 JPCP의 공용성 저하를 교통하중 및 환경하중 재하 시 발생하는 수직인장응력으로 인한 부착면 파괴에 의해 발생한 것으로 분석하였다(Kim et al, 2012). 이와 같이 기존 포장 형식이 공용수명에 미치는 영향을 확인할 수 있었으며 JPCP와 CRCP의 경우 줄눈 유무에 의한 Curling의 영향으로 부착면 파손이 야기되어 장기적인 공용성 차이가 발생한 것으로 판단된다.

3. 국내 BCO 구간 공용성 조사

3.1. 현장계측을 통한 국내 BCO의 파손 database 구축

포장파손 및 파손유형 조사를 위하여 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 적용된 고속도로의 토공부 및 요금소광장부 구간에서 육안조사를 통한 현장계측을 수행하였으며 기존 콘크리트 포장의 시공년도, 포장유형, 기존 포장 및 덧씌우기 포장 두께, 덧씌우기 시공년도 등의 포장기본정보를 획득하였다. 현장계측 구간 중 토공부의 경우 차로폭은 3.6m, 총 연장은 72m~100m이며 1차로로 구성되었다. 요금소 광장부의 경우 차로폭 3.6 m, 총 연장 42m~138m이며 1~2차로로 구성되었다. 또한 30cm 두



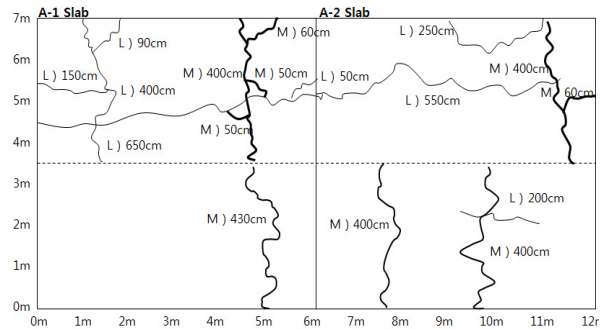
(a) Visual Observation



(b) Bonding Measurement



(c) Distress Measurement



(d) Distress Map

Fig. 7 Felid Measurement of BCO

께의 기존 포장층을 5cm 절삭 후 5cm 덧씌우기를 실시하였으며 덧씌우기 시공년도는 1~10 년으로 구성되었다. 포장기본정보 획득 후 Crack scale을 이용한 균열 폭 측정과 Rock hammer로 타격함으로써 포장계면의 부착 여부를 확인하는 등으로 Fig. 7과 같이 육안관측을 통한 포장 파손유형 및 파손상태 조사를 실시하였다.

토공부의 기존 포장유형은 CRCP로, 덧씌우기 포장층에 횡방향 균열이 약 20cm 간격으로 전 구간에 분포되어 있었으며 그밖에도 패칭, 종방향균열, 망상균열 등이 확인되었다. 요금소 광장부의 기존포장 유형은 JPCP로서 횡방향균열, 종방향균열, 모서리깨짐, 패칭, 스폐링, 망상균열 등이 나타났다. 각 구간에서 발생한 파손의 형태를 분류한 뒤 파손 폭, 깊이, 넓이 및 길이를 측정하였으며 이를 High, Midium, Low 등과 같이 파손 정도에 따른 심각도로 분류한 후 Distress Map으로 도식화하였다.

3.2. 국내 BCO 구간의 포장상태평가 및 교통량 산정

각 구간에서 발생한 파손의 형태를 분류한 뒤 파손 폭, 깊이, 넓이 및 길이를 측정하여 이를 정량화한 뒤 포장상태지수(PCI)를 통해 포장상태평가를 수행하였다.

PCI는 포장상태를 나타내기 위한 하나의 지수로 0~100까지의 범위를 나타내며, Table 3과 같은 등급으로 표현할 수 있다. PCI는 콘크리트 포장의 경우 19개 파손형태로 분류되며 각 파손을 육안 상태 조사를 통해 형태와 파손량 등으로 측정된 뒤 파손정도에 따른 심각도를 분류한다. 각 구간별로 산출되는 PCI를 이용하여 해당 구간의 상태를 정의 후 이를 통계적 분석에 활용하였다.

