

예방적 유지보수 공법의 현장 적용성능 평가 연구

Field Performance Evaluation of Preventive Maintenance Methods

이 상 yum Lee, Sang Yum | 정회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 조교수 · 교신저자 (E-mail : yummy0220@induk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : In this study, field performance evaluation of crack treatment of pavement and the feasibility of surface treatment of pavement are presented. The performance and cost of preventive maintenance methods have been previously verified, and the methods are being used in many developed countries and cities. However, the performance and cost of the system have not been verified in domestic, field applications. Therefore, in order to improve performance, the field performance is evaluated, and a reasonable cost is proposed.

METHODS : Visual Inspection was conducted to evaluate the field application and performance of the preventive maintenance method. In addition, the PCI index was calculated from the results of visual inspection of the application area of the surface treatment method, and the performance life of each method was predicted. For the economic evaluation, life cycle cost analysis was performed using the life cycle cost analysis program.

RESULTS : In order to evaluate and quantify the field performance of crack repair material, the residue condition of the pavement surface after crack treatment, rather than the performance of the material, is evaluated. In addition, the crack resistance and performance life of surface treatment methods are evaluated. The cost of currently available treatment methods are compared to the common pavement cut and overlay method, and it is determined that the preventive method is not economical based on life cycle cost analysis.

CONCLUSIONS : Because of the characteristics of cracking, it is necessary to conduct the evaluation of currently applied methods and the analysis of the cause of damage, by visual inspection. Moreover, in order to evaluate the performance and economic suitability of the currently applied surface treatment methods, it is necessary to acquire information on application sections by monitoring their long-term conditions and performance.

Keywords

Preventive Maintenance, Pavement Condition Index, Life Cycle Cost Analysis, visual inspection

Corresponding Author : Lee, Sang-Yum, Assistant Professor
Department of Construction Information, Induk University, 12,
Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul, 01878, Korea
Tel : +82.2.950.7587 Fax : +82.2.950.7599
E-mail : yummy0220@induk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 13, 2017 Revised Mar. 29, 2017 Accepted Mar. 29, 2017

1. 서론

1.1. 연구개요

최근 서울시에서는 버스와 같은 중차량에 의한 교통량이 증가함에 따라 도로포장의 소성변형, 피로균열 등이 발생하고 있으며 이상기후로 인한 해빙기 및 장마철

포트홀 발생 등 도로포장 손상이 급증하고 있다. 이에 따라 서울시에서는 매년 정해진 예산을 활용하여 포장층을 절삭하여 아스팔트 콘크리트를 재포장하는 형식의 유지보수를 진행하고 있다. 그러나 이와 같은 절삭 덧씌우기에 의한 유지보수는 매년 한정된 예산에서 진행하

기에는 파손된 도로포장의 상태를 일정한 수준으로 유지하기는 어려울 뿐만 아니라 건설폐기물의 증가 및 환경문제까지 야기시키고 있는 것이 현실이다.

이러한 문제로 인하여 미국, 유럽 등 선진국의 포장과 손을 미리 예방하기 위해 적용된 예방적 유지보수 공법을 국내 민간건설회사에서 도입하여 신기술로 활용 중에 있다. 그러나 장기 공용성 및 경제성에 대한 검증이 되지 않았을 뿐만 아니라 신공법 적용에 대한 책임 부담 및 미관상의 문제로 보편화 되지 못하고 있다(Kim et al., 2011). 또한 현재 국내 예방적 유지보수 공법의 단가가 해외에 비해 높은 수준으로 산정되어 있기 때문에 오히려 절삭 덧씌우기 공법을 적용한 예산 활용이 효율적인 면이 있다.

따라서 본 연구에서는 서울시에 적용된 다양한 예방적 유지보수공법인 균열처리공법에 대한 현장 공용성 평가 방법 제시 및 표면처리공법에 대한 육안조사를 통해 현장 공용성 평가를 실시하고자 한다. 또한 예방적 유지보수공법의 한 종류인 표면처리공법 시험적용 구간에 대한 표면상태 조사를 통해 포장상태지수인 PCI를 산정을 통해 표면처리공법의 공용수명을 예측하고자 한다. 이를 통해 경제성 분석 프로그램인 Real Cost를 활용하여 절삭 덧씌우기 대비 예방적 유지보수공법의 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC) 분석을 실시하여 절삭 덧씌우기 공법대비 현재 적용단가에 대한 분석을 진행하고자 한다.

2. 본론

2.1. 예방적 유지보수의 정의

도로포장의 유지관리는 준공 후 공용 중에 결함이 나타난 경우 이를 교정하는 것이다. 그러나 대부분의 경우 포트홀이나 패칭, 덧씌우기와 같이 포장이 거의 파손되어 복구하는 것으로 간주되고 있다. 이는 일상 정기적 유지관리의 정기적(routine)과 예방적(preventive)의 의미가 서로 같은 의미로 통용되어 왔던 것이다. 그러나 최근에는 비용절감효과를 인식하게 되어 예방적 유지보수라는 새로운 개념으로 받아들여지고 있다. 즉 예방적 유지보수는 일상 정기적 유지관리와는 의미의 차이가 있음을 나타내고 있다.

예방적 유지보수 공법은 크게 균열처리공법(Crack Treatment)과 표면처리공법(Surface Treatment)으로 분류할 수 있다. 균열처리공법은 포장층에 발생한 균열의 진전을 예방하는 것으로 균열부의 코팅 및 시멘트

콘크리트 균열의 에폭시 보수와 같이 보수재의 채움으로 균열의 진전을 억제하고 포장층 하부로의 우수 침투를 막는 것이다. 균열처리공법의 종류로는 실링(Sealing), 필링(Filing), 균열전면처리(Full-depth crack repair) 공법이 있다. 표면처리공법은 포장표면의 경미한 라벨링, 산화 등으로 표면이 거칠어지고 골재 박리에 대한 저항을 위해 사용하는 것으로 포장층 표면에 전반적인 아스팔트 표면보수이다. 표면처리공법의 종류로는 포그실, 칩실, 슬러리실, Micro-surfacing, 박층포장 등이 있다.

