

# 고속도로 노후 콘크리트 포장 보강의 경제성 분석 사례 연구

## Case Studies of the Life Cycle Cost Analysis for Rehabilitation of Deteriorated Expressway Concrete Pavements

서영찬 Suh, Young-Chan | 정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : suhyc@hanyang.ac.kr)  
박지원 Park, Ji-Won | 정회원 · 한양대학교 교통공학과 석사 · 교신저자 (E-mail : wldnjs\_0722@naver.com)  
김찬우 Kim, Chan-Woo | 정회원 · 한국도로공사 도로처 포장팀장 (E-mail : cwsj2001@ex.co.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** Concrete pavement has been used in the construction of the Jungbu expressway in 1987. More than 60% of the pavement on the expressway is currently made of concrete, but most has been used far beyond their design life. Pavement life has been extended through routine maintenance or overlay. However, the structural capacity of the pavement has reached its limit, and extensive rehabilitation/reconstruction with long time traffic blocking should be considered. The three following issues on concrete rehabilitation/reconstruction will be discussed: (1) economic comparison of asphalt inlay and asphalt overlay, (2) economic comparison preventive overlay on a section which is currently good and routine overlay on the section which will be poor, and (3) economic analysis of early-strength concrete when it is used in concrete reconstruction.

**METHODS :** First, various life cycle cost analysis tools were compared, and the proper tool for the extensive rehabilitation/reconstruction was selected. Second, a sensitivity analysis of the selected tool was performed to find the influential input variables, which should be carefully selected in the analysis. Third, three case studies, which can be issues in the rehabilitation/reconstruction of the expressway concrete pavement in Korea, were performed.

**RESULTS :** Asphalt overlay without milling the deteriorated concrete showed 18~25% lower life cycle cost than the current asphalt inlay with milling. The good current preventive overlay on the section was economically justified within the scope of this study. The construction cost limit of the early strength concrete was suggested to be economical for 1, 3, and 7 days of construction alternative opening.

**CONCLUSIONS :** CA4PRS was a viable tool for comparing various rehabilitation/reconstruction issue alternatives. Several concrete issues associated with the rehabilitation/reconstruction of the deteriorated concrete pavement were discussed as mentioned above.

### Keywords

CA4PRS, Life Cycle Cost, LCC, deteriorated pavement, concrete pavement rehabilitation

Corresponding Author : Park, Ji-won  
The 2<sup>nd</sup> College of Engineering 313, 55 Hanyangdeahak-ro,  
Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 15588, Korea  
Tel : +82.31.419.0552 Fax : +82.31.436.8147  
E-mail : wldnjs\_0722@naver.com

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Dec, 21, 2015 Revised Dec, 24, 2015 Accepted May, 24, 2016

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

1984년 88고속도로 및 1987년 개통된 중부고속도로를 시작으로 국내 고속도로에 본격적으로 콘크리트 포

장의 시공이 이루어졌으며, 그 후 호남선, 영동선, 외곽순환선 등에 적용되어 현재 고속도로의 60% 이상이 콘크리트 포장으로 되어 있다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 주요 고속도로의 대부분은

설계수명인 20년을 훨씬 초과하여 사용하고 있으며, 오랜 기간 부분보수나 단구간의 덧씌우기 등으로 수명을 연장해오고 있는 실정이다. 하지만 포장의 구조적 능력은 많은 구간에서 한계에 이르러 부분보수나 덧씌우기 등으로는 포장 수명을 연장하기에 한계에 도달한 구간이 많아지면서 재포장을 포함한 대대적인 보강방안이 시급한 시점이다.

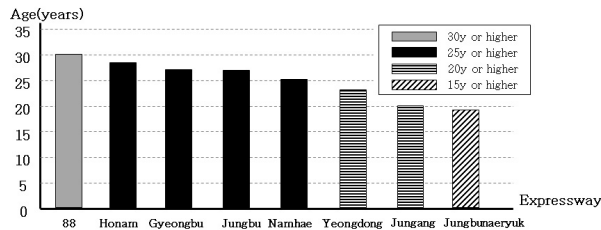


Fig. 1 Ages of Major Expressway Concrete Pavement (2014)

최근 한국도로공사는 이와 같은 노후 고속도로의 문제점을 인지하고 대규모 덧씌우기 또는 일정구간에 대한 재포장을 포함한 다양한 리모델링(Remodeling)계획을 구체화하여 실행단계에 있다. 이처럼 대규모 보강/재포장은 보강/재포장 공법의 결정, 보강 재료의 선택, 교통처리 등 다양한 보강이슈들에 대해 시행 전 충분한 전략수립이 필수적이다.

본 연구에서는 고속도로 노후 콘크리트 포장에서 실현가능한 다양한 보강이슈들에 대한 경제성 분석을 실시하고 이를 통해 적절한 대안을 제시하였다. 우선 경제성 분석에 활용할 분석 Tool을 선정하고, 프로그램 각 입력변수들의 민감도 분석을 통해 어떤 변수들이 영향력이 큰지를 확인하였으며 몇 가지 고속도로 현안문제에 대한 사례 연구를 통해 경제성 분석을 실시하여 적절한 대안을 제시하였다.

## 1.2. 연구의 범위 및 내용

분석 Tool 선정에 있어 여러 Program을 비교한 결과, CA4PRS가 본 연구 수행에 있어 가장 적합한 것으로 분석되었다. Case study를 수행하기에 앞서 도로 이용자비용 산출에 활용되는 CA4PRS의 입력변수들에 대해 민감도 분석을 실시하여 어떤 변수들이 영향력이 큰지를 확인하여 이 변수들에 대해 보다 정확한 자료를 수집하려 노력하였다.

노후 콘크리트 포장 보강에 관련한 이슈 3가지에 대한 Case study를 실시하였다. Case study 1은 비철사와 철사 덧씌우기의 생애주기비용 비교를 통하여 어떠

한 공법이 보다 경제적인지 제시하였다. Case study 2는 노후 콘크리트이지만 상태가 양호하다 판단되는 구간에 대해 예방적 덧씌우기와 5년간 국부보수 후 덧씌우기의 수명주기 분석을 실시하였다. 그 결과로 예방적 덧씌우기의 수명이 국부보수 후 덧씌우기의 수명보다 얼마만큼 증가되어야 하는지 제시하였다. Case study 3은 기존 양생기간에서 감소된 양생기간에 따라 산출되는 도로 이용자비용을 이용하여 양생기간에 따른 콘크리트 재료비 및 시공비용을 제시하였다.

본 연구는 왕복 4차로 콘크리트 포장인 영동고속도로 문막IC-만중JCT 9.2km 구간을 대표구간으로 선정하여 일방향 1개 차로를 다양한 공법에 대해 보강하는 것으로 가정하여 분석하였다.

경제성 분석은 생애주기비용 측면에서 이루어졌으며, 이 비용은 시공비용과 도로 이용자비용으로 구성되어 있다. 문헌고찰을 통해 국내외로 경제성 분석의 동향을 살펴보고, 분석 시 주요 고려 사항을 확인하였다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1. 경제성 분석의 동향

Hall 등(2003)은 포장보강 전략 선택에 있어 생애주기비용을 산정할 때 예측되는 서비스 교통량, 보강을 위한 차로 차단 시간과 작업 연장 내의 이용자비용 등 세부적인 사항들이 고려되어야 한다고 강조하고 있다. 이러한 요소를 포함한 치밀한 포장 보강 전략의 수립이 성공적인 포장 보강 가능성을 높여준다. 다만 생애주기비용 분석에 입력변수를 어떻게 정량화하고 정의할 것인지에 대해서는 연구자마다 의견차이가 존재한다.

