

서울시 중앙버스전용차로 포장방법 개선방안 연구

A Study on the Improvement of Pavement for Bus Rapid Transit System in Seoul

배윤신 Bae, Yoon Shin
권완택 Kwon, Wan Taeg
이상염 Lee, Sang Yum

정희원 · 서울연구원 안전환경연구실 부연구위원 (E-mail : ysbae@si.re.kr)
정희원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 · 교신저자 (E-mail : kwt7777@nate.com)
정희원 · 서울시 도로포장연구센터 연구원 (E-mail : slee11@seoul.go.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to suggest the improvement for bus rapid transit system in Seoul

METHODS : The maintenance cost for bus lane damages and plastic deformations are increased by bus passing speed, heavy bus weight, and climate change (localized torrential downpour, subtropical climate) and the accident risk has been increased.

RESULTS : Recent analysis of pavement damage indicates that bus lane damage caused by heavy weight is overwhelming and it is urgent to prepare countermeasures.

CONCLUSIONS : Pavement data of bus rapid transit system, bus transit numbers and pavement damage elements were analyzed. By analyzing pavement maintenance, design and construction, the countermeasures for the improvement of bus lane pavement and effective maintenance were suggested.

Keywords

bus rapid transit system, road damage, pavement

Corresponding Author : Kwon, Wan Taeg, Doctoral Degree
Department of Transportation Engineering, The University of Seoul. 163
Seoulslripdaero(90, Jeonnonng-dong), Dongdaemun-gu, Seoul, 130-743, Korea
Tel : +82.2.2133.8152 Fax : +82.2.2133.0765
E-mail : kwt7777@nate.com

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 21, 2014 Revised Apr. 7, 2014 Accepted May. 30, 2014

1. 서론

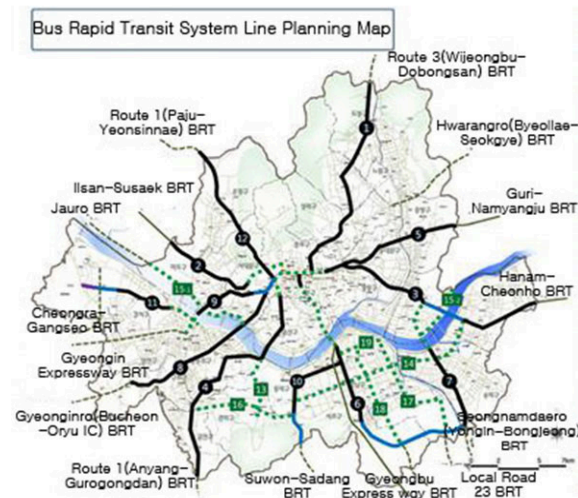
중앙버스전용차로 포장은 최근 버스 통행속도 증가, 차량 증량화와 기후변화(국지성 집중호우, 아열대화) 등으로 중앙차로의 파손 및 소성변형이 증가하여 유지비용이 과다해지고 안전사고위험도 커지고 있다. 최근 서울시 도로포장 파손원인을 분석해보면 버스하중으로 인한 도로파손(버스전용차로)이 압도적으로 많은 것으로 나타나 이에 대한 대책이 시급하다. 이에 따라 서울시 버스차량 포장현장 자료조사 및 영향분석과 중앙버스전용차로의 포장방법 개선을 통한 효율적 유지관리방안 및 정책제안에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 서울시 버스전용차로 포장현황 자료조사 및 내용검토, 버스전용차로 내 버스통행량 조사와 포장파손 영향분석, 중앙버스전용차로 도로포장 유지관리 방안 검토와 도로포장 설계 및 시공현황 조사를 통하여 중앙버스전용차로의 포장방법 개선과 효율적 유지관리방안을 제시하였다. 세부적으로 버스하중이 도로포장 파손에 미치는 영향과 서울시 버스전용차로의 파손상태, 버스하중으로 인한 도로포장 파손 감소대책, 파손된 버스전용차로의 효율적 보수 및 유지관리 방안, 중앙버스전용차로의 포장방법 개선방안에 대하여 서술하였다.

2. 서울시 중앙버스전용차로 관리현황

2.1. 서울시 중앙버스전용차로 현황

2012년말 현재 중앙버스전용차로가 시행되고 있는 도로축 수는 12개이며, 총 도로연장은 115.3km이다. 이 중 2007년 이전 개통노선은 천호대로, 도봉미아로, 수색성산로, 강남대로, 망우로, 경인마포로, 시흥한강로 등 7개 노선(67.9km)으로 초기 유색 아스콘에서 개질 아스팔트로 전면 교체되었다. 2008년~2009년 개통노선으로는 송파대로, 통일로 1단계, 공항로1, 동작신반포로, 노량진로, 양화신촌로 등 6개 노선(24.7km)으로, 주행로는 개질아스팔트, 정류소 및 교차로는 반강성포장으로 시공되었다. 최근 2010년~2012년 개통노선은 공항로, 통일로 2단계, 왕산로, 천호대로 BRT 등 4개 노선(22.7km)으로 2010년초 강추위와 폭설로 인한 반강성포장 파손이 심하여 2010년 이후에는 반강성포장이 미채택되어 개질아스팔트로 시공하여 개통되었다.