2.2. 국내외 예방적 유지보수 적용 현황

2.2.1. 국외 적용 현황

미국은 고속도로 네트워크를 최고수준으로 유지시키기 위해서는 많은 예산이 필요하고, 도로관련 사업의 목표를 도로망의 확대나 연장보다 기존 도로의 유지관리를 중심으로 도로망의 기능유지 및 수명향상을 위해 노력하고 있다(FHWA, 1994).

1995년 'National Highway System Designation Act'에서 '유지보수' 표제의 Title 23, Section 116에 예방적 유지보수 "(d) 예방적 유지보수-예방적 유지보수가 연방지원 고속도로의 사용수명을 연장할 수 있는 비용 절감의 수단으로서 정부를 만족시킬 수 있다면 연방정부의 원조를 받을 수 있다."라는 항을 삽입하여 새로이 개정하였다(배성호 외, 2014). 이는 각 주간고속도로(Interstate Highway)에만 초점이 맞춰져 있던 연방지원의 확대를 의미하여 예방적 유지보수의 적합함과 지속적인 예방적 유지보수 프로그램의 중요성을 역설하는 의미이다. 현재에는 거의 모든 주에서 예방적 유지보수를 시행하고 있으나, 1996년 보고당시 예방적 유지보수 프로그램을 가장 성공적으로 현장에 적용하고 있는 주는 California, Georgia, Michigan, New York, Texas라고 할 수 있으며 수년간 예방적 유지보수를 시행하고 있고, 도로 기반시설의 상태를 향상시키는데 주요한 역할을 하고 있다(FHWA, 1996).

2.2.2. 국내 적용 현황

국내의 사례를 살펴보면 일부 예방적 유지보수 공법이 사용되고 있으나 미국과 같이 예방적 유지보수 프로그램을 가지고 있거나, 유럽과 같이 다양한 공법을 적용하지 못하고 있는 것이 현실이다. 국내 도로의 유지관리는 국도의 경우 PMS에 의해 체계적으로 유지관리가 이루어지고 있으며 국도 PMS에서 포장상태에 따른 적절

한 유지보수공법에서 덧씌우기 이외의 표면처리공법 또한 적절하게 제시하고 있다(Ministry of Construction & Transportation, 2013). 그러나 표면처리공법이 제시된 구간은 덧씌우기 구간에 비해 포장상태가 양호하여 유지보수 우선순위가 낮은 경우가 대부분이다. 따라서 유지보수 예산이 덧씌우기에 집중되어 예방적 유지보수인 표면처리공법의 시행이 미흡할 수 밖에 없다.

고속도로의 경우에도 주요 유지보수가 덧씌우기인 것은 국도와 비슷하다. 지방도의 시 군도에서 균열실링이나 표면처리공법이 종종 시행되기도 한다. 이는 지방자치단체에서 예방적 유지보수 체계에 의한 유지관리가 아닌 덧씌우기에 비해 비용이 저렴하기 때문에 예산을 고려한 임시적인 시행이 되고 있을 뿐이다. 이것은 도로 유지관리 담당자, 관련 기술자, 연구자, 상위의 의사결정권자 모두가 유지관리 개념이 포장상태가 악화되어 덧씌우기를 할 상태까지 도로가 서비스 능력을 갖추고 있다고 판단하고, 예산의 집행에 있어 시급한 도로에 우선적용 되기 때문이다.

따라서 국내 예방적 유지보수의 효율적인 적용을 위해서는 예방적 유지보수 프로그램이 예산 절감과 도로 이용자에게 편하고 승차감이 좋은 도로 포장을 제시한다는 사실을 인식하여야 한다. 또한 도로포장의 유지관리 체계가 근본적인 유지관리에서 예방적인 유지관리로 전환될 필요가 있다.

2.3. 서울시 균열보수재 시험적용 구간 분석

2.3.1. 시험적용된 균열처리공법의 특성

'09년부터 '14년까지 서울시의 각 도로사업소에 적용된 예방적 유지보수 공법 중 5종의 균열처리공법에 대한 육안조사를 실시하였고 기 시행된 자동포장상태조사장비 조사결과를 활용하여 시공 전·후 도로의 균열보수재 상태를 파악하였다. 조사구간은 균열처리공법이 적용된 노선에 대하여 100m 단위로 샘플링구간을 a공법 3구간, b공법 2구간, c공법 1구간, d공법 1구간, e공법 2구간으로 총 900m 선정하였다. a, d, e 공법의 경우 시공 시 별도의 부분절삭을 하지 않고 채움재 형식의 시공을 진행하는 Filling 방식이며 b, c 공법의 경우는 균열부 표면의 밀봉처리로 시공 시 부분적인 균열부 절삭이 요구된다. 사용된 균열보수재의 특성은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of Crack Treatment Method

| Method | a | b | |
|----------------|--|--|--|
| Type | Rubber polymer modified asphalt | | |
| | Sealing | Filling | |
| Characteristic | - Excellent adhesion and durability | - No dropouts - Anti-slip with aggregate spray after injection | |
| Method | c | d | e |
| Type | Polymer modified asphalt | | |
| | Sealing | Filling | Filling |
| Characteristic | - Low cold resistance and low heat resistance - Vulnerable low temperature adhesion | - Excellent durability and adhesion - High temperature construction | - Low cold resistance and low heat resistance - Vulnerable low temperature adhesion |

2.3.2. 육안조사를 통한 포장상태 및 균열보수재 잔존상태 평가

균열보수재를 사용하여 예방적 유지보수를 진행했음에도 불구하고 표면상태 자동조사장비를 이용한 조사시 적용된 균열보수재의 현장공용성 평가에는 어려움이 있다. 따라서 시공된 균열보수재의 상태를 확인할 수 있는 적용구간의 추가적인 판단이 요구되며 포장상태 평가시 추가적인 반영이 필요하다. 다음 Fig. 1은 균열보수재의 탈락 또는 마모, 균열 상태를 나타낸다.