Table 3. Range and Condition Grade of PCI (ASTM D 5340, 2011)

PCI	Grade	
100	Good	Good
85	Satisfactory	
70	Fair	Fair
55	Poor	Poor
40	Very Poor	
25	Serious	
10	Failed	

고속도로의 교통량은 다양한 축하중과 형식을 갖는 것을 특징으로 한다. 다양한 축하중을 차량의 길이, 축간거리, 축형식, 각 축별 윤거, 윤형식 등으로 차종분류인자를 통해 고속도로는 12종, 요금소는 5종으로 분류하여 교통량이 산정되고 있다. AASHTO86 설계법에서는 도로상의 혼합 교통량을 등가단축하중(ESAL,

Equivalent Single Axle Load)으로 변환하여 교통량이 포장에 주는 영향을 나타내고 있다. 이는 다양한 교통량이 갖는 축하중 별 포장에 미치는 손상정도가 상이하기 때문에 표준하중(18kips single axle load with dual tire, 70psi)으로 환산하는 것이다. 따라서 12종 및 5종에 의한 고속도로 토공부와 요금소의 일 교통량을 등가단축하중계수(ESALF, Equivalent Single Axle Load Factor) 적용하여 ESAL을 산정하였으며 이를 통한 포장기본정보는 Table 4로 구성되었다.

3.3. 국내 BCO 구간의 database 분석

Fig. 8은 Table 4를 바탕으로 국내 접착식 덧씌우기 구간 별 공용수명(누적교통량)과 PCI의 상관관계를 분석한 것이다.

분석결과 다양한 누적교통량과 PCI의 분포 중 누적교통량이 15×10^6 ESAL, 16×10^6 ESAL로 상당히 많은 교통량의 구간을 확인할 수 있다. 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 현장계측 구간의 연간교통량은 0.67×10^6 ESAL~ 2.28×10^6 ESAL로서 국외의 경우보다 높은 교통하중을 갖으며 구간별 교통량의 편차가 큰 것이 특징이므로 상이한 교통하중과 환경하중을 고려하여 덧씌우기 두께를 산정한 후 구간별로 차별적인 설계를 해야 한다. 하지만 현행 접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 획일적으로 5cm 절삭 후 5cm 덧씌우기를 시행하고 있으며

Table 4. General Performance Data Description of BCO

Section	Cumulative ESAL ($\times 10^6$)	PCI	Cumulative Years	Overlay Thickness (cm)	Type of Existing Pavement	Type of Overlay Pavement	Note
DeaSo to EumSeong	5.6	73	3	5	CRCP	PCC	General Section
Naml to SeoCheongJu	15	74	9	5	CRCP	PCC	General Section
Test Road	0.03	97	2	5	CRCP	PCC	General Section
KyungAn IC	16	69	7	5	JPCP	PCC	Toll Gate
Jincheon IC (In, Up line)	2.7	87	2	5	JPCP	PCC	Toll Gate
Jincheon IC (Out, Up line)	2.7	76	3	5	JPCP	PCC	Toll Gate
Jincheon IC (Down line)	2.7	97	3	5	JPCP	PCC	Toll Gate
SeoCheongJu IC (Out, Up line)	6.1	60	3	5	JPCP	PCC	Toll Gate
SeoCheongJu IC (In, Up line)	6.1	78	3	5	JPCP	PCC	Toll Gate
SeoCheongJu IC (Down line)	5.7	73	3	5	JPCP	PCC	Toll Gate

이는 장단기 구조적 성능과 충분한 내구성 확보가 불가능하여 조기 유지보수를 실시하는 등 경제성의 감소원인이 된다. 따라서 국내의 경우 접착식 콘크리트 덧씌우기 두께설계에 대한 명확한 기준이 미흡한 실정이므로 각 구간의 기본 이력 및 공용 중 발생하는 포장파손에 대한 체계적인 data 구축과 분석을 통해 이를 기반으로 하는 설계 기준정립이 필요할 것으로 판단된다.

