

1차로 전면차단 후 도로포장 보수방법의 효과분석 (김천~선산 사례중심)

Evaluation of a Traffic Lane Closure and Pavement Repair for a Certain Period (Focusing on the Gimcheon~Sunsan Project)

류 성우	Ryu, Sung Woo	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 경영전략연구실 선임연구원 · 교신저자 (E-mail : honor.ryu@ex.co.kr)
박 권제	Park, Kwon-Je	정회원 · 한국도로공사 부사장 (E-mail : pjkk@ex.co.kr)
한 승환	Han, SeungHwan	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 포장연구실 연구위원 (E-mail : hansu3@ex.co.kr)
최 인구	Choi, InGu	한국도로공사 재난안전처 안전계획팀장 (E-mail : guguci@ex.co.kr)
조 윤호	Cho, Yoon-Ho	정회원 · 중앙대학교 공과대학 사회기반시스템공학부 교수 (E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study supports the evidence that it is possible to rehabilitate a damaged pavement with a lane closure specifically based on the Gimcheon~Sunsan project.

METHODS : The prediction results from the simulation programs were compared with field monitoring, which focused on traffic management planning, congestion (length, time, and passing speed), bypass, and user cost, among others.

RESULTS : The research results showed that lane closure application and pavement repair of the aged pavement in Korea were possible, even though the prediction results were minimally different from the field monitoring. The road agency contributes to service life extension of the rehabilitated pavement using this method.

CONCLUSIONS : A marginal effect caused by the lane closure was observed on travelling users or vehicles, and the user cost of pavement repair decreased. Therefore, introducing the repair method or rehabilitation in Korea is possible. Information dissemination through various media was properly done to execute the project well. Moreover, the construction area traffic utilized nearby alternative roads. Therefore, improving the repaired pavement's service life while ensuring that the pavement management agency can provide a road with comfortable user riding quality was possible.

Keywords

traffic lane closure, pavement repair, traffic management plan, congestion, user cost

Corresponding Author : Ryu, SungWoo, Senior Researcher
Korea Expressway Corporation Research Institute, 208-96, Dongbu-daero
922beon-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18489, Korea
Tel : +82.54.8111.4337 Fax : +82.54.811.4309
E-mail : htsw@gmail.com

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Dec. 15, 2015 Revised Dec. 24, 2015 Accepted May. 20, 2016

1. 연구배경

국가 산업의 발달과 경제 성장으로 도로 확충에 대한 필요가 증가함에 따라 최근 20여 년간 국내 고속도로 연장은 약 2배로 증가하였다. 2014년 통계에 따르면 국내 고속도로의 총 연장은 3,864km이고, 계획된 동서 7축 및

남북 9축이 완료되는 2022년에는 4,446km에 달할 것으로 예상하고 있다(한국도로공사, 2015). 양적인 증가와 더불어 포장이 노후화된 구간도 꾸준히 늘어나고 있다. 공용한지 20년 이상된 노후된 포장의 연장은 2002년에 약 360km 정도에 불과하였으나, 2012년에는 1,150km로 10

년 동안 3배로 증가하였으며, 2022년에는 고속도로 총 포장연장의 50%를 상회하는 2,700km에 달할 것으로 예측하고 있다(한국도로공사, 2013). 이에 따라 연간 고속도로 유지관리와 관련되어 접수된 450여건의 민원 중 포장과 관련된 민원이 약 38%를 차지하고 있으며, 이는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(한국도로공사, 2013). 그러나 급격한 노후 포장의 증가에 비해 포장유지보수 예산은 부족한 실정이다(한국도로공사, 2013).

한국도로공사는 노후 포장의 증가와 예산부족 문제를 해결하기 위해 장수명 포장 관리 체계를 확립하여 포장 내구수명을 연장한다는 방침을 수립하였다(한국도로공사, 2013). 그동안 한국도로공사는 유지보수공사 시 교통소통을 최우선으로 고려해 왔다. 교통정체 최소화를 위해 침투시간대를 피하고, 보수공법도 짧은 시간 내 소통 가능한 공법을 선택해 왔다. 그러나 이 같은 보수방법은 단기간에 공사를 끝낼 수는 있지만, 내구성이 낮고, 품질관리에 어려움이 있어 결과적으로 교통제한을 자주해야 하는 악순환이 초래될 수 밖에 없다. 따라서 유지보수 방법을 기존 긴급보수방식에서 일정기간 교통제한 후 집중적으로 보수하는 방식으로 전환함으로써 공사비를 절감하고 도로의 수명을 연장시킬 필요가 있다. 이러한 유지보수 방법은 교통제한 구간과 기간이 길어져 이용자에게 불편을 초래하고 사회적·경제적 문제가 될 수 있다. 그러나, 현재 동서 7축 및 남북 9축의 격자형 국내 고속도로망이 완성단계에 있고, 국도 등 인근 간선도로망이 확충되어 있어 과거보다 우회로 확보가 용이한 실정이다. 더욱이 급속한 인터넷과 스마트폰 보급 등으로 이용자에게 다양한 정보를 제공할 수 있다. 따라서, 기존의 저효율-고비용의 유지보수공법에서 벗어나 고효율-저비용의 유지보수 전략을 실행할 수 있는 환경이 조성되었다고 판단된다.

