

# AASHTO86 접착식 콘크리트 덧씌우기 설계법의 타당성 연구

## Feasibility Study of AASHTO86 Design Method for Bonded Concrete Overlay

박 종 원	Park, Jong Won	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail: hansum1234@naver.com)
김 영 규	Kim, Young Kyu	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail: kingdom1980@nate.com)
한 승 환	Han, Seung Hwan	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 · 공학박사 (E-mail: hansu@ex.co.kr)
이 승 우	Lee, Seung Woo	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 정교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail: swl@gwnu.ac.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study aimed to evaluate the feasibility of AASHTO86 design method for Bonded Concrete Overlay.

**METHODS :** The Feasibility of AASHTO86 design method for Bonded Concrete Overlay is investigated based on the following study :

i) Sensitivity analysis of designed service life of Bonded Concrete Overlay by major design input for AASHTO86 guide. ii) Comparison of actual Bonded Concrete Overlay life and predicted Bonded Concrete Overlay life by AASHTO86. iii) Finding the stress component influence the potential distress of Bonded Concrete Overlay based on 3-d FEM analysis. iv) Exploring the limitation of AASHTO86 in the aspect of design input.

**RESULTS :** Sensitivity analysis showed that the condition of existing pavement significantly on the Bonded Concrete Overlay life. Also the overlay thickness affect the Bonded Concrete Overlay life. The comparison of actual Bonded Concrete Overlay life and predicted Bonded Concrete Overlay life showed relatively good agreement when the early distress sections are excluded in comparison. Bonding stress occurred at the interface may be larger than the bond strength used in the specification of Bonded Concrete Overlay construction.

**CONCLUSIONS :** Bonded Concrete Overlay life predicted by the AASHTO86 may not be reliable. Number of points to improve the reliability in the design of Bonded Concrete Overlay are suggested in this study.

### Keywords

*bonded concrete overlay, LTPP data, sensitivity analysis, bond stress, AASHTO86*

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Professor  
Department of Civil Engineering, Gangneung Wonju National University,  
Gangneung, 220-702, Korea  
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.646.1391  
E-mail : swl@gwnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ijhe.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

## 1. 서론

국내 콘크리트포장은 경제사회발전 계획으로 인하여 신설, 보수되어 왔으며 2011년 말을 기준으로 총 연장 11,245km에 달하고 있다(국토해양부, 2012). 이중 노후화된 포장의 경우에는 공용성을 일정 상태로 유지하기 위해 전단면 보수나 줄눈 및 균열 보수 등 유지관리 차원에서의 보수가 이루어지고 있으며 그중 덧씌우기

공법은 포장의 구조적, 기능적 보강을 위하여 주로 사용되고 있다. 국내의 경우 일반적으로 시공성과 교통개방 시간 단축이 용이하여 아스팔트 포장 덧씌우기를 실시하였으나 소성변형 및 반사균열, 포트홀 등 다양한 포장 파손으로 인한 유지보수가 잦아 이를 보완하기 위한 공법들의 적용을 모색하고 있다.

최근 들어 콘크리트 포장을 이용한 접착식 콘크리트

덧씌우기(BCO, Bonded Concrete Overlay) 공법이 시도되고 있다. 이 공법은 덧씌우기 층을 기존포장층과 완전부착하도록 시공하여 콘크리트 포장 기능을 회복시키는 공법으로서 구조적으로 안정적이며 기존 콘크리트 포장과의 재료물성이 유사하여 유지보수 후 포장파손 발생이 적다는 특징이 있다. 또한 다양한 초속경성 재료의 도입으로 콘크리트 덧씌우기 시공 시 조기 교통개방이 가능하고 아스팔트 포장 덧씌우기보다 평균수명 확보가 용이하여 국내 현장 적용실적이 증가하고 있는 추세이다(손현장 외, 2011). 국내의 노후화 된 콘크리트 포장의 유지보수에 대한 필요성이 부각되는 현 시점에서 도입되고 있는 접착식 콘크리트 덧씌우기의 공용수명과 영향을 미치는 인자에 대한 고찰이 필요하다. 국외의 경우 BCO 시공 시 기존포장에 대해 잔존수명 산출 후 공용기간을 고려하여 8~16cm의 덧씌우기 두께로 시공하지만 국내의 경우 확일적으로 기존포장층을 5cm 절삭 후 5cm 덧씌우기 하는 것이 일반적이다. 그러나 덧씌우기 재료가 다양하게 개발되었음에도 불구하고 확일적으로 두께를 시공하는 것은 구조적으로 최적화되지 못하여 과다 및 과소 설계하게 된다. 국내 BCO설계법이 미비하여 국외에서 실시하고 있는 AASHTO86 설계법 도입 시 설계법의 타당성에 대한 검증이 요구된다.