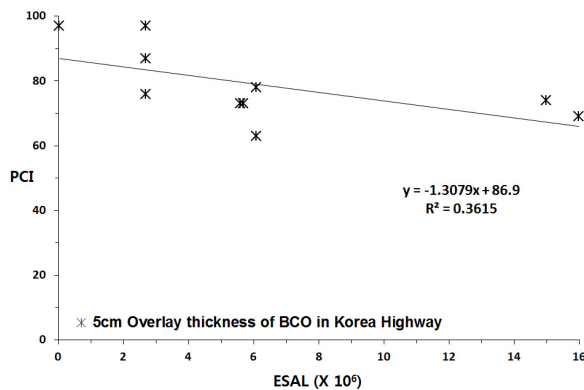


Fig. 8 PCI with Cumulative ESAL of BCO in Korea

4. 국내 BCO 구간과 미국 LTPP BCO 구간의 공용성 비교

국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 공용성 분석을 위하여 미국 LTPP data 중 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간의 공용성 분석을 바탕으로 국내 현장계측 구간을 비교하여 분석하였다. 포장파손 및 파손량을 바탕으로 산출한 PCI를 공용수명과 공용연수에 따라 공용성 분석을 실시하였다.

4.1. 국내 BCO 구간과 미국 LTPP BCO 구간의 수명 비교

Fig. 9는 미국 LTPP data 분석과 함께 국내 현장계측 구간을 추가하여 비교한 것이다. 국내 현장계측 구간의 경우 미국 LTPP data와 동일한 비교를 위하여 누적교통량이 7×10^6 ESAL 미만인 구간만을 분석하였다.

미국 LTPP data의 조기파손 부분과 함께 국내 현장계측 data를 비교할 경우 비슷한 공용성을 보이는 것으로 확인되지만 조기파손 부분을 제외할 경우 미국 LTPP data가 국내 현장계측 data 보다 높은 공용성을 확인할 수 있다. 대표적으로 미국 LTPP data 8~10cm 구간의 추세선을 기점으로 비교 시 8개의 국내 현장계측 data중 1개를 제외한 7개의 구간이 추세선 아래쪽에

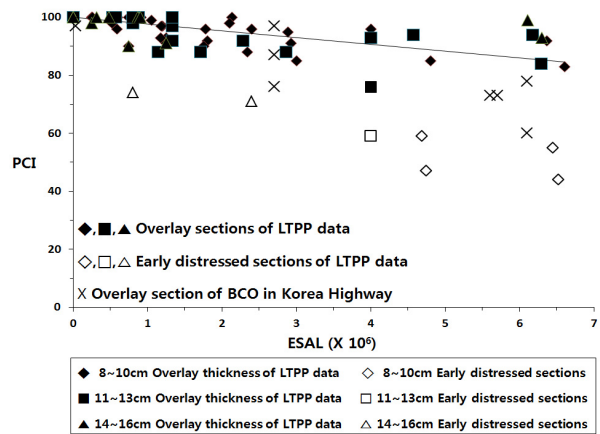


Fig. 9 PCI with Cumulative ESAL of BCO

분포하고 있는 것으로 나타났다. 3×10^6 ESAL과 6×10^6 ESAL에 있는 국내 현장계측 data군을 살펴보면 초기에는 미국 LTPP data 간의 차이가 다소 적은 양상을 보였으나 1×10^6 ESAL마다 4.9 PCI 정도의 공용수명 감소로 인해 누적교통량이 증가할수록 포장상태가 현저히 떨어지는 것으로 확인된다.

누적교통량 7×10^6 ESAL를 기준으로 국내 현장계측 data를 분류 후 미국의 LTPP data와 비교한 결과 현행 5cm의 덧씌우기 두께를 8cm 이상으로 키울 경우 약 2배의 증진 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 국내의 경우 4년~10년의 짧은 공용연수에도 불구하고 높은 교통하중으로 인해 미국 LTPP data 보다 낮은 공용성을 나타낸다. 이는 교통하중과 환경하중을 고려하지 않고 획일적인 덧씌우기 설계에 의한 것으로 판단되며, 현행 덧씌우기 두께를 키울 경우 공용수명의 증진효과를 나타낼 수 있으므로 최소두께 기준의 상향으로 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 장기공용성을 확보해야 할 것으로 분석된다.

미국 LTPP data 중 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 구간의 경우 각 구간 별로 최대 15년간의 공용수명이 측정되어 있으며 PCI는 각 연도 별로 약 0.2~11.4의 범위의 연평균 PCI 감소율로 산정되어 있다. 미국 LTPP data를 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 PCI 유지보수 범위를 근거로 하여 PCI가 55일 때를 기준으로 실측수명을 산정한 결과 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 전 구간에서 약 5~50년의 실측수명이 추정되었으며, 평균 31년의 덧씌우기 수명을 나타냈다. NCHRP의 연구에 의하면 일반적인 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 수명이 약 15~25년으로 나타났으며, 이는 예상수명보다 평균 6년 정도 연장된 것으로 확인된다(Kathleen T. Hall et al, 2001/ Kim et al, 2012).