| Legend | | | | | | |
|--------|--------------------|-------------------|-----------|---------|-----------------------|-----------|
| | | Operation | '12 | '13-'14 | after '15 Exam Object | |
| No. | Road Axis Name | Total length (km) | Operation | '12 | '13-'14 | after '15 |
| | | 223.3 | 114.3 | 1.0 | 19.2 | 88.8 |
| 1 | Dobong Miao | 15.8 | 15.8 | | | |
| 2 | Susaek Seongsanro | 9.9 | 6.8 | | | 3.1 |
| 3 | Cheonhodaero | 16.0 | 12.7 | | 3.3 | |
| 4 | Siheung Hangeongro | 17.7 | 17.7 | | | |
| 5 | Mangu Wangsanro | 14.3 | 10.4 | | | 3.9 |
| 6 | Gangnamdaero | 21.3 | 5.9 | | 9.7 | 5.7 |
| 7 | Songpa Jayangro | 9.6 | 5.6 | | | 4.0 |
| 8 | Kyeongin Maporo | 16.2 | 12.1 | | 1.2 | 2.9 |
| 9 | Yangwha Sinchonro | 7.5 | 5.2 | | 1.0 | 1.3 |
| 10 | Dongjak Sinbanporo | 8.4 | 6.2 | | 2.2 | |
| 11 | GongHengro | 10.3 | 4.8 | 1.0 | 1.6 | 2.7 |
| 12 | Tongil-Ujiuro | 11.6 | 11.1 | | | 0.5 |
| 13 | Gwanakro | 6.1 | | | | 6.1 |
| 14 | Teheran Olympicro | 14.7 | | | | 14.7 |
| 15 | Gangbyeon Express | 12.8 | | | | 12.8 |
| 16 | Nambusunhwanro | 7.6 | | | | 7.6 |
| 17 | Yeongdongdaero | 10.9 | | | | 10.9 |
| 18 | Eonjiuro | 9.3 | | | | 9.3 |
| 19 | Dosandaero | 3.3 | | | | 3.3 |

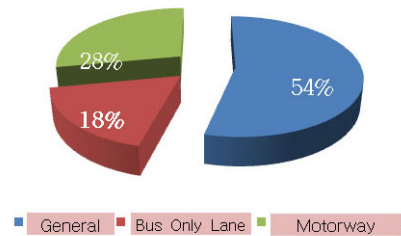
Fig. 1 Bus Rapid Transit System Line Planning Map in Seoul

향후 중앙버스전용차로 계획은 Fig. 1과 같이 18개축으로 기존 노선 연장을 포함하여 108km이다.

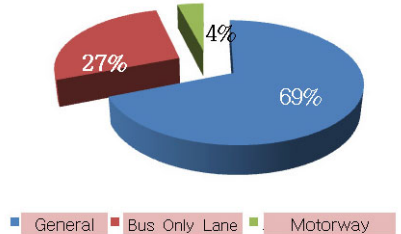
2.2. 중앙버스전용차로 시행 중 문제점

2.2.1. 서울시 버스전용차로 파손영향 분석

2004년 서울시 대중교통체계 개편작업과 함께 중앙버스전용차선 제도가 도입된 이래 버스전용차로에 중하중(버스하중)이 집중되면서 포장파손(소성변형)이 발생하여 포장 수명에 큰 영향을 미치고 있다. Fig. 2는 2009년 1월 포트홀 발생 및 보수실적을 보여준다. 버스전용차로의 포트홀 개소 비율(18%) 및 포트홀 건수 비율(27%)을 보면 버스전용차로의 비율이 상당히 높고, 중하중(버스하중)이 포장파손에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.



(a) Site of Pothole occurrence



(b) Pothole repairing rate

Fig. 2 Pothole Occurrence and Repair in 2009.01

2.2.2. 버스전용차로 보수이력 관리

서울시 중앙버스전용차로 관리의 Table 1과 같이 도시교통본부 교통운영과와 도시안전실 도로관리과로 이원화되어 있다.

Table 1. Maintenance Present Condition of Bus Rapid Transit System

| Division | Basic & working design | Construction | Maintenance |
|---------------------|---|---|---|
| Location department | City Transportation Headquarters (Transportation System Bureau) | Metropolitan Infrastructure Headquarters (Civil Division) | Urban Safety Office(Road Management office) |

도로관리과(도로포장팀)는 서울시 도로포장 보수이력 현황을 월별·연도별 소파정비실적현황 및 사업소별 도로 소파보수실적 등으로 관리하며 사업소별 전체 노선에 대한 보수현황만 관리하고 있다. 교통운영과(중앙차로팀)는 노선별 연장, 포장면적, 보수율, 포장보수규모 등에 대한 데이터를 구축하고 있다. 효율적인 현황관리를 위해서는 파손원인, 위치, 교통량에 대한 정보가 필요하다.

