

## 포장가속시험 및 경제성 분석을 통한 절삭 덧씌우기와 비절삭 덧씌우기의 비교

### Comparison of Asphalt Concrete Inlay and Overlay for Rehabilitation of Aged Cement Concrete Pavement through Accelerated Pavement Testing and Life-Cycle Cost Analysis

서영찬	Suh, Young Chan	정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 교수 (E-mail : suhyc@hanyang.ac.kr)
권홍준	Kwon, Hong Jun	정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 박사과정 · 교신저자 (E-mail : agni83@hanyang.ac.kr)
이응준	Lee, Eung Jun	정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 석박사통합과정 (E-mail : eunglee89@hanyang.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** So far, aged cement concrete pavement on express highways has been rehabilitated mainly with asphalt concrete inlay. However, potholes were the major problem, and they shortened the life of the inlay mainly owing to the poor drainage of water once it infiltrated the interface of the concrete and asphalt. The purpose of this study is to compare the performance and economic efficiency of asphalt overlay and inlay.

**METHODS :** Overlay and inlay were compared through accelerated pavement testing, and a life-cycle cost analysis was conducted in this study using the CA4PRS program.

**RESULTS and CONCLUSIONS :** It was found from accelerated pavement testing that the overlay exhibited reflective crack resistance that was more than twice as effective as that of inlay. The total cost (construction cost + user cost) within the analysis period (20 years) of the overlay was 37% lower than that of the inlay.

#### Keywords

*inlay, milling, accelerated pavement test, CA4PRS*

Corresponding Author : Kwon, Hong Jun  
Department of Transportation & Logistics Engineering,  
Hanyang University, 55, Hanyangdaehak-ro, Sangrok-gu, Ansan-si,  
Gyeonggi-do, 15588, Korea  
Tel : +82.31.419.0552 Fax : +82.31.436.8147  
E-mail : agni83@hanyang.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Oct. 17, 2017 Revised Oct. 17, 2017 Accepted Nov. 08, 2017

## 1. 서론

국내 고속도로 시멘트 콘크리트 포장(이하 콘크리트 포장)은 빠른 속도로 노후화 되어 가고 있으며 상당 구간은 이미 아스팔트 콘크리트 포장(이하 아스팔트 포장)으로 덧씌우기 된 상태이다.

콘크리트 포장은 한 때 5cm 아스팔트 덧씌우기가 실

시되었으나 반사균열 문제를 최소화하기 위한 방안으로 덧씌우기 두께를 증가시키는 방안이 제기되었다. 하지만 덧씌우기를 두껍게 할 경우, 높아지는 도로의 표고로 인해 중앙분리대와 다이크 등 도로의 횡단구성물의 높이가 상대적으로 낮아져 도로 이용자의 안전에 악영향을 줄 수 있다는 지적이 있어 왔다. 그 대안으로 기존 포

장면을 일정 깊이 절삭 후 덧씌우기 하여 추가로 포장면이 높아지지 않도록 하는 소위 절삭 덧씌우기(Inlay) 방식을 오랫동안 사용해 왔다.

그러나 절삭 덧씌우기는 빈번한 포트홀 및 하부 콘크리트 열화 문제를 야기시켜, 이후 포트홀 보다는 반사균열이 차라리 상대하기 수월한 파손으로 여겨져 콘크리트를 절삭하는데 대한 회의적인 시각이 있어온 것이 사실이다.

본 연구에서는 포장가속시험을 통하여 절삭 덧씌우기와 비절삭 덧씌우기의 공용성능을 비교하고 두 포장형식의 경제성을 분석하고자 하였다. 또한 문헌고찰을 통해 예상되는 문제점에 대한 해결방안을 찾고 최적의 대안을 제시하고자 하였다.

이를 위해 실제 도로와 유사한 시험 포장을 시공 후 하중재하 시험을 실시하였고, 발생한 반사균열을 통해 각 공법의 공용성능을 비교하였다. 시험 포장은 줄눈 콘크리트 위에 아스팔트 덧씌우기를 적용하였으나 시험의 가속화를 위해 콘크리트 포장의 두께를 약간 얇게 시공하였고 다일바는 생략하였다. 또한 경제성 분석을 위해 각 공법을 적용한 유지보수 시나리오를 구성하여 경제성분석 프로그램(CA4PRS)으로 분석기간 내 공사로 인한 이용자비용을 산출하였다.