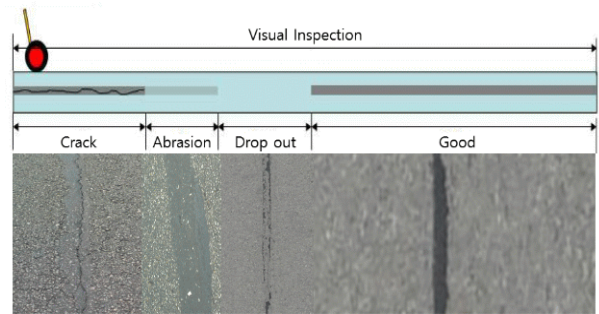


Fig. 1 Crack Repair Condition

따라서 시공된 균열보수재의 상태 파악을 위하여 교통량을 고려한 균열보수재 잔존율 산출식을 제안하였다. 제안 산출식은 다음 Eq. (1)과 같다.

$$\left(\frac{x_g}{L} \times Wg + \frac{x_c}{L} \times Wc + \frac{x_a}{L} \times Wa + \frac{x_d}{L} \times Wd \right) \times \text{Normalized BUS AADT} \quad (1)$$

여기서, Fig. 1과 같이 균열보수재 적용구간 총 연장대비 균열보수재의 상태에 따라 x_g 는 양호(good), x_c 는 균

열보수재의 균열(crack), x_a 로는 마모(abrasion), x_d 는 탈락(dropout)으로 구분하여 각각의 가중치를 두어 정규화된 버스 교통량을 이 계산식에 곱하여 줌으로써 교통량의 영향을 고려한 균열보수재의 잔존상태를 산정하였다.

가중치 산정을 위해 20명의 전문가 리서치를 활용한 다기준 성능평가 기법(Multi-Level Performance Measurement, MLPM)을 통해 파손유형별 가중치를 산정하였다. 다기준 성능평가 기법(MLPM)이란 VE(Value Engineering)에서 사용되는 성능평가 방법의 하나이다 (Kim et al., 2008). 균열보수재 공법 중 균열, 마모, 탈락의 세 가지 파손유형에 대한 균열보수재 성능저하 중요도 지수를 전문가 리서치를 통해 결정하였으며, 결정된 중요도 지수를 각 파손유형에 대한 가중치로 설정하였다. 다기준 성능평가 기법을 이용하여 전문가 자문을 통해 얻어낸 균열보수재의 4가지 상태인 양호, 균열, 마모, 탈락에 대한 가중치는 4.5만점을 기준으로 설정하였으며, 이는 조사구간이 모두 양호한 상태로 가정해 볼 때 최대점수 4.5가 산출되는 것을 나타낸다. 또한, 교통량의 경우 조사구간의 1일 최대 버스 교통량대비 각 구간 1일 버스교통량을 통해 정규화 된 값을 설정한다. 결정 가중치 및 최종 균열보수재 잔존상태 산정식은 다음 Eq. (2)와 같다.

$$\left(\frac{x_g}{L} \times 4.5 + \frac{x_c}{L} \times 1.9 + \frac{x_a}{L} \times 2.6 + \frac{x_d}{L} \times 0\right) \times \text{Normalized BUS AADT} \quad (2)$$

산정결과 탈락의 경우 가중치가 0으로 산정되었다. 이는 균열보수재 탈락의 경우 균열보수재의 성능평가를 기대할 수 없는 수준으로 판단하여 나타난 결과이며, 4.5점을 만점으로 균열보수재 잔존상태를 나타낸다. 또한 정규화 된 교통량을 고려하여 균열보수재의 공용성능을 어느 정도 반영하였다. 조사구간의 각 공법별 100m를 선정하여 산출한 최종 균열보수재 잔존상태는 Table 2와 같다.

Table 2. Characteristics of Surface Treatment Method

| Method | Crack (%) | Abrasion (%) | Dropout (%) | Traffic (Bus) | Crack repair material residual index |
|--------|-----------|--------------|-------------|---------------|--------------------------------------|
| a | 0 | 0.582 | 99.418 | 250.3 | 0.014 |
| b | 0 | 6.637 | 93.363 | 710 | 0.459 |
| c | 51.613 | 12.097 | 36.29 | 100 | 0.485 |
| d | 91.228 | 8.772 | 0 | 267 | 1.961 |
| e | 67.249 | 32.751 | 0 | 117.5 | 0.937 |

분석결과 a공법의 경우 균열보수재 잔존상태가 가장 적게 나타났다. 이는 가중치가 가장 적은 탈락(dropout) 상태가 대부분 차지하고 있어 나타난 결과로 이미 균열보수재의 성능은 없다고 판단할 수 있다. 또한 d구간의 경우 교통량이 가장 많은 상태임에도 균열보수재 잔존상태가 가장 좋은 상태로 나타났으나 4.5만점을 고려해 볼 때 비교적 높은 수치는 아니므로 전반적으로 균열보수재 상태가 열악한 상태로 나타난다. e구간의 경우 비교적 큰 파손 영향요인인 탈락과 마모에 대한 인자가 적으나 교통량이 적어 균열보수재 잔존상태 지수가 적은 것으로 나타나며 이는 균열보수재의 상태뿐만 아니라 교통량 역시 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 상기 결과는 소규모 구간의 제한된 조사결과로부터 분석을 실시하였기 때문에 정확도의 한계가 있을 수 있으므로 균열처리공법의 추가적인 추적조사를 통하여 다양한 조사결과로부터 도출된 영향인자에 대한 가중치를 개선하여 정확도를 개선시킬 필요가 있다.

2.4. 서울시 표면처리공법 시험적용 구간 공용수명 예측

2.4.1. 시험 적용된 표면처리공법의 특성

현재 서울시의 표면처리공법 적용구간 4,350m는 시설관리공단을 포함한 각각 다섯 개의 도로사업소별 A~D의 네 가지 표면처리공법을 시험적용 하였다. 각 공법별 적용구간은 A공법 1,470m, B공법 570m, C공법 1,440m, D공법 870m으로 구간별 연장 및 표면처리공법이 일부 상이하게 적용되었으며 본 연구에서 표면처리공법의 공용수명 분석 시 시공 전 아스팔트 포장의 재료는 모두 동일한 가정으로 진행하여 분석결과에서는 배제하였다. 또한 실제 시공 시 포장상태가 예방적 유지보수 적용단계가 아닌 이미 균열이 상당히 진행된 상태에서 표면처리공법이 적용되었음을 감안하여 PCI분석 시 고려하였다. 시험 적용된 A공법은 도막식 표면처리공법이며 이를 제외한다면 나머지 공법은 칩투식 표면처리 방식을 사용한다. 도막식

Table 3. Characteristics of Surface Treatment Method

| Method | A | B | C | D |
|--------------|---|---|--|--|
| Type | Coating | Penetration | Penetration | Penetration |
| Dis-tinction | - Slide resistance - No compaction process - Adjustable roughness | - Internal air void fill with infiltration coating - Prevention of water penetration | - Excellent chemical resistance - Preventing port-holes by forming a waterproof layer | - Excellent peel resistance - Hardening speed is fast |

표면처리공법인 A공법은 다른 침투식 표면처리공법에 비해 두께가 크며 부분적인 소성변형에 대한 평탄성 조정이 가능하다. 침투식 표면처리공법은 일반적으로 박리저항에 대한 성능이 우수한 것이 특징이다. 각 표면처리 공법에 대한 주요 특징은 Table 3과 같다.