Lee 등(2011)은 I-710 고속도로 재건설 사업에 있어 비용 효율성을 고려한 생애주기비용 측면에서 장수명 대안 선택을 평가하였다. 장수명 ACP, 일반 ACP, 장수명 PCCP 3가지 대안에 대하여 CA4PRS와 RealCost 분석 Tool을 활용하여 비용들을 정량화하여 비교하였다. 분석 기간 60년 동안 장수명 ACP가 가장 비용효율적으로 분석되었으며, 분석 Tool을 활용한다면 보강과 재건설 사업에 경제적으로 상당한 영향을 끼칠 것으로 판단하였다.

한대석 외(2007)는 국도 4차로 도로를 대상으로 최적의 포장유지보수기준을 위한 생애주기비용분석을 실시하였다. 생애주기비용은 보강비용과 유지보수를 포함하는 관리자비용, 공사로 인한 지체로 발생하는 이용자비용, 대기오염 발생비용과 차량사고비용인 사회환경비용으로 이루어져 있다. 분석 결과 전체 생애주기비용 중 사회환

경비용은 약 5%인 매우 적은 수준으로 도출되어 생애주기비용분석 시 큰 고려사항이 아닌 것으로 분석하였다. 또한 포장파손진행이 느린 구간에서 덧씌우기가 아닌 상시유지보수 위주로만 보수할 경우, 오히려 덧씌우기보다 더 많은 관리자비용이 소요될 수 있다고 분석하였다.

## 2.2. 분석 Tool 비교 및 CA4PRS 개요

Collura 등(2010)은 New England 내 8개 지역의 실제 공사구간에 대해 CA4PRS, QUEWZ, QuickZone, CORSIM 4개의 Program을 이용하여 그 결과를 비교하였다. 각 Program에 따라 특징이 있었으며 그 중 CA4PRS는 대규모 포장 보강 사업 수립에 적합한 것으로 보고하였다.

김경민(2007)은 건설공정 시뮬레이션 프로그램을 개발하기 위해 근래의 개발동향을 정리하였으며, 다양한 건설 공정Program에 대해 조사하여 각 프로그램의 장단점과 활용가능성에 대해 분석하였다.

이외 다양한 문헌과 자료를 통하여 Table 1과 같이 다양한 Tool들을 검토하였다. 그 결과, 본 연구의 취지와 가장 부합되는 CA4PRS를 본 연구의 Case study 분석 Program으로 선정하였다.

Table 1. LCCA Tools for Pavement Rehabilitation

Program	Characteristic	Production
CA4PRS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Economic alternative analysis program approved by the FHWA</li> <li>Various scenarios such as lane closure and use of detour can be simulated</li> <li>Quantification of road user cost using both micro and macro traffic simulation</li> </ul>	U.C Berkeley, FHWA (Lee, 2011)
RealCost	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCC analysis program certified by FHWA</li> <li>Ease of use on the basis of excel spreadsheet and the graphic user interface</li> </ul>	FHWA (FHWA, 2004)
MicroBen-Cost	<ul style="list-style-type: none"> <li>The analysis of the B/C on pavement rehabilitation, bridge project</li> <li>Possibility on economic validity analysis of project and alternative evaluation</li> </ul>	MCTrans Center (Jung, 2002)
HDM-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provide three analysis modules of project, programme and strategy</li> <li>Need so many input data for operation</li> </ul>	World Bank (Jung, 2002)

CA4PRS는 미국 California DOT에서 개발하고 연방도로청(FHWA)에서 승인한 경제성분석 Tool로서, 대규모 보강이나 재시공에 있어 공사구간의 다양한 요소를 고려하여 가장 경제성이 있으며, 최적화된 공사운영 대안을 택할 수 있도록 도움을 준다.

CA4PRS는 보수보강공법에 따른 공사기간, 공사구간

의 도로 이용자비용, 관리자 비용 분석 등 3가지 분석이 가능하다. 보수보강공법에 따른 공사기간 분석은 포장 공법 및 재료, 포장 설계, 투입되는 시공 장비의 효율 및 장비 조달 기간들을 변수로 공사기간의 해석이 가능하다.

공사구간의 도로 이용자비용 분석은 시공 전 도로 조건에 비해 공사 중 도로 차단에 따라 발생하는 교통지체 시간을 산정하여 도로 이용자비용을 산출한다. 관리자 비용은 각 포장 재료별 단가, 토공, 배수 비용 및 교통 차단 관련 비용을 입력하여 산출한다(Park, 2014).

## 3. 민감도 분석을 통한 주요입력변수 선정

CA4PRS 내에는 매우 다양한 입력변수들이 필요한데, 본 연구에서는 도로 이용자비용 산출에 있어 큰 영향을 끼치는 주요입력변수를 도출하여 이들에 대해서는 보다 정확한 값을 입력하기 위해 본 연구를 실시하였다.

Case study에 앞서 CA4PRS Program 입력변수들의 민감도 분석을 실시하여 그 결과를 토대로 도로 이용

Table 2. Input Variable in Sensitivity Analysis

Input variable		Input value (standard)	Note
Highway length		9.2km	Yeongdong, 2014 Munmak IC-Manjong JCT
Traffic information	Traffic volume	28,620 veh/day	
	Percent truck	15%	
	Growth rate	1.137%	Trend from the past 11 years
Vehicle cost	Passenger car & bus	₩18,121/veh (\$16.47/veh)	MOLIT(2013)
	Commercial truck	₩15,636/veh (\$14.2/veh)	
Speed limit	Before construction	100km/h	-
	During construction	80km/h	Assuming
Adjusted capacity (pcphpl)	Before construction (multi lanes)	2,047	Adjusted by CA4PRS
	During construction (single lane)	1,385	
Traffic reduction during construction	No show up	10%	Assuming
	Detour	15%	
	Delay by taking detour	20min	
Per closure duration		24days	
Number of closure		1	
Lateral clearance During construction	No side existing		Option
	One side existing		
	Both side existing		

자비용 산출에 큰 영향을 끼치는 상위 1~5위까지의 변수에 대해서 Case study 시 주의를 기울여 입력하였다.

민감도 분석은 영동고속도로의 대표적인 노후 콘크리트 포장 구간인 문막IC부터 만종JCT의 9.2km 구간을 대상으로 입력변수들을 수집하였다. 시공은 기본적으로 9.2km 1개 차로를 24시간 연속 시공하는 것을 기본으로 하였다. 민감도 분석에 사용된 입력변수는 문막IC-만종JCT구간의 대푯값을 기준으로 하여 10%씩 가감한 값을 입력하였으며, 각 변수값의 가감에 따른 도로 이용자비용(Road user cost)의 변화가 얼마나 큰지를 알아보는 방법으로 진행하였다. Table 2는 민감도 분석에 사용된 입력변수들의 대푯값을 보여주고 있다.