접착식 콘크리트 덧씌우기 설계를 위한 AASHTO86 설계법에서는 육안상태에 의한 조사법 등으로 기존포장상태를 평가하여 유효두께를 산출 후 설계수명까지 요구되는 설계두께 만큼 덧씌우기 하는 방법을 제시하고 있다. 하지만 덧씌우기 재료와 상이한 환경적 요인에 대한 적용이 이루어지지 않고 있으며, 기존포장상태 만을 고려하여 산출하는 설계수명은 실제 현장에서 측정되는 공용수명과 차이가 발생하게 되므로 이를 고찰하기 위한 공용수명 예측 및 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 AASHTO86 설계법을 활용하여 접착식 콘크리트 덧씌우기 설계 시 덧씌우기 수명에 영향을 미치는 설계인자를 포장상태계수( $C_v$ , Visual condition factor)와 덧씌우기 두께에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 또한 미국의 LTPP data를 활용하여 실측수명을 도출한 후 AASHTO86 예측수명과 비교·분석하여 AASHTO86 설계법의 타당성을 검토하였다. 또한 합리적인 접착식 콘크리트 덧씌우기를 위해 AASHTO86 덧씌우기 설계법이 고려해야 할 부분을 고찰하였으며 AASHTO86 덧씌우기 설계법을 국내 적용 시 개선방안을 검토하고자 하였다.

## 2. 민감도 분석

덧씌우기 두께 설계 시 다양한 설계인자를 고려하여 경제성과 구조적 안정성을 모두 충족시켜야 한다. 따라서 설계 시 사용되는 변수들의 영향성을 사전에 평가하고 최선의 결과를 설계에 반영하는 것이 중요하다. AASHTO86 덧씌우기 설계법에서는 육안관측에 의한 포장상태 조사법 등으로 기존포장상태를 평가하여 기존 포장의 유효두께를 산출 후 설계수명까지 요구되는 설계두께 만큼 덧씌우기 하는 방법을 제시하고 있다. 하지만 덧씌우기 재료와 상이한 환경적 요인에 대한 적용이 이루어지지 않고 있으며 기존 포장상태만을 고려하는 설계방법이므로 국내 도입 시 실제 설계에 적용하기 위하여 민감도 분석을 통한 적용 타당성을 검토하는 것이 필요하다. 따라서 본 장에서는 덧씌우기 설계 시 고려되는 인자가 설계수명에 미치는 영향을 민감도 분석을 통해 확인하였다.

AASHTO86 덧씌우기 설계법의 기존포장상태를 평가하는 포장상태계수는 교통량에 의한 방법, 서비스 지수에 의한 방법, 육안관찰에 의한 방법, 비파괴시험(NDT)에 의한 방법 등으로 산출할 수 있다. 그 중 육안관찰에 의한 방법은 현장 측정의 편리성이 높은 방법으로서 현장에서 기존포장층의 구조상태를 육안관찰을 통하여 등급별로 평가하는 방법이다. 따라서 본 장에서는 육안관찰에 의한 방법으로 분석하여 설계수명의 변화를 산출하였으며 설계수명은 등가 단축하중인 ESAL(Equivalent Single Axle Load)로 표현하여 민감도 분석을 실시하였다.

민감도 분석은 국외에서 적용된 덧씌우기 두께인 8~16cm와 비교할 수 있는 범위인 5, 7.5, 10, 12.5cm 절삭 후 덧씌우기에 대하여 시행하였으며 AASHTO86 설계법을 활용하여 포장상태계수에 따른 유효두께를 산정 후 설계수명을 산출하는 방식을 사용하였다. 포장상

Table 1. Overlay Thickness Design Factors for Sensitivity Analysis

Thickness Design Factors for AASHTO86 Method		Applied Value
$Z_r$	Standard Deviation	-1.645
$S_o$	Reliability Term	0.29
$\Delta PSI$	Present Serviceability Index Differential	2.5
$p_t$	Terminal Serviceability Level	2
$S_c$	Modulus of Rupture	650 psi
$C_d$	Drainage Coefficient	1
J	Load Transfer Coefficient	3.2
$E_c$	Modulus of Elasticity of Concrete	$4 \times 10^6$ psi
k	Modulus of Subgrade Reaction	700 pci

태계수는 비교적 포장상태가 양호한 경우와 덧씌우기 시공을 필요로 하는 포장상태의 범위인 0.6~0.9에서 산출하였으며 그 밖의 덧씌우기 두께 설계인자의 경우 Table 1과 같이 일반적인 콘크리트 포장의 두께 설계와 유사한 값을 사용하였다.

