

도로품질 향상을 위한 야간 도로공사 시간확대의 영향분석

Effects of Extending Duration of Nighttime Road Construction

이 동 민 Lee, Dongmin
최 준 성 Choi, Junseong
박 제 진 Park, Jejin
박 용 진 Park, Yongjin

정희원 · 서울시립대학교 교통공학과 부교수 (E-mail : dmlee@uos.ac.kr)
정희원 · 인덕대학 토목환경설계과 교수 (E-mail : soilpave@induk.ac.kr)
정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : jjpark@ex.co.kr)
정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 (E-mail : yjptr@gmail.com)

ABSTRACT

PURPOSES : This study was conducted to analyze the effects arising from extending the duration of nighttime road construction on improving road quality and durability.

METHODS : Most previous studies estimating the social cost of various construction conditions did not consider road pavement cooling time as a factor in improving road pavement quality. This study investigated the feasibility of achieving higher road quality and durability by extending the duration of nighttime road construction time extension. For this investigation, the effects of such an extension on traffic conditions were analyzed based on micro-simulation studies and scenario-based cost-benefit analyses, using factors including traffic volume, delay, construction cost, and road pavement cooling time.

RESULTS : The results of the traffic simulation studies and cost-benefit analyses indicate that the current road construction method that emphasizes completing nighttime road construction by 6 a.m. reduces pavement life while causing relatively little traffic delay. If the night construction time is instead extended to 2 p.m., road pavement lifetime is increased, reducing road re-construction cost. These savings are greater than the cost of congestion arising from extending the duration of nighttime construction.

CONCLUSIONS : The current nighttime construction durations need to be extended in order to efficiently manage roads and reduce road management costs.

Keywords

Nighttime construction duration extension, Congestion cost, Road facility construction, VISSIM simulation, Cost-benefit analysis

Corresponding Author : Park, Jejin, Research Director, Ph.D.
Korea Expressway Corporation, Research Institute, 208-96,
Dongbu-daero 922beon-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si,
Gyeonggi-do, 18489, Korea
Tel : +82.31.8098.6334 Fax : +82.31.8098.6339
E-mail : jjpark@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Apr. 17, 2017 Revised May, 16, 2017 Accepted Sep. 21, 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 과거 짧은 기간 내에 대규모의 도로 인프라 건설이 진행되어 왔다. 그에 따라 대다수 포장도로의

노령화 정도가 유사하고, 이에 따라 유지보수의 필요 시점이 유사한 시기에 도래할 것으로 예측되고 있다. 이러한 문제를 고려할 때, 정부는 대규모 도로시설물 유지보수 사업을 추진할 필요가 있고, 예산 및 시간 제한문제

를 고려한 최적의 포장도로 유지·보수 전략 수립이 필요하다.

일반적으로 지자체는 경찰청과의 협의를 통해 도로점용 공사장 운영 시간대를 결정하게 된다. 경찰청은 일반적으로 교통지체 및 주간공사에 대한 부정적 민원으로 인하여 주간공사를 지양하고 있다. 또한, 교통량이 많은 주간에 보수공사를 시행할 경우, 심각한 교통혼잡이 발생하는 등의 문제로 도로시설물 공사는 주로 야간의 제한된 시간동안에만 시행되고 있다.

하지만 도로포장면의 품질과 수명을 충분히 확보하기 위해서는 포장재 타설 후 포장면의 온도가 상온까지 충분히 낮아질 수 있는 시간이 필요하다. 제한된 시간동안 시행되는 야간공사는 이러한 포장면 양생시간을 충분히 확보하기 어려워 조기 파손 및 영구 변형량 증가의 원인이 되고, 이는 도로 재포장 주기의 급격한 감소문제를 야기시키게 된다. 또한 무조건 06:00 이전에 공사를 마무리하고 차량통행을 재개하는 현재의 야간공사 방식에서는 충분한 도로포장재 양생시간을 확보하기가 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내 도로시설물 공사 현황 및 문제점을 분석하고, 야간 도로공사를 주간시간대로까지 확대하였을 경우 발생하는 시행 효과를 사회적 비용으로 산출하여 분석하고자 한다. 이 연구 결과는 도로시설물 공사 시 야간공사의 문제점을 해결하는 기초자료 확립에 활용될 것으로 판단된다.

1.2. 연구의 내용 및 수행과정

본 연구의 진행은 Fig. 1과 같이 크게 세 가지의 단계를 걸쳐 수행되었다. 첫째, 국내외 도로시설물 공사 비용 관련 기존 문헌들을 검토하고, 둘째, 국내 도로시설물 공사의 문제점 및 시사점을 도출하였다. 셋째, 現 국내 도로시설물 공사에 따른 불편사항 및 요구사항을 파악하기 위해 운전자와 공사업체 및 공사감독기관 관계자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 넷째, 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 이용하여 야간공사를 주간공사 시간대까지 확대하였을 때 발생하는 교통지체를 비용으로 환산하였다. 다섯째, 공사시간대 확대에 따른 공사비용 절감효과를 도로포장면 수명 연장에 따라 분석하였다. 마지막으로 여러 공사시간 대안별로 교통지체비용과 도로재포장공사 비용을 더하여 사회적비용을 도출하고 이를 통해 비용·편익 분석을 수행하였다.

자료의 수집에 있어서는 2014년 기준 서울시의 주요 도로 교통량 및 속도 자료를 활용하였다.