본 논문에서는 1차로 전면차단 후 도로포장의 집중보수 방법의 영향을 분석하기 위해 김천~선산 구간의 유지보수 프로젝트에 대한 계획과 사후 평가를 실시하였다. 즉, 보수구간을 이용하는 도로 이용자 비용을 최소화하고, 교통관리계획(TMP, transportation management plan) 전략을 수립하여 해당도로나 인근 도로가 수용가능한지를 파악한 후 교통관리를 위한 세부 TMP를 작성하였다(FHWA, 2005). 이용자 비용 분석은 미국에서 개발한 CA4PRS(Construction Analysis for Pavement Rehabilitation Strategies)을 이용하였으며, 독일과 캐나다에서 개발된 VISSIM(Verkehr In Städten-SIMulationsmodell)과 EMME/3(Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium) 등을 활용하

여 정체 예측과 우회 가능한 도로에 대한 용량 등을 분석하였다(Caltrans, 2009). 실제 공사가 진행되면서는 관련 항목 등에 대해 평가를 수행하여 계획대비 얼마만큼 실제 공사에서 차이가 있는지를 비교분석하였다. 이와 같은 일련의 연구를 통해 전면차단 후 유지보수하는 방법을 확대적용할 수 있는 근거를 제공할 것이다.

2. 전면차단 후 집중유지보수의 사전 계획

2.1. 대상구간의 포장 및 교통상태 평가

중부내륙고속도로에 위치한 김천JCT~선산IC구간은 양방향 4차로 도로로 2001년에 개통하여 현재까지 공용기간이 12년에 불과하다. 그러나, 이 구간 중 이정 114.4~123.4k(L=9km) 사이의 주행차로인 2차로에서 알칼리 골재반응이 발생하여 포장 상태가 열악하였다. 더욱이, 교통량이 58,768대/일(Annual average daily traffic, AADT)로 많을 뿐만 아니라, 5종 이상의 중차량이 양방향 모두 약 22% 정도이고, 3종 이상의 화물차량 비율은 양평방향이 약 45%, 창원방향이 44%로 전국평균 34.3%보다 10% 정도 더 높아 포장파손이 가속화되고 있다(한국도로공사, 2013).

Fig. 1은 김천JCT~선산IC구간 2차선의 포장 상태를 나타낸 사진이다. 알칼리골재 반응으로 인해 두 방향 모두 심하게 파손된 상태였다. 임시적으로 아스팔트로 패치를 줄눈부 및 파손부에 실시하였으나, 다른 부분에서 추가파손이 진전되어 그 효과를 상실하였다. 코어링을 통해 알칼리골재반응이 하부까지 진전되어 있음을 확인하였으며, 균열폭, 스폴링, 표면손상 및 HPCI(Highway Pavement Condition Index)를 조사한 결과, 포장 상태는 열악한 4등급과 3등급이 많았다. 전문가 그룹의 협의를 통해 재포장하는 것으로 결정하였으며, 창원방향 2차로 1.6km, 양평방향 2차로 2.9km가 보수구간에 해당하였다. 재포장 형식으로는 아스팔트 포장과 콘크리트 포장이 있지만, 콘크리트 포장은 슬립폼 페이버 운영(트랙위치 등), 콘크리트 양생 등의 문제가 있어 장기간 전면통행제한이 아닌 경우 적용이 곤란할 것으로 판단되었다. 국외사례에서는 장기간 전면교통제한은 종종 있는 일이나 우리나라 현실에서 고속도로 양방향 전면통행제한 또는 일방향 전면통행제한 후 교행은 시기상조라 판단되어 1차로를 교통제한하는 것으로 제시하였다. 보수공법은 기존의 콘크리트 포장 제거 후 아스팔트를 재포장하는 것으로 제시하였다.



Fig. 1 Pavement Condition

김천JCT~선산IC에서 공사구간의 용량산정은 도로용량편람에 제시된 Eq. (1)을 사용하였으며, 해당 변수의 입력값은 Table 1과 같다(국토교통부, 2013; 한국도로공사, 2013). 공사 시 측방여유폭은 0m, 종단경사는 평지(0~2%), 차로폭은 3.6m이기 때문에 보정계수 f_w 는 0.9였다. 주야간 및 중차량 보정계수는 각 시간대별로 차종구성비율이 다르기 때문에 2012년의 시간대 및 차종별 교통량 자료로부터 각각 계상하였다. 한국도로공사에서는 본선통행제한 시 축소된 차로수를 기준으로 통행제한시간 동안의 첨두 시 공사구간의 서비스수준을 당초 “D~F”인 경우에서 서비스수준 “E” 초과인 경우로 변경하였다(한국도로공사, 2013). 이를 바탕으로 교통데이터에 근거하여 1차로 차단 시 해당 구간의 시간대별 용량, 교통량, V/C 및 우회율에 따른 서비스수준(LLOS) 및 작업가능 시간을 제시한 것이 Table 2와 같다.