3. 서울시 중앙버스전용차로 파손실태 및 원인 분석

3.1. 중앙버스전용차로 파손실태

서울시 포장상태를 확인하기 위하여 서울시내 도로포장 현장조사를 실시하였다. Table 2는 도로파손의 정의 및 메커니즘을 나타내고 있다. Fig. 3은 서울시 중앙버

Table 2. The Definition of Pavement Failure and Cause

| Division | Definition and cause |
|-----------------------|---|
| Permanent Deformation | Consolidation or lateral movement of any of the pavement layers or the subgrade under traffic due to the low air voids, incorrect asphalt grade, lack of compaction, weak asphalt mixtures, mixtures too high in asphalt, etc. (Consolidation, Rutting, Corrugations & Shoving) |
| Crack | Pavement failure due to the excessive loading, weak surface, base, or subgrade, thin surface or base, poor drainage (Fatigue(Alligator) crack, Block crack, Longitudinal (Linear)&Transverse crack, reflection Crack) |
| Pothole | Continued deterioration of another type of distress, such as thawing of a frozen subgrade, cracking, raveling or a failed patch after pieces of the original pavement surface have been dislodged. |

Reference : Wiseong-dong, 2002



Fig. 3 Bus Rapid Transit Pavement Damages

스전용차로 주요 파손실태를 보여준다.

버스전용차로는 버스정류장 부근에서 집중적인 도로파손이 발생한다. 이는 점탄성 재료인 아스팔트 포장의 물성에 기인한 것으로 버스 등의 하중재하속도가 느리거나, 정지하는 정류장에서 가장 작은 탄성계수를 갖게 되며, 동시에 버스가 정차 후 출발하면서 주행차로보다 버스정류장 도로포장에 전단력을 가중시키기 때문으로 판단된다.



Fig. 4 Damages Near Bus Station

또한, 우기 시 배수불량이 발생하면 버스정류장의 파손된 부분에 빗물이 고여 버스가 통과할 때 주·정차 정류장에서 기다리고 있는 시민들에게 빗물이 튀어 불편을 초래한다. 배수불량으로 인해 좌측 차륜부위보다 승객이 승·하차하는 우측 차륜부위에서 파손이 심한 것을 알 수 있다. 따라서 정류장 부근 파손원인 분석과 배수 체계에 대한 총체적인 검토가 필요하다.



Fig. 5 Ponding Near the Bus Station the Rainy Season

3.2. 중앙버스전용차로 도로파손 영향인자

3.2.1. 사용연수와 교통량에 따른 영향

서울시 도로포장 대상의 대부분은 20~30년 이상된 도로이며, 유지보수 시 파손규모에 따라 소파보수, 평삭 및 덧씌우기 등 유지공법을 시행하고 있다. 임영환(2003)의 연구에 따르면 덧씌우기 횟수가 증가함에 따라 차후 유지보수까지 포장의 소요수명이 점차 줄어드는 경향이 나타난다.

Table 3은 덧씌우기 횟수와 사용연수에 따른 도로포장 상태등급을 보여준다. 덧씌우기 횟수가 일정한 경우 Fig. 6(a)와 같이 사용연수에 따라 상태등급이 떨어지며 교통량에 대한 상태등급도 Fig. 6(b)와 같이 교통량 증가에 따라 떨어진다.

Table 3. Pavement Condition Level by Maintenance Record

| years of use \ Number | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|---|---|----|
| 1 | 1level | | 2level | | | | 3level | | | |
| 2 | 1level | 2level | | 3level | | | | | | |
| 3 | 1level | 2level | 3level | | | | | | | |
| 4 | 1level | 2level | 3level | | | | | | | |
| 5 | 1level | 2level | 3level | | | | | | | |
| 6 | 2level | | 3level | | | | | | | |

Source : Korean Society of Road Engineers, 2005

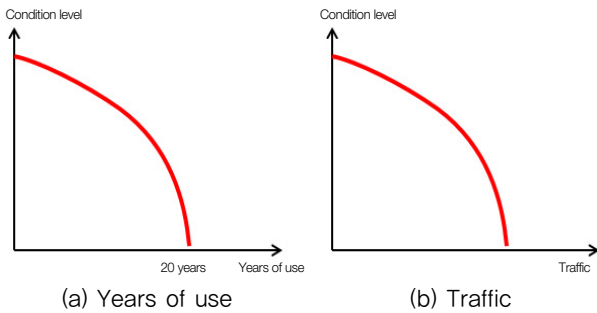


Fig. 6 Condition Level Considering Service Life and Traffic

3.2.2. 도로파손 영향계수

본 연구에서는 버스전용차로 상태등급에 미치는 영향 계수(I)를 사용연수와 교통량의 함수로 다음과 같이 정

의하였다.

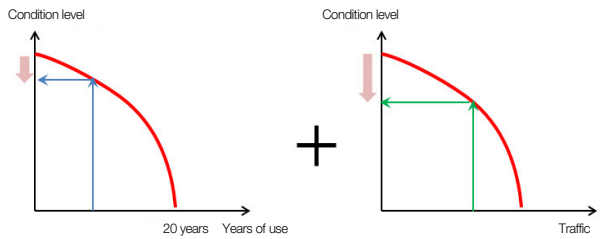


Fig. 7 Condition Level Combining Service Life and Traffic

$$\text{영향계수}(I) = f(\text{사용연수}, \text{교통량}) = \alpha \times \text{사용연수} + \beta \times \text{교통량} \quad (1)$$

여기서 가중치(α, β)는 동일하게 0.5로 부여하였으며 각각의 변수는 표준화하였다.