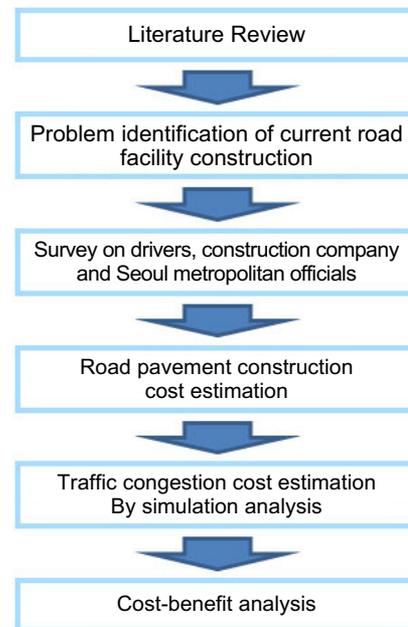


Fig. 1 A Process of Study

2. 기존 연구문헌 검토 및 시사점 도출

2.1. 국내 연구문헌 검토

도로시설물 공사에 대한 비용 추정 연구를 살펴보면, 한대석 외(2007)는 최적유지보수기간을 결정하기 위해 사회환경비용을 추정하는 다양한 방법론들을 통합하였다. 대상구간의 선정부터 HDM-4의 재보정을 통한 관리자 및 이용자 비용의 산정, 공사로 인한 지체비용 산정, 대기오염비용 산정, 사고비용 산정을 통해 최적유지보수 대안 도출을 목적으로 하였다.

도명식 외(2010)의 연구에서는 도로공사로 인한 지체비용을 산정하였고, 유지보수 기준 선정을 위해 HDM (Highway Development and Management)에서 산출된 총비용을 최소화하는 대안을 기준으로 한 유지보수 대안들을 비교하였다. 이를 통해 장기적으로 필요한 유지보수 예산 수준을 파악하는 등 그 활용가능성을 살펴보았다. HDM을 이용하여 대상구간의 최적 유지보수 시기를 분석한 결과, 11년이라는 기간이 총 유지비용에 있어서 최소가 되는 것으로 나타났고, 이 기준 대안(11년)보다 자주 유지보수를 하는 경우(7년)와 더 긴 간격으로 유지보수를 하는 경우(15년)로 구분하여 관리자 비용과 이용자 비용을 산정해 보았다. 그 결과 분석방법에 따른 각 대안별 비용 간에는 큰 차이가 존재하지 않았다. 관리자 비용은 기준 대안을 초과할수록 증가하는 경향을 보였으며, 이용자 비용의 경우에는 기준 대안보다 빈번한 유지보수공사 시 공사로 인한 지체비용의 증가

로 오히려 총 비용이 증가하는 현상이 나타났다. 또한 도명식 외(2012)는 대상 구간의 주·야간 교통 특성을 감안하여 현재 일반도로에서 주간에 유지보수를 시행하는 기존 방법에 대해 야간공사를 시행하는 방안의 가능성을 검토하였다. NHPCI(National Highway Pavement Condition Index) 지표를 바탕으로 악화추세지수를 이용하여 관리자 비용과 유지보수 예산을 추정함으로써 효율적인 예산 준비, 공사구간 및 시기를 결정하였다.

2.2. 국내의 아스팔트 재포장 주기의 적정성 검토

우리나라 야간 도로공사의 문제점을 진단하기 위해 두 가지 측면에서 살펴보았다. 첫째, 평균적인 서울시의 도로 아스팔트 재포장 주기의 적정성을 도로포장재의 생애주기와 비교하여 살펴보았다. 둘째, 도로를 이용하는 운전자와 도로포장공사 관계자들과의 면담을 통해 문제점을 도출하였다.

2.2.1. 서울시 포장도로 및 도로시설물 현황

도시 산업화 및 고도화가 진행될수록 도로 및 도로인프라의 급격한 확장이 이루어졌다. 서울시 포장도로 연장(2013년 기준)은 고속도로(4,044km)의 2배이며, 일반국도(13,788km)의 59% 수준에 달한다. 이를 이용하는 서울시 도심 일교통량은 고속도로(43,689대)의 2배이며, 일반국도(11,176대)의 5배에 이른다. 많은 차량이 통행하는 서울시의 도로시설물은 대부분 준공된 지 10년 이상이 지났기 때문에 지속적으로 유지관리가 필요한 실정이다. 또한, 현재 도로관리 면적은 증가하였고, 포장도로의 노령화는 가속화되고 있지만 도로에 대한 유지관리 예산은 오히려 감소되고 아스팔트 재포장 평균 수명 또한 단축되었다. 최근 5년간 포장도로 유지관리 최적화 분석 결과, 연간 최소 900억 이상이 필요하지만 평균 460억(40%)이 투자되고 있는 실정이다(최준성, 2014).

2.2.2. 불충분한 양생시간으로 인해 나타나는 문제점

서울시 포장도로 중 아스팔트 포장도로에 대한 유지관리가 여러 문제점을 낳고 있는 것으로 추정된다. 이는 관리에 대한 예산 부족뿐만 아니라 빈번한 도로굴착 복구 시행, 중차량을 비롯한 지나치게 많은 교통량으로 과다 교통하중 발생, 야간공사 시 도로포장면에 대한 부족한 양생시간 등이 원인인 것으로 분석된다. 이 중 본 연구에서는 부족한 양생시간으로 인해 발생하는 문제점에 대해 알아보려고 한다. 해당 문제점으로 인해 야간공사

의 시공품질이 미흡해지며 아스팔트 재포장 평균 수명이 크게 단축되었다. 서울시 아스팔트 재포장 평균 수명이 6.6년인데, 이는 일반국도 및 고속도로 평균수명(10년)보다 3.4년 단축된 것이다. 도로포장의 수명이 단축됨에 따라 재공사 비용이 늘어나고 불필요한 잦은 도로공사가 시행되고 있는 실정이다(최준성, 2014).

2.3. 국외 연구문헌 검토

국외에서는 국내와 달리 운전자 지체비용, 공사비용, 공사유형, 그리고 공사시간대의 교통량을 종합한 비용을 고려하여 최적의 공사시간대를 결정하고 있다.