Fig. 1은 기존 콘크리트포장의 상태변화에 따른 설계 수명의 특성을 분석한 것이다. 일반적인 특성으로는 동일 덧씌우기 두께에 대하여 기존 포장상태가 양호할수록 덧씌우기 설계수명이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 2는 덧씌우기 두께 변화에 따른 설계수명 변화를 분석한 결과이다. 동일한 기존 포장상태에 대하여 덧씌우기 두께가 증가할수록 설계수명이 증가하는 것을 알 수 있다. 기존포장상태와 덧씌우기 두께 변화에 의한 설계수명은 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며 덧씌우기 두께보다 기존포장상태에 따른 설계수명의 민감도가 더 큰 경향을 보였다.

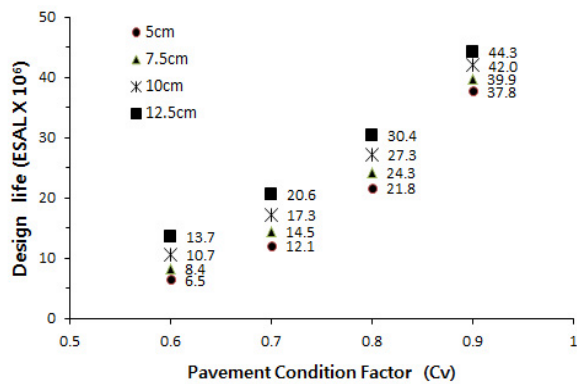


Fig. 1 Design Life Analysis according to Pavement Condition Change

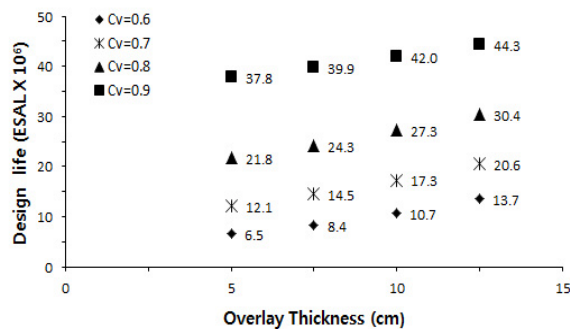


Fig. 2 Design Life Analysis according to Overlay Thickness Change

Table 2와 3은 기존 콘크리트 포장상태 및 덧씌우기 두께 변화에 따른 설계수명 분석을 바탕으로 이에 대한 설계수명 차이를 분석한 결과이다.

Table 2. Design Life according to Changes in the Thickness

Overlay Thickness (cm)	Design Life Difference with Cv Changes, ESALx10 <sup>6</sup>			
	0.6 to 0.7	0.7 to 0.8	0.8 to 0.9	0.6 to 0.9
5.0	5.6	9.7	16.0	31.3
7.5	6.1	9.8	15.6	31.5
10.0	6.6	9.9	14.7	31.3
12.5	6.9	10.0	13.8	30.6

Table 3. Design Life according to the Existing Pavement Condition

Condition Factor of Existing PCC (Cv)	Design Life Difference with Overlay Thickness Changes, ESALx10 <sup>6</sup>			
	5 to 7.5cm	7.5 to 10cm	10 to 12.5cm	5 to 12.5cm
0.6	1.9	2.3	3.0	7.2
0.7	2.4	2.8	3.3	8.5
0.8	2.5	3.0	3.1	8.6
0.9	2.1	2.1	2.3	6.5

기존 콘크리트 포장의 상태 변화에 따른 덧씌우기 수명 특성의 민감성을 확인한 결과, 기존 콘크리트 포장의 상태계수(Cv)가 0.1 증가 시 발생하는 설계수명 차이는 약 6~16×10<sup>6</sup> ESAL 범위를 타나내고 있으며 약 1.5~1.9 배의 설계수명 증가율을 보였다. 반면에 덧씌우기 두께 변화에 따른 설계수명 차이를 분석한 경우, Cv가 0.6~0.9로 증가 시 약 31×10<sup>6</sup> ESAL 내외의 설계수명 차이를 확보하여 3~6배의 설계수명 증가율을 나타냈다.

AASHTO86 설계법에서는 기존포장상태에 따라 덧씌우기 하는 방법을 제시하고 있으나 포장상태계수와 덧씌우기 두께의 인자에 의해 포장상태의 수명은 1.2배~5.8배의 차이를 민감도 분석을 통해 확인하였으며 AASHTO86 설계법이 실제 설계에 적용하기 위해서는 기존포장상태 뿐 아니라 좀 더 다양한 인자를 고려해야 할 것으로 분석되었다.