Fig. 8과 같이 출근시간(오전 9시부터 오전 10시까지)에 교통량 측정을 위하여 2012년 기준 운영 중인 12개 도로축에서 동일노선별 19개 구간을 선정하였다.

Table 4는 19개 구간에서 영향계수(I)와 보수율(포장 보수규모/포장면적)의 관계를 보여주며 Fig. 9는 영향계수(I)와 보수율과의 관계를 그래프로 나타낸다. Fig. 9에서 사용연수와 교통량을 고려한 영향계수가 증가함에 따라 보수율은 급증함을 알 수 있으며 이는 포장의 사용연수 및 교통량 증가에 따른 버스전용차로의 예방적 유지보수 중요성을 보여준다.

Legend

- Cheonho, Hajeong-ro
- Dobong, Mia-ro
- Dongjak-daero
- Gangnam-daero
- Gonghang-ro(one-level)
- Gonghang-ro(two-level)
- Gyeongin-ro
- Hangang-ro
- Mangu-ro
- Mangu-ro Extension
- Mapo-ro
- Noryangjin-ro
- Siheung, Daebang-ro
- Sinbanpo-ro
- Songpa-daero
- Susaek, Seongsan-ro
- Tongil, Uiju-ro
- Tongil-ro(one-level)
- Yanghwa, Sinchon-ro
- Traffic Measurement

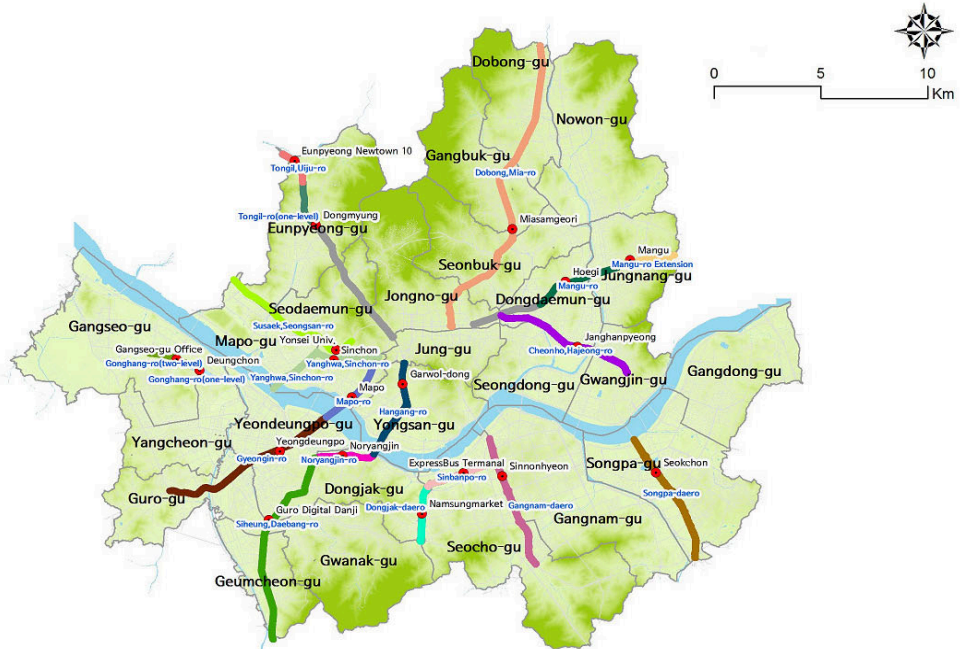


Fig. 8 Measuring Traffic for 19 Sections

Table 4. The Influence Coefficient(I) and the Rate of Return of Section 19

| Roda axis name | Years of use | Traffic | Influence coefficient(I) | Rate of return(%) |
|----------------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------|
| Tongil road(Step 1) | 3 | 118 | 0.334 | 0 |
| Gonghangro(Step 2) | 3 | 119 | 0.335 | 0 |
| Tongil-Uijuro | 5 | 121 | 0.438 | 0 |
| Dongjakdaero | 4 | 161 | 0.451 | 16.58 |
| Gonghangro(Step 1) | 4 | 181 | 0.482 | 12.849 |
| Manguro expend | 3 | 222 | 0.496 | 0 |
| Maporo | 7 | 100 | 0.506 | 18.206 |
| Sinbanporo | 4 | 211 | 0.529 | 10.4 |
| Noryangjinro | 4 | 221 | 0.544 | 41 |
| Yanghwa-Sinchonro | 4 | 253 | 0.594 | 23.181 |
| Gyeongino | 8 | 180 | 0.68 | 86.008 |
| Siheung-Dabangro | 8 | 181 | 0.682 | 111.012 |
| Songpadaero | 5 | 290 | 0.702 | 20.25 |
| Chenho-Hajeongro | 10 | 141 | 0.72 | 110.681 |
| Hangangro | 7 | 270 | 0.771 | 63.359 |
| Gangnamdaero-Samilro | 9 | 231 | 0.81 | 90.047 |
| Manguro | 8 | 271 | 0.822 | 57.434 |
| Dobong-Miaro | 9 | 257 | 0.85 | 96.634 |
| Susaek-Seongsanro | 9 | 321 | 0.95 | 185.802 |

포장의 유지관리 요소별 내구연수에 대한 연구는 해외 사례에서 찾아볼 수 있다. Table 5는 예방유지관리 차원에서 살펴본 미국 여러 주의 도로포장 수명을 나타낸 것이며, 서울시 도로포장의 예방적 유지보수 분석을 위해서는 여러 사례를 통해 적절한 유지관리 및 보수가 필요하다.