또한 시험 포장에 대한 구조적 지지력을 FWD Test를 통해 분석하였다.

## 2. 절삭 덧씌우기 포장의 문제

중부고속도로 및 호남고속도로에 시공된 절삭 덧씌우기와 비절삭 덧씌우기에 대한 추적조사 결과, 절삭구간의 경우 반사균열 발생률이 비절삭 구간에 비해 약 4배가 넘는 것으로 나타났으며, 절삭 덧씌우기 구간의 경우 백태 등 덧씌우기 재파손이 빈번하게 발생하는 것으로 보고되었다(Suh et. al., 2012).

절삭 덧씌우기 구간의 이러한 문제는 Fig. 1에서 보는

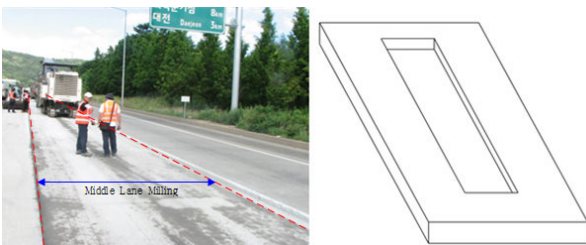


Fig. 1 Bathtub Condition Occurred in the Middle Lane Milling (Suh et. al., 2012)

바와 같이 덧씌우기 전 이루어지는 절삭과정에서 발생하는 Bathtub 구조가 침투수에 취약한 것이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. Fig. 1과 같이 한 개 차로만 절삭할 경우 육조 형태로 인해 우수 등 침투수가 유입되어 체류할 수 있는데, Kang(2011)은 이와 같은 침투수와 동절기 제설제로 인한 염화물이 동결용해를 통해 하부 콘크리트를 열화시켜 덧씌우기 조기파손의 원인이 되는 것을 언급하였다.

## 3. 포장가속시험을 통한 공용성능 비교

본 연구에서는 덧씌우기 포장의 공용성능을 비교하기 위해 시험포장을 설치하고 하중모사 시험을 진행하였다. 이를 위해 동일한 하부 구조를 가진 복합포장을 계획하고 덧씌우기 전 콘크리트 포장의 절삭 조건만을 달리하여 공용성능의 차이를 비교하고자 하였다. 시험포장의 단면도는 Fig. 2와 같으며 절삭 덧씌우기의 경우 앞서 문제점으로 언급된 Bathtub 구조를 모사하였다.

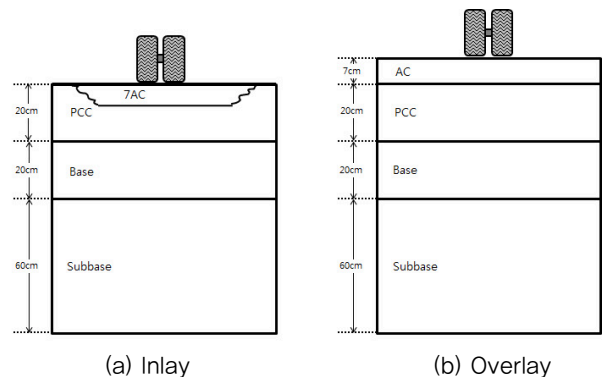


Fig. 2 Cross Sections of the Test Pit

하중모사 시험은 시험포장 위에 실제 하중을 적용하여 장기 공용성 평가가 가능한 포장가속시험기를 이용하였는데, 본 연구에서는 Fig. 3의 한양대학교 포장가속시험기(HAPT, Hanyang Accelerated Pavement Tester)를 사용하였다.

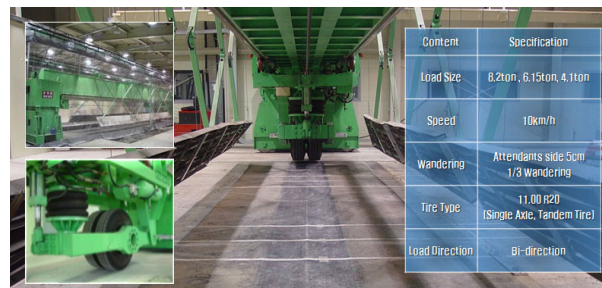


Fig. 3 Hanyang Accelerated Pavement Tester

두 덧씌우기 포장의 공용성능 비교는 표면에 발생한 반사균열 발생량을 비교하는 방식으로 진행되었다. 이를 위해 하중의 누적횟수에 따라 표면상태를 육안관찰을 통해 수시로 확인하였고 시기별로 사진을 촬영하여 기록하였다.