Fig. 10은 미국 LTPP data 중 접착식 콘크리트 덧씌우기가 실시된 구간과 국내 고속도로의 현장계측 구간의 PCI를 덧씌우기 시공이후의 공용연수를 분석한 것이다. 국내의 현장계측 구간의 경우 4년~15년의 공용연수에 따른 PCI를 분석 시 미국의 LTPP data와 비교 시 전체적으로 낮은 PCI를 확인할 수 있다. 국내 현장계측 구간의 ESAL과 PCI를 분석한 Fig. 8에서는 14×10^6 ESAL, 16×10^6 ESAL의 포장상태지수가 73, 69 PCI로서 양호한 수준으로 판단이 되지만 공용수명을 살펴보면 다른 결론을 제시할 수 있다. Critical PCI인 55를 공용수명의 한계로 산정하여 공용수명을 추정한 후 미국의 LTPP data와 국내 현장계측 구간을 비교한 결과 Table 5와 같이 나타났다.

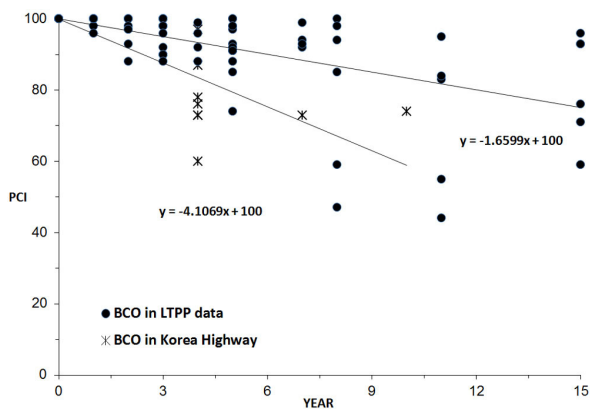


Fig. 10 PCI with Progress Year of BCO

Table 5. Life of Bonded Concrete Overlay applied Section

	Expected Life (Years)		
	Under 10	Under 15	Over 15
Section of BCO in LTPP data	2 Sections	2 Sections	18 Sections
Section of BCO in korea	5 Sections	2 Sections	3 Sections

미국 LTPP 구간의 경우 10년 미만인 구간은 2구간, 15년 미만인 구간은 2구간, 15년 이상인 구간이 18구간으로 나타났다. 이는 교통량이 많은 구간은 덧씌우기 두께를 증가시키고 교통량이 낮은 구간은 덧씌우기 최소 두께로 설계하는 차별적인 두께설계로서 교통하중에 대한 적절한 설계에 의해 높은 공용수명을 유지하는 것으로 분석된다.

반면 국내 현장계측 구간의 경우 10년 미만인 구간은 5구간, 15년 미만인 구간은 2구간 15년 이상인 구간은 3구간으로 나타났다. 이처럼 국내의 경우 교통량이 많

은 특성상 높은 교통하중을 수용해야 하지만 교통량을 고려하지 않고 획일적으로 5cm의 덧씌우기를 실시하여 구조적 수용능력의 한계와 부착면 조기파손 등으로 파손 및 균열이 증가하고 이로 인해 잦은 유지보수 및 재시공이 요구된다. 따라서 국내의 덧씌우기 설계를 실시함에 있어 특성에 맞는 합리적인 설계가 필요하며 덧씌우기 최소두께 기준을 올려 접착식 콘크리트 덧씌우기의 조기 파손 방지 및 장기공용성을 확보해야 할 것으로 판단된다.

4.2. 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기의 공용성 저하 요인

접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 콘크리트포장의 구조적, 기능적 개선을 위한 것으로 기존 콘크리트 슬래브 위에 콘크리트 덧씌우기를 접착시키는 공법이다. 이 공법은 두 층을 거의 단일체에 가깝게 접착시키는 것이 포장체의 구조적 강화에 매우 효과적이라는 관점에서 비롯된 것이다. 하지만 현행 덧씌우기 설계법의 경우 다양한 설계 조건을 고려하지 못하고 경험적인 방법에 근거하고 있으므로 설계의 입력변수 설정부터 설계과정에 이르기까지 원리에 대한 체계적인 정립이 되어 있지 않은 실정이다. 따라서 장기적인 공용성 확보 및 설계, 시공의 최적화를 위하여 접착식 콘크리트 덧씌우기 포장의 공용수명 저하요인에 대한 고찰이 필요하다고 판단된다.