이와 같이 기존포장상태와 덧씌우기 두께에 의한 설계수명을 분석하여 국내에서 시공되는 접착식 콘크리트 덧씌우기에 대한 고찰이 가능하다. 기존포장상태에 대해 고찰할 경우 일반적으로 국내의 BCO설계는 기존포장상태가 비교적 양호할 경우인 Cv값 0.7~0.9일 경우에 적용되며 덧씌우기 두께는 획일적으로 5cm로 시공된다. Fig. 1에서 포장상태에 따라 5cm의 덧씌우기 두께로 시공되는 경우의 설계수명 비교 시 Cv값 0.6일 경

우  $10 \times 10^6$  ESAL 미만,  $C_v$ 값 0.9 이상일 경우  $40 \times 10^6$  ESAL 이상의 설계수명을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 기존포장상태와 덧씌우기 두께에 따라 설계수명의 차이가 크게 발생할 수 있으므로 국내에서 획일적으로 시공되는 BCO의 경우 기존포장층에 대한 환경적, 구조적 요건 분석과 함께 체계적인 덧씌우기 설계가 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 접착식 콘크리트 덧씌우기의 공용수명 평가

접착식 콘크리트 덧씌우기의 수명은 다양한 인자의 영향에 의하여 설계 예측수명과 실제 현장에서 측정되는 공용수명이 차이가 발생하게 되므로 이를 고찰하기 위한 공용수명 예측 및 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

공용수명 예측 및 평가를 위해서는 다양한 포장단면 분석, 교통량, 환경조건 및 공용 중 발생하는 연도별 포장파손에 대한 분석이 오랜 기간 동안 이뤄져야 한다. 하지만 국내의 경우 접착식 콘크리트 덧씌우기의 기본 이력 및 공용 중 발생하는 포장파손에 대한 체계적인 데이터 구축이 미흡한 실정이다. 따라서 미국의

LTPP(Long-Term Pavement Performance) database를 활용하여 덧씌우기의 공용수명을 예측하였으며, AASHTO86 설계법에 근거한 예측수명과 실측된 공용수명 간의 상관관계 분석을 통하여 설계법의 타당성을 검토하고자 하였다.

#### 3.1. 접착식 콘크리트 덧씌우기 구간의 LTPP data 분석

미국 LTPP data는 GPS(General Pavement Studies)의 약 800여개의 구간과 SPS(Specific Pavement Studies)의 약 1,600여개의 구간으로 구성되어 있으며 이는 포장형식, 유지보수 및 환경조건 등과 같은 다양한 인자를 포함하고 있다. 따라서 본 연구에서는 접착식 콘크리트 덧씌우기가 적용된 SPS-7 구간(Bonded Concrete Overlay on Portland Cement Concrete Pavement)을 선정하여 분석하였다.

SPS-7 구간의 포장파손 자료를 이용하여 각각의 포장파손 및 파손량을 연도별로 수집한 후 MicroPaver 프로그램을 이용하여 연도별 PCI를 산정하였다(Lee et al, 2012). 이를 통해 연평균 PCI 감소율을 산정 후 유지보수 범위를 근거한 PCI가 55일 때를 기준으로 실측수명

Table 4. Using the LTPP Data to Measured Service Life and Estimated Service Life

State	Section	Overlay thickness (cm)	Existing PCC Thickness (cm)	Effective Thickness of Existing PCC (cm)	Total Thickness (cm)	Total Effective Thickness (cm)	Estimated Service Life (Years)	Equivalent Measured Cumulative ESAL ( $\times 10^6$ )	Predicted Cumulative ESAL ( $\times 10^6$ )
19	703	10	20	16	30	26	38	34.4	21.0
19	707	16	20	16	36	32	50	43.6	71.2
19	708	13	20	16	33	29	50	44.2	39.5
19	709	14	20	16	34	30	45	40.3	48.3
22	702	9	19	15.2	28	24.2	36	9.0	20.4
22	705	10	21	16.8	31	26.8	22	5.5	36.7
22	706	15	20	16	35	31	6	1.5	78.4
22	707	15	21	16.8	36	31.8	5	1.3	92.2
22	709	14	19	15.2	33	29.2	23	5.9	56.6
27	703	9	19	15.2	28	24.2	50	13.0	14.3
27	704	8	21	16.8	29	24.8	50	13.0	18.5
27	706	13	20	16	33	29	18	4.6	42.7
27	707	13	20	16	33	29	29	7.3	42.7
27	708	14	18	14.4	32	28.4	22	3.6	38.6
27	709	12	20	16	32	28	50	12.7	34.9
29	702	10	19	15.2	29	25.2	50	13.0	15.2
29	703	8	20	16	28	24	26	15.5	9.9
29	704	9	21	16.8	30	25.8	10	5.9	15.9
29	705	8	21	16.8	29	24.8	12	7.1	13.5
29	708	12	20	16	32	28	43	24.6	27.8

을 산정하였으며, 실측 공용수명과 같은 조건인 SPS-7 구간은 LTPP database의 포장이력을 확인하여 AASHTO86 설계법에 근거한 예측수명을 산출하였다.

### 3.2. 공용수명 예측 평가

Fig. 3은 실측 공용수명과 예측수명을 비교한 것으로 AASHTO86 설계법을 이용하여 계산된 예측수명의 경우 실측수명보다 상대적으로 높게 분포하고 있으며 실측수명의 경우 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.