$$C_{WZ} = C_{jW} \times N \times f_W \times f_{HV} \times f_{DK} \quad (1)$$

여기서, C_{WZ} = 공사구간의 용량(vph)

C_{jW} = j 설계속도의 공사구간 기본 용량 (pcphpl)

N = 공사 시 편도 차로 수

f_{HV} = 중차량 보정계수

f_W = 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

f_{DK} = 주야간 보정계수

Table 1. Input Values for Traffic Capacity of GimCheon JCT~SunSan IC

Conditions	Values for analysis
- Lateral clearance : 0m	$f_w = 0.9$
- Incline : 1%	
- Lane width : 3.6m	
- Design speed : 120km/h	Design capacity : 1,750pcphpl
- Traffic input according to each time	f_{HV} : Calculate at each time f_{dk} : Daytime : 7AM~7PM Nighttime : 7PM~7PM

Table 2. Service Level Changes according to the Bypass Ratio

Time	Traffic	LOS according to the Bypass Ratio(%)					
		0	10	20	30	40	50
00~01	539	C	B	B	B	B	B
01~02	465	B	B	B	B	A	B
02~03	410	B	B	B	A	A	A
03~04	451	B	B	B	B	A	B
04~05	494	C	B	B	B	B	B
05~06	667	D	C	C	B	B	B
06~07	855	D	D	D	C	B	C
07~08	1,071	E	D	D	C	C	C
08~09	1,282	E	E	D	D	C	D
09~10	1,653	F	F	E	E	D	E
10~11	1,943	F	F	F	F	E	E
11~12	1,887	F	F	F	E	E	E
12~13	1,624	F	F	E	E	D	E
13~14	1,543	F	F	E	D	D	D
14~15	1,735	F	F	F	E	D	E
15~16	1,756	F	F	F	E	D	E
16~17	1,796	F	F	F	E	D	E
17~18	1,900	F	F	F	E	E	E
18~19	1,667	F	F	F	E	D	E
19~20	1,577	F	F	F	E	D	E
20~21	1,512	F	F	F	E	D	E
21~22	1,414	F	F	F	E	D	E
22~23	1,108	F	E	E	D	C	D
23~24	910	E	D	D	C	C	C
Allowable time		10	11	12	23	24	24

(a) YangPyung

<Table Continued>

Time	Traffic	LOS according to the Bypass Ratio(%)					
		0	10	20	30	40	50
00~01	713	D	C	C	B	B	B
01~02	547	C	B	B	B	B	A
02~03	459	B	B	B	B	A	A
03~04	458	B	B	B	B	A	A
04~05	601	C	C	B	B	B	B
05~06	663	D	C	C	B	B	B
06~07	750	D	D	C	C	B	B
07~08	838	D	C	C	B	B	B
08~09	977	D	D	C	C	B	B
09~10	1,285	E	E	D	D	C	C
10~11	1,407	F	E	E	D	C	C
11~12	1,573	F	F	E	D	D	D
12~13	1,598	F	F	E	E	D	D
13~14	1,796	F	F	F	E	E	D
14~15	1,802	F	F	F	E	E	D
15~16	1,984	F	F	F	F	E	E
16~17	1,916	F	F	F	F	E	E
17~18	1,985	F	F	F	F	E	E
18~19	1,961	F	F	F	F	E	E
19~20	1,969	F	F	F	F	F	E
20~21	1,673	F	F	F	F	E	E
21~22	1,342	F	F	E	D	D	D
22~23	1,195	F	E	E	D	C	C
23~24	926	E	D	D	C	C	B
Allowable time		11	13	16	18	23	24

(b) Changwon

야간작업 시 양평방향의 경우 저녁 11시부터 다음날 9시까지 약 10시간 정도, 창원방향의 경우는 11시부터 다음날 10시까지 11시간이 작업가능한 시간이다. 하지만, 본 연구에서 적용하려고 하는 1차로 전면차단을 위해서는 양방향 모두 30~50% 우회를 시켜야 하는 것을 알 수 있다.

2.2. 이용자 비용 분석

이 구간의 총 유지보수 공사비는 약 46.1억원이 소요될 것으로 예상되었으며, 이 금액은 확정된 비용으로 변동성이 낮다. 하지만, 그 구간을 주행하는 이용자 비용은 다양한 변수에 의해 변화한다. 본 논문에서는 미국에서 유지보수 시 사용하는 분석틀인 CA4PRS를 통해 교통조건 및 우회율에 따른 이용자비용을 분석하였다(Caltrans., 2011). 이용자비용 계산 시 1\$는 약 1,050원으로 가정하였다. 양평방향과 창원방향의 이용자비용을 분석한 결과를 도시한 것이 Fig. 2와 같다. 예상과

같이 두 구간 모두 우회율이 증가할수록 이용자비용이 줄어들었다. 우회율이 0%일 때 30.5억원에서 30%일 때 2.4억원, 40%일 때 0.2억원으로 산출되었다. 창원방향의 경우도 공사구간이 짧아서 이용자비용이 양평방향에 비해 적을 뿐, 그 경향은 유사하였다. 우회율이 0% 일 때 18.8억원에서 30%일 때 2.2억원, 40% 이상일 때 0.1억원 미만으로 산출되었다. 종합하면, 30% 이상 우회할 경우 이용자 비용은 공사비에 비해 미미한 수준으로 분석되었다.