도로포장 보수에 영향을 주는 영향계수(I)를 ArcGIS의 자연적 구분법(Jenks의 최적화방법)에 의해 5등급(1등급~5등급, 도로파손위험도)으로 구분하였다.

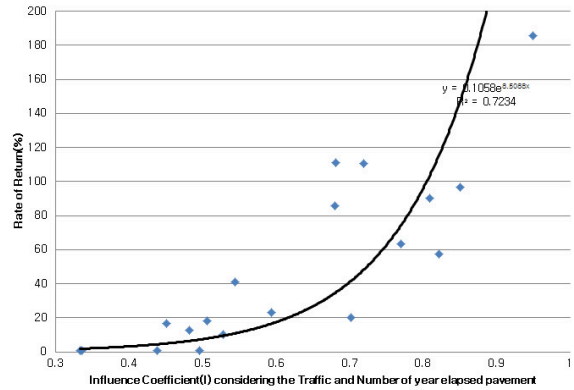


Fig. 9 The Correlation of Influence Coefficient(I) and Repair Rate of 19 Sections

Table 5. The Performance Life of Preventive Maintenance

| Management Agency | Preventive maintenance measures | Performance life | Source | Average life | COV |
|-------------------|---|--|------------------------------------|--------------|----------|
| Oregon DOT | Chipping/Sealing | 3~6 years of good road condition | Parker (1993) | 4.5 years | 0.248452 |
| Indiana DOT | Chipping/Sealing | 38~55 months Average 48 months | Feidhan (1986) | 4 years | 0.204124 |
| Ontario MTC | Ascon Routing/Sealing | 2~5 years | Joseph (1992) | 3.5 years | 0.319438 |
| US Corps of Eng. | Slurry Sealing Surface Treatment Crack Sealing | 3~6 years | Brown (1988) | 4.5 years | 0.248452 |
| | | 3~6 years | | 4.5 years | 0.248452 |
| | | 3~5 years | | 4 years | 0.204124 |
| NY State DOT | Concrete joint cracks Filling Concrete joint cracks Sealing Ascon Rout & Crack Sealing Ascon cracks Filling Thin Asphalt Overlay Surface Treatment | 2 years | NY State DOT (1991) Hahn (1992) | | |
| | | 8 years | | | |
| | | 5 years | | | |
| | | 2 years | | | |
| | | 8 years | | | |
| | | 3 years(Median) | | | |
| NCHRP | Chipping/Sealing Slurry Seal Micro Surface Treatment Thin Asphalt Overlay | 1~6 years | Geoffroy (1996) | 3.5 years | 0.49 |
| | | 1~6 years | | 3.5 years | 0.49 |
| | | 4~6 years | | 5 years | 0.16 |
| | | More than 6 years | | | |
| FHWA | Micro Surface Treatment Slurry Sealing Micro Surface Treatment Chipping/Sealing Thin Asphalt Overlay | 5~7 years | Raza (1994) FHWA (1992) | 6 years | 0.14 |
| | | 3~5 years | | 4 years | 0.20 |
| | | 4~5 years | | 4.5 years | 0.11 |
| | | 4~7 years | | 5.5 years | 0.20 |
| | | 8~11 years | | 9.5 years | 0.12 |
| SHRP | All | It has not been verified for sufficient period | Smith (1993) | | |

Source : Seoul, 2002, White paper safety management road facilities.

Legend



Fig. 10 Road Damage Risk of 12 Axis in Operation

3.3. 중앙버스전용차로 도로파손 원인분석

3.3.1. 버스전용차로 유지관리의 문제점

유지관리 측면 검토결과 다음과 같은 문제점이 나타났다.

- 개통초기 유색포장의 시인성은 좋았으나 시간이 지나면서 탈색과 일부 버스차량의 매연과 누유 등에 의하여 포장색상이 변질되었다.
- 강추위와 강설 등에 의한 수축팽창에 따른 파손율이 일반적으로 아스팔트에 비해 높은 것으로 나타났다.
- 반강성 포장은 겨울철 등 혹한기 파손부위에 대한 응급복구 대처능력이 일반적으로 아스팔트에 비해 떨어진다.
- 중앙차로 포장 교체가 내구성이 가장 저하된 상태에서 이루어져 능동적인 대처에 어려움이 있다.
- 겨울철 혹한(폭설)기 응급상황 대처에 어려움(아스콘 생산 중단 등)이 있다.

3.3.2. 버스정류장에서의 빗물고임으로 인한 파손

도로 노면수에는 도로 부지 내의 강우 및 강설에 의한 우수 및 도로인접지역에서 흘러 들어오는 우수와 융설수가 있으며 도로 노면우수는 지체 없이 집수정을 통하여 배제하며, 이때 이물질에 의한 막힘이 없어야 한다.