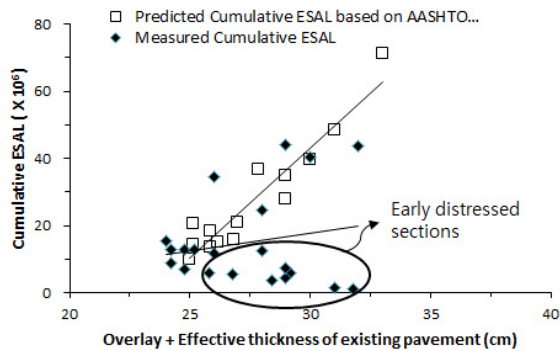


Fig. 3 Correlation of Predicted Cumulative ESAL and Measured Cumulative ESAL (Before initial damaged section removed)

하지만 22-705, 22-706, 22-707, 22-709, 27-706, 27-707, 27-708, 27-709 및 29-704의 9개 구간은 과도한 덧씌우기 두께에 비하여 짧은 공용수명을 갖는 것으로 판단되어 조기파손구간으로 간주한 후 이를 제거하였다. 9개의 조기파손구간의 경우 덧씌우기 공법 적용 후 2년 내에 일반적인 덧씌우기 구간에 비하여 횡방향 균열 등의 대량 파손이 발생하였으며, 이러한 조기파손구간의 경우 덧씌우기 층과 기존 포장층의 경계면에서의 낮은 부착력으로 인한 구조적 손실이 발생

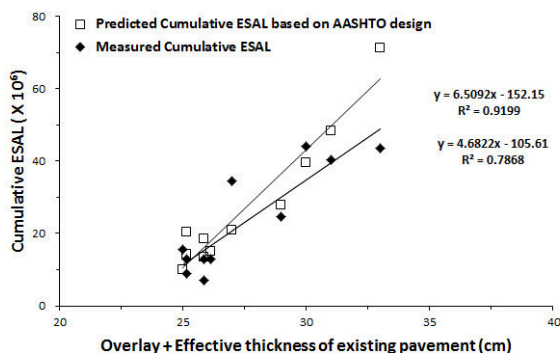


Fig. 4 Correlation of Predicted Cumulative ESAL and Measured Cumulative ESAL (After initial damaged section removed)

한 것으로 판단된다. Fig. 4의 경우 조기파손구간인 9개 구간을 제거한 후 비교한 것으로 AASHTO86 설계법을 이용하여 계산된 예측수명의 경우 실측수명보다 상대적으로 높게 분포하고 있지만 전반적으로 유사한 경향을 나타내는 것으로 분석되었다.

이를 통하여 접촉식 콘크리트 덧씌우기의 부착력 확보가 수명에 미치는 주요 요인임을 확인하였으나 완전 부착을 가정하여 실시하는 AASHTO86 설계법은 부착 특성을 고려하지 못함으로 이에 대한 개선이 요구된다.

## 4. AASHTO86 설계법의 한계점 고찰

AASHTO86 설계법에서는 교통량에 의한 방법, 시간 해석에 의한 방법, 서비스 능력에 의한 방법, 육안관찰에 의한 방법, 비파괴시험에 의한 방법 등을 사용하여 기존 포장상태를 판단한 후 덧씌우기 두께설계를 실시한다. 이러한 방법들은 기존포장의 잔존수명만을 이용하여 두께설계를 하는 방법으로서 포장수명에 영향을 미치는 여러 인자들을 충분히 고려하지 못하여 설계수명과 실제수명에 상이한 결과를 초래할 수 있다. LTPP Data 분석을 통한 수명 검토 시 조기파손구간을 제외한 다른 구간에서는 설계수명과 예측수명이 유사한 양상을 보였다. 접촉식 콘크리트 덧씌우기의 공용성 확보를 위해서 계면에서의 부착강도 확보가 중요한 요소이므로 부착응력 발생 메커니즘이 설계단계 일부에 적용되어야 한다.

### 4.1. BCO 재료적 특성에 대한 고찰

AASHTO86 설계법에서는 기존포장상태만을 고려할 뿐 덧씌우기 재료에 의한 설계방안을 제시하고 있지 않다. 덧씌우기 재료가 갖는 열팽창계수와 탄성계수 등의 특성은 신·구 콘크리트의 거동과 공용수명을 예측할 때 중요한 요소이기 때문에 덧씌우기층의 재료적 특성을 검토하는 것이 필요하다. 이승우 등(2012) 연구에 의하면 덧씌우기 재료적 특성 중 탄성계수와 열팽창계수의 변화에 따른 부착응력을 수직인장(부착)응력과 수평전단(부착)응력의 변화를 FEM분석을 통해 확인하였다.