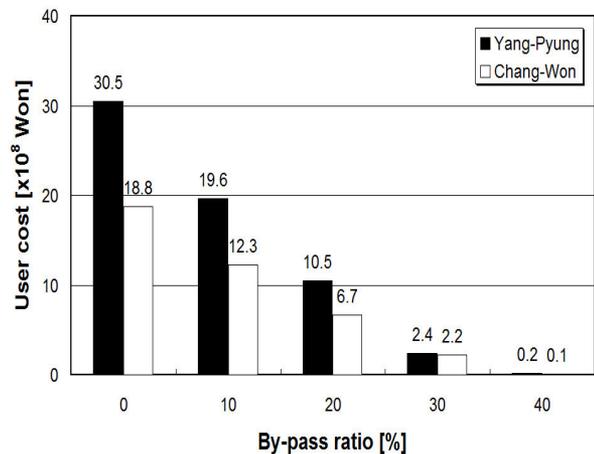


Fig. 2 User Cost according to the Bypass Ratio

2.3. Traffic Management Plan(TMP) 전략

TMP에서는 인근 우회도로 현황을 조사하여 우회 가능성을 검토하였으며, 해당 중부내륙고속도로와 경부고속도로 등 인근도로가 우회 교통량을 수용할 수 있는지를 분석하였다(국토교통부, 2013).

먼저 교통제한에 따른 정체 발생을 예측하였다. 2012년도의 교통량 데이터에서 살펴본 바와 같이 공사구간의 교통량은 58,768대/일(AADT)이다. 교통시뮬레이션 프로그램 VISSIM 5.30을 사용하여 연속교통제한에 따른 고속도로의 교통 정체를 분석하였다.

분석 결과, 교통량을 우회시키지 않을 경우 정체는 오전 9시 30분부터 시작되어 저녁 9시경에 피크가 발생하는 것으로 나타났다. 최대 정체 길이, 정체로 인해 소요되는 시간 및 통행 속도를 분석한 결과는 Table 3과 같았다. 만약, 공사장을 진출입하는 작업차량을 고려한다면 정체는 더 심각해질 것이지만, 본 분석에서는 이를 고려하지 않았다. 최대 19km의 정체 길이가 발생하는 구간이 생길 것으로 나타났다. 따라서 차량을 우회시키지 않을 경우 이용자비용이 커지고 이용자들의 불만이 많아질 것으로 예상되었다.

Table 3. Estimated Travel Time and Speed of Gim-Cheon JCT~Sun-San IC

		GimCheon JCT→ NacDong JCT		NacDong JCT→ GimCheonJCT	
		Pass through construction area	GuMi IC → Starting point	NacDong JCT → SunSan IC	NamSangJoo IC → NacDong JCT
Travel time	Predict	7m	3h 22m	1h 46m	3h 3m
	Normally	4,2m	8,0m	8,4m	5,5m
Speed	Predict	60,5km/h	3,9km/h	7,9km/h	3,0km/h
	Congestion length	7,070m	13,153m	14,045m	9,108m

다음으로 교통량 우회 계획을 수립하기 위해서 공사 구간 통행차량의 기종점을 분석하고 인근도로 현황을 조사하였다. 기종점 분석 결과, 김천JCT-선산IC 구간 에 대한 직접영향권을 대구, 경북으로 설정하였을 때 대구, 경북 내부통행량은 약 0.62%로, 내부통행량 비율은 상당히 낮은 것으로 분석되었다. 다만 대구, 경북이 기 점이거나 종점인 비율이 약 44%로 비교적 높은 상태였다. 공사구간 교통량의 기종점은 서울-경기-인천과 울산-대구-경북지역간의 통행량이 약 70% 이상을 차지 하여 장거리 통행량이 많은 것으로 분석되었다. 따라서, 홍보 대상을 직접영향권인 대구, 경북뿐만 아니라 서울, 경기, 인천을 포함한 수도권으로 확대하여 전국적이고 적극적인 홍보계획이 필요하다.