### 3.1. 민감도 분석 결과

민감도 분석에 활용된 입력변수를 기준값에서 10%씩

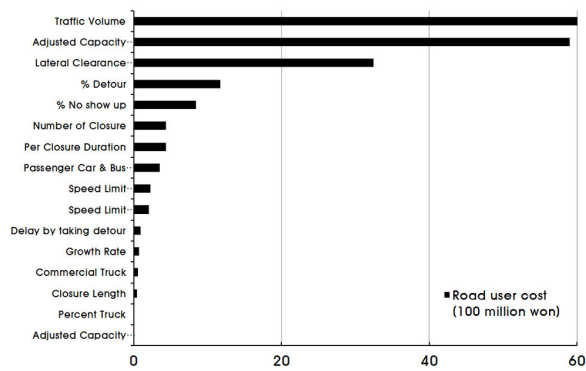


Fig. 2 Rank of Input Variable in Sensitivity Analysis

Table 3. Rank of Input Variable in Sensitivity Analysis

Rank	Expense gap (100 million)	Input variable	Rank	Expense gap (100 million)	Input variable
1	61.18	Traffic volume	9	2.23	Speed limit during construction
2	58.97	Adjusted capacity during construction	10	2.01	Speed limit before construction
3	32.43	Lateral clearance during construction	11	0.92	Delay by taking detour
4	11.72	Detour(%)	12	0.71	Growth rate(%)
5	8.44	No show up(%)	13	0.54	Commercial truck
6	4.37	Number of closure	14	0.42	Highway length
7	4.37	Per closure duration	15	0.06	Percent truck
8	3.52	Passenger car & bus vehicle cost	16	0.001	Adjusted capacity before construction

가감하여 분석한 결과, Fig. 2, Table 3과 같이 나타났으며, 교통량(일방향), 공사 시 차로 용량과 길어깨 존재 여부, Detour(%), No show up(%) 순으로 민감하게 나타났다. Table 3은 입력변수(기준값)에서 10% 가감 값과 감한 값으로 산출된 도로 이용자비용의 차이를 순위별로 나타내었다.

1~5위까지 입력변수의 공통점으로 미루어 볼 때, 도로 이용자비용 산출에 있어 공사 중 교통량에 직간접적으로 영향을 주는 변수가 도로 이용자비용 산출에 민감하게 작용하는 것으로 사료된다.

교통량(일방향)의 경우 국토교통부(2014)의 자료를 이용하였으며, 향후 교통량에 영향을 미치는 교통량 증감률은 과거 11년간의 자료를 활용하여 입력하였다. 공사 시 차로용량은 Lee(2013)의 연구를 통한 값을 입력하였으며, 길어깨 존재는 가장 열악한 상황을 가정하여 길어깨가 없음으로 설정하였다. Detour와 No show up은 CA4PRS 내의 다양한 분석 자료를 통하여 공사 상황에 맞게 가정하였다.

### 4. Case study 1 : 비절삭과 절삭 덧씌우기 수명에 따른 경제성 비교

본 Case study는 생애주기비용 측면에서 비절삭 덧씌우기와 최근까지 국내에서 주로 사용되어 온 절삭 덧씌우기의 경제성을 비교하는데 목적이 있다. Fig. 3과 같은 연구 흐름도의 과정으로 진행하였다.

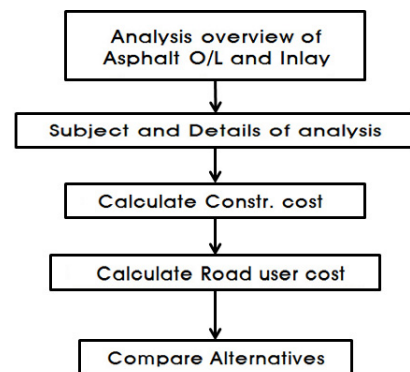


Fig. 3 Flow Chart of Case Study 1

Table 4는 분석기간 내의 시나리오 개요에 대해 설명하였다. 비절삭 덧씌우기는 분석기간 동안 초기 첫 번째는 비절삭 덧씌우기를 실시하고, 이후 절삭 덧씌우기로 보수하는 것으로 설정하였다. 비절삭 덧씌우기의 수명은 7년, 10년, 13년의 3가지 경우로 가정하여 분석기간

30년 동안 공법이 5회, 3회, 3회 실시되는 것으로 설정하였다. 매번 비절삭이 시행된다면 기존에 설계된 길어깨와 평탄성이 어긋나며 중분대의 높이에 영향을 주기 때문이다.

절삭 덧씌우기는 분석기간 동안 절삭 덧씌우기만 실시하는 것으로 설정하였으며, 이하 내용은 비절삭과 동일하다.

Table 4. Analysis Outline of Asphalt Overlay and Inlay (Analysis Period 30Years)

Content	Asphalt O/L			Asphalt inlay		
	7	10	13	5	7	10
life(years)	7	10	13	5	7	10
Number of construction	5	3	3	6	5	3
Method outline	No milling 10cm AC O/L, 10cm AC removal and reoverlay			10cm Conc milling and AC O/L		

절삭 덧씌우기의 수명을 비절삭 덧씌우기보다 짧게 가정한 것은 Suh(2011)의 중부고속도로, 호남고속도로의 현장시험 시공구간의 추적조사를 바탕으로 하였다.

추적조사는 호남고속도로의 서전주IC, 김제IC에서 각각 실시된 비절삭 5cm, 9cm 덧씌우기 구간과 중부고속도로 진천터널에서 실시된 절삭 8cm 덧씌우기 구간에서 반사균열 발생률을 비교한 결과, Fig. 4와 같이 비절삭 덧씌우기 두께가 1cm 두꺼웠지만 절삭 8cm 덧씌우기보다 반사균열 발생률이 약 1/4 감소하는 것으로 나타났다.

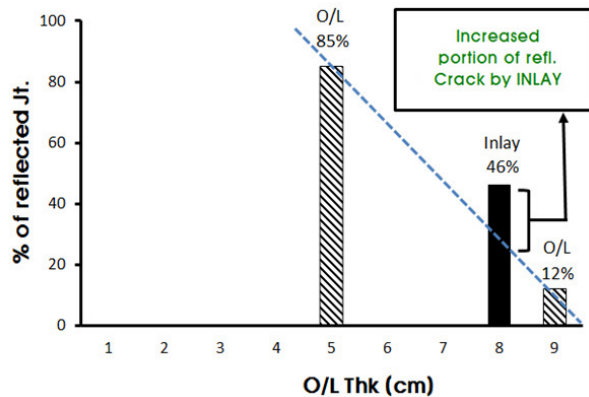


Fig. 4 Degree of Reflection Crack between Asphalt Overlay and Inlay (Suh, 2011)

분석대상 구간은 영동고속도로 문막IC-만중JCT이며, 일방향 1개 차로에 대해 비절삭과 절삭 덧씌우기 공법을 적용할 경우의 시공비용과 도로 이용자비용을 산출하여 결과를 비교하였다.

#### 4.1. 공법별 세부사항

Table 5는 각 공법의 분석 개요에 대해 서술하였다. 절삭 10cm AC O/L(아스팔트 덧씌우기)는 기존 포장 이후 콘크리트에서 실시되는 경우와 덧씌우기 이후 다시 절삭 덧씌우기가 실시되는 경우가 있어 항목을 기존 콘크리트, 기존 아스팔트로 분류하였다.