California DOT(2004)와 Lee and Ibbs(2004)는 도로점용 공사 시 교통량과 비용을 고려하여 최적의 공사시간대를 결정하는 방법론을 개발하였다. 이 방법은 캘리포니아주 내 고속도로 포장공사의 계획수립 시 적용하고 있다. 특히, 교통량이 많은 도심지역 공사구간에 해당 방법을 도입하였을 때 효과적인 것으로 나타났다. 차로 통제 대안 및 포장공사 대안을 종합적으로 고려한 다양한 공사계획을 산출하여 도로포장의 수명 증진, 공사 생산량 증대, 교통지체 및 공사기관 비용을 최소화하는 긍정적 효과를 낳았다.

Illinois DOT(2004)는 고속도로 도로공사의 주간공사 및 야간공사의 비용 및 효과를 분석하는 방법론을 개발하였다. 공사에 영향을 미치는 공사비용, 교통지체비용, 환경적 요소 그리고 안전 요소 등을 고려하여 주간공사와 야간공사의 비용 대비 효과를 측정할 수 있게 하였다.

영국의 Transport Research Lab(2013)은 도로 공사를 시행하기에 적합한 최적의 시간대를 제시하였다. 차로 통제 유형, 교통량이 많거나 적을 때, 공사시간대 등 다양한 경우로 운전자 비용, 공사 비용, 공사관리 비용을 계산하였다. 다양한 공사시간대 대안별로 공사 비용, 도로통제 비용, 운전자 지체비용을 합산하여 총 비용과 편익을 계산한 방법론을 제시하였다.

2.4. 시사점

국외에서는 주간공사, 야간공사 등 여러 대안별 비용과 편익 비교·분석으로 사회적 비용이 최소화되는 최적의 공사시간대를 산출하는 것으로 나타났다. 하지만, 국외 사례조사를 통해 검토한 방법론은 야간공사의 제한된 공사시간으로 인한 짧은 양생시간을 간과하였다. 이 점을 고려하여 본 연구에서는 야간공사의 양생시간 확보로 공사의 품질 보장이 가능하며 사회적 비용이 최소화 될 수 있는 공사시간대의 효과를 분석해 보았다.

3. 도로공사 문제점 도출을 위한 설문조사

現 도로시설물 공사 관련 문제점 도출과 운전자 및 공사관계자의 불편사항 조사를 위한 설문조사를 수행하였다. 이를 통해 도로공사의 품질 확보와 이용자 불편 최소화를 전제로 향후 도로시설물 공사 개선 마련에 기초 자료를 제공하는데 의의가 있다.

사전에 공사관계자들을 대상으로 실시된 면접조사를 기반으로 설문지 문항을 작성하였다. 운전면허를 소지한 운전자 100명을 대상으로 설문조사를 실시하였고, 공사업체 및 공사감독기관 관계자 10명을 대상으로 면담조사를 수행하였다.

3.1. 운전자 대상 설문조사 결과

주·야간 공사의 선호도를 운전자 대상으로 조사한 결과, 운전자들은 야간공사를 주간공사에 비해 비교적 선호하는 것(선호도: 야간공사 58%, 주간공사 39%)으로 나타났다. 한편 야간 공사구간 주행 시 불편함을 겪었다고 하는 운전자와 겪지 않았다고 응답한 운전자의 비율은 유사한 것으로 조사되어, 야간 공사구간 주행 시 겪게 되는 불편함은 운전자 개별에 따라 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

야간공사의 주간시간대까지의 확대·전환에 대한 문항에 대해서 운전자들은 미온적 태도를 가지고 있는 것으로 Fig. 2와 같이 나타났다. 야간공사의 주간시간대 확대·전환을 찬성하는 질문에 대한 응답결과, ‘보통이다’(41%)에 대한 응답이 제일 많았으며, ‘찬성한다’(25%)와 ‘찬성하지 않는다’(21%)에 대한 응답률은 크게 차이가 없음을 확인하였다.

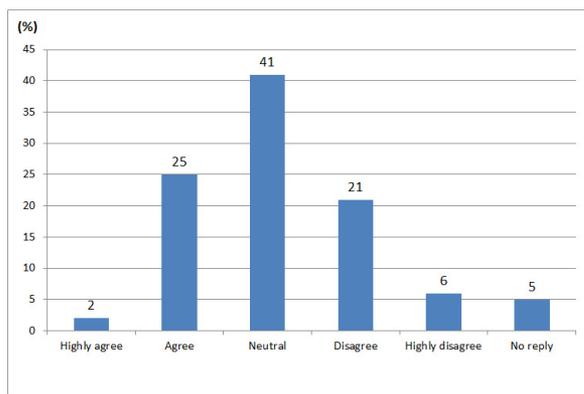


Fig. 2 Survey Results of Driver's Opinion about Nighttime Construction Extension to Daytime

야간공사의 주요 문제점으로는 ‘불충분한 안전시설로 인한 안전위험성’(17%) 및 ‘갑작스러운 운전환경 변화

(갑작스러운 차선 변경 등)’(14%)가 다른 항목에 비해 높은 응답률을 나타냈다. Fig. 3은 상기 결과에 대한 세부질문에 대한 응답결과로, 야간공사 구간 주행 시 운전자가 인지하는 교통사고 위험요인 조사결과를 설명하고 있다. 또한, ‘갑작스러운 차로 변경’(33%)이 운전자의 야간공사 구간 주행 시 겪게 되는 교통사고의 가장 큰 위험요인인 것으로 조사되었다.