김천JCT-선산IC 인근의 고속도로 및 주변우회국도의 교통량과 차종비율 등 현황을 바탕으로 공사구간의 우회율과 분담가능 비율을 교통수요분석 프로그램 (EMME/3)을 이용하여 분석하였다. 김천JCT~선산IC 구간 교통제한 시 경부고속도로가 약 41.5% 정도의 분담률로 가장 큰 역할을 할 수 있을 것으로 예측되었으며, 국도 25, 33, 59, 3을 통해 나머지 약 22.5% 정도 의 교통량 분산이 가능할 것으로 분석했다. 즉, 본 공사와 관련하여 약 64% 정도까지는 교통량이 인근도로로 분배가 가능할 것으로 분석되었다. 다만, 가장 이상적인 교통상황과 더불어 신설도로 교통수요분석 프로그램인 EMME/3을 적용한 것은 기존 습관에 익숙한 운전자들이 일시적인 공사로 우회도로를 이용하는 것이 쉽지 않을 것으로 판단되기 때문에 분석에 한계가 있을 것이다.

가장 이상적인 경우로 최대 64%까지 교통량을 우회 시킬 경우를 가정하여 우회도로별 교통량 현황과 그에 따른 서비스 수준 분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 기존 교통량의 64% 정도가 인근 도로로 우회하더라도 우 회노선은 늘어난 교통량을 수용 가능한 것으로 분석되 었다.



Fig. 3 Ideal Condition for Traffic Sharing of Nearby Roads

2.4. 우회도로의 교통분배를 위한 홍보 계획

앞서 살펴본 바와 같이 우회도로 및 교통량을 시뮬레 이션할 수 있는 EEME/3의 분석 결과, 공사구간 인근 도로로 우회시킬 경우, 방향별 한 차로 제한 시에도 교통정체가 발생하지 않을 것으로 예측되었으며, 가장 이상적인 경우 최대 64%까지 교통량 분배가 가능한 것으로 예측되었다. 그러나 우회율을 높이기 위해서는 앞서 살펴본 장거리 교통량에 대한 홍보가 도로 이용자에게 잘 되느냐가 관건이다. 따라서, 교통 우회 유도 및 원활한 공사추진을 위해 언론, 안내시설, 인터넷 등을 활용한 집중홍보를 계획하였다. Fig. 4는 실제 공사 전에 공사구간을 우회할 것을 홍보하였던 다양한 방법들의 예를 나타낸 것이다.



Fig. 4 Publicity Through Various Media

3. 전면차단 후 집중유지보수의 사후평가

사전에 TMP 전략 수립시 분석 결과를 토대로 공사 기간동안 모니터링을 실시하여 중부내륙고속도로의 정

체길이와 정체시간, 인근 고속도로 및 국도의 교통량 변화를 측정한다. TMP 전락수립 시 예측한 값과 일치하는지를 확인하여 필요 시 현장여건에 맞게 TMP 전략을 수정하고, 향후 유사한 프로젝트 평가 시 활용하게 된다.

김천JCT~선산IC의 경우는 교통통제, 기존 콘크리트 포장 해체, 아스팔트 포장 재시공 작업을 2003년 10월 28일에 시작하여 11월 4일까지 약 9일에 걸쳐 완료하였다. 재포장 공사구간의 모니터링을 위해 중부내륙고속도로 본선의 교통량과 경부고속도로 교통량을 차량검지기(Vehicle Detector System, VDS)를 활용 분석하여 경부고속도로를 이용하여 우회하는 교통량이 어느 정도인지 확인하였고, 중부내륙고속도로에 설치된 교통정보용 듀얼 모드 단거리 무선통신(DSRC, Dedicated Short Range Communication)을 활용하여 공사구간의 통행시간을 산출하였으며, 공사구간 인근 영업소의 진출입 교통량을 활용하여 인근 국도의 교통량 증감을 확인하였다. 또한 노선에 설치된 폐쇄회로 TV(Closed Circuit Television, CCTV)와 안전순찰차를 정체구간 후미에 배치하여 정체길이를 확인하였다. 이를 토대로 본 프로젝트의 사후 평가를 실시하였다.

3.1. 우회를 분석

앞서 다양한 방법으로 예측한 우회율을 검증하기 위하여 실제 공사기간 동안에 발생한 우회 교통량을 고속도로와 일반국도의 증감된 교통량을 바탕으로 분석하였다. 고속도로는 공사가 진행중인 중부내륙고속도로와 인근의 경부고속도로의 교통량은 VDS를 통해 증감을 검토하였다. 일반국도의 경우는 각 일반국도로 진출입하는 고속도로 영업소의 교통량 데이터를 바탕으로 비교하였다. Table 4는 중부내륙고속도로와 경부고속도로의 교통량 변화를 나타낸 것이다. 공사기간동안 양평방향은 교통량이 일평균 12,837대가 감소하였으며, 창원방향은 일평균 11,803대가 감소하였다. 이는 기존 교통량을 기준으로 각각 40% 및 36%의 교통량이 감소한 것이다. 다음으로 우회도로 중 가장 많은 역할을 한 인근 경부고속도로의 경우, 공사기간동안 서울방향은 교통량이 일평균 7,467대, 부산방향은 5,475대가 증가하였으며, 비율로 환산하면 각각 44%와 32%가 증가한 것으로 분석되었다. 즉, 공사구간 양평방향의 감소 교통량 12,837대/일 중 약 58%인 7,467대/일이 경부선으로 전환되었고, 창원방향의 감소 교통량 11,803대/일 중 7,467대/일인 63%가 경부선으로 전환되었다.