### 3.1. 시험포장 시공

시험포장의 시공은 크게 콘크리트 포장을 시공하는 공정과 아스팔트 포장을 덧씌우기 하는 공정으로 나누어 진행되었으며, 그 사이에 절삭 구간의 경우 7cm 깊이 콘크리트 절삭 및 표면 청소가 이루어졌다.

콘크리트 포장의 시공은 보조기층 60cm, 기층 20cm 두께의 동일한 하부층 위에서 진행되었다. 20cm 두께의 콘크리트 층은 Fig. 4와 같이 아크릴을 활용하여 3m 간격으로 줄눈을 모사하였으며 30일 이상 양생하였다.

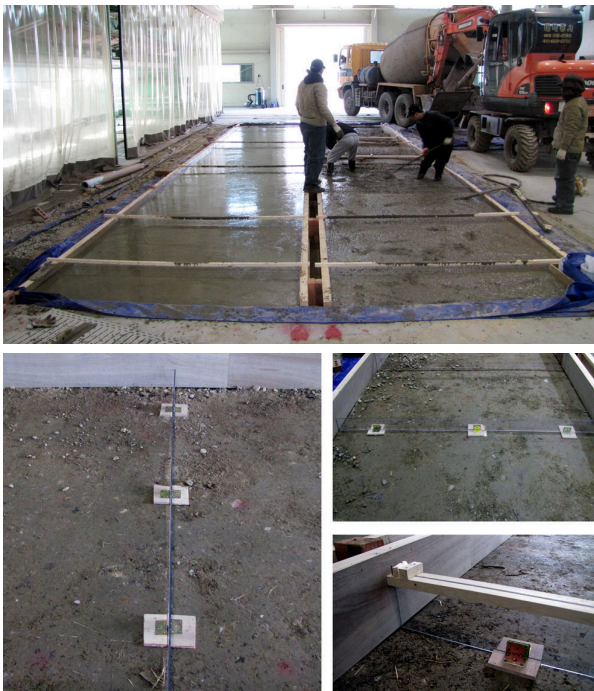


Fig. 4 Concrete Placement

덧씌우기 전 콘크리트 절삭은 Fig. 5와 같이 200cm 폭으로 7cm 깊이를 걷어내었는데, Bathtub 구조를 모사하기 위해 양 쪽 15cm씩 여유를 두고 진행되었다. 절삭 후 표면은 Waterjet 장비를 이용하여 청소하였다.

아스팔트 덧씌우기는 두 구간 모두 동일한 공법으로 시공하였는데 텍코팅 후 골재입경 최대 13mm의 밀입도 아스팔트를 2번에 나누어 7cm 두께로 Fig. 6과 같이 시공하였다.



Fig. 5 Concrete Milling (7cm Deep)



Fig. 6 Asphalt Overlay Placement

### 3.2. 하중모사 시험 조건

본 연구에서 덧씌우기 포장의 공용성능을 비교하기 위해 제어한 하중모사 시험 조건은 하중, Wandering, 온도, 그리고 수분이다.

하중의 크기는 4.1ton, 6.15ton, 8.2ton 세 종류를 병행하였고, 타이어 공기압은 120psi를 유지하였다(이때 타이어의 접지면적은 4.1ton=910.5cm<sup>2</sup>, 6.15ton=1,020cm<sup>2</sup>, 8.2ton=1,200cm<sup>2</sup>). HAPT의 하중은 단축복륜의 Tandem Tire로 4.1ton 기준으로 포장설계 시 사용되는 ESAL(Equivalent Single Axle Load)로 환산이 가능하다.