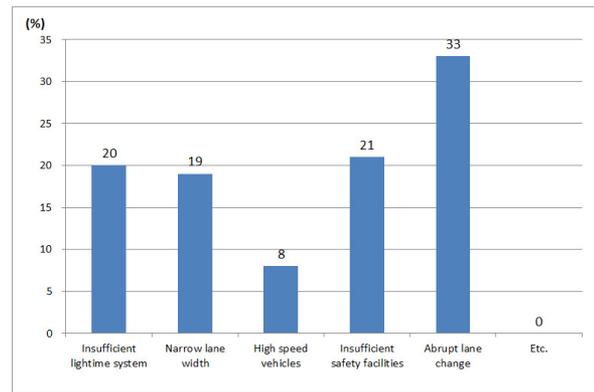


Fig. 3 Survey Results of Driver's Opinion about Risk Factors of Driving Through Nigttime Construction

3.2. 공사업체 및 공사관계자 대상 설문조사 결과

야간공사의 주간 시간대 확대는 운전자와 사업시행사 혹은 감독관 입장에서는 다른 의견을 가질 수 있기 때문에 추가적인 설문조사를 수행하였다. 서울시의 야간공사에서 주간시간대로 확대·전환하는 정책에 대해서는 긍정적인 효과가 있을 수 있다는 의견이 대부분이었다(8명/10명). 주간공사 전환 시 교통정체는 야간공사에 비해 가중될 것으로 판단되나, 공사품질 향상 및 효율적 시공의 장점 차원에서 매우 우수할 것으로 예상하였다(7명/10명). 또한, 안전성과 환경 측면에서도 야간공사에 비해 주간공사가 더 우수한 것으로 응답되었다(8명/10명). 하지만, 야간공사의 주간공사로의 확대와 주간공사에 대한 시민의 여론 형성 및 공감대 필요할 것이라고 강조하였다.

대부분 공사담당자는 도로시설물 공사구간 공사 시 불편사항이 있다고 응답하였다(9명/10명). 야간공사 진행 및 감독 시 불편사항에 대한 설문조사 결과(복수응답)는 Fig. 4와 같다.

‘공사 안전에 위협을 끼치는 불가항력적 요소’에 대한 응답자는 8명으로 가장 높은 비율을 차지하였다. 이외 ‘고속주행차량’(6명), ‘주민의 민원’(5명), ‘충분하지 않은 양생시간’(5명) 순으로 불편사항이 조사되었다.

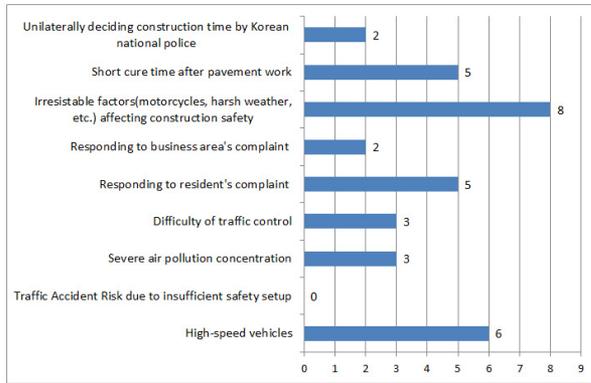


Fig. 4 Survey Results of Construction Inspectors' Opinions about Nighttime Construction Problems

3.3. 설문조사 결과 종합 및 시사점 도출

설문조사 결과, 예상과 다르게 운전자들은 야간공사 구간에 대한 불편함이 크게 없는 것으로 보인다. 하지만 야간공사 구간의 주행 시 불충분한 안전시설로 인한 주행안전성 저하 및 갑작스러운 운전환경 변화 등에 의한 위험성이 있는 것으로 조사되었다.

반면 공사업체 및 공사관계자는 도로의 품질 확보 측면에서 야간공사보다는 주간공사를 더 선호하는 사람이 많았다. 이는 현재 야간 도로시설물 공사의 문제점인 도로의 품질과 내구성 저하 문제 등에 기인하는 것으로 판단된다. 과거에 비해 보다 성숙된 국내 운전자들의 교통문화수준, 그리고 도로의 품질향상 및 내구성 증대 측면을 고려할 때, 야간공사 시간의 확대에 따른 추가적인 교통지체발생을 충분히 이해하는 교통문화 의식수준 고양을 논하는 시점이 되었다고 생각된다.

4. 야간 도로공사 시간대의 확대에 따른 영향 분석

야간 도로공사의 공사시간 확대에 따른 영향은 두 가지 측면에서 분석해 볼 수 있다. 야간 도로공사의 공사시간의 확대는 출근시간대 일부 시간대까지 도로공사를 하게 되어 해당 시간대의 교통혼잡 문제를 추가로 발생시키게 된다. 하지만 야간 도로공사 시간대의 확대는 도로포장재의 양생시간을 충분히 확보할 수 있어 이에 따른 도로 포장재의 수명을 연장시킬 수 있고, 이는 잦은 도로 재포장 문제를 완화시킬 수 있는 효과를 기대할 수도 있다. 그러므로 본 연구에서는 이러한 두 가지 측면에서 야간 도로공사 시간대 확대에 따른 효과를 평가하였다. 이를 위해, 우선 야간 도로공사의 공사시간의 확

대로 인해 추가적으로 발생하는 교통혼잡 증가를 정량적으로 평가하기 위해 교통시뮬레이션 분석을 수행하고, 분석 결과를 지체비용으로 환산하여 분석하였다. 한편, 도로포장재의 수명 연장에 따른 도로 재포장 주기 연장과 공사비용 절감효과는 도로포장재의 양생시간과 수명의 관계식을 도로포장면의 개방온도에 따른 공용성 분석결과를 토대로 도출하여 분석하였다.

4.1. 야간 도로공사 시간대의 확대에 따른 교통 지체비용 증가분석

야간 도로공사 시간대의 확대는 출근시간대까지 도로공사 시간을 확대하게 되고, 이는 해당 시간대의 교통혼잡을 증가시키게 된다. 이와 같은 교통혼잡 증가를 정량적으로 평가하기 위해 교통시뮬레이션 소프트웨어인 VISSIM(version 5.0)을 사용하여 분석하였다. 이를 통해 도출된 통행시간 증가를 교통지체비용으로 환산하기 위해 한국교통연구원에서 매년 산출하여 발표하는 교통혼잡비용의 계산방법을 일부 준용하였다. 교통지체비용은 도로상에서 교통 혼잡 때문에 추가적으로 발생하는 사회적 비용으로, 시간가치 비용과 인건비, 보험료, 연료소모비 등의 차량 운행비용을 합한 것이다.