시공기간은 8시간(야간) 기준으로 1개 차로 작업량을 나타내며, 분석대상 9.2km로 나눠 시공기간을 가정하였다. 이 8시간 동안에는 교통차단 및 개방, 공사 장비의 투입, 절삭 및 덧씌우기 작업 등 일련의 과정이 포함되어 있으며 이를 통해 1개 차로 작업량이 산정되었다(KSRE, 2015).

Table 5. Detail of Each Rehabilitation Alternatives

Content	Construction period	Construction cost (100million won)	
		km/lane	9.2km/lane
10cm AC O/L	15days 0.65km/1lane	1.74	16.01
10cm AC Inlay (Existing concrete)	31days 0.3km/1lane	2.93	26.96
10cm AC Inlay (Existing asphalt)		1.96	18.03

#### 4.2. 시공비용 산출

공법별로 1km/1차로 시공비용을 분석대상 연장 9.2km로 환산하여 1회 시공비용을 산정하였다. 분석기간 30년 동안 포장 수명에 따라 해당하는 시공횟수 n회의 시공비

Table 6. Construction Cost for Case Study 1

(Unit : 100million won, times)

Content	Overlay			Inlay		
	7	10	13	5	7	10
life(years)	7	10	13	5	7	10
Number of construction	5	3	3	6	5	3
2015	16.01	16.01	16.01	26.96	26.96	26.96
2020				13.08		
2022	12.39				12.39	
2025		10.56		10.56		10.56
2028			8.99			
2029	8.52				8.52	
2030				8.08		
2035		6.18		6.18		6.18
2036	5.86				5.86	
2040				4.73		
2041			4.48			
2043	4.03				4.03	
Total	46.81	32.74	29.48	70.29	57.76	43.69

용을 가산하여 각 공법의 시공비용이 산출되었다.

Table 6과 같이 각 공법의 시공비용이 산출되었다. 분석기간 30년 동안 해당 공법의 수명이 끝나고 다음 공법이 시공되며, 미래에 실시되는 시공비용에 할인율 5.5%(KDI, 2008)를 적용하여 현재가치(PV: Present Value)로 환산하여 총 시공비용을 산출하였다.

### 4.3. 도로 이용자비용 산출

도로 이용자비용을 산출하기 위해 CA4PRS에서 사용된 입력변수들은 Table 7~11과 같다.

Table 7. Traffic Conditions Input Value

Input variable	Input value	Note	
Number of direction lanes	2	Yeongdong	
Highway length	9.2km		
Number of lanes during construction	1	Assuming	
Discount rate	5.5%	KDI(2008)	
Traffic information	Traffic volume	28,620 veh/day	Yeongdong, 2014 Munmak IC-Manjong JCT
	Percent truck	15%	
	Growth rate	1.137%	Trend from the past 11 years
Vehicle cost	Passenger car & bus	18,121won/veh (\$16.47)	MoLIT(2013)
	Commercial truck	15,636won/veh (\$14.2)	

대상구간인 영동고속도로 2014년도 연평균 일일 교통량(AADT)과 중차량 비율을 이용하였으며, 교통량 평

Table 8. Yeongdong, Munmak IC-Manjong JCT Hourly Traffic Volume (2014)

Time zone	Vehicles	Rate(%)	Time zone	Vehicles	Rate(%)
1	547	1.0	13	3,777	6.6
2	419	0.7	14	3,917	6.8
3	396	0.7	15	4,033	7.0
4	517	0.9	16	3,989	7.0
5	835	1.5	17	3,869	6.8
6	1,311	2.3	18	3,442	6.0
7	2,092	3.7	19	2,921	5.1
8	2,595	4.5	20	2,563	4.5
9	2,983	5.2	21	2,146	3.7
10	3,570	6.2	22	1,643	2.9
11	3,876	6.8	23	1,196	2.1
12	3,778	6.6	24	825	1.4

균증감률은 2004~2014년도 11년간의 교통량을 통해 산출하였다. 차량 1대당 통행시간가치는 MOLIT(2013)에서 제시된 값을 활용하였다.

일교통량을 0~24시까지 1시간대별로 나누어 나타낼 수 있으며, Table 8과 같이 해당 시간의 평균 교통량을 정리하였으며, 전체 일방향 교통량 28,620대/일의 시간대별 비율로 CA4PRS 내에 입력하였다.

Table 9에서는 도로용량 제약 조건에 관한 내용을 포함하며, 공사 전과 중일 때의 속도와 MOLIT(2013)과 Lee(2013)을 참조하여 용량을 입력하였다. 용량의 경우 1개 차로 공사 조건을 감안하여 길어깨의 경우 양쪽 모두 존재하지 않으며 차로폭은 3.4m로 가정하여 CA4PRS 내에서 조정되었다.

Table 9. Road Capacity Constraint Condition

Contents		Before construction	During construction
Speed limit		100km/h	80km/h
Capacity (pcphpl)	Basic	2,200	1,650
	Adjusted	2,047	1,312

Table 10은 공사로 인하여 교통 수요에 미치는 영향을 가정하였다. 야간 8시간에만 교통을 차단하여 공사가 진행되기에 이러한 불편함을 감수하고 주행할 것이란 가정으로, No show up(해당도로에 나타나지 않을 차량)이 0%, Detour(공사로 인해 해당도로를 우회할 차량)가 10%, Detour로 인한 추가 운행시간은 20분으로 가정하여 입력하였다.

Table 10. Assumptions of the Reduced Traffic Demand during Construction

Content	No show up(%)	Detour(%)	Delay by taking detour
8hour closure at night	0%	10%	20min

Table 11은 공사가 이루어지는 동안 1회 차단기간 및 차단횟수를 나타낸다. 시공기간이 각각 15, 31일로 산정되어 차단횟수로 정해졌으며, 1회 차단기간은 최솟값인 1로 입력하였다.

Table 11. Per Closure Duration and Number of Closure

Method	Per closure duration (days)	Number of closure
10cm AC O/L	1	15
10cm AC Inlay	1	31

Table 12는 미래에 실시되는 공사로 인해 발생하는 도로 이용자비용에 할인율 5.5%를 적용하여 현재가치(PV: Present Value)로 환산하여 총 도로 이용자비용을 산출하였다.

Table 12. Road User Cost for Case Study 1

(Unit : 100million won, times)

Content	Overlay			Inlay		
	7	10	13	5	7	10
life(years)	7	10	13	5	7	10
Number of construction	5	3	3	6	5	3
2015	2.51	2.51	2.51	5.20	5.20	5.20
2020				4.21		
2022	3.87				3.87	
2025		3.41		3.41		3.41
2028			3.00			
2029	2.88				2.88	
2030				2.76		
2035		2.23		2.23		2.23
2036	2.14				2.14	
2040				1.81		
2041			1.73			
2043	1.59				1.59	
Total	12.99	8.16	7.25	19.61	15.68	10.84

#### 4.4. 생애주기비용 비교

Table 13, Fig. 5에서는 비절삭과 절삭 덧씌우기의 현재가치로 환산된 시공비용과 이용자비용을 나타내었다.