Table 4. Daily Average Traffic Volume Change of JungBuNaeRooc and GeongBu Expressway

		Measured traffic a week ago (vehicle)	Measured traffic during construction (vehicle)	Traffic increase or decrease (vehicle)	Traffic increase or decrease ratio (%)
JungBu NaeRooc	Yang Pyung	31,712	18,875	-12,837	-40.5
	Chang Won	32,500	20,697	-11,803	-36.3
GeongBu	Seoul	17,145	24,612	7,467	43.7
	BuSan	17,298	22,773	5,475	32.2

Table 5는 일반국도로 우회한 교통량을 정리한 표이다. 일반국도 25호선, 3호선 및 59호선의 경우는 교통량이 증가하였으며, 33호선의 경우는 오히려 감소한 것으로 나타났다. 전체적으로 국도를 통과하는 교통량 실적 결과, 국도로 우회하는 교통량은 상대적으로 미미한 것으로 나타났다. 그 원인으로서는 차량운전자의 인식이 잠깐의 불편을 감내하더라도 고속도로를 빠져나가 국도를 이용하는 것을 꺼려하기 때문으로 판단된다. 또한, 공사구간의 영향을 받는 도로 네트워크에 나타나지 않은 교통량은 양방향으로 각각 약 5,000여대가 되는 것으로 나타났다. 이는 공사구간 발생으로 인해 검토대상 이외의 다른 도로를 이용하였거나 교통수단 자체를 변경하였기 때문으로 판단된다.

Table 5. Daily Average Traffic Volume Change of Nearby National Highways

National highway	25 th line		3 rd line		59 th line	
	Ga San	Sang Joo	Nam SangJoo	Gim Cheon	Nam GimCheon	Dong GimCheon
Traffic volume	3,240	834	2,032	-906	-201	1,275
	4,074		1,126		1,074	
	33 th line					
	Sun San	Gu Mi	Nam GuMi	Wae Gwan	Total	
	1,377	-5,771	1,214	-3,457	-363	
-6,637					-363	

3.2. 정체현황 분석

공사구간의 정체는 공사구간을 포함한 정체길이, 정체시간, 공사구간의 통행속도로 정의하였다. 정체길이는 경북본부 교통센터에서 CCTV를 통해 실시간으로 기록하였다. 정체구간 통행시간 분석은 VDS를 구간통행 정보 자료로 사용하기에는 한계가 있기 때문에 고속도로 상에 약 4km간격으로 설치되어 있는 DSRC를 통해 구간 통행

시간을 집계하였다. 또한, 정체속도는 정체시간과 정체길이를 이용하여 산출하였다. 중부내륙선 양평방향은 남김천IC~낙동JCT, 창원방향은 낙동JCT~김천JCT의 구간 소통정보를 이용하여 마지막 공사일을 제외한 시간대별 정체구간 및 공사구간 통행시간을 산출하였다.

정체길이는 시간대별로 다소 차이가 있으나 야간시간에는 공사구간에서만 정체가 발생하였으며, 출근 시간대 이후부터는 지속적인 정체가 발생하였다. 저녁 퇴근시간에서부터는 정체가 증가되어 11월 1일에는 정체길이가 13km를 넘는 경우도 발생하였다. 정체시간은 자유교통류 상태에서의 소요시간 대비 증가된 시간을 의미하는 것으로 분석 결과, 정체길이와 유사한 경향을 나타내었다. 야간시간에는 정체시간이 10분 이하였으나, 오전 10시 이후에서부터 자정까지 지속적인 정체로 인해 통과시간이 증가하였다. 저녁 퇴근시간에서는 정체로 인한 시간이 최고가 되었으며, 11월 2일에는 정체시간이 70분을 넘는 경우도 있었다. 통과속도를 모니터링한 결과, 야간 시간에는 통과속도가 40~60km/h였으나, 오전 11시 이후에서부터 통과속도는 약 30km/h 수준을 보이다가 저녁 퇴근시간에서는 20km/h 이하로 감소하였다. 창원방향의 경우는 교통제한구간이 상대적으로 짧았기 때문에 정체길이는 전체적으로 양평방향보다 더 짧았으나 정체시간 및 통과속도에서는 양평방향과 큰 차이가 나타나지 않았다. Table 6은 중부내륙고속도로의 정체와 관련된 분석 결과를 종합한 표이다. 심각한 정체시간과 정체길이는 발생하지 않은 것으로 나타났다.