교통시뮬레이션 분석은 VISSIM 프로그램을 사용하여 도로시설물 공사로 인해 편도 1차로를 폐쇄한 상황을 구현하고, 야간 도로공사 확대 시나리오에 따른 평균 통행속도 저하 및 구간통행시간 증가량을 산출하여 교통지체비용을 계산하였다.

4.1.1. 교통시뮬레이션 분석 대상구간 선정 및 네트워크 구현

교통시뮬레이션 분석 대상구간으로 북부간선도로와 서부간선도로 일부구간을 선정하였다. 북부간선도로는 화랑대 사거리와 구리 IC 사이의 약 3km 구간이고, 서부간선도로는 철산대교 교차로에서 금천IC의 약 1.5km 구간이다. 해당 도로 기하구조 및 교통특성은 실제 도면과 실제 측정된 값을 사용하여 입력하였다. 특히 교통량은 서울시의 지점별, 연도별 교통량(서울 통계정보 시스템, <http://stat.seoul.go.kr/>)을 사용하여 평일의 시간대별 평균교통량을 입력하였다. 차종별 속도분포는 서울시고속도로 교통정보 자료를 사용하여 시간대별 평균통행속도를 산출하여 입력하였다. Table 1과 Table 2는 입력된 해당 구간의 도로 및 교통특성을 설명하고 있다. 두 개 구간 모두 교통특성이 유사하고 북부간선도로의 경우 교통량이 상대적으로 높았다.

Table 1. Bukbu Expressway Network Setting on VISSIM

Classification	Contents
Study site	Bukbu Expressway Bonghwa bridge intersection~Goori IC
Traffic volume	275~1,707 veh/hr/lane for hourly traffic volume
Geometric characteristics	One-way two lane, one entrance way, one exit way
Work zone characteristics	Work zone 200m & lane closure of one lane
Vehicle types	Car : 80%, Bus : 8%, Truck : 12%
Simulation time	65,400 sec
Vehicle speed	All vehicles : 59.8km/h~79.5km/h
Delay evaluation index	Speed(km/h), travel time(sec.)

Table 2. Seoul Expressway Network Setting on VISSIM

Classification	Contents
Study site	Seobu Expressway Cheolsan bridge intersection~Geumchun IC
Traffic volume	239~1,019 veh/hr/lane for hourly traffic volume
Geometric characteristic	One-way two lane, one entrance way, one exit way
Work zone characteristic	Work zone 200m & lane closure of one lane
Vehicle types	Car : 80%, Bus : 8%, Truck : 12%
Simulation time	65,400 sec
Vehicle speed	All vehicles : 56.4km/h~81.1km/h
Delay evaluation index	Speed(km/h), travel time(sec.)

한편, 분석 시나리오는 야간 도로공사의 확대 시간에 따라 Table 3과 Table 4에서 보는 바와 같이 4가지를 설정하였다. 도로공사를 하지 않는 경우를 기본 시나리오로 설정하고, 현행 야간공사 시간대(24:00~06:00)와 두 개의 야간 도로공사 시간 확대 시나리오(24:00~10:00, 24:00~14:00)를 설정하여 분석하였다. 교통시뮬레이션 분석의 오류를 최소화하기 위해 시나리오별 시뮬레이션 수행 횟수는 차량의 도착행태를 결정하는 Random seed를 달리하여 각 5회로 설정하였다. 또한 최초 출발한 차량군이 자유속도로 진행하게 되어 현실과 맞지 않는 결과를 도출할 수 있는 문제를 방지하기 위해 시뮬레이션 시작 후 600초까지의 결과는 사용하지 않고, 이후 도출되는 총 18시간 동안의 결과를 사용하여 분석하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 구현된 VISSIM 네트워크를 보여주고 있다.

Table 3. Traffic Congestion Result of Bukbu Expressway in VISSIM Simulation

Time	Travel speed (km/h)			
	No construction	Workzone execution (0A.M.~6A.M.)	Workzone execution (0A.M.~10A.M.)	Workzone execution (0A.M.~2P.M.)
0A.M.-1A.M.	73.08	68.79	68.79	69.77
1A.M.-2A.M.	76.00	75.59	75.62	75.67
2A.M.-3A.M.	76.22	75.84	75.89	75.84
3A.M.-4A.M.	76.27	76.00	76.08	75.97
4A.M.-5A.M.	76.19	75.76	75.83	75.78
5A.M.-6A.M.	74.23	53.52	49.78	53.57
6A.M.-7A.M.	56.91	78.99	17.76	25.12
7A.M.-8A.M.	50.16	59.64	16.61	22.72
8A.M.-9A.M.	50.35	52.11	16.70	22.26
9A.M.-10A.M.	51.23	47.74	16.45	23.24
10A.M.-11A.M.	50.93	46.40	77.71	23.14
11A.M.-12A.M.	49.71	52.54	72.54	23.44
12A.M.-13A.M.	52.62	53.21	58.29	23.73
13A.M.-14A.M.	54.21	49.76	51.20	22.90
14A.M.-15A.M.	53.06	51.97	52.13	79.91
15A.M.-16A.M.	52.76	52.36	52.38	68.09
16A.M.-17A.M.	52.69	48.46	49.60	51.77
17A.M.-18A.M.	51.34	48.25	49.87	49.53