탄성계수 변화에 따른 부착응력의 변화를 분석한 결과 교통하중만 적용할 경우 수직인장응력의 발생량이 미미하였으며, 상하부 온도차 +12℃에 대한 환경하중 적용 시 하향 컬링이 발생하여 기존포장층 상부에서 과도한 수직인장응력이 발생하였다. 또한 상하부 온도차 -12℃에 대한 환경하중 적용 시 상향 컬링과 함께 덧씌우기층 하부에서 높은 인장응력이 발생하였다. 이를 통

Table 5. Maximum Normal Tensile Stress with Modulus of Elasticity Changes due to Corner Loading(unit, MPa)  
(Lee et. al., 2012)

	E25, CTE10		E27, CTE10		E30, CTE10		E35, CTE10	
	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top
Traffic Load	0.08	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	0.08	0.07
Temp.(12°C) Load	N/A	0.35	N/A	0.34	N/A	0.36	N/A	0.40
Traffic & Temp.(12°C) Load	0.02	0.32	0.02	0.34	0.02	0.36	0.02	0.40
Temp.(-12°C) Load	0.94	0.16	0.99	0.16	1.04	0.17	1.13	0.17
Traffic & Temp.(-12°C) Load	0.98	0.16	1.02	0.16	1.08	0.17	1.16	0.18

Table 6. Maximum Horizontal Shear Stress with Modulus of Elasticity Changes due to Corner Loading(unit, MPa)  
(Lee et. al., 2012)

	E25, CTE10		E27, CTE10		E30, CTE10		E35, CTE10	
	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top
Traffic Load	0.53	0.33	0.55	0.32	0.58	0.30	0.62	0.27
Temp.(12°C) Load	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.06	0.03
Traffic & Temp.(12°C) Load	0.50	0.31	0.52	0.29	0.54	0.27	0.58	0.25
Temp.(-12°C) Load	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.06	0.03
Traffic & Temp.(12°C) Load	0.57	0.36	0.59	0.34	0.62	0.32	0.67	0.29

하여 수직인장응력의 경우 교통하중의 영향보다는 환경하중에 의하여 지배적이며, 상향 킨링 발생 시 덧씌우기층 하부에서 최대 수직인장응력(maximum tensile stress)가 발생하는 것으로 분석하였다. 반면에 수평전단응력의 경우 탄성계수 및 열팽창계수 변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단되며, 이는 환경하중보다는 교통하중에 의한 영향이 지배적인 것으로 나타났다. 또한 기존포장층 상부보다는 덧씌우기층 하부에서 과도하게 발생하는 것을 알 수 있다.

덧씌우기 부착면에서 발생하는 최대 부착응력(maximum bond stress)을 산정한 결과, Fig. 5와 같이 경계면의 부착 문제를 일으키는 것은 수직인장응력이 수평전단응력보다 더 지배적이며, 덧씌우기층의 탄성계수가 증가할수록 부착응력 또한 증가하는 것을 알 수 있다.

또한 열팽창계수의 변화에 따른 부착응력의 변화를 분석한 결과 탄성계수 변화에 따른 부착응력 특성과 유사한 양상을 보이고 있으나, 열팽창계수 증가에 따른 최대 수직인장응력의 증가량이 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 반면에 수평전단응력의 경우 환경하중보

다는 교통하중에 의한 영향이 지배적으로 열팽창계수 변화에 따른 수평전단응력의 변화폭은 적은 것으로 나타났다.

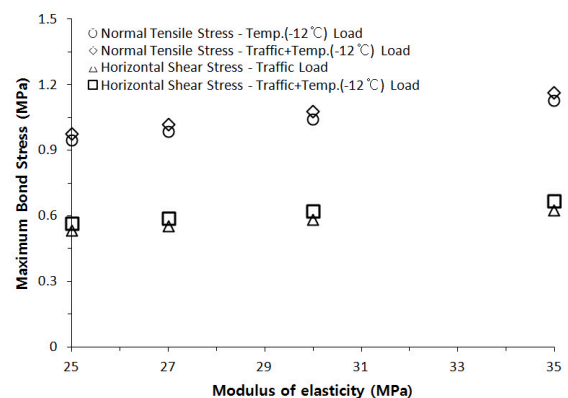


Fig. 5 Maximum Bond Stresses with Modulus of Elasticity Changes (Lee et. al., 2012)

Fig. 6의 경우 덧씌우기 부착면에서 발생하는 최대 부착응력을 산정한 것으로 앞서 설명한 바와 같이 열팽창계수 변화에 따른 수직인장응력의 증가량이 매우 큰

Table 7. Vertical Tensile Stress according to Thermal Expansion Coefficient Changes (MPa) (Lee et. al., 2012)

구 분	E30, CTE8		E30, CTE10		E30, CTE15	
	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top
Traffic Load	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07
Temp.(12°C) Load	N/A	0.11	N/A	0.36	N/A	1.16
Traffic & Temp.(12°C) Load	0.04	0.11	0.02	0.36	N/A	1.16
Temp.(-12°C) Load	0.60	0.14	1.04	0.17	2.16	-
Traffic & Temp.(-12°C) Load	0.63	0.16	1.08	0.17	2.20	0.17