측구는 도로노면 위로 흐르는 우수를 배수하기 위하여 노면 양측에 위치하며 횡단경사는 노면배수를 원활히

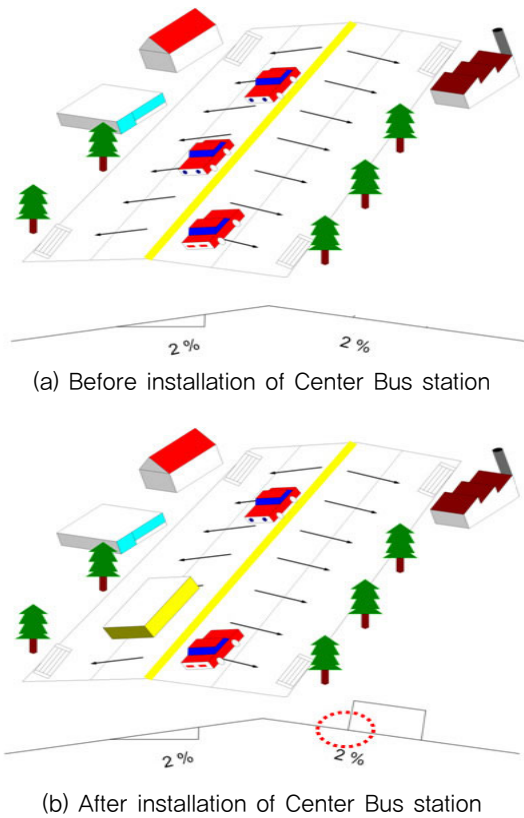


Fig. 11 Cross-Section of Rapid Rransit System Bus Stop

하기 위하여 2% 이상으로 한다. 하지만 중앙버스전용차로 설치에 따라 승객 승·하차를 위한 버스 정류장을 기존 도로 횡단면 위에 설치함에 따라 횡단경사에 따라 흐르는 노면수는 버스 정류장으로 인하여 원활히 배수되기 어렵다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 버스 정류장에 배수시설이 설치되어 있지 않은 경우 빗물은 도로 기층 하부로 침투하여 지반침하를 유발시키고 이는 도로파손의 원인이 되기 때문에 횡단면의 변화에 대한 고려가 필요하다.

수분에 의한 포장파손(수분손상)은 물에 의해 아스팔트 도로포장의 내구성 및 강성이 감소하는 현상이다. 수분손상은 재료 및 시공 등의 영향인자에 의해 진전되는 특성이 있으며, 아스팔트 또는 골재(석분, 굵은골재, 잔골재) 사이의 부착손실 때문에 발생한다. 이외에도 수분손상은 물이 아스팔트 혼합물로 침투하면서 매스틱(아스팔트와 채움재로 구성된 혼합물 상태)의 구조를 약화시키고, 여기에 반복적인 교통하중이 작용하면서 수분이 점차 민감해져 발생한다.

아스팔트 혼합물의 박리현상 및 포트홀 파손에는 다양한 발생원인과 영향요소들이 있다. Table 6은 수분손상 또는 파손의 발생원인 및 영향 요소들을 정리한 것이다.

Table 6. Cause of Moisture Damage and Effect

| Cause of occurrence | Effect |
|--|--|
| Cavity | Moisture, Saturation, Temperature (freeze, thaw) |
| pavement drainage poor (pore water pressure) | Moisture, Water pressure, Saturation, Traffic weight |
| A inadequate Compaction construction | Pore, Moisture (Superior inflow) |
| Dry poor of aggregate | Content of water of aggregate |
| Waterproof Poor/Repair of surface process | Moisture, Steam pressure (Substructure inflow) |

Source : Hwang Seong Do, 2006

3.3.3. 중앙버스전용차로에서의 버스하중 중첩효과

도로포장 표면에 하중이 작용하였을 때, 하중이 실리는 면과 평행인 면에 생기는 연직방향의 증가응력 중에서 크기가 같은 점을 연결하여 얻어지는 공 모양의 곡면을 압력구근이라고 한다. 또한 표면에 여러 원인들에

의하여 생긴 하중이 작용할 때 “중첩의 원리”가 적용되어 전체압력은 개별 요인에 의하여 생긴 압력들의 합으로 얻을 수 있다.

버스전용차로 설치 이전에는 복수차로에 버스가 운행되어 버스하중이 차로별로 분산되었다. 도로의 양쪽 끝 차선을 버스전용차로로 지정하여 우회전 차량, 버스의 정차 및 도로 가의 차량 정차로 인한 도로의 양쪽 끝 두 차로의 이용 등으로 버스하중이 분산되었다. 그러나 버스전용차로 도입이후 도로 중앙으로 버스가 통행할 경우 버스하중이 중첩되는 현상이 발생하고 중앙에 안전공간이 적을수록 하중중첩으로 인한 도로파손은 가속화된다. 또한 교통량의 증가도 도로파손의 또 다른 원인이 될 수 있다. 버스전용차로는 버스의 소통을 원활하게 하고 속도를 증가시켜, 차량의 운행 횟수 증가와 승객들의 이용률 증가로 이어진다. 이용률 증가는 자연스럽게 버스의 하중 증가를 초래한다. Fig. 14는 버스하중의 중첩효과로 인한 도로파손의 모식도이다.