Table 4. Traffic Congestion Result of Seobu Expressway in VISSIM Simulation

Time	Travel speed (km/h)			
	No construction	Workzone execution (0A.M.~6A.M.)	Workzone execution (0A.M.~10A.M.)	Workzone execution (0A.M.~2P.M.)
0A.M.-1A.M.	43.46	12.47	12.52	12.66
1A.M.-2A.M.	47.51	9.92	9.86	9.87
2A.M.-3A.M.	48.83	17.10	16.76	16.73
3A.M.-4A.M.	49.60	32.52	32.94	32.85
4A.M.-5A.M.	48.45	22.84	23.89	22.61
5A.M.-6A.M.	37.74	9.03	9.07	8.96
6A.M.-7A.M.	34.38	48.13	7.27	7.33
7A.M.-8A.M.	36.39	45.17	7.55	7.55
8A.M.-9A.M.	35.82	35.82	7.57	7.60
9A.M.-10A.M.	34.84	34.77	7.25	7.35
10A.M.-11A.M.	36.30	36.01	48.18	7.34
11A.M.-12A.M.	37.57	37.63	43.17	7.69
12A.M.-13A.M.	36.45	36.57	36.47	7.57
13A.M.-14A.M.	33.52	33.38	33.39	7.35
14A.M.-15A.M.	34.31	34.30	33.25	49.86
15A.M.-16A.M.	33.92	34.54	34.70	41.43
16A.M.-17A.M.	34.59	34.56	34.06	34.19
17A.M.-18A.M.	30.07	30.71	30.51	30.30

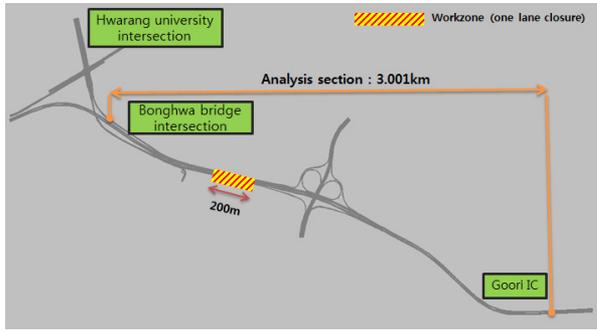


Fig. 5 Bukbu Expressway Network on VISSIM

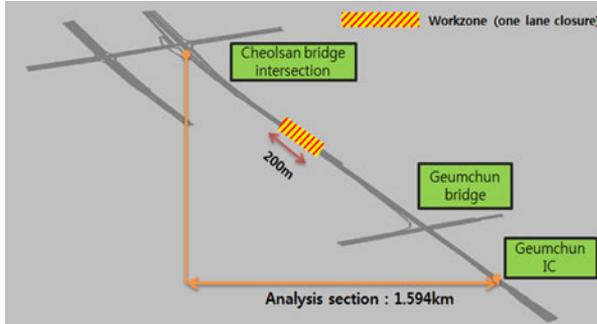


Fig. 6 Seoul Expressway Network on VISSIM

4.1.2. 교통시뮬레이션 분석결과

교통시뮬레이션 분석결과, 기본적으로 도로공사 시간이 길어질수록 이에 따른 교통혼잡은 늘어나게 된다. Table 3에서 보는 바와 같이 공사에 따른 지체는 최대 3시간 이후까지 영향을 주는 것으로 확인되었고, 북부 간선도로의 경우에는 공사 미시행 시나리오에 비해 야간 도로공사를 10:00까지 하게 되면, 오전 첨두시간대인 07:00~09:00의 평균속도는 약 3배 정도(50.3km/h → 16.6km/h) 낮아지는 것으로 분석되었다. 서부간선도로의 경우에는 이러한 도로공사 시간 연장에 의한 추가 교통혼잡이 더 심해질 수 있음이 확인되었다. 서부간선도로의 경우에는 공사 미시행 시나리오에 비해 야간 도로공사를 10:00까지 하게 되면, 오전 첨두시간대인 07:00~09:00의 평균속도는 약 5배 정도(36.1km/h → 7.6km/h) 낮아지는 것으로 분석되었다. 서부간선도로에서 더 심각한 교통혼잡이 도출된 것은 방향별 2차로인 서부간선도로에서 도로공사에 의한 1개 차로 통제에 의한 영향이 방향별 3개 차로인 북부간선도로에 비해 심각한 영향을 발생시켰기 때문인 것으로 판단된다.

4.2. 야간 도로공사 시간대 확대에 따른 도로 재포장 주기연장과 공사비용 절감효과 분석

야간 도로공사 시간의 주간 시간대로의 확대는 도로 포장재의 충분한 양생시간을 확보할 수 있고, 이는 도로

포장재의 수명 연장을 기대할 수 있다. 이에 따른 도로 재포장 주기연장과 도로 재포장 공사비용 절감효과는 도로포장재의 양생시간과 수명의 관계식을 우선 개략적으로 도출하여 평가하였다. 도로 포장재의 양생시간과 수명과의 관계는 다양한 실제 현장여건 등이 반영되어 도출되어야 하지만, 본 연구는 포장공학적인 분석이 주목적이 아니므로 개략적으로 수행되었고, 이는 향후 연구를 통해 발전시켜야 할 부분으로 판단된다.

4.2.1. 도로포장면의 개방온도에 따른 공용성 분석

공용성 분석을 위한 기본 수식은 현장조사를 통한 방법 대신 한국형 포장설계법에서 제시하고 있는 아스팔트 동탄성 계수 예측 수식을 적용하였고, 계수 추출을 위한 도로포장면의 20, 40, 60, 90℃를 사용하였다. 기준온도는 여름의 평균 대기온도에 가까운 40℃를 사용하였고, 차량통행 개방 시의 자동차 속도를 정체상황과 비정체상황으로 구분하여 분석하였다. 도로포장재의 영구 변형량을 분석한 결과, 다짐 후 바로 개통하는 경우(포장면 온도 약 90℃)와 포장면 온도를 60℃로 하는 경우에는 기준 온도(40℃)로 낮추도록 시간을 확보하는 경우보다 각각 약 2배와 1.3배의 포장재의 변형량이 발생하는 것으로 분석되었다. Fig. 7은 이러한 차량 통행 개방 시의 도로 포장면의 온도에 따른 포장재의 영구 변형량을 추정한 결과를 설명하고 있다.