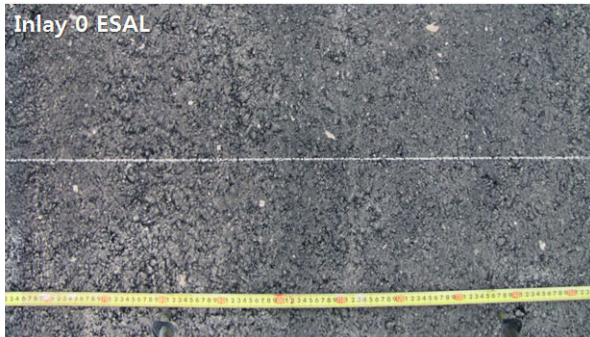
Wandering은 실제 도로와 유사한 차량의 주행궤적을 반영하기 위한 조건으로 타이어 가장자리에 집중되는 인장응력의 영향을 분산시키는 효과가 있다. 본 실험에 적용한 1/3 wandering(±15cm)은 하중 진행의 시종점을 4,080회의 주기로 30cm의 범위 내에서 정규분포의 형태로 분산시켜 적용하였다.

본 실험은 기본적으로 실내에 설치된 시험포장에서 이루어졌으며 소성변형의 영향을 최소화하기 위해 실험 온도는 25℃ 이하를 유지하였다. 또한 절삭 경계부를 통한 침투수의 영향을 비교하기 위해 두 구간 모두 포장 표면이 충분히 젖을 정도의 수분을 가하여 하중을 재하하였다.

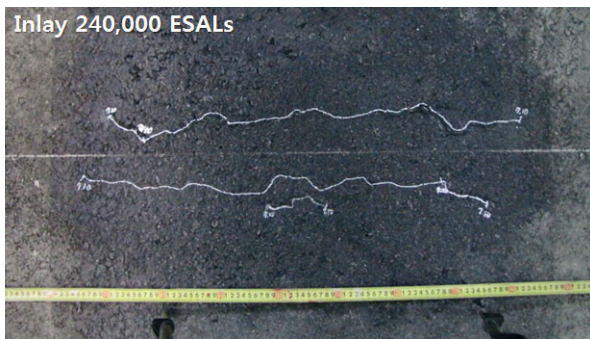
### 3.3. 포장가속시험 결과

하중모사 시험을 통한 공용성능 비교는 누적하중별 반사균열 발생량을 비교하는 방법으로 이루어졌다. 최초 반사균열 발생시기(누적하중 횟수)는 절삭 덧씌우기가 200,000 ESALs, 비절삭 덧씌우기가 450,000ESALs

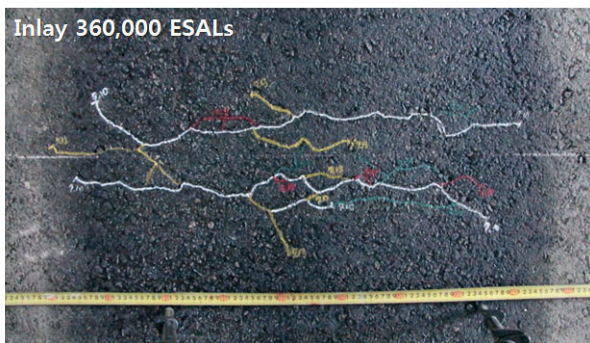
로서 비절삭 덧씌우기가 2배 이상의 반사균열 저항성을 갖는 것으로 분석되었다. 실험은 반사균열 발생이 심화해진 360,000ESALs(절삭)과 1,337,000ESALs(비절삭)에서 각각 실험을 종료하였다. Fig. 7, 8은 실험 시기별 반사균열 발생을 표면사진을 통해 나타낸 것이며,