4.2.1. 덧씌우기 두께에 관한 고찰

국외에서는 접착식 콘크리트 덧씌우기 적용을 위하여 시공구간의 지역적 특성과 교통하중 및 환경하중을 고려한 두께설계를 실시하여 8~16cm의 덧씌우기 두께로 시공하고 있지만 국내의 경우 경험적인 방법에 의존하여 5cm 절삭 후 5cm의 덧씌우기 두께로 시공하고 있어 최적화되지 못한 설계 및 시공으로 인해 충분한 내구성 확보가 불가능하여 장단기 구조적 성능을 만족시키지 못하며 경제성 또한 감소시키는 요인이 된다.

Lee 등(2012)의 연구에서는 기존 포장설계법인 AASHTO 설계법을 활용하여 접착식 콘크리트 덧씌우기의 설계 시 고려되는 영향인자를 평가하기 위하여 포장상태계수(C_v)와 두께에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 접착식 콘크리트 덧씌우기가 시행되는 기존 콘크리트 포장상태가 비교적 양호($C_v=0.8$)한 경우 덧씌우기 두께 2.5cm증가에 따른 설계수명의 차이는 약 $2 \sim 3 \times 10^6$ ESAL 범위를 나타내고 있으며 약 1.3배 이내의 설계수명

증가율을 확보한 것으로 분석하였다(Lee et al, 2012).

3장과 4장에서 분석결과와 같이 덧씌우기 두께 증가 만으로도 가능한 공용수명 증가와 국외의 사례에서 보이는 포장의 공용성에 영향을 주는 인자를 고려한 지역별 두께 설계의 차별적 적용사례를 확인할 수 있다. 국내의 경우에도 경험적인 현행의 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 방법에서 지역상황, 교통량 및 기존 콘크리트 포장상태 등을 종합적으로 고려한 덧씌우기 두께 설계를 실시하여 구조적, 기능적 성능의 확보가 필요하며 두께 설계여건이 여의치 못할 경우 최소두께 기준을 증가시켜 조기파손을 예방해야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 덧씌우기 설계 기준정립을 위하여 현장 계측을 통하여 국내 고속도로의 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 포장파손 및 파손량을 수집하여 PCI를 산정 후 이를 공용수명과 비교하였다. 또한 다양한 포장 파손자료를 구축하고 있는 미국의 LTPP data를 활용하여 국내 현장계측 data와 비교·분석을 실시하였다. 이를 통해 접착식 콘크리트 덧씌우기의 공용성에 대해 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 덧씌우기 두께에 의한 공용수명의 영향을 분석하기 위해 다양한 포장이력을 확인할 수 있는 미국 LTPP 구간의 공용성 분석을 실시하였다. 이를 통해 1×10^6 ESAL의 공용수명 증가 시 발생하는 PCI의 감소율과 포장의 유지보수 시점인 Critical PCI 55기준으로 현행 덧씌우기 두께 5cm에 대한 공용수명을 예측할 수 있었다. 국내실결과 비슷한 8cm 이상으로 키울 경우 Critical PCI인 55를 기준으로 예측 시 1.9배의 공용수명 증진효과를 나타낼 것으로 판단된다.
2. 국내 현장계측 구간의 경우 미국 LTPP data와 동일한 비교를 위하여 누적교통량이 7×10^6 ESAL 미만인 구간만을 분석하였다. 대표적으로 LTPP data 상의 8~10cm 구간의 추세선을 기준으로 비교 시 8개의 국내 현장계측 data중 1개를 제외한 7개의 구간이 추세선 아래쪽에 분포하였으며 4.9의 PCI 감소율로 낮은 공용성을 보이는 것으로 나타났다. 이를 통해 5cm의 덧씌우기 두께를 8cm 이상으로 키울 경우 약 2배의 공용수명을 예측할 수 있었다.
3. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 현장계측을 실시한 결과 공용기간이 10년 미만임에도 불구하고 미국

LTPP data에 비하여 상당히 많은 누적교통량과 낮은 PCI를 확인하였다. 국내의 경우 높은 교통하중의 특성상 구간별 차별적인 설계를 실시해야 하지만 획일적인 덧씌우기를 시행하고 있으므로 공용수명 저하가 야기된다. 국내의 경우에도 경험적인 현행의 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 설계에서 지역상황, 교통량 및 기존 콘크리트 포장상태 등을 종합적으로 고려한 덧씌우기 두께 설계가 필요하며 두께 설계여건이 여의치 못할 경우 최소두께 기준을 증가시켜 조기파손을 예방해야 할 것으로 판단된다.