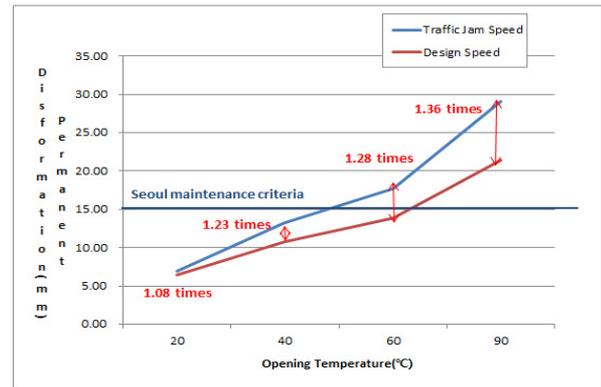


Fig. 7 Permanent Deformation per Opening Temperature by Traffic Jam Speed and Design Speed

4.2.2. 조기 차량통행 개방에 따른 도로수명 감소 추정

전 절에서 설명한 도로 포장면의 온도에 따른 도로포장재의 영구 변형량을 측정된 결과를 토대로, 서울시의 도로 재포장 평균주기(6.5년)(최준성, 2014)를 고려한 조기 차량통행에 따른 도로포장재 수명을 추정한 결과 약 1년이면 도로 재포장이 필요한 상태에 도달하는 것

으로 평가되었다. 즉, 도로의 포장 후 포장면 온도가 대기온도 정도까지 충분히 낮아질 때까지 기다려 포장재의 양생시간을 확보하지 않고 차량을 조기 개통하게 되면 서울시의 도로 포장면의 평균수명인 6.5년에 비해 약 15%, 그리고 국내 일반도로 도로포장 수명인 약 10년에 비해 10%의 수명을 갖게 될 수도 있음을 알 수 있다.¹⁾ 하지만 이 결과는 다양한 원인에 의해 도로포장면의 변형이 이루어지는 실제 상황을 반영하지 못하고, 개방온도의 영향임을 가정함으로써, 분석 한계를 갖고 있어 향후 이에 대한 면밀한 분석이 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서는 개략적인 분석결과를 가정하여 도로 수명 연장에 따른 편익을 계산하였다.

5. 야간 도로공사 시간 확대에 따른 비용과 편익분석

본 연구에서는 06:00까지 도로공사를 완료해야 하는 현행 야간 도로공사 방식을 일부 주간시간대(10:00, 14:00)까지 확대함에 따라 발생하게 되는 영향을 분석하였다. 영향분석은 도로공사 시간 연장에 따른 추가 교통혼잡 발생과 도로 포장면의 수명 연장 두 가지 측면에서 살펴보았다. 이 두 가지 영향은 교통지체에 따른 사회비용 증가와 도로포장면 수명 연장에 따른 도로 재포장공사 비용 절감 편익으로 전환해 볼 수 있다. 이러한 비용과 편익의 비교를 통해 야간 도로공사 시간 확대의 가능성과 필요성을 가늠해 볼 수 있을 것이다.

5.1. 야간 도로공사 시간 확대에 따른 교통지체비용

통행시간 증가에 따른 교통지체비용을 한국교통연구원의 교통혼잡비용 계산방법을 일부 준용하여 산출한 결과, Table 5에서 보는 바와 같이 북부간선도로의 경우에는 현재 야간공사 방식(06:00까지 공사)의 도로공사보다 분석 대안에 따라 교통지체 비용이 약 4~5배 증가하는

Table 5. Results of Calculating Traffic Congestion Costs

Expressway	Traffic congestion cost (1 million won/18hrs)			
	No construction	Construction time		
		~ 6 A.M.	~ 10 A.M.	~ 2 P.M.
Bukbu	26.57	43.22	164.05	223.16
Seobu	22.73	52.61	113.55	174.53

1) 본 연구에서는 논문의 목적상 이 부분을 개략적으로 설명하였다. 보다 구체적인 분석방법 및 결과는 "서울시립대학교 시정연구보고서, 2014, 도로시설물 공사 시 사회적 비용 최소화 방안 연구"를 참고하기 바란다.

것으로 분석되었고, 서부간선도로의 경우에는 교통지체 비용이 약 2~3배 증가하는 것으로 분석되었다.

5.2. 야간공사의 주간공사 확대에 따른 공사비 산출결과

한편 현재와 같이 야간공사 후 충분한 도로포장면의 온도 저하시간을 확보하지 못하고, 약 60℃에서 차량통행을 개방하면 실제 도로포장의 수명이 목표수명의 15% 정도로 줄어드는 것으로 분석되어 개략적으로 1년마다 재포장이 필요한 것으로 가정할 수 있다. 이를 도로공사 비용으로 환산해 보면, 서울시의 평균 도로 재포장 주기인 6.5년에 비해 1년마다 재포장을 하게 된다면 14:00까지 기다린 후 차량통행을 재개하는 경우와 비교 시 약 6배 이상(북부간선도로의 경우 6.5년 재포장 주기: 306,249 천원과 1년 재포장 주기: 1,990,616 천원)의 비용을 추가 지불하게 된다.²⁾ 이러한 도로 공사비 절감액은 야간 도로공사 시간 확대에 따른 추가지체비용에 비해 매우 높은 수준이다. 야간 도로공사 시간의 연장(14:00까지)에 따라 발생하는 교통지체비용(북부간선도로

Table 6. Comparison of Social Cost Analysis of Bukbu Expressway

Scenario	Classification		Repavement every 6.5 years (1,000won/18hrs,①)	Repavement every 1 year (1,000won/18hrs,②X6.5)
	Construction time	Cost type		
Do nothing	-	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	26,569	172,699
		Total	109,658	712,775
1	6hrs (From 0A.M. ~6A.M.)	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	43,217	280,911
		Total	126,306	820,987
2	10hrs (From 0A.M. ~10A.M.)	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	164,050	1,066,325
		Total	247,139	1,606,401
3	14hrs (From 0A.M. ~14A.M.)	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	223,160	1,450,540
		Total	306,249	1,990,616

2) 도로포장 공사비용은 최준성(인덕대학 토목환경설계과 교수)의 조사결과를 반영하였다.