(a) Initial Surface

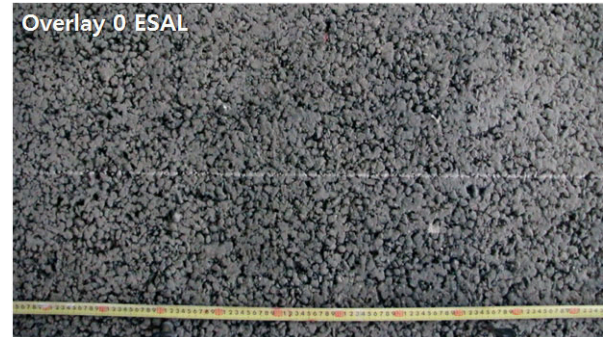


(b) Early Stage of Reflection Cracking

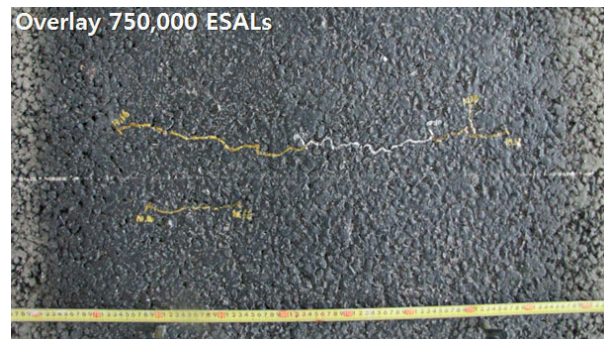


(c) Final Stage of Reflection Cracking

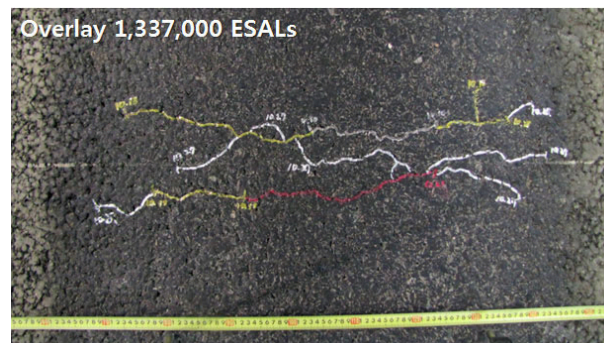
Fig. 7 Progress of Reflection Cracking (Inlay)



(a) Initial Surface



(b) Early Stage of Reflection Cracking



(c) Final Stage of Reflection Cracking

Fig. 8 Progress of Reflection Cracking (Overlay)

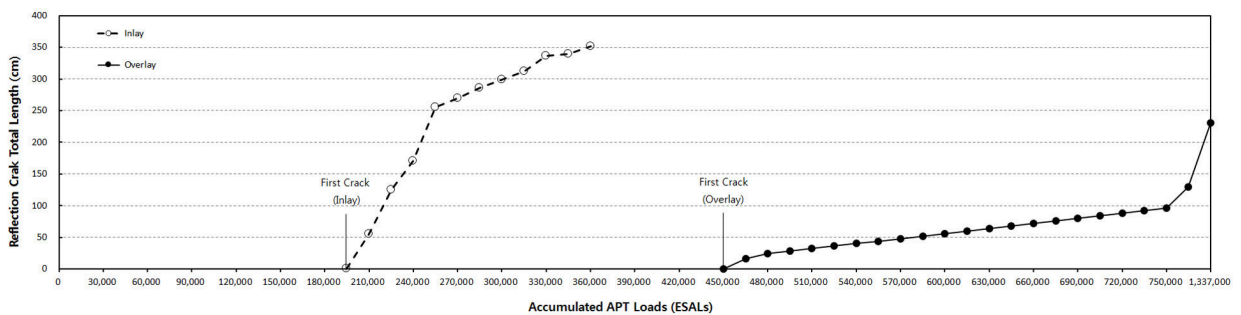


Fig. 9 Comparison of Reflective Cracking (Total Length)

Fig. 9는 이를 그래프화 한 것이다.

공용성능 비교 결과, 반사균열 측면에서 비절삭 덧씌우기가 절삭에 비해 유리한 것으로 나타났다. 반사균열이 발생한 시점은 비절삭 덧씌우기가 절삭 덧씌우기의 2배 이상의 교통하중이 통과한 후에 발생하였으며, 일단 반사균열이 발생된 후의 균열 진전속도 또한 비절삭 덧씌우기가 유리한 것으로 분석되었다.

#### 4. FWD Test를 통한 지지력 비교

하중모사 시험으로 나타난 공용성능의 차이를 포장의 구조적인 성능으로 설명하기 위해 시험포장 시공 시 주요 시기(절삭 전, 절삭 후, 덧씌우기 후)마다 실시한 FWD Test 결과를 분석하였다.

90kn의 하중에서 측정된 처짐량의 최대값을 분석한 결과, Fig. 10과 같이 비절삭 덧씌우기가 절삭 덧씌우기에 비해 47.6% 낮은 것으로 나타났다(절삭 시 두께 감소의 영향으로 판단). 또한 줄눈부의 하중전달효과는 Fig. 11과 같이 비절삭 덧씌우기가 9.6% 높은 것으로 나타나 비절삭 덧씌우기가 하중 지지력 측면에서도 유리한 것으로 나타났다.