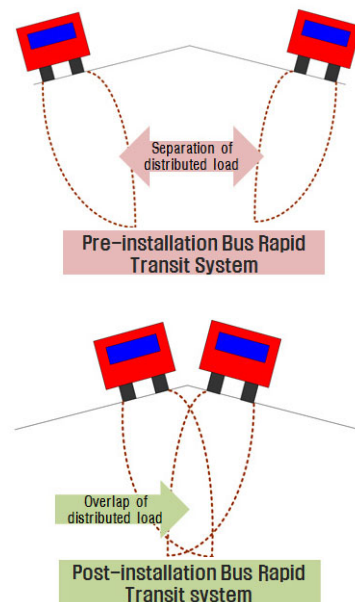


Fig. 12 Weight Overlap Effects of Bus Rapid Transit System

3.3.4. 정류장에서 급가속·급정거로 인한 파손

아스팔트 포장은 표층부의 재료가 역층재와 골재의 혼합물이고, 재료의 특성상 온도와 하중재하속도에 민감한 탄성과 점성의 혼합체인 점탄성체이며, 한계하중 이상의 상태에서는 파괴되어 소성변형이 발생된다. 탄성이란 외력이 작용하면 변위가 일어나고, 외력을 제거하면 원 상태로 돌아가는 성질이며, 소성이란 항복점이

하의 외력에 대해서는 탄성거동을 하나 초과한 외력에 대해서는 점성유체와 같은 특성을 보여 외력을 제거하여도 변형이 잔류하게 되는 성질이다. 또한, 점탄성이란, 외부온도와 하중재하속도에 따라, 탄성 및 점성 거동으로 인해 변형이 다르게 발생하게 되므로, 동일 온도 조건 하에서는 정류장에서의 정지 또는 느린 속도의 하중과 함께 버스 급정거 및 급가속으로 인해 타이어와 아스팔트 사이의 전단력이 급증하여 바퀴 아래쪽으로 전단흐름(shear flow)이 발생, 아스팔트 항복점을 초과하여 주행방향으로의 파손이 발생하게 된다.

4. 중앙버스전용차로 포장방법 개선방안

4.1. 서울시 버스전용차로 설계 개선방안

서울시 도로포장 대상의 대부분은 20~30년 이상 된 도로이며 버스전용차로는 중교통에 대한 고려없이 설계 및 시공된 도로를 활용함으로써 구조적 지지력(아스팔트 단면두께 부족)이 부족한 구간이 대부분이다. 따라서 버스전용차로만이라도 구조적 지지력 조사 및 평가를 위한 “서울시 버스전용차로 전단면 전수조사”를 실시하여 순차적으로 도로의 포장상태를 조사하고 보강계획을 수립하여 보수공사를 시행할 필요가 있다.

도시화 및 경제발전에 따른 서울시 교통량의 증가로 인하여 포장의 조기파손이 발생하고 있으며, 중앙버스전용차로 도입 이후 중차량(버스)에 의한 포장 조기파손이 발생하고 있어 이에 대한 개선이 필요하다.

또한, 중교통도로는 버스전용차로가 주로 대상이 된다. 버스전용차로는 당초 그러한 용도로 설계 및 시공되지 않은 도로를 버스전용차로로 활용함으로써 구조적 지지력(아스콘 단면두께 부족)이 부족한 구간이 대부분이다. 따라서 버스전용차로에 대한 구조적 지지력을 조사·평가하고 적정 포장두께를 설계한 다음 지지력 보강을 위한 포장두께를 확보하는 사업이 필요하다. 이를 위해서는 대표적인 버스전용차로에 대한 기존 포장두께 조사 및 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 사용한 지지력 평가, 역학적-경험적 설계에 의한 잔존수명예측, 포장두께 설계 등이 필요하고 이를 토대로 개발한 간편설계방식을 나머지 버스전용차로에 적용해 단면설계 지지력 보강여부를 결정해야 한다.

4.2. 유지관리 및 이력관리 개선방안

- 버스전용차로 도로파손 보수 시스템 강화
 - 포장보수 시스템 구축 : 별도의 순찰조 편성운영으로

소파발견 즉시 작업조에 통보하여 보수조치한다.

- 소규모 정비에 유지관리 업체 활용 : 단기간 소파발생 급증으로 자체정비 능력초과 시 유지관리 도급 업체를 활용한다.
- 신속한 신고체계 확립 : 서울지방경찰청, 다산콜센터(120) 등을 활용한다.

- 중앙차로팀 포장관리업무를 도로포장 관리팀이 전담 (PMS 관리부서)

- 사업소는 포장보수일지를 철저히 작성하여 도로포장 관리팀에 통보한다. 기존건수, 포장면적, 대로명 외에 파손된 정확한 위치/교통량/파손원인/위험도 등급에 대한 추가 데이터 확보가 필요하다.

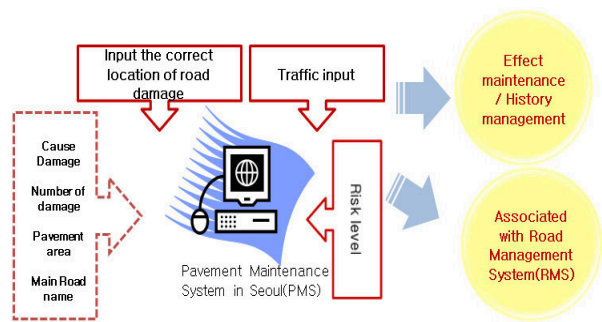


Fig. 13 Pavement Management System in Seoul

4.3. 버스정류장 물고임으로 인한 도로파손

버스정류장의 물고임으로 인한 도로파손을 방지하기 위하여 다음과 같은 배수시설 대체방안이 필요하다. 도로횡단면의 변경 측면 포장배수를 시행한다. 특히, 포트홀 등 파손이 심한 버스정류장은 기층부로 물의 침투가 용이하므로, 배수구 설치 후 토사 등 이물질 제거 등의 유지관리가 필요하다.