분석 결과 동일한 수명 7, 10년으로 비교하였을 때, 비절삭 덧씌우기가 절삭 덧씌우기보다 생애주기비용을 약 18~25%까지 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 비절삭 덧씌우기가 절삭 덧씌우기보다 시공비용도 경제적이고, 효율적인 시공으로 짧은 공사기간동안 실시되기에 도로 이용자비용도 절감되는 것으로 나타났다.

Table 13. Life Cycle Cost for Case Study 1

(Unit : 100million won, times)

Content	Overlay			Inlay		
	7	10	13	5	7	10
life(years)	7	10	13	5	7	10
Number of construction	5	3	3	6	5	3
Road user cost	12.99	8.16	7.25	19.61	15.68	10.84
construction cost	46.81	32.74	29.48	70.29	57.76	43.69
Life cycle cost	59.80	40.90	36.73	89.90	73.44	54.53

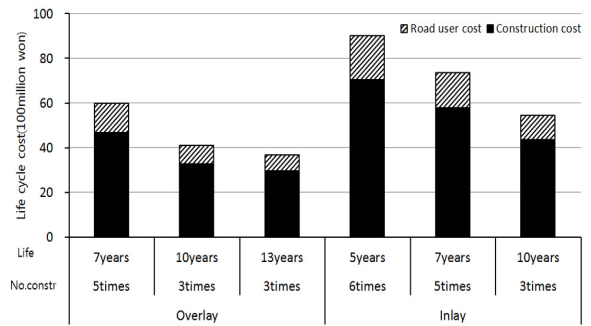


Fig. 5 Life Cycle Cost for Case Study 1

### 5. Case study 2 : 예방적 덧씌우기의 경제성

포장수명이 다한 구간의 대규모 보강 사업에 있어 결함이 심한 구간만 보수하게 된다면 얼마 가지 않아 인근 양호구간 또한 보수해야 되기 때문에 고속도로의 연속성 측면에서 자칫 조잡한 포장상태를 초래할 수 있다.

따라서 현재 포장상태가 비교적 양호하다 하더라도 그 구간이 보강 대상 구간 사이에 있다면 한 번에 같이 보강하는 것이 잦은 교통 차단을 억제하고 고속도로의 연속성 유지 측면에서 타당할 것이다.

본 Case study는 이렇게 양호한 구간을 미리 덧씌우기 하는 것이 수명 주기 측면에서 경제적인지를 판단하는데 그 목적이 있다.

포장 상태가 비교적 양호한 구간에 대해 예방적 차원에서 바로 덧씌우기 하는 경우와 5년간 국부보수 후 덧씌우기 하는 경우를 비교하여, 예방적 차원에서 바로 덧씌우기하는 방안이 수명을 몇 년 더 늘릴 수 있다면 더 경제적인지 확인하는 것을 그 내용으로 한다.

Table 14와 같이 분석기간 30년 동안 두 시나리오로

Table 14. Rehabilitation Scenarios (Analysis Period 30Years)

Method Durable years	10cm AC O/L immediately in preventive level (assume 10~15year life)						10cm AC inlay after partial repair 5years (assume 10year life)
	O/L	O/L	O/L	O/L	O/L	O/L	Partial repair
5							Partial repair
10	O/L	O/L	O/L	O/L	O/L	O/L	O/L
15							O/L
20	5cm inlay	5cm inlay	5cm inlay	5cm inlay	5cm inlay	5cm inlay	5cm inlay
25							5cm inlay
30	10cm inlay	10cm inlay	10cm inlay	10cm inlay	10cm inlay	10cm inlay	10cm inlay

나누어 수명을 가정하였다. 예방적 차원에서 양호한 구간에 덧씌우기를 할 경우 모체 콘크리트가 훨씬 건전하므로 수명이 보다 길어질 수 있는 것으로 가정하였다.

두 시나리오 내에서 비절삭 덧씌우기 적용 후 절삭 5cm, 10cm 덧씌우기가 실시되는 것을 가정하였다.

본 Case study에서는 5년간 국부보수의 경제성 분석에 대해 상세히 서술하며, 비절삭 덧씌우기와 절삭 덧씌우기의 경우 두께가 다르지만 시공비용과 이용자비용 산출 과정은 Case study 1과 동일하기에 Table 15의 공법별 세부 사항만을 서술하였다.

분석대상 구간은 Case study 1과 동일하며, 일방향 1개 차로에 대해 보강이 이루어지며, 시공비용과 도로 이용자비용을 산출하여 결과를 비교하였다.

### 5.1. 5년간 국부보수 생애주기비용 산출

국부보수는 보강공법과는 달리 수명도 짧고 비교적 간단한 작업이기에 매년 1회 실시한다. 매년 전체구간 9.2km를 다 보수하는 것은 합리적이지 않아, 약 1/3인 3km/1차로를 보수한다고 가정하여 분석을 실시하였다.

#### 5.1.1. 시공비용 산출

국부보수는 영동 고속도로의 콘크리트 포장표면 보수(노면개량, 단면보수, 줄눈보수, 전단면개량)비용을 통해 산정하였다. 년도에 따른 국부보수 내역은 Table 15와 같이 정리하였으며, 해당 년도에 따른 보수 시공비용과 이에 상응하는 보수 연장을 이용하여 km당 보수 시공비용을 추정하였다. 이를 가정된 3km 연장에 맞춰 보수 시공비용으로 환산하였다.

Table 15. Partial Repair Cost for Last 5Years (Yeongdong, Expressway)

Contents	2009	2010	2011	2012	2013
Repair cost (million won)	3,026	3,011	3,254	2,775	5,378
Repair length (km)	515.1	249.7	248.5	282.8	393.8
Repair cost (million won/km)	5.87	12.06	13.09	9.81	13.66
Repair cost (million won/3km)	17.6	36.2	39.3	29.4	41.0

Fig. 6과 같이 과거 5년간의 보수 시공비용을 회귀식으로 나타내어 향후 실시될 국부보수에 대한 시공비용을 산정하였으며, 이는 Table 16과 같다. 향후 5년간

발생되는 시공비용에 할인율 5.5%를 적용하여 현재가치로 환산하여 5년간의 시공비용이 산출되었다.

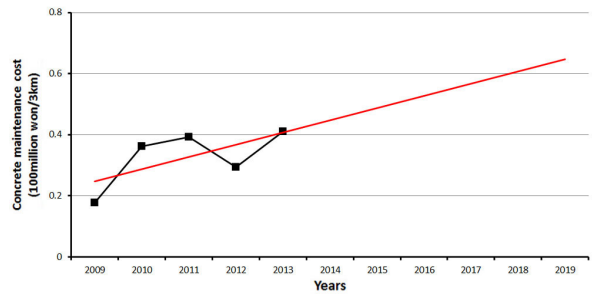


Fig. 6 Estimation of Repair Cost Using Recent 5Years Data

Table 16. Yearly Concrete Repair Cost (Yeongdong, 3km/1lane)

(Unit : 100million won)

Year	Estimation of repair cost	Repair cost (P.V)
2015	0.49	0.49
2016	0.53	0.50
2017	0.57	0.51
2018	0.61	0.52
2019	0.65	0.52

#### 5.1.2. 도로 이용자비용 산출

Table 17은 국부보수 분석 개요에 대해 서술하였으며, 시공방법과 교통처리방법 및 공사기간을 제시하였다.