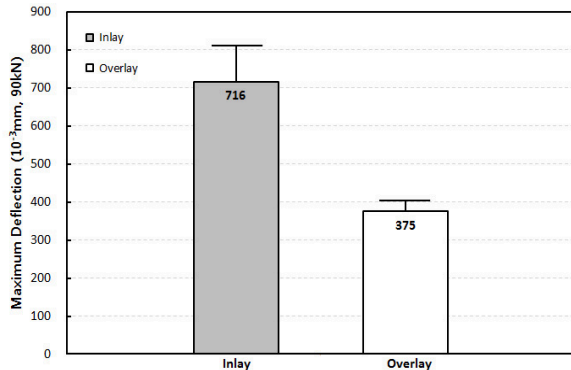


Fig. 10 Comparison of Maximum Deflection

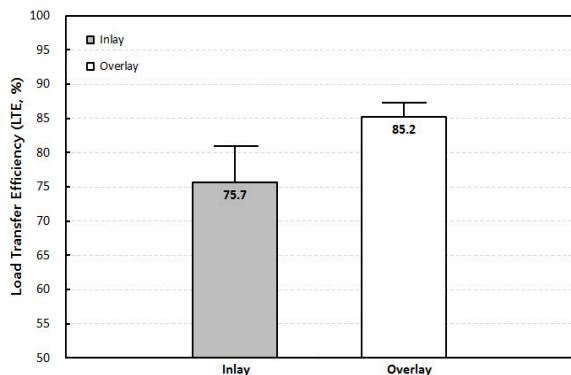


Fig. 11 Comparison of Load Transfer Efficiency

#### 5. 공법별 경제성 분석 결과

본 절에서는 공법별 경제성을 비교하였다. 10cm 두께의 아스팔트 덧씌우기를 실제 고속도로 구간에 시공하는 것을 가정하였는데 이를 위해 중부고속도로 하남방향 1개 차로 11km(서이천 IC - 곤지암 IC)를 분석구간으로 선정하였다.

공법별 투입비용은 시공비용과 이용자비용으로 구분할 수 있는데 시공비용은 공사 시 투입되는 인적, 물적 비용을 최근 도로공사 품셈을 반영하여 산출하였고 이용자비용은 공사 중 발생하는 통행속도와 교통용량의 감소에 따른 차량별 시간가치를 경제성 분석프로그램을 이용하여 산출하였다.

Table 1과 같이 포장 유지보수와 관련한 다양한 경제성 분석프로그램을 비교한 결과, 그 중 CA4PRS가 이용자 비용 산출에 적합하다고 판단하였다.

CA4PRS는 미국 California DOT에서 개발하고 연방도로청(FHWA)에서 승인한 경제성 분석도구로서, 대규모 보강이나 재시공에 있어 공사구간의 다양한 요소를 고려한다. 대표적으로 보수보강공법에 따른 공사기간, 공사구간의 도로 이용자비용, 관리자 비용 등의 분석이 가능하며, 보수보강공법에 따른 공사기간 분석은 포장 공법 및 재료, 포장 설계, 투입되는 시공 장비의 효율 및 장비 조달 기간들을 변수로 공사기간의 해석이 가능하다(Suh et al., 2016).

Table 1. LCCA Tools for Pavement Rehabilitation (Suh et al., 2016)

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
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
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
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

Table 2는 투입비용 산출을 위한 입력변수로 공법별 동등한 비교를 위한 가정사항 외에 시공구간의 교통량 정보, 차량별 시간가치 기준, 공법별 공용수명, 1일 시공연장 등 현장을 반영한 통계치를 정리한 것이다. 본 분석에는 야간에 8시간 동안 시공구간을 차단하는 것을 가정하였다.