2.4.2. 육안조사를 통한 포장상태평가

일반적으로 포장상태자동조사장비를 활용한 조사 시 표면처리공법적용 구간의 표면 골재박리 및 열화는 누락되고 있다. 따라서 표면처리공법 적용구간에 대해서 육안조사를 실시하였으며 표면처리 적용 시기는 추적조사가 이루어지지 않아 표면상태 조사에 의한 PCI산정 및 연도별 추정을 통해 공용수명을 예측하고자 한다. 포장상태평가를 위해 ASTM D6433을 통하여 아스팔트 포장손상 19가지 유형에 대한 표면상태조사 및 육안조사를 실시하고 Micro PAVER 프로그램을 이용하여 포장상태지수인 PCI를 계산하였다. Micro PAVER는 미공병단에서 개발하여 현재 지속적으로 업데이트되며 세계적으로 널리 활용되고 있는 포장 평가 및 관리 시스템이다(An et al., 2003).

Table 4. PCI by Surface Treatment Method

| Method | PCI | Load | Climate | Others |
|--------|-----|------|---------|--------|
| A | 94 | 34 | 66 | 0 |
| A | 35 | 71 | 29 | 0 |
| A | 88 | 0 | 100 | 0 |
| A | 63 | 59 | 39 | 2 |
| A | 66 | 89 | 2 | 9 |
| A | 99 | 0 | 0 | 100 |
| B | 47 | 33 | 66 | 1 |
| B | 86 | 72 | 28 | 0 |
| B | 54 | 53 | 13 | 34 |
| C | 33 | 70 | 30 | 0 |
| C | 55 | 84 | 16 | 0 |
| C | 37 | 66 | 31 | 3 |
| C | 44 | 58 | 21 | 21 |
| C | 54 | 79 | 0 | 21 |
| D | 61 | 55 | 45 | 0 |
| D | 57 | 51 | 49 | 0 |
| D | 66 | 61 | 24 | 15 |
| D | 63 | 61 | 25 | 14 |

조사결과 파손유형 중 망상균열과 종 방향균열이 대부분으로 나타났으며, PCI 변화에 주된 영향을 미치는 인자는 Load, Climate, Others로 나타낼 수 있다. Load는 교통량 등 하중에 대한 파과 영향인자를 의미하고, Climate는 강우, 폭설 등 온도와 기후변화에 의한 파과 영향인자이며, Other는 상기 두 가지 원인 이외의 도로하부 노상지력저하 또는 시공불량 등을 의미한다.

분석결과 주된 영향인자는 Load이며 Climate, Others 순으로 나타났다. 이는 이미 균열이 상당부분 진행된 상태에서 표면처리 공법이 적용되어 나타난 결과이며 주된 파손유형인 망상균열과 종 방향균열은 중차량 하중 또는 피로하중에 의해 발생하는 균열 형태이다. 그러나 표면처리공법은 균열보수재와 마찬가지로 균열에 대한 저항성을 가지고 있는 예방적 유지보수 공법으로 시험구간이 이미 균열이 진행된 상태에서 시공된 것을 고려하여 균열에 대한 저항성 평가를 추가적으로 실시하였다. 각각의 표면처리공법의 적용 전과 적용 후의 균열율에 대한 비교결과를 Fig. 3에 나타내었다.

각 공법이 적용된 구간에 대해 적용직후 '13년도의 균열율을 0으로 가정하고 적용전 '12년도의 균열율과 적용 후 2년 뒤인 '15년도의 균열율을 비교하였다. 분석결과 적용 전의 기울기(A)와 적용 후의 기울기(B)의 비를 활용하여 적용 공법의 균열에 대한 저항성을 상대

| ASPHALT SURFACED ROADS AND PARKING LOTS CONDITION SURVEY DATA SHEET FOR SAMPLE UNIT | | SKETCH : | | | | | | |
|--|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| BRANCH | SECTION | SECTION | SAMPLE UNIT | | | | | |
| SURVEYED BY | DATE | DATE | SAMPLE AREA | | | | | |
| 동북구청 | 10/20/15 | 10/20/15 | 8.21m ² | | | | | |
| 1. Alligator Cracking 6. Depression 11. Patching & Uni Cut Patching 16. Shoving 2. Bleeding 7. Edge Cracking 12. Polished Aggregate 17. Slippage Cracking 3. Block Cracking 8. R. Reflection Cracking 13. Potholes 18. Swell 4. Bumps and Sags 9. Lane/Shoulder Drop Off 14. Railroad Crossing 19. Weathering/Scaling 5. Corrugation 10. Long & Trans Cracking 15. Rutting | | | | | | | | |
| DISTRESS | SEVERITY | QUANTITY | | | | TOTAL | DENSITY % | DEDUCT VALUE |
| 7M | 4.2, 4.5, 4.2, 4.5 | 1.2, 1.2, 1.2, 1.2 | 0.6, 0.6, 0.6, 0.6 | 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 | 2.0, 2.0, 2.0, 2.0 | 1.2, 1.2, 1.2, 1.2 | 25.0, 25.0, 25.0, 25.0 | 4.0, 4.0, 4.0, 4.0 |
| 11L | 1.8, 1.8, 1.8, 1.8 | 0.3, 0.3, 0.3, 0.3 | 0.1, 0.1, 0.1, 0.1 | | | | | |
| 10M | 6.9, 2.6, 0.9 | | | | | | | |
| 10L | 4.2, 2.1, 0.5, 2, 3.1, 4.2, 3.08, 1.9, 0.9 | | | | | | | |
| 13 | 3.1, 1.25, 0.65, 2.1, 1.3, 2.1, 4, 1.2 | | | | | | | |
| 0.85 | 3.1, 2.1, 0.65, 1.14, 0.6, 3.08, 2.1, 6 | | | | | | | |
| 15 | 1.1, 1.25, 0.97 | | | | | | | |