Table 8. Horizontal Tensile Stress according to Thermal Expansion Coefficient Changes (MPa) (Lee et. al., 2012)

구 분	E30, CTE8		E30, CTE10		E30, CTE15	
	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top	Overlay Bottom	PCC Top
Traffic Load	0.58	0.30	0.58	0.30	0.58	0.30
Temp.(12°C) Load	0.04	0.02	0.05	0.03	0.08	0.04
Traffic & Temp.(12°C) Load	0.55	0.28	0.54	0.27	0.53	0.27
Temp.(-12°C) Load	0.04	0.02	0.06	0.03	0.07	0.05
Traffic & Temp.(-12°C) Load	0.62	0.32	0.62	0.32	0.64	0.33

것을 확인할 수 있으며, 반면에 수평전단응력의 경우 그 영향이 미미한 것을 확인할 수 있다. 국내의 경우 현행 BCO의 품질관리 시 수직인장에 의한 부착강도 기준 1.4MPa를 사용하고 있으나 열팽창계수  $15\mu\epsilon/\text{°C}$ 에서 발생하는 응력의 경우 강도기준을 초과하여 부착면이 파손될 것으로 판단된다. 따라서 한국도로공사에서 제시하고 있는 부착강도 기준을 만족하기 위하여 덧씌우기 재료의 열팽창계수를 제한하여 활용해야 할 것으로 판단된다.

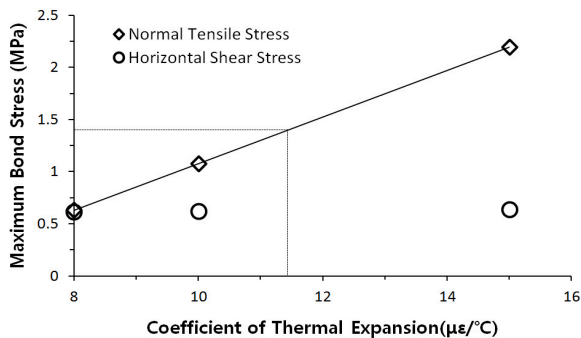


Fig. 6 Maximum Bond Stresses with Coefficient of Thermal Expansion Changes (Lee et. al., 2012)

이와 같이 덧씌우기층과 기존포장층의 물리적 특성이 상이하여 부착응력이 발생할 수 있으며, 과도한 부착응

력 발생 시 부착파손을 야기하여 공용수명에 영향을 미치게 된다. 하지만 AASHTO86 설계법에서는 다양한 덧씌우기 재료의 특성을 반영하지 못하므로 신뢰성 있는 설계를 위해서는 덧씌우기의 재료적 측면에 대한 인자 분석 및 그 영향이 설계단계 일부에 적용되어야 한다.

#### 4.2. 비구조적 요인에 대한 설계 개선방향 고찰

콘크리트 포장은 구조적인 부분 외에도 동결융해, 제설제 등의 피해에 따른 파손이 발생할 수 있다. 근래에 들어 비구조적 요인에 대한 파손을 저감하기 위하여 덧씌우기 재료가 개선되었으나 AASHTO86 설계법에서는 이를 반영하지 못하고 있다. 이승우 등(2009)의 연구에서는 환경적 요인 적용 시 덧씌우기 재료가 미치는 영향성을 개질 콘크리트재료 (VRH-APMC)와 OPC(Ordinary Portland Cement)를 비교하여 고찰하였다. Fig. 7과 Table 9는 개질 콘크리트와 OPC에 대해 동결융해 저항성 시험 및 염소 이온 침투저항성 시험을 실시한 결과이다. 개질 콘크리트의 경우 OPC에 비해 상대 동탄성 계수가 높게 측정되어 동결융해에 대한 저항성이 높아 장기적인 내구성 측면에서 우수한 것으로 나타났다. 또한 염소이온 침투 깊이에서도 개질 콘크리트의 경우에 침투가 거의 발생하지 않아 해안가 지

역의 염분 유입 및 제설제 사용으로 인한 도로 포장의 파손이 적을 것으로 분석되었다.