Fig. 14 Bus Stop Drainage

4.4. 버스하중 중첩효과 개선

버스하중 중첩효과에 따른 도로파손을 완화하기 위하여 중앙선을 기준으로 버스차로 이격거리 확보가 필요하다. 차량간격(승객인원) 및 속도 등에 따른 중첩효과

에 대한 시뮬레이션을 실시하여 보강대책을 수립하고 일정한 버스차로 간격을 유지하도록 도로설계지침을 보완한다.

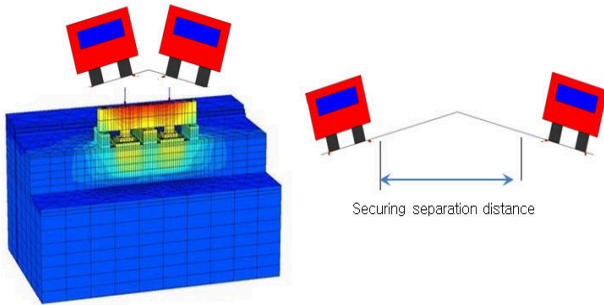


Fig. 15 Bus Weight Overlap Effect by Separation Distance

4.5. 급가속·급정거로 인한 도로파손

정류장 근처 급정거 및 급발진으로 인한 포장변형 양상검증과 정확한 대책방안을 위해서는 실험이 필요하며 급가속 및 급정거로 인한 포장손상이 검증될 경우 운전석 앞에 경고 메시지를 부착하는 등 급가속·급정거 억제 캠페인이 필요하다. 보다 정확한 대책을 마련하기 위해서는 실내 또는 현장실험이 필요하며 동시에 승차 혹은 하차에 따른 승객무게 불균형을 측정하고 이에 대한 적절한 구조적 대책을 강구하여야 한다.

5. 결론 및 정책제안

5.1. 결론

- 2004년 7월부터 중앙버스전용차로의 도입으로 통행 속도와 수송분담률은 크게 개선된 것으로 조사되어, 도입초기의 혼란 이후 시민들의 반응도 긍정적으로 바뀌었다.
- 중앙버스전용차로 시행 중 도로파손, 칼라포장 탈·변색 등 빈번한 보수작업을 시행하므로, 이에 대한 근본 원인규명 연구가 필요한 시점이다.
- 파손의 주된 원인으로는 버스전용차로의 포장재료 및 단면설계에 대한 연구부족과, 유지관리 및 이력관리에 대한 개선이 미흡하고, 정류장 물고임과 급가속·급정거로 인한 파손으로 판단된다.

5.2. 정책제안

- 버스전용차로 포장상태 전수조사
 - 도로파손 위험도등급이 낮은 차로는 전문가를 통한

육안검토를 진행한다.

- 도로파손 위험도등급이 높은 차로는 현장의 샘플 채취를 통한 실내실험 또는 현장시험을 실시한다.

• 버스정류장 물고임 해결방안

- 포트홀 등 파손이 심한 버스정류장은 물의 침투가 용이하므로 도로횡단면의 변경 또는 측면배수구 설치를 고려하여야 한다.
- 포장하부 배수체계에 대한 전반적 검토 및 배수구 유지관리가 필요하다.

• 버스전용차로 유지관리 및 이력관리 개선사항

- 버스전용차로 도로파손 보수 시스템 강화
- 도로파손 보수 시스템 구축
- 소규모 정비에 유지관리업체 활용
- 버스전용차로 도로파손의 철저한 이력관리 필요
- 도로파손의 정확한 위치와 교통량 입력
- 파손원인분석 및 위험도등급 활용

• 중앙버스차로 간격확보

- 버스하중의 중첩효과로 인한 도로파손의 가속화 대책이 요구된다.

• 급정거 및 급발진 억제를 위한 방안

- 급정거 및 급발진으로 인한 포장변형이 정류장 근처에서 빈번하게 발생하기 때문에 버스 운전석 앞에 “급정거 및 급발진을 삼가”라는 경고메시지를 부착하도록 권고한다.

References

- Bae, Yoon-Sin, Sin, Seong-il(2011). Development of Integrated pavement policies in Seoul, The Seoul Institute.
- Federal Highway Administration(FHWA, 2001). 2001, Traffic Monitoring Guide, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Office of Highway, Washington, D. C.
- Korean Society of Road Association(2005). 2005 Study on level pavement improvement in Seoul.
- Seoul Metropolitan Government(2002). 2002 Road Facility Safety Management White Paper.
- Seoul Metropolitan Government(2013). 2013 Bus Rapid Transit System Planning Map in Seoul.
- Wi, Seong-Dong(2002). Pavement management Engineering, Engineers.