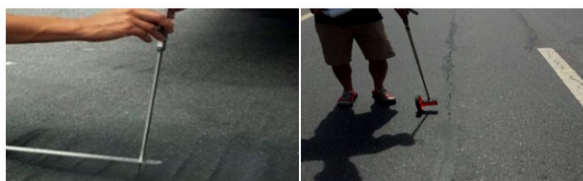


Fig. 2 Visual Inspection Spread Sheet Sample

ASTM D6433에 의한 PCI는 포장 표면에서 관찰되는 파손에 기반하여 포장상태 측정치를 1~100까지의 지수로 나타내며 이를 통해 유지보수 및 적합한 공법을 결정하기 위한 객관적이고 합리적인 조사방법이다 (ASTM D6433, 2015). 각 공법별 PCI 산정결과는 Table 4와 같다.

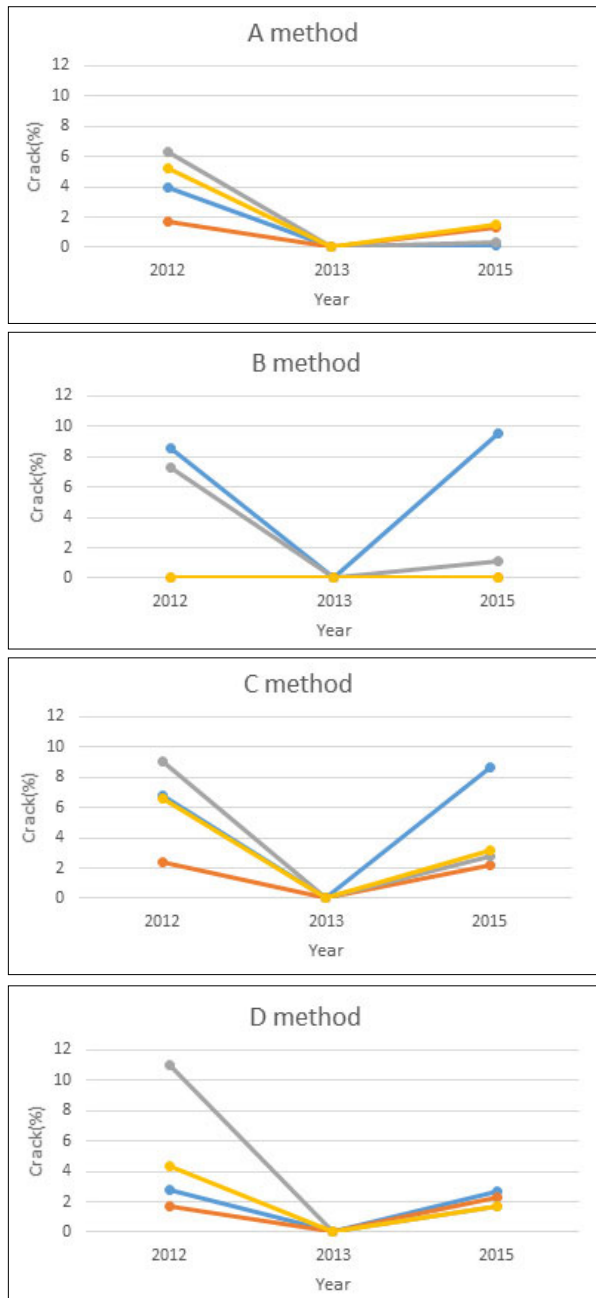


Fig. 3 Crack Change by Year

적인 값으로 평가해 볼 때 '13년도를 시공기준으로 '12년도의 균열율에 비해 '15년도의 균열율이 비교적 줄어든 것을 알 수 있었다. 이는 대부분의 공법이 균열에 대한 저항성을 어느 정도 나타내고 있다는 것을 의미한다. 즉, 공법 A와 D가 상대적으로 양호한 균열저항성을 보이고 있다. 이는 표면처리 공법이 균열저항성을 나타내는 것으로 판단된다.

결과적으로 Climate의 경우 Load 다음으로 큰 영향 인자로서 본 표에서도 알 수 있듯이 상단구간은 기후변화에 의한 영향도 동시에 작용하고 있음을 알 수 있다. 비록 예방적 유지보수 적용구간이 이미 포장파손이 상당

히 진전된 구간에 적용하여 하중에 의한 파손영향이 가장 크지만 기후에 의한 영향 역시 이에 못지 않게 상당수 작용하고 있기 때문에 적정 유지보수 공법 및 적용구간 평가 시 자동조사장비 결과 이외에도 육안조사를 통한 정성적인 평가결과가 함께 고려되어야 함을 나타낸다.

2.4.3. PCI를 통한 공용수명 예측

일반적으로 PCI 60을 기준으로 포장 보수시기를 판단하고 있으며 조사구간의 PCI결과 30~100으로 포장 상태가 다양하게 나타나고 있다. 대부분의 경우 표면처리공법 시공 연도가 불분명하고, 지속적인 추적조사가 진행되어 있지 않아 시공 후 2년이 경과되었다는 가정하에 3개의 사업소를 선정하여 공용수명 예측을 진행하였다. '13년 7월 표면처리공법 시공 시 PCI 100을 기준으로 포장파손형태를 고려하여 '15년 7월 까지 약 2년간의 6개월별 PCI를 추정하였다. 각 공법의 기간별 추정 PCI값은 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Periodic Estimation PCI of Each Method

| Period | A | | | Average | B | | Average |
|---------------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|---------|
| | | | | | | | |
| 0.00 ('13.7) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.40 ('13.12) | 97 | 81 | 100 | 92.7 | 92 | 73 | 82.5 |
| 1.00 ('14.7) | 93 | 71 | 100 | 88 | 90 | 65 | 77.5 |
| 1.40 ('14.12) | 90 | 66 | 100 | 85.3 | 88 | 59 | 73.5 |
| 2.00 ('15.7) | 88 | 63 | 99 | 83.3 | 86 | 54 | 70 |
| Period | C | | | Average | D | | Average |
| | | | | | | | |
| 0.00 ('13.7) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.40 ('13.12) | 73 | 63 | 69 | 68.3 | 82 | 77 | 79.5 |
| 1.00 ('14.7) | 64 | 53 | 62 | 59.7 | 76 | 71 | 73.5 |
| 1.40 ('14.12) | 58 | 44 | 57 | 53 | 71 | 66 | 68.5 |
| 2.00 ('15.7) | 55 | 37 | 54 | 48.7 | 57 | 63 | 60 |