Table 6. Result of Congestion Analysis

	Congestion length (km)	Congestion time (min.)	Passing speed (km/h)
YangPyung	8.2	19.3	29.7
ChangWon	3.8	11.2	26.7

3.3. 공사구간 용량

도로용량산정의 15분 교통량이 아닌 공사구간의 한시간 간격의 교통량을 근거로 이 구간의 도로 용량을 추정하였으며, 이것을 정리한 것이 Table 7이다. 이는 VDS 장비의 오차와 각 날짜별 변동을 고려하여 전체를 평균한 결과로, 양평방향의 경우는 1,155대/시, 창원방향은 1,254대/시로 분석되었다. 양평방향은 실제 교통량 및 기하조건에 따른 공사구간의 용량 및 보정 결과와 유사하였다. 그러나 창원방향의 경우는 예상보다 시간당 약 100대정도 많은 것으로 나타났다. 이러한 차이는 다양

한 원인들이 있지만, 가장 큰 원인으로서는 교통제한 구간 길이의 차이에 기인한다. 즉, 양평방향은 교통제한 길이 7.2km를 통과하는 동안 기하구조 및 공사조건 영향을 지속적으로 받았으나, 창원방향은 양평방향의 1/3수준으로 짧아 공사로 인한 영향을 덜 받았기 때문인 것으로 판단된다.

Table 7. Capacity of GimCheon JCT~Sunsan IC (Vehicle/hour)

	YangPyung	ChangWon
Average	1155	1254

3.4. 이용자비용

통행속도의 저하 및 정체발생에 따른 이용자비용을 분석하였다. 여기에서는, 차량운행비용은 포함시키지 않고, 차량의 시간가치를 고려한 이용자비용만을 분석하였다. 이용자비용은 Eq. (2)와 Eq. (3)을 이용하여 산출하였으며, 여기서 k는 차종을 의미한다. 이용자비용을 산출하기 위한 입력변수로는 차종별 교통량, 정체길이(공사구간 포함), 통행속도이다. 교통량 조사장비에는 고속도로 본선 약 1km 간격으로 설치되어 있는 VDS와 IC와 IC내 한 개소 설치되어 있는 상시교통량조사장비(Automatic Vehicle Classification, AVC)가 있다. AVC에서는 교통량 신뢰도가 VDS에 비해 낮으나 차종구분이 가능하므로 교통량은 VDS 지점 자료를 활용하되 AVC의 차종비율 값을 적용하여 차종별 교통량을 산출하였다. 정체길이 및 통행속도는 앞서 산출 및 수집한 자료를 적용하였다.

$$\text{시간비용(원)} = \sum_{k=1}^3 [\text{추가통행시간(시)} \times \text{교통량}_k(\text{대}) \times \text{원단위}_k(\text{원/대/시})] \quad (2)$$

$$\Sigma \text{이용자비용} = \Sigma (\text{정체발생시 비용} - \text{정체미발생시 비용}) \quad (3)$$

여기서, k : 차종 구분(본 연구에서는 3종으로 구분)

정체가 발생한 시간대를 대상으로 한 이용자 비용 산출 결과, Table 8과 같이 양평방향 10.8억원, 창원방향 7.7억원으로 총 18.5억원의 이용자 비용이 발생한 것으로 나타났다. 하지만, 이는 예측 결과 0.3억원과 큰 차이를 보였다. 이러한 원인은 정체시간 및 공사구간 주행

속도, 도로의 용량 등의 차이에 의해서 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

Table 8. Total User Cost during Construction

User cost (x10 ⁶ won)	
YangPyung	ChangWon
10.8	7.7

Table 9는 김천JCT~선산IC 구간의 예측 항목들 및 예측값과 실제 모니터링을 통해 분석한 결과를 종합한 표이다. 전체적으로 예상한 것과 실측한 것의 차이가 일부 항목은 차이가 있지만 다른 항목에서는 유사 결과가 나타났다. 본 연구에서는 향후 유사한 프로젝트를 수행할 경우, 적용한 분석 방법 및 연구결과를 검토하여 보완해야 할 근거를 제시하였다.

Table 9. Prediction vs. Monitoring Result of GimCheon JCT~Sunsan IC

		Prediction		Monitoring result
		Tool	Predicted values	
User cost (x10 ⁶ won)		CA4PRS	0.3	18.5
Bypass ratio	JungBu NaeRooc(%)	EMME/3	- 64	-40.5(YP*)/ -36.3(CW**)
	GeongBu (%)		41.5	43.7(YP)/ 32.2(CW)
	National highways (%)		3.5(3 rd line)/ 3.3(59 th line)/ 10.7(33 th line)/ 5.0(25 th line)	Not much
Congestion length (km)		VISSIM	7	8.2(YP)/ 3.8(CW)
Congestion time (min.)			7	19.3(YP)/ 11.2(CW)
Passing speed (km/h)			60.5	29.7(YP)/ 26.7(CW)
Capacity (vehicle/hour)		Capacity manual	1,179 (YP) 1,185 (CW)	1,155 (YP) 1,254 (CW)

*YP : YangPyung, **CW : ChangWon

4. 결론 및 향후 연구

4.1. 결론

본 논문에서는 고속도로 포장의 노후 및 파손 구간을 효율적으로 유지보수를 수행하기 위한 연구를 수행하였다. 기존의 야간공사를 탈피하고 1차로 전면차단 후 집중보수하는 방법에 대한 사전 계획 및 사후 평가를 김천 JCT~선산IC 구간의 유지보수 프로젝트를 대상으로 수

행하였다. 일련의 연구를 통해 도출한 집중보수 방법이 사전 계획 및 홍보를 잘 한다고 하면 커다란 지정체를 유발하지 않고 유지보수한 도로포장의 내구수명을 증대할 것으로 기대한다. 다음은 그 결과를 간략하게 정리한 것이다.