국부보수는 1년 1회 실시되며, 매년 전체구간 9.2km의 1/3인 3km/1차로를 보수하며 야간(22pm~06am) 8시간 동안 차로를 차단하여 매일 일정한 연장을 보수한다고 가정하였다.

Table 17. Outline of Partial Repairs (Analysis Period 5Years, Length 3km)

Repair method	Method of traffic handling	Construction period
Surface improvement Partial depth repair Joint repair Full depth repair	Construction during 22pm~06am with 1 lane closure	3 days 1days(8hour) 1km/1lane

도로 이용자비용 산출은 CA4PRS program을 통하여 산출하였으며 Case study 1과 동일한 분석대상이며

Table 18. Per Closure Duration and Number of Closure in the Partial Repair

Method	Per closure duration (days)	Number of closure
Partial repair	1	3



로 Table 7~10의 내용을 동일하게 적용하였다. 그러나 Table 18과 같이 차단기간 및 차단횟수는 달리하여 입력하였다.

Table 19는 산출된 5년간 국부보수의 도로 이용자비용을 나타내며 할인율 5.5%를 적용하였다.

Table 19. Yearly Road User Cost (Yeongdong, 3km/1lane)

(Unit : 100million won)

Year	Road user cost in partial repair	Road user cost (P.V)
2015	0.48	0.48
2016	0.49	0.46
2017	0.49	0.44
2018	0.50	0.42
2019	0.50	0.40

### 5.2. 비절삭, 절삭 덧씌우기의 비용 산출

Table 20과 같이 비절삭, 절삭 덧씌우기 공법의 분석 개요에 대해 서술하였으며, 공법의 개요, 1km/1차로 기준의 시공비용, 시공기간을 포함하였다. 이를 시나리오에서 가정된 수명에 맞게 시공비용과 도로 이용자비용을 산출하였으며, 분석과정은 Case study 1과 동일하기에 설명을 생략하였다.

Table 20. Detail of Each Rehabilitation Method

Method	Outline of method	Construction cost (km/lane)	Construction period
No milling 10cm AC O/L	No milling, Section repair, Modified SMA 10cm	174 million won	15days
			0.65km/1lane
Milling 5cm AC O/L	Milling, Modified SMA 5cm	102 million won	31days
			0.30km/1lane
Milling 10cm AC O/L	Milling, Modified SMA 10cm	196 million won	31days
			0.30km/1lane

### 5.3. 생애주기비용 비교

Fig. 7, Table 21과 같이 할인율 5.5%를 적용하여 현재가치로 환산된 시공비용과 도로 이용자비용의 합을 나타내었다.

분석 결과 상태가 비교적 양호하나 예방적 차원에서 바로 덧씌우기의 수명이 10~13년 유지될 경우, 5년간 국부보수 후 포장 결함이 어느 정도 진전된 후 덧씌우기 하는 것에 비해 생애주기비용이 약 3~9% 정도 더 드는

것으로 나타났다.

예방적 차원에서 바로 덧씌우기의 수명이 15년 유지될 경우 5년간 국부보수 후 덧씌우기보다 생애주기비용이 약 2% 정도 감소효과를 보이는 것으로 나타났다.

5년간 국부보수 후 덧씌우기의 생애주기비용 1% 범위 내에서 예방적 차원의 덧씌우기 수명을 4년 이상 늘릴 수 있다면 5년 미리 덧씌우기 하는 것이 경제성이 있는 것으로 판단된다.

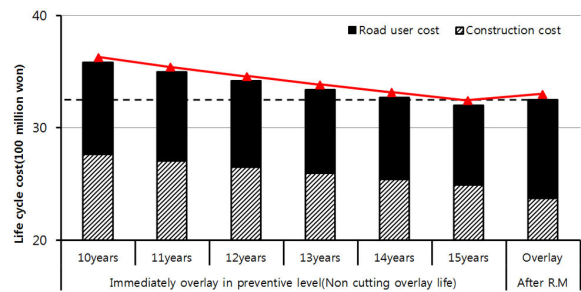


Fig. 7 Comparison of Immediate Overlay and Overlay 5Years Later for Various Assumed Overlay Lives

Table 21. Life Cycle Cost for Case Study 2

(Unit : 100million won)

Content	Immediate overlay in preventive level						Overlay after P.R
	10y	11y	12y	13y	14y	15y	
2015	18.52	18.52	18.52	18.52	18.52	18.52	0.97
2016							0.96
2017							0.95
2018							0.94
2019							0.93
2020							14.29
2025	8.90						
2026		8.47					
2027			8.06				
2028				7.68			
2029					7.31		
2030						6.96	6.96
2035	8.41						
2036		8.00					
2037			7.60				
2038				7.23			
2039					6.87		
2040						6.54	6.54
Total	35.84	34.99	34.19	33.43	32.71	32.04	32.54

## 6. Case study 3 : 양생기간에 따른 콘크리트 재료비 및 시공비용 추정

연속차단 공사인 콘크리트 재포장이 실시된다면 양생

기간으로 인하여 필연적으로 긴 교통차단을 수반한다. 장기간의 교통차단은 도로 이용자에게 큰 불편을 끼치며, 이를 최소화하기 위해 양생기간이 짧은 고가의 재료를 사용하는 것이 하나의 대안이 될 수 있다.

본 Case study는 일반적인 콘크리트 포장의 양생기간 14일과 비교하여 조기 개방 콘크리트의 양생기간별로 어느 정도의 가격이면 가격 경쟁력을 유지할 수 있는지 분석하는데 그 목적이 있다.

Fig. 8과 같은 연구 흐름도의 과정으로 진행하였으며, 분석대상은 앞의 Case study와 동일하다.

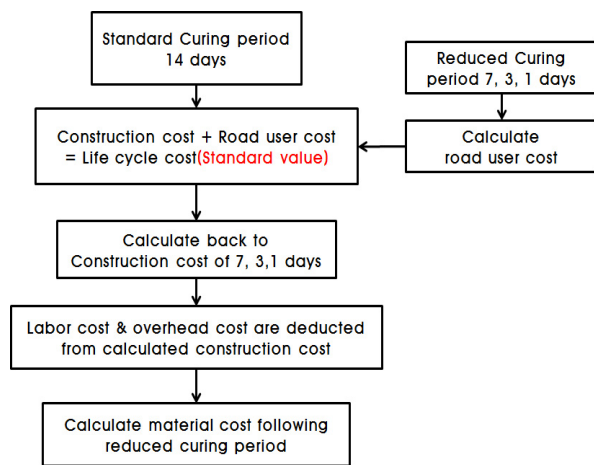


Fig. 8 Flow Chart of Case Study 3

### 6.1. 조기 개방 콘크리트의 개요

본도로 유지보수에 있어 노후 콘크리트 슬래브를 대체하며 시공기간을 줄일 수 있는 재료인 조기 개방 콘크리트 (Early strength concrete or Early opening to PCC)에 대한 연구가 해외에서 활발히 이루어지고 있다. 실내 HVS를 이용한 성능평가와 현장 조사를 통한 조기 개방 콘크리트의 내구성에 영향을 끼치는 요소를 평가하고 증진시키기 위한 연구가 이루어지며, MDSHA(Maryland State Highway Administration)에서는 이용자비용 감소의 중요성을 인지하여 다양한 종류의 조기 개방 시멘트를 개발하기 위해 노력하고 있다(Crovetti, J, 2005; Kumara, M. W 2006; Larmie, E. A, 2005; Peterson, K. R, 2005).