Table 2. Input Values of the Economic Analysis

Content	Overlay	Inlay	Note
Thickness	10 cm		Asphalt
Location (length)	Jungbu expressway, Hanam direction, Seoicheon IC – Konjiam IC (11km)		1 Lane Closure
Speed limit	110 kph → 80 kph (During construction)		
Traffic capacity	Before construction : 2,250 pcphpl (Lane width 3.6m, Both side existing)		MoLIT (2013)
	During construction : 1,650 pcphpl (Lane width 3.4m, One side existing)		Lee et al. (2013)
Traffic information	Volume 43,410 veh/day (Percent truck 30 %) Growth rate 2.37 % (recent 10 years) (Assumption : No show up 0 %, Detour 10 %)		Volume : KEC (2016)
Vehicle cost	Passenger car & bus : ₩18,121/veh (\$16.5) Commercial truck : ₩15,636/veh (\$14.2)		MoLIT (2013)
Pavement life	7.6 years	5.4 years	KEC (2013)
Construct duration	17 days (extension : 650m/day)	37 days (extension : 300m/day)	Suh et al. (2016)
Traffic closure	8 hour closure at night (22:00~06:00) Closure duration = Construct duration		8 h/day

Analysis period : 20 years, Discont rate : 3 %

Table 3은 20년의 분석기간 동안 각 공법별 수명에 따른 보강 시나리오를 나타내었다. 비절삭 덧씌우기는

Table 3. Rehabilitation Scenario of Each Alternatives

Content	Scenario in analysis period (20 years)			
	O/L turn	Method	Closure duration	Pavement life
Overlay	1st	Overlay(10cm)	17 days	7.6 years
	2nd	Remove only overlay layer(10cm)	37 days	7.6 years
	3rd	Remove only overlay layer(10cm)	37 days	7.6 years
Inlay	1st	Inlay(10cm Overlay after milling)	37 days	5.4 years
	2nd	Remove only overlay layer(10cm)	37 days	5.4 years
	3rd	Remove only overlay layer(10cm)	37 days	5.4 years
	4th	Remove only overlay layer(10cm)	37 days	5.4 years

기존 콘크리트 위 덧씌우기 층만의 절삭과 재시공이 반복되는 것을 가정하였고, 절삭 덧씌우기는 최초 절삭 시 얇아진 콘크리트 두께를 분석기간 동안 유지하는 것을 가정하였다. 그 결과, 20년간 비절삭 덧씌우기는 3회, 절삭 덧씌우기는 4회 반복하는 것으로 분석하였다.

Fig. 12는 공법별 투입비용 산출 결과를 나타낸 것으로 분석기간 내 총 비용에서 비절삭 덧씌우기가 절삭 덧씌우기에 비해 37% 낮은 것으로 나타났다. 이는 시공횟수의 차이가 시공비용, 이용자비용으로 이어진 것으로, 비절삭 덧씌우기의 공용수명 차이가 반영된 결과로 판단된다.

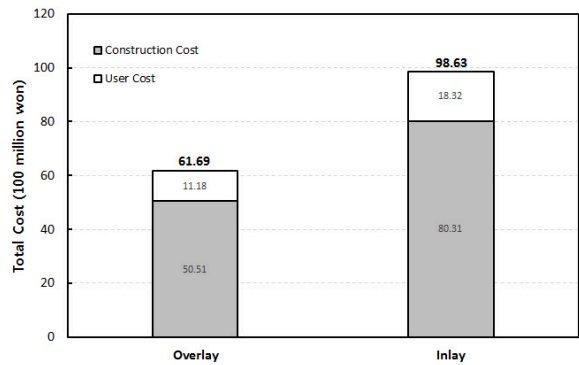


Fig. 12 Results of the Economic Analysis

## 6. 비절삭 덧씌우기 문제점 해결방안

비절삭 덧씌우기는 덧씌우기로 인해 높아지는 도로의 표고로 인해 중분대가 낮아지는 영향을 우려하는 지적이 있어 왔다. 이에 본 연구에서는 중분대 높이와 관련한 문헌조사를 통하여 비절삭으로 하더라도 문제가 없음을 정리하였다.

기존의 구형 중분대의 경우 810mm의 높이로 설계되어 있는데 세부 도면에 75mm(3inch)까지는 덧씌우기가 가능하도록 여유 폭을 가진 것으로 확인되었다(AASHTO, 2006). 또한 차량의 대형화 및 중대형 화물차량의 증가에 따라 대형차량의 중앙분리대 월담 및 방형망 파손에 의한 사고가 빈번히 발생하여 한국도로공사에서 방호성능을 개선하고자 높이 1,270mm의 신형 중분대를 개발하였다(Kim et. al., 2009).

Fig. 13은 구형 중분대와 신형 중분대의 설계단면을 비교한 것으로 신형이 구형에 비해 460mm 정도 높아 덧씌우기 시 낮아지는 중분대의 높이에 충분히 대비가 될 것으로 판단된다.