Table 7. Comparison of Social Cost Analysis of Seobu Expressway

Classification		Repavement every 6.5 years (1,000won/18hrs,①)	Repavement every 1 year (1,000won/18hrs,①X6.5)	
Scenario	Construction time	Cost type		
Do nothing	-	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	22,727	147,726
		Total	105,816	687,802
1	6 hrs (From 0A.M. ~6A.M.)	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	52,605	341,933
		Total	135,694	882,009
2	10hrs (From 0A.M. ~10A.M.)	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	116,546	757,549
		Total	199,635	1,297,625
3	14hrs (From 0A.M. ~14A.M.)	Construction cost	83,089	540,076
		Traffic congestion cost	174,533	1,134,465
		Total	257,622	1,674,541

223,160 천원/18시간, 서부간선도로 174,533 천원/18시간)은 해당 공사비의 증가액(540,076 천원)에 비하면 상대적으로 적은 값이다. 이를 통해 출근혼잡 악화문제 등의 이유로 야간 도로공사 시간을 오전 6시로 고정하는 현행 야간 도로공사 방식을 일부 연장함에 따른 피해는 사회비용 측면에서 검토해보면 예상보다 심각하지 않음을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1. 결론

1970년대부터 도로는 급격히 확장되었으며, 현재 포장도로의 노령화가 가속화되었지만 이를 위한 유지관리 비용은 감소되어 왔고, 다양한 원인으로 아스팔트 재포장 평균 수명은 매우 단축되고 있는 실정이다. 하지만 대부분의 지자체에서는 출퇴근시간대(06:00~09:00, 17:00~21:00)에 도로점용공사를 금지하고 있다. 따라서, 야간공사 시 도로포장면의 재포장 후 짧은 양생시간이 확보되어 도로포장의 수명이 단축됨에 따라 재공사 비용이 늘어나고, 시공품질이 미흡해지는 문제점이 발생하고 있다.

국외에서는 여러 공사시간대의 교통지체, 교통량, 공사비용, 운전자 지체비용을 종합적으로 고려한 사회적 비용을 산출하여 비용이 최소화되는 최적의 공사시간대를 도출하는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 이 효과를 정량적으로 분석하기 위하여 주간공사와 야간공사의 사회적 비용을 산출함으로써 비용-편익 비교 분석을 실시하였다.

교통시물레이션 분석을 통해 야간 도로공사 시간 확대에 따른 영향을 분석한 결과, 도로시설물 공사로 인한 지체가 공사 후 약 2시간(서부간선도로) 혹은 3시간(북부간선도로)까지 영향을 주는 것으로 나타났다. 이를 교통지체 비용으로 산출하면, 현재의 야간 도로공사 방식보다 북부간선도로의 경우에는 교통지체 비용이 4~5배, 서부간선도로의 경우는 교통지체 비용이 2~3배 증가하는 것으로 나타났다.

충분한 도로포장면의 온도 저하시간 미확보에 따른 상황에서 1년마다 재포장을 하게 된다고 가정할 때, 장기적인 도로공사 비용 측면에서 보면, 서울시의 평균 도로 재포장 주기인 6.5년에 비해 약 6배 이상의 비용을 추가 지불하게 된다. 이러한 도로 공사비 절감액은 야간 도로공사 시간 확대에 따른 추가 지체 비용에 비해 매우 높은 수준이고, 출근 혼잡 악화문제의 이유로 야간 도로공사 시간을 06:00로 고정하는 현행 야간 도로공사 방식을 일부 연장함에 따른 피해는 사회비용 측면에서 검토해보면 예상보다 심각하지 않음을 알 수 있다.

하지만 본 연구에서는 도로시설물 공사로 인한 차량 경로선택 패턴변화를 반영하지 못한 점과 도로포장면의 공학적 분석을 실제 측정없이 한국형 포장설계법의 수식을 준용하여 분석하는 등 개략적 분석을 통해 포장면의 영구 변형량을 계산하고, 도로 포장재의 수명을 평가하는 등의 한계를 갖고 있다.

이에 향후 이러한 부분들을 구체적으로 재분석함으로써 도로품질 향상을 도모할 필요가 있다. 또한 본 연구는 일반도로를 대상으로 분석하였으나, 도로 공사비가 상대적으로 높은 교량공사, 고가차도 공사 등을 고려하여 재분석할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 서울시립대학교 시정연구 지원사업(2014년)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

California department of transportation (2004). "Construction

- Analysis for Pavement Rehabilitation Strategies(CA4PRS)* .
- Choi, J. S. (2014). "A Study on Pavement Design for Road Pavement Life Expectancy Improvement in Metropolitan Area", *2014 Road Maintenance Policy Forum*.
- Do, M. S. and Lee, Y. J. (2010). "Delay cost estimation and maintenance standard determination for work zone", *Proc. of the 2010 Autumn meeting*, Korean Society of Road Engineers, pp.241-244.
- Do, M. S. et al. (2012). "The Cost Estimate Method Considering Delay Characteristics of Work Zone", *Proc. of the 2012 Autumn meeting*, Vol.66., pp.614-619.
- Han, D. S. et al. (2007). "Life Cycle Cost Analysis of Pavement Maintenance Standard Considering User and Socio-Environmental", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol.27., No.6, pp.727-740.
- Illinois department of transportation (2004). "*Nighttime Construction: Evaluation of Construction Operations*".
- Lee, E. B. and Ibbs, C. W. (2004). "A Computer Simulation Model: Construction Analysis for Highway Rehabilitation Strategies (CA4PRS)", *Journal of Construction Engineering and Management, ASCE*, approved for publication.
- Seoul Expressway Traffic Information, <http://www.smartway.seoul.kr>.
- Seoul Statistics, <http://stat.seoul.go.kr/>
- Transport Research Lab (TRL), (2013). "*Road maintenance Timing - Final Report*".
- Yoon, S. H. (2012). "*Queueing-Based Prediction of Expressway Crash Clearance Times*", Masters thesis, Ajou University .