- 2013년 기준으로 공사구간과 인근 주변의 우회도로의 교통량 정보를 바탕으로 사전계획을 수립하였다. 우회율에 따른 이용자 비용 분석 결과, 약 30~50% 정도의 우회가 필요한 것으로 나타났다. 지정체에 대한 예상 결과, 64% 정도까지 우회가 가능한 것으로 나타났으며, 이를 위해서는 적절한 교통배분을 위한 홍보가 필요하였다.
- 사후분석은 공사 전의 계획과 실제 현장에서의 차이를 검토하기 위해서 실시되었으며, 우회율, 정체분석, 용량 및 이용자 비용 변화 등을 검토하였다. 우회율의 경우는 중부고속도로는 양평방향이 40%, 창원방향은 36% 감소하였으며, 우회로인 경부고속도로는 서울방향은 44%, 부산방향은 32% 증가하였다. 하지만 일반 국도로의 우회는 예상과 달리 많지 않았다.
- 정체에 대한 분석에서는 양평과 창원방향에서 최대 13km, 12km까지 정체가 발생하였다. 이는 기존 교통량 데이터와 실제 교통량의 차이와 공사구간을 정체구간으로 간주하여 평가하였기 때문에 이와 같은 차이가 나타난 것이다. 정체로 인한 추가된 주행시간은 양평방향이 19분, 창원방향이 11분이었으며, 공사구간의 통과속도는 각각 30km/h와 27km/h 정도였다.
- 도로 용량에 대한 분석에서는 양평방향이 평균 1,155대였으며, 창원방향이 1,320대로 도로용량편람의 분석 결과와 다소 차이가 있었으며, 도로용량은 공사길이에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 실제 사용자 비용은 18.5억원 정도 발생한 것으로 나타났다. 이는 CA4PRS를 통해 분석한 우회율 20% 수준과 유사한 것이며, 실제 우회율 40% 수준의 것과는 차이가 발생하였다. 이는 공사 시 정체의 패턴, 실 교통량 및 도로용량 차이로 인한 것으로 판단된다. 따라서, 계획을 수립 시 실제 교통특성, 용량, 작업시간 등을 적절히 검토하여야 할 것이다.

4.2. 향후 연구 방향

본 연구에서는 집중유지보수의 영향 평가를 위해 다양한 방법으로 계획을 수립하였고 이에 대한 결과를 분

석하였다. 하지만 큰 흐름에 필요한 세부 모듈들을 새롭게 개발하기보다는 필요한 모듈들을 기존의 것에 활용하였기에 일부 제한적인 부분이 있다. 이용자비용, 지정체 및 우회 분석 등과 같은 프로그램을 국내 여건에 적합하고 필요하도록 개선하거나 관련 프로그램을 새롭게 개발하도록 해야 할 것이다. 그리고 사용자비용에 대한 보다 구체적인 연구와 국내 여건에 적합한 정체 발생모형의 개발이 필요하다. 또한 TMP 작성은 1회로 끝나는 것이 아니라 지속적인 보완 및 개선을 통해 업데이트해야 할 것이다. 또한 본 논리를 개발하기 위한 국내 데이터베이스가 미미하였기 때문에 각 공사현장에서 논리개발에 필요한 항목들을 모터링하고 결과를 체계적으로 분석하여 관련 모듈들을 보완해 나가야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(과제번호 16CTAP-C085624-03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Caltrans, "Construction Analysis for Pavement Rehabilitation Strategies) User Manual (Version 2.5)", 2011.

Caltrans, "Transportation Management Plan Guidelines", Division of Traffic Operations Office of System Management Operations, 2009.

Federal Highway Administration, "Developing and Implementing Transportation Management Plans for Work Zones", Federal Highway Administration, 2005.

INRO, "Release Notes: Emme 3.0", 2007.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Road Capacity Manual, 2013.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Statistical Yearbook of Traffic Volume in 2012, 2013.

Kim, ChanWoo, Concrete Pavement Condition and Improvement in Korea, Korean Society of Road Engineering, Seminar Material of Cement Concrete Pavement Division, 2013.

Korea Highway Corporation, Statistical Yearbook of Traffic Volume on Expressway in 2012, 2013.

Korea Highway Corporation, "Criteria Change of Lane Closure by Modifying Road Capacity Manual (Draft)", internal Document of Traffic Management Division, 2013.

Korea Highway Corporation website, <http://www.ex.co.kr>, (Accessed in 2015.12).

PTV AG, "VISSIM 5.30-05 User Manua", 2011.