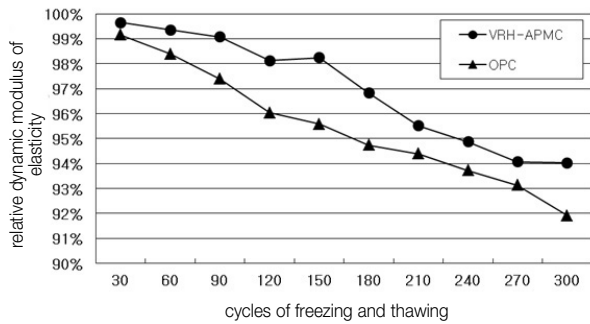


Fig. 7 Measure for Relative Dynamic Modulus (Lee et. al., 2009)

Table 9. Measure for Chloride Penetration Resistance (Lee et. al., 2009)

	Very Rapid Hardening Acrylic Polymer Modified Concrete			Ordinary Portland Cement		
	Case-1	Case-2	Case-3	Case-1	Case-2	Case-3
Charge Passed (Coulomb)	194.94	194.94	194.94	1,169.64	1,453.93	1,169.64
Chloride Ion Penetration depth(mm)	0.5	0.4	0.4	9.2	9.4	9.2

이처럼 덧씌우기 재료에 따라 내구성에 영향이 있음에도 불구하고 AASHTO86 설계법에서는 덧씌우기 시 기존포장층과 동일하게 가정하여 설계가 이루어지고 있다. 최근 들어 라텍스 및 아크릴계 폴리머 등의 개질 콘크리트 재료 개발로 인해 환경저항성과 내구성이 향상될 것으로 판단된다. 따라서 덧씌우기 설계 시 덧씌우기층의 재료적 특성을 고려한 설계가 필요하며 AASHTO86 설계법의 설계단계에도 적용이 되어야 한다.

## 5. 결론

본 연구에서는 AASHTO86의 덧씌우기 설계법의 타당성을 확인하기 위하여 덧씌우기 설계인자를 통한 민감도 분석을 실시하였으며 미국의 LTPP Data와 AASHTO86 간의 수명산출 결과를 비교하였다. 이를 통하여 AASHTO86 덧씌우기 설계법이 국내 도입 시 한계점 및 개선방안에 대하여 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. AASHTO86 덧씌우기 두께 설계법의 인자가 설계수

명에 미치는 영향을 확인하기 위하여 덧씌우기 두께와 기존포장상태에 따른 민감도 분석을 실시한 결과 기존포장상태와 덧씌우기 두께에 따라 설계수명의 차이가 크게 발생하는 결과를 도출할 수 있었다. 현재 국내에서 시공되고 있는 접착식 콘크리트 덧씌우기의 경우 5cm 덧씌우기 두께에 대하여 경험적인 방법으로 시공되고 있으나 환경적, 구조적요인 분석과 함께 체계적인 BCO설계가 필요하다.

2. AASHTO86 설계법에 의한 설계 예측수명의 신뢰성을 확인하기 위하여 실제 공용수명인 미국 LTPP Data를 이용하여 비교·분석한 결과 조기파손구간을 제외한 경우 AASHTO86의 예측수명이 실제 공용수명과 유사한 경향을 보이는 것으로 확인하였다. 이러한 조기파손은 부착파괴가 원인이므로 BCO설계 시 완전부착 가정보다는 부착특성을 설계에 반영해야 할 것으로 판단된다.

3. 덧씌우기 재료적 특성으로 인한 영향을 FEM분석과 환경하중 저항성 시험을 통한 영향성 확인 결과 부착응력 발생과 내구성 변화를 야기하여 공용수명에 영향을 주는 것으로 분석하였다. BCO설계 시 다양한 덧씌우기 재료 특성을 반영하지 못하므로 신뢰성 있는 설계를 위해서 덧씌우기의 재료적 측면이 설계단계 일부에 적용되어야 한다.

본 연구를 통해 AASHTO86의 덧씌우기 설계법의 타당성을 고찰하였다. AASHTO86 덧씌우기 설계법은 기존포장층과 덧씌우기층의 완전부착과 덧씌우기층의 재료적 특성을 고려하지 않고 기존포장층의 포장상태만을 평가하여 덧씌우기를 실시하고 있는데 이는 접착식 콘크리트 덧씌우기 공법 원리 및 특성을 제대로 활용하지 못하여 불필요하거나 경제적 손실을 초래할 수 있다. 따라서 AASHTO86 덧씌우기 설계법의 국내 적용 시 지역상황, 교통량 및 기존 콘크리트 포장의 상태 등을 종합적으로 고려하는 것이 필요하며 또한 공법의 특성 중 가장 중요한 요소인 부착특성을 반영하여 국내 BCO의 합리적인 설계가 이루어져야 한다.

## 감사의 글

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

## References

American Association of State Highway Transportation Officials, 1986, *AASHTO guide for design of pavement structures 1986*,



- AASHTO Washington D. C.
- 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*
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012, *Road Services Manual*
- Lee, S. W., Kim, Y. K., 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
- Lee, S. W., Son. H. J., 2011, Comparison of the Pavement Performance for Concrete Overlay and Asphalt Overlay on Aged Cement Concrete Pavement. *KSRE*, 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
- (접수일 : 2013. 1. 22 / 심사일 : 2013. 1. 23 / 심사완료일 : 2013. 3. 12)