### 6.2. 콘크리트 재포장의 생애주기비용 산출

기준 양생기간 14일의 시공비용과 도로 이용자비용을 산출하고, Table 22와 같이 기준 양생기간 14일에서 7일, 3일, 1일로 달리하여 양생기간에 따른 도로 이용자비용을 산출한다.

Table 22. Curing Period in Analysis

Contents	Curing period(days)			
Days	14	7	3	1

#### 6.2.1. 콘크리트 재포장 공법개요

연속차단 공사인 콘크리트 재포장의 기준 양생기간 14일의 시공기간은 Fig. 9와 같으며, 기존 콘크리트 철거 및 준비기간은 2일, 포설은 8일, 양생 및 차선 도색은 14일로 산정하여 총 24일로 가정하였다. 초기 기준 콘크리트 철거 및 준비기간을 2일로 산정한 것은 연속차단 공사이기에 철거가 진행되며 연속적으로 포설이 진행되기 때문이다.

포설은 약 1m/1분인 점을 고려하여 1440m/1440분(24시간)의 80% 가동률인 1.2km/1일(24시간)로 가정하였으며, 포설 일수는 9.2km/1.2km=8일로 산정하였다. 양생기간별로 준비기간, 포설은 동일하며 양생기간만 달리하여 분석하였다.

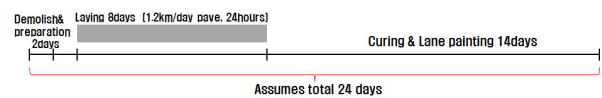


Fig. 9 Statement of the Assumed Concrete Remodeling Construction Period (Curing 14Days)

#### 6.2.2. 시공비용 산출 과정

14일 양생기간인 콘크리트 재포장의 1km 시공비용으로는 Table 23과 같은 내역으로 산출되었다. 일위대가 기준으로 단가산출된 것으로 재료비, 노무비, 경비에 따른 포장공, 폐기물처리비용을 산정하였다. 포장공과 폐기물처리비용을 합산하여 직접공사비가 되며, 직접공사비의 50%의 제경비를 가산하여 총공사비로 산정되었다. 이들의 총합을 1km/1차로당 콘크리트 재포장 비용으로 산정하였다.

단위비용인 4.35억 원/1km/1차로를 분석대상 연장인 9.2km/1차로로 환산하여 시공비용은 40.0억 원으로 산정되었다.

Table 23. Unit Price Statement of Concrete Remodeling (1km Standard)

(Unit : 100million won)

Content	Paviour	Waste disposal cost	Direct constr. cost	Total constr. cost
Material cost	1.21	-	1.21	1.82
Labor cost	0.68	-	0.68	1.01
overhead cost	0.24	0.77	1.01	1.52
Total	2.13	0.77	2.90	4.35

### 6.2.3. 도로 이용자비용 산출 과정

양생기간에 따른 도로 이용자비용 산출은 동일한 분석대상이므로 교통조건 입력변수, 시간대별 교통량, 도로용량 제약 조건과 같은 사항은 Table 7~9의 내용을 동일하게 적용하였다.

다만 본 사례의 콘크리트 재포장은 24시간 차단하여 시공하기 때문에 불편함으로 Table 24와 같이 No show up 10%, Detour 15%로 증가시켰다. 또한 감소된 양생기간에 따라 1회 차단 기간은 달라지지만 차단횟수는 모두 동일하게 1회 차단하여 시공하는 것으로 Table 25와 같이 입력하였다.

Table 24. Assumptions of the Reduced Traffic Demand Under Construction

Classification	No show up(%)	Detour(%)	Delay by taking detour
24hour closure	10%	15%	20min

Table 25. Per Closure Duration and Number of Closure in Concrete Remodeling

Content	Curing period (days)	Per closure duration (days)	Number of closure
Concrete remodeling	14	24	1
	7	17	
	3	13	
	1	11	

위의 변수들을 입력하여 Table 26과 같이 콘크리트 재포장의 양생기간에 따른 도로 이용자비용이 산출되었다.

Table 26. Road User Cost Following Curing Period

(Unit : 100million won)

Content	Curing period			
	14days	7days	3days	1day
Road user cost	42.2	29.9	22.9	19.3

### 6.2.4. 생애주기비용 비교

Table 27과 Fig. 10은 콘크리트 재포장의 양생기간에 따른 시공비용과 도로 이용자비용을 나타낸다. 양생기간 14일을 기준으로 시공비용은 40.02억 원, 도로 이용자비용은 CA4PRS program을 활용하여 42.2억 원으로 산출되어, 생애주기비용이 82.2억 원으로 합산되었다.

두 비용의 합인 생애주기비용 82.2억 원을 기준으로

하여 양생기간 7일, 3일, 1일에 생애주기비용을 동일하게 적용하였다. 생애주기비용에서 각 도로 이용자비용을 감하여 양생기간에 따른 시공비용을 산정한다.

Table 27. Construction Cost and Road User Cost Following Curing Period

(Unit : 100million won)

Content	Curing period			
	14days	7days	3days	1day
Construction cost	40.0	52.3	59.3	62.9
Road user cost	42.2	29.9	22.9	19.3
Life cycle cost	82.2			

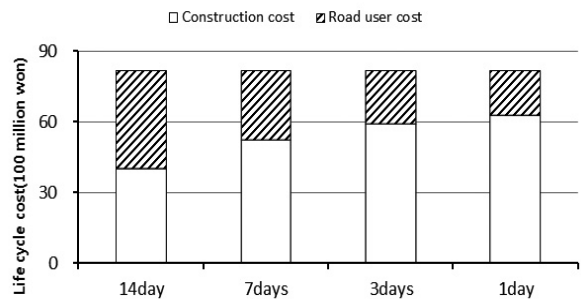


Fig. 10 Construction Cost and Road User Cost Following Curing Period

### 6.3. 양생기간에 따른 콘크리트 재료비 역산

Table 23의 내용을 따르면 콘크리트 재포장의 24시간 연속 시공 기준으로 1km/1차로의 시공비용의 구성은 재료비 42%, 노무비 23%, 경비 35%로 되어 있다.

각 양생기간에 따른 시공비용에서 노무비와 경비를 9.2km로 환산한 비용(약 23.3억 원)을 감하여 재료비를 구하였다. 이를 Table 28과 같이 정리하여 나타내었다.

Table 28. Calculate Material Cost and Construction Cost Following Curing Period

(Unit : 100million won, times)

Content		Curing period			
		14days	7days	3days	1day
Construction cost		40.0	52.3	59.3	62.9
Material cost of Constr.	9.2km	16.7	29.0	36.0	39.6
	1km	1.8	3.2	3.9	4.3
Increase of material cost		1	1.8	2.2	2.4
Increase of construction cost		1	1.3	1.5	1.6

비교 결과, 양생기간을 14일에서 7일, 3일, 1일로 줄일 수 있다면 콘크리트 재료비가 각각 1.8배, 2.2배, 2.4배 이하이면 가격 경쟁력이 있는 것으로 분석되었다.