산정결과 6단위로 PCI 감소를 확인할 수 있으며 공법별 PCI값의 평균을 산정하였다. 또한 공법별 평균의 연간 감소율을 추세선을 활용하여 'PCI=60'에 도달할 때의 공용수명을 예측하였다. 즉, 시공 이후의 PCI의 경향을 분석하여 보수기준인 'PCI=60'까지의 공용수명

을 예측한 것이다. 분석결과 A, B, D, C공법 순으로 나타났으며 각각 4.5년, 2.5년, 2년, 1.3년으로 분석되었다. 각 공법별 공용수명 예측 결과는 Fig. 4와 같다.

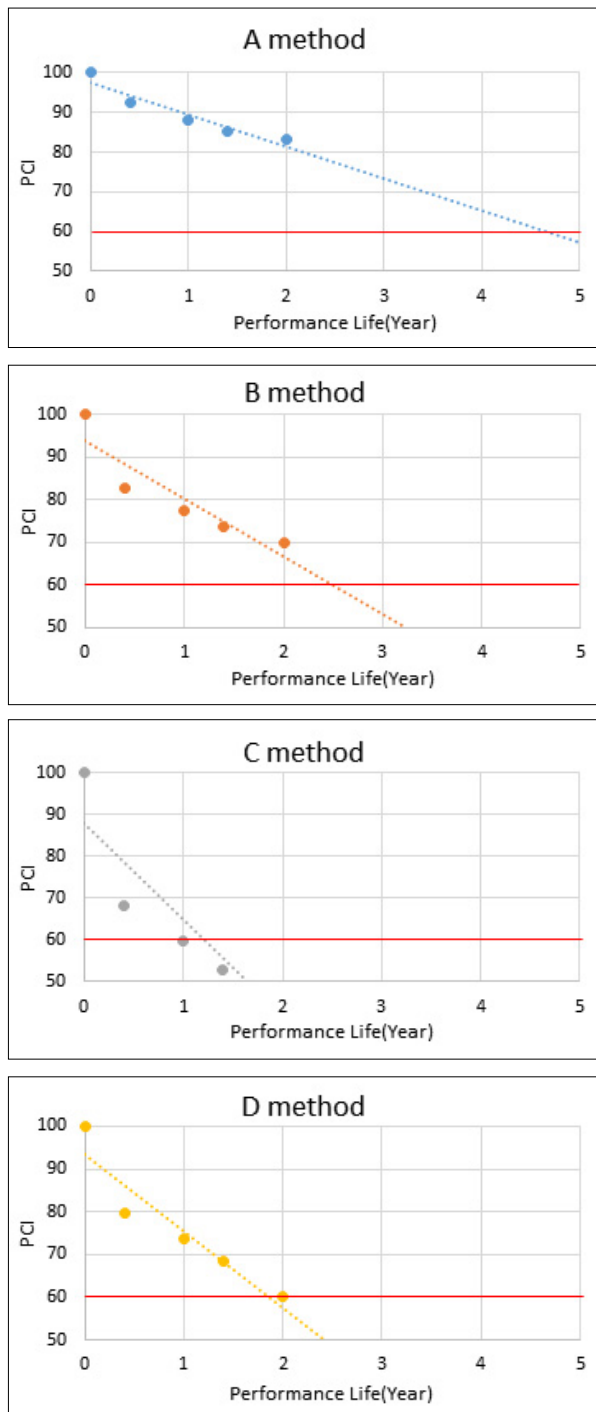


Fig. 4 Performance Life Prediction by Each Method

2.5. 경제성 분석

2.5.1. 중점관리구간 생애주기비용 분석

일반적으로 도로포장공사를 포함한 모든 건설공사는 대상 구조물의 사업발굴 등 기획과 타당성 분석 후 기본

및 실시설계 단계로부터, 자재, 인력, 장비 등의 조달과 본격적인 시공단계, 그리고 준공 및 공용 후의 대상구조물의 전 생애에 걸친 유지관리 및 운영단계를 거쳐 공용수명을 다한 구조물의 해체 및 폐기처분 단계로 이어지는 생애주기를 가지게 되며 이러한 각 단계별 발생 비용의 합을 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC)이라 한다. 즉, 기획설계비용(Construction cost), 운영관리비용(Operation Maintenance cost), 그리고 시설물 해체 및 폐기처분비용(Disposal cost)으로 생애주기비용이 구성되어 있다.

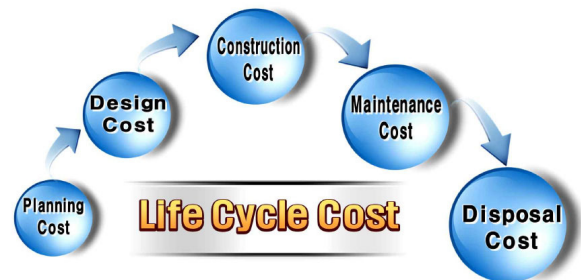


Fig. 5 Life Cycle Cost for Construction

경쟁관계에 있는 여러 대안들 중에서 최적의 대안을 선정하기 위하여 생애주기비용을 분석하는 경우에는 대안별 비용의 차이가 있는 항목만을 분석 대상으로 하고 이미 지출된 비용에 대해서는 고려하지 않고 분석을 진행한다. 따라서 본 생애주기비용분석에서는 이미 시공된 도로포장구간에 대하여 적합한 유지관리 전략을 선정하는데 목적을 두고 있으므로 기획설계, 시공, 해체 및 폐기처분 비용을 제외한 운영관리 비용만을 분석하였다. 또한 표면처리공법의 공용수명 및 표면상태 조사 결과를 볼 때 절삭 덧씌우기 시공직후의 표면 상태와 PCI값이 비슷한 수준으로 나타날 것으로 판단된다. 결과적으로 아스팔트 콘크리트포장의 예방적 유지보수 공법중 하나인 표면처리공법과 일반적인 보수공법인 절삭 덧씌우기 공법을 비교하여 최적의 유지관리 전략을 위한 적정 단가에 대한 분석을 실시하였다.