4. 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 공용수명에 영향을 미치는 인자를 크게 덧씌우기 두께와 부착과괴에 의한 것으로 나눌 수 있다. 덧씌우기 두께의 경우 경험적인 방법보다는 지역적 특성과 구조적 설계에 의하여 이루어져야 하며 부착과괴의 경우 재료적 특성과 교통하중 및 환경하중의 재하특성을 고려한 합리적인 설계가 필요하다. 이에 따라 두 가지 측면을 모두 고려하는 방법인 덧씌우기 최소두께를 8cm 이상으로 증가시키는 것을 제시하였다.

본 연구를 통해 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 공용성을 분석하였다. LTPP data 구간 중 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법이 적용된 구간과 국내 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 현장계측 data의 비교·분석을 통해 경험적으로 시공하는 현행 덧씌우기의 경우 교통하중, 환경하중 등을 종합적으로 고려하여 덧씌우기 두께를 증가시켰을 경우의 공용수명 증가를 확인하였다. 합리적인 덧씌우기 설계가 미비한 현시점에서 최소두께 기준을 현행 5cm에서 상향조정하여 접착식 콘크리트 덧씌우기의 조기파손 방지 및 장기공용성을 확보해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사에서 지원하는 '콘크리트 접착식 덧씌우기의 해석 시스템 구축 및 설계 방안 고찰 연구용역'을 통하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

- Lee, S. W., Son, H. J., 2011, Comparison of the Pavement Performance for Concrete Overlay and Asphalt Overlay on Aged Cement Concrete Pavement. Vol.13, No.2, pp.31~39
- Lee, S. W., and Son, H. J., 2011, A Study on the Factors Affecting on the Life of Bonded Concrete Overlay Pavement using the LTPP Data of U.S.A, Journal of Korean Society of Civil Engineers, KSCE, Seoul, Korea, Vol. 31, No. 4, pp. 555~564

- Lee, S. W., Kim, Y. K., and Lee, P. H., 2011, A Study on the Application of Very Rapid Hardening Acrylic Polymer Modified Concrete for Bonded Concrete Overlay Method, Journal of Korean Society of Road Engineers, KSRE, Seoul, Korea, Vol.13, No.1, pp.139~148
- Son, H. J., 2011, Evaluation of the Performance of Overlay Methods on Aged Concrete Pavements, Master`s Thesis, Department of Civil Engineering, Graduate School of Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea.
- Kim, Y. K., Lee, S. W., and Han, S. H., 2012, A Study on the Bond-Behavior of Bonded Concrete Overlays, KSRE, Seoul, Korea, Vol.14, No.5, pp.31~45
- Kim, J. C., and Kwon, S. M., 2001, Concrete Overlay Method, Korean Expressway Corporation, Vol.3, No.1.
- Kim, Y. B., 1998, Vehicle Load Distribution and Estimation of Equivalent Single Load Factor for Expressway Pavement Design, Korea Institute of Construction Technology 98~124
- American Association of State Highway Transportation Officials, 1986, AASHTO guide for design of pavement structures 1986, AASHTO Washington D. C.
- Nam, K. S., 2000. A Study for Estimating Traffic Volumes by Vehicle Type from Toll Collection System DATA, Korean Expressway Corporation
- ASTM D5340. 2011. Standard Test Method for Pavement Condition Index Surveys
- Development of the Model estimating Traffic Volumes of the New Vehicle Classes from Toll Collection System Data
- Expressway and Transportation Research Institute, 1997, Pavement Rehabilitation by Concrete Overlay (III), Korean Expressway Corporation
- Huang, Y. H., 2003, Pavement Analysis and Design, Second Edition. Prentice Hall, NJ.
- Korean Expressway Corporation, 2009, Highway Construction Guide Specification
- Kurt Keifer, Lindsey Canney, William Weldorn, and David Sawahata, 2007, User Manual MicroPAVER 6.0, U.S Army Corps of Engineers
- Ministry of Construction & Transportation, 1997, Application Standards of New Pavement Method