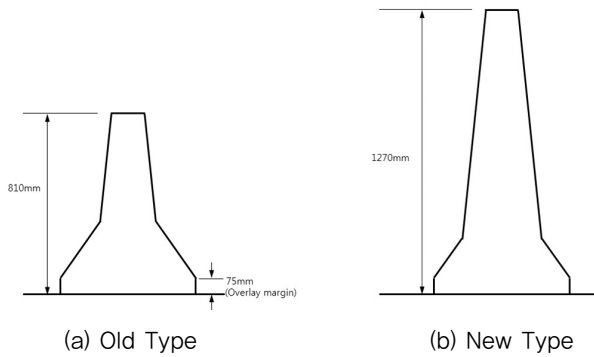


Fig. 13 Comparison of Median Stips

## 7. 결론

본 연구에서는 포장가속시험을 통하여 콘크리트 포장의 아스팔트 절삭 덧씌우기와 비절삭 덧씌우기의 공용 성능을 비교하고 덧씌우기 두 형식의 경제성 분석을 실시하였다.

본 연구의 연구범위 내에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 포장가속시험 결과, 반사균열이 발생한 시점은 비절삭 덧씌우기가 450,000ESALs로서 절삭 덧씌우기의 200,000 ESALs보다 2배 이상의 교통하중이 통과한 후에 발생하였으며, 발생된 반사균열의 진전속도 또한 훨씬 느리게 나타나 비절삭 덧씌우기가 크게 유리한 것으로 분석되었다.
2. FWD test를 통해 비절삭 덧씌우기와 절삭 덧씌우기를 비교한 결과, 비절삭 덧씌우기가 절삭 덧씌우기에 비해 최대 처짐량은 47.6% 낮았으며, 하중전달효과는 9.6% 높은 것으로 나타나 절삭 시 얇아진 두께로 인해 비절삭 덧씌우기가 하중 지지력 측면에서도 유리한 것으로 나타났다.
3. CA4PRS를 이용한 경제성 분석 결과, 비절삭 덧씌우기가 절삭 덧씌우기에 비해 37%의 비용 감소 효과를 가진 것으로 분석되었다.
4. 비절삭 덧씌우기에 대한 우려로 지적되어 왔던 중분

대 높이 문제와 관련한 문헌고찰 결과, 중분대의 높이는 75mm(3inch)의 덧씌우기 여유폭이 이미 고려되어 있는 것으로 확인되었으며, 신형 중분대는 구형에 비해 460mm 정도 높아 비절삭 덧씌우기 관련 이슈는 더 이상 문제가 되지 않을 것으로 판단되었다.

## REFERENCES

- AASHTO (2006), *Roadside Design Guide*, pp.6-11.
- Kang, M. S. (2011). *Distribution of chloride in concrete Pavement subjected to de-icing salts and its effect on the failure of asphalt overlay*, Ph.D. Dissertation, Hanyang University.
- Kim, K. H., et al. (2009). "A Study on Traffic Accident Reduction by improving Express Median Barrier Height." *KSCE 2009 Convention Program*, Korean Society of Civil Engineers, pp.46-49.
- Korea Expressway Corporation (2013). *Highway Pavement Condition Survey and Analysis - HPMS Research Part* (in Korean).
- Korea Expressway Corporation (2016). *2016 Expressway Traffic statistics* (in Korean).
- Lee E. B. (2011), *CA4PRS USER MANUAL*, Available at : <http://www.dot.ca.gov/hq/research/roadway/ca4prs/index.htm> (Accessed: October 15, 2017).
- Lee, M. R., et al. (2013). "Capacity of Urban Freeway Work Zones." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 33(3), pp.1123-1130.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *Korea Highway Capacity Manual* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *Transportation Facility Investment Evaluation Guidelines* (in Korean).
- Suh, Y. C. et al. (2012). *The load simulation study of concrete pavement overlay section(2nd year) final report*, Korea Expressway Corporation (in Korean).
- Suh, Y. C. et al. (2016). "Case Studies of the Life Cycle Cost Analysis for Rehabilitation of Deteriorated Expressway Concrete Pavements." *International Journal of Highway Engineering, Korean Society of Road Engineers*, Vol. 18, No. 3, pp.33-45.