2.5.2. Real Cost Program을 통한 경제성 분석

생애주기비용분석을 위해 미연방도로국(Federal Highway Administration, FHWA)에서 개발된 Real cost v.2.5를 이용하였다. Real cost 프로그램은 공용수명동안 교통량, 사용자 시간가치, 지·정체에 의한 시간 및 비용, 분석기간, 작업구간의 주행속도 및 할인율, 작업일수 등 여러 변수를 고려하여 운영관리비용인 관리자 비용과 사용자 비용을 산출할 수 있는 프로그램이

다. 분석 시 고려되는 변수는 다음 Table 6과 같다.

Table 6. Real Cost Input Data

| Data | Contents |
|------------------------------|--|
| Traffic | - Bus traffic volume by section('14) - Bus AADT |
| Value of user time | No change in price |
| Added vehicle time and cost | '15 NCHRP |
| Analysis period | 40years |
| Work zone speed | 40km/h |
| Discount rate | 4% |
| Work zone duration and hours | - Overlay 5,000m ² , surface treatment 2,000m ² - Work time (22:00~06:00) |

교통량 변수로는 '14년 버스 통행량을 이용한 구간별, AADT, 행선별 AADT, AADT 트럭 비율, AADT의 트럭 및 버스 비율을 산정하고 미국 캘리포니아 DOT (Department of Transportation)에서 개발한 생애주기비용분석 절차 매뉴얼에서 평지 값을 적용하였다. 사용자시간가치의 경우 통행시간가치라고도 하며 공사나 사고 등으로 인한 통행시간의 증가로 비롯된 산업 및 여가활동에 손실 시간의 가치를 비용으로 산출한 것이며 분석 시 물가상승 지수값의 변동은 고려하지 않는 것으로 적용하였다. 지·정체에 의한 시간 및 비용 설정으로 공사 또는 사고에 의한 구간의 통행시간이 증가함에 따른 시간의 비용을 산출한 것으로 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)에서 1,000대의 차량이 특정속도에서 변화하여 다시 본래의 속도로 돌아갈 때의 시간 및 비용을 기초로 하여 산정하고 있으며 Real Cost v.2.5에서는 '15년의 NCHRP값으로 설정되어 있다(NCHRP report 523, 2016).

분석기간으로는 미연방도로국(FHWA)에서 생애주기비용 분석기간을 일반적으로 35~40년을 제안하고 있으며 본 연구에서는 유지관리전략을 동일한 조건에서 분석하기 위하여 최대 40년으로 적용하였다. 작업구간의 주행속도 설정의 경우 기본설정인 40km/h를 적용하였으며 할인율의 경우 시설물의 미래가치를 현재가치로 환산하는 것으로 미연방도로국에서는 생애주기비용분석 시 일반적으로 3~5%를 제안하므로 분석 시 평균값인 4%를 적용하였다. 사용자비용 산출에 상당히 큰 비중을 차지하는 작업일수 항목으로는 일위대가 및 표준 품셈 자료를 이용하여 절삭 덧씌우기 1일 시공량 5,000m², 예방적 유지보수 공법 1일 시공량 2,000m²으

로 설정하였으며 작업시간의 경우 서울시의 도심지 특성을 고려하여 야간작업(22:00~06:00)으로 설정하였다. 각 공법별 생애주기소요비용 차트는 Fig. 6과 같다.