## 7. 결론

1980년대부터 본격적으로 건설된 고속도로 콘크리트 포장에 대해 그 수명에 이르면서 대대적인 재포장 또는 덧씌우기가 필요한 시점에 이르렀다.

본 연구에서는 고속도로 노후 콘크리트 포장의 다양한 보강 이슈들에 대해 경제성 분석을 실시하였다. 경제성 분석은 시공비용과 공사로 인한 차량 지체 비용을 현재가로 합산하여 각 대안을 비교하는 방법으로 하였다. 경제성 분석 도구는 미국 California DOT에서 개발하고 연방도로청(FHWA)에서 승인한 CA4PRS 프로그램을 사용하였다.

먼저 CA4PRS의 각 입력변수들에 대해 민감도 분석을 하여 영향력이 큰 변수를 알아내어 이 변수들에 대해서는 보다 정확한 값들을 도출토록 하였다. 또, 3가지 고속도로 현안문제에 대한 Case study를 통해 경제성 분석을 실시하였다. 본 연구의 범위 내에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 민감도 분석 결과, 교통량(일방향), 공사 시 차로용량, 길어깨 존재 여부, 우회비율(%), No show up(%) 등이 주요입력변수로 나타났으며 CA4PRS 이용 시 이들 변수에 대한 신중한 입력값 산정이 필요할 것으로 분석되었다.
2. 비절삭과 국내에서 주로 사용되는 절삭 덧씌우기의 경제성을 비교한 결과, 공법의 수명을 동일한 7, 10년으로 비교하였을 때, 비절삭 덧씌우기 공법이 생애주기비용을 18~25%까지 절감할 수 있는 것으로 나타났다.  
이는 비절삭 덧씌우기의 수명이 절삭 덧씌우기 공법보다 더 길며, 시공비용도 경제적이고 짧은 공사기간 동안 실시되기에 도로 이용자비용도 절감되는 것으로 사료된다.
3. 포장수명이 다한 구간에 대규모 보강 사업이 이루어질 때, 상태가 심각한 구간만 보수하는 것은 전체적인 측면에서 불합리적이다. 포장 상태가 양호하더라도 보강 대상 사이에 있다면 일괄적으로 보강하는 것이 도로 연속성 유지 측면에서 타당하다.

포장 상태가 비교적 양호한 노후 고속도로 구간에 대해 예방적 차원에서 바로 덧씌우기 하는 경우와 5년간 국부보수 후 덧씌우기 하는 경우를 비교하여 예방적 차원에서 바로 덧씌우기의 수명을 몇 년 더 늘릴 수 있다면 더 경제적인지 입증하고자 하였다.

5년간 국부보수 후 덧씌우기의 생애주기비용 1% 범위 내에서 예방적 차원의 덧씌우기 수명을 4년 이상 늘릴 수 있다면 5년 미리 덧씌우기 하는 것이 경제성이 있는 것으로 나타났다.

4. 콘크리트 재포장에 있어 양생기간은 도로 이용자비용 측면에서 매우 중요한 요소이다. 일반적으로 양생기간을 줄이기 위해서는 조기교통개방 측면에서 고가의 재료를 사용할 수밖에 없다.

본 연구에서는 양생요구기간별로 어느 정도의 가격이 가격 경쟁력을 유지할 수 있는지 경제성 측면에서 분석하였다. 분석 결과 양생기간을 14일에서 7일, 3일, 1일로 줄일 수 있다면 재료비가 각각 1.8배, 2.2배, 2.4배 이하이면 가격 경쟁력이 있는 것으로 분석되었다.

## REFERENCES

- Collura, J. et al. (2010), "Evaluation and Implementation of Traffic Simulation Models for Work Zones.", No. Project No. NETC 05-8.
- Crovetti, J. (2005), "Early opening of Portland cement concrete pavements to traffic.", Final Report Wisconsin DOT, SPR#0092-01-04.
- FHWA (2004) "RealCost USER MANUAL.", <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/rc210704.pdf>.
- Hall, K. T. et al. (2003), "Guidelines for life-cycle cost analysis of pavement rehabilitation strategies.", TRB 2003.
- Han, D. S., et al. (2007), "Life Cycle Cost Analysis of Pavement Maintenance Standard Considering User and Socio-Environmental Cost.", Journal of the Korean Society of Civil Engineers D, 27(6D), 727-740.
- Jung, J. S. et al. (2002), "Life Cycle Cost Analysis: Conventional Versus Asphalt-Rubber Pavements.", Rubber Pavements Association.
- Kang, W. P., et al. (2013), "A study on the minimization of water damage for the asphalt inlay of old concrete pavement", International Journal of Highway Engineering, 15(4), 53-63.
- Kim, G. M. (2007), "Multi-Agent based Simulation System for Construction Operations with Traffic Congestion.", doctorate thesis, Civil Engineering, Chung-Ang Univ.
- Korea Society of Road Engineers · Pyeonghwa Engineering, Inc.(2015), "Remodeling Strategies for Dealing with Deterioration of Expressway Pavements (II)".

- Kumara, M. W., et al. (2006), "Evaluation of early strength requirement of concrete for slab replacement using accelerated pavement testing.", *Journal of transportation engineering*, 132(10), 781-789.
- Larmie, E. A., et al. (2005), "Rehabilitation and main tenance of road pavements using highway early strength concrete.", SHA, SP208B49 Final Report.
- Lee E. B. (2011), "CA4PRS USER MANUAL.", <http://www.dot.ca.gov/hq/research/roadway/ca4prs/index.htm>.
- Lee, E. B., et al. (2011), "Selection of Pavement for Highway Rehabilitation Based on Life-Cycle Cost Analysis", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2227), 23-32.
- Lee, M. R., et al. (2013), "Capacity of Urban Freeway Work Zones." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 33(3), 1123-1130.
- MOLIT (2013), "Korea Highway Capacity Manual.", Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- MOLIT (2004~2014), "Statistical Yearbook.", Ministry of Land, Infrastructure and Transport. <http://www.road.re.kr>.
- MOLIT (2013), "Transportation Facility Investment Evaluation Guidelines.", Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Park, G. J.(2014), "A decision-making system with dual stages for rehabilitation method considering the transportation management on expressways.", doctorate thesis, Civil Engineering, Chung-Ang Univ.
- Pyeon, J. H., et al. (2012), "Cost Estimate Modeling of Transportation Management Plans for Highway Projects.", MTI Report II-24, No. CA- MTI-12-1007.
- Peterson, K. R., et. al. (2005). "Final Report for Early-Opening- to-Traffic Portland Cement Concrete for Pavement Rehabilitation.", *Transportation Research Board of the National Academies*, Project 18-4B.
- Park, H., et. al. (2004), "A Study on Standard Guidelines for Pre-feasibility Study on Road and Railway Projects.", Korea Development Institute.
- Suh, Y. C., (2011), "Load Simulation Testing for the Asphalt Overlay of Deteriorated Concrete Pavement.", *International Pavement Engineering Conference(IPEC)*, KSRE.