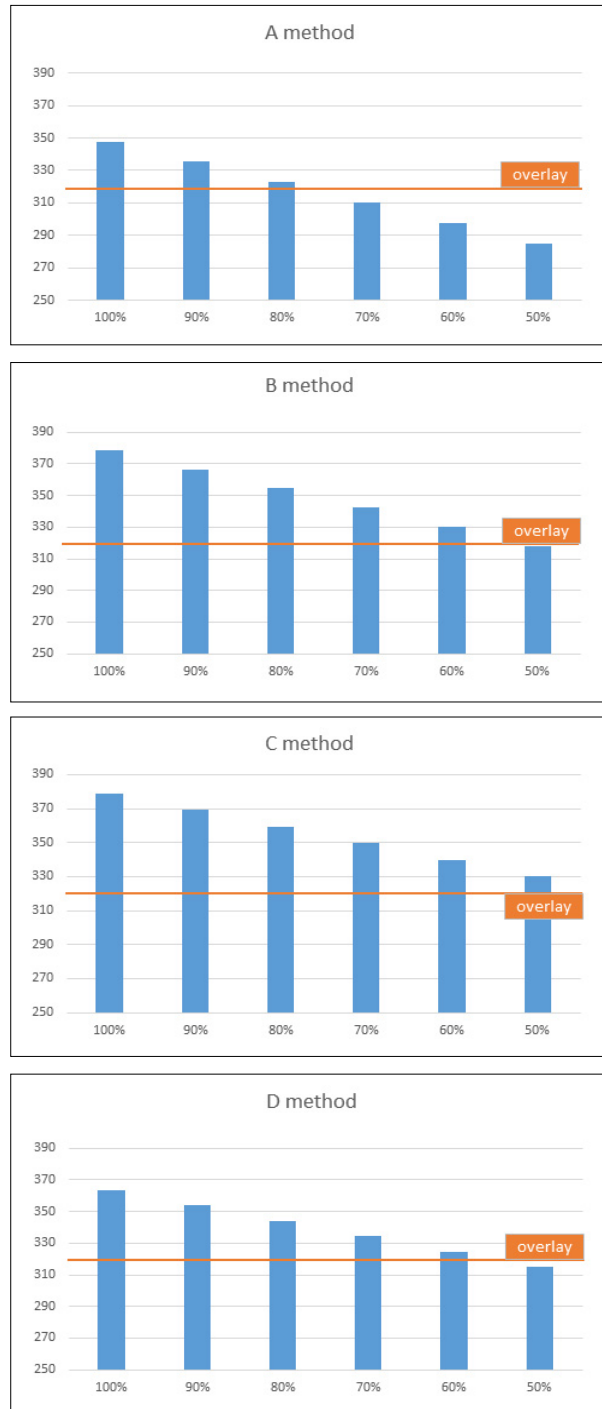


Fig. 6 LCC Analysis for Each Construction Method

이와 같이 다양한 변수를 적용하여 동일한 시공범위의 각 표면처리공법별 공용수명동안 절삭 덧씌우기와 비슷한 수준의 포장상태를 유지한다는 가정 하에 절삭 덧씌우기 제안단가를 기준으로 각 공법들의 생애주기비용 분석을 진행하였다. 분석결과 Fig. 6의 절삭 덧씌우

기 제안단가를 기준으로 A공법의 경우 제안단가의 약 75% 정도의 수준에서 적정성이 확인되었고, B공법의 경우 약 63%, C공법 약 40%, D공법 55%로 산정되었다. 단, 본 연구는 시험적용된 공법들의 현장 제약조건에 의해 실험 데이터 취득이 어려운 구간에 대해서는 가정된 기초 공용성을 사용하였고 인접 포장구간을 원 포장상태 비교구간으로 선정하여 평가한 결과를 제시한 것이므로 다소의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 가정에 의한 오차를 줄이고 연구결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 적용구간에 대한 공사이력을 충분히 확보할 수 있는 구간을 선정하여 장기적인 추적조사 및 분석을 실시해야 한다.

3. 결론

본 연구에서는 예방적 유지보수 중 균열처리공법의 현장 공용성과 표면처리공법의 공용성 및 경제성을 분석하였으며 정리하면 다음과 같다.

1. 균열처리공법의 현장 성능을 평가하기 위해 재료의 물성보다 균열보수재의 포장면 잔존상태와 교통량 영향을 고려하였으며, 평가 결과 탈락, 균열, 마모 순으로 균열보수재의 공용성에 미치는 영향이 크다.
2. 표면처리공법 적용구간의 경우에는 기존 이력정보 누락 때문에 초기 성능에 대해 추정된 PCI값을 사용하여 경향분석을 실시하였고 성능이 저하되어 보수 기준에 도달할 때의 PCI에 대한 공용수명을 예측하였다. 예측 결과 도막식 표면처리공법의 경우 4.5년, 침투식은 1.3년~2.5년으로 나타났다. 파손 원인으로서는 하중에 의한 것이 가장 크고 다음으로 기온, 강수량 등 환경영향에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.
3. 각 공법의 현재 적용중인 단가에 대한 생애주기비용을 분석하였으며, 표면처리공법의 공용수명 향상은 이미 검증된 바이나 현재 적용중인 단가를 함께 고려할 때 절삭 덧씌우기 대비 경제성이 비교적 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.
4. 결과적으로 예방적 유지보수 공법의 경우 현재 포장상태장비로 조사 시 평가가 불가능한 표면막리 및 열화 등을 고려하기 위해서는 포장평가지수 뿐만 아니라 육안조사를 통한 정성적 평가를 함께 반영할 수 있는 방안이 필요하다.
5. 현재 사용되고 있는 표면처리공법 적용단가와 본 연

구의 생애주기비용 분석을 반영한 제안단가는 차이가 있을 수 있다. 그 이유는 본 연구의 제안단가는 대상공법들의 초기 성능과 함께 지속적 추적조사를 통하여 성능 변화를 측정하고 공용수명을 산정했어야 하나, 현장 여건이 어려워 일부 성능에 대해서는 초기 가정값을 근거로 성능변화를 추정하고 경제성 분석을 실시하였기 때문이다. 따라서 실제 제안단가의 적용을 위해서는 기존 시장 형성가격으로부터 단계적인 단가 조정을 시도해야 할 것이다. 즉, 초기 성능부터 공용을 통한 성능 변화 결과를 재산정하고 추가적인 경제성 분석을 통해 표면처리공법의 공용수명 개선 정도를 정량화하여 적용함으로써 현 단가에서 단계적인 조정이 시행되어야 한다.

6. 국내 적용되는 예방적 유지보수의 경제성 및 효율성 확보를 위해서는 교통량이 확보된 연속적인 구간에 시험포장을 실시하고 장기 공용성 추적조사가 가능하도록 체계적인 계획하에 지속적인 성능조사가 진행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 인덕대학교 교내 학술연구 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- American Society for Testing and Materials 2015, "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys".
- An, Deok Soon, Kwon, Soo Ahn, and Suh, Young Chan, 2003. The Study On Customization for Domestic Application of Micro PAVER, Vol. 5. 21
- Federal Highway Administration Office of Technology Applications McGennis, R.B., R.M. Anderson, T.W. Kennedy, and M. Solaimanian, 1994. Introduction to Superpave Asphalt Mixture Design," Washington, DC.
- Federal Highway Administration Office of Technology Applications McGennis, R.B., R.M. Anderson, T.W. Kennedy, and M. Solaimanian, 1996. Introduction to Superpave Asphalt Mixture Design," Washington, DC.
- International Journal of Highway Engineering Technical Paper 2014. The Case Study of Field Application for Preventive Maintenance Methods, International Journal of Highway Engineering, Vol. 16. p37-38
- Kim, Nak Seok and Jin, Jung Hoon, 2011. A Study on Field Application of Preventive Maintenance Method for Flexible Pavement, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 31 p565.
- Kim, Sung Hun, Park, Heung Min, and Lim, Jong Kwon, 2008. Multi-Level Performance Measurement for Value Engineering

of Large-Scale Construction Projects, Save International Proceedings, Vol. 48.

Korea Ministry of Construction & Transportation, 2013, "Road Pavement Maintenance Manual" .

NCHRP Report 523, Peshkin, D.G., T.E. Hoerner, and K.A.

Zimmerman, 2016. Optimal Timing of Pavement Preventive Maintenance Treatment Applications, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC.