

도시 고속도로 공사구간 용량 산정

이미리* · 김도경** · 김효승*** · 이청원****

Lee, Mi Ri*, Kim, Do-Gyeong**, Kim, Hyo-Seung***, Lee, Chungwon****

Capacity of Urban Freeway Work Zones

ABSTRACT

This paper aims to estimate work zone base capacity by the number of lanes for urban freeway. To do this, data were collected from the field survey and the database system maintained by traffic control center, and analyzed with four different methods such as the average maximum observation flow rate, headway, regression analysis, and parameter inspection. The work zone base capacity for urban freeway is estimated based on the average maximum observation flow rate and headway method, which are more reliable methods compared to others. The average capacity is 1,650pcphpl when the design speed is 80km/h. The capacity of four lanes one-way work zones was about 1,700pcphpl, while one of 2 lanes one-way work zones was about 1,600pcphpl. The capacity reduction rates for each are 0.15 and 0.2, respectively. The smaller the number of lane is, the more base capacity is reduced. For verification of results, we estimate the capacity by simulation analysis using PARAMICS, and compare with analytical results by a statistical method. This research can be used for efficient and systemic management of work zone in the urban freeway.

Key words : Work zone, Work zone capacity, Work zone capacity estimation, PARAMICS

초록

본 연구는 도시 고속도로의 편도차로수별 공사구간 기본용량 산정을 위한 것이다. 이를 위하여 현장 자료 및 교통관리센터자료를 수집하고, 4가지 분석방법을 적용한다. 평균 최대 관측 교통류를 분석법과 Headway 분석법, 회귀 분석법, Parameter Inspection 분석법 중 신뢰성이 높은 평균 최대 관측 교통류를 분석법 및 Headway 분석법의 결과를 값을 기반으로 공사구간 기본용량을 산출한다. 설계속도 80km/h인 도시고속도로 공사구간 평균용량은 약 1,650pcphpl로 추정된다. 편도 4차로 공사시 용량은 약 1,700pcphpl, 편도 2차로 공사시 용량은 약 1,600pcphpl이며, 용량 감소율은 각각 0.15, 0.2이다. 편도차로수가 적을수록 용량이 더 감소하는 것으로 보인다. 또한 결과의 검증을 위하여 파라믹스 시뮬레이션 분석을 통해 편도 차로수별 용량을 산정하고, 자료분석 산출용량을 비교한다. 본 연구는 도시 고속도로의 공사구간의 효율적이고 체계적인 관리 수립에 기여할 수 있다.

검색어 : 도로점용공사, 공사구간 용량, 공사구간 용량산정, 파라믹스

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도시의 이동성 증대를 위해 도시고속도로가 확충되고 있으며 도시의 수송능력에서 중추적인 역할을 수행하고 있으나 유지보수를

* 정희원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (its.lmr@gmail.com)

** 정희원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (dokkang@uos.ac.kr)

*** 정희원 · 서울대학교 건설환경종합연구소 선임연구원 (kimhyoseung@gmail.com)

**** 교신저자 · 서울대학교 건설환경공학부 교수 (Corresponding Author · Professor of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University · chungwon@snu.ac.kr)

Received December 6 2012, Revised December 23 2012, Accepted January 10 2013

위한 각종 도로점용공사는 체계적으로 관리되지 못하고 있다. 서울 시의 경우(Jo et al., 2008) 도로점용공사로 인하여 교통기능 손실금액은 한해 2조 7,000억원에 이른다는 보고도 있다. 이는 도로점용공사로 인한 교통기능 손실에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

교통량이 많고 주행속도가 높은 도시고속도로의 도로점용 공사구간은 교통사고 위험뿐만 아니라 차로수 감소, 차로변경, 가감속 등의 증가로 마찰이 증대되어 교통정체를 야기한다. 도시고속도로 여건에 적합한 차로감소 공사구간 용량 및 용량 산정식에 관한 연구가 미비하여 효율적이고 체계적인 도로운영 및 관리가 어려운 실정이다. 적절한 교통관리방안 수립을 위해서는 공사구간 용량산정이 필요하다.

본 연구에서는 도시고속도로를 대상으로 공사구간의 용량을 분석하고 용량 산정식을 제시한다.

1.2 연구 내용 및 방법론

본 연구에서는 공사 관련 문헌고찰을 토대로 용량 감소율을 추정하고, 현장 및 센터자료를 수집하여 용량을 분석한다. 용량분석 방법은 평균 최대 관측 교통류를 분석법, Headway 분석법, 회귀분석 분석법, Parameter Inspection 분석법을 이용한다. 또한, 시뮬레이션으로 편도 차로수별 용량을 산정하고, 현장자료와의 통계적 검증을 실시한다.

최종적으로 공사구간의 기본 용량 및 용량 산정식을 제시하고자 한다.

2. 문헌 고찰

국내의 경우 도로교통 운영개선 실무서(Korea Institute of Construction Technology, 1993)에서 고속도로 공사구간의 개략적인 용량 및 용량 산정식을 제시하고 있다. 이후 공사구간에서 비공사시와 공사시의 용량변화에 대한 연구는 진행되고 있으나

(Jeong, 2006), 용량 산정식에 대한 추가적인 연구는 미비한 실정이다. 이에 비해 국외에서는 USHCM 등 공사구간 용량 산정 및 용량 산정식 연구가 꾸준히 이루어지고 있다.

공사관련 국내외 연구들은 한 가지 분석법만을 적용하였으며, 그 결과 비공사시 보다 공사시 용량이 높게, 또는 유사하게 나타나는 분석법 등이 존재하여 신뢰성이 낮다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 4가지 분석법을 고찰하여 적용함으로써 연구결과의 정확성 및 신뢰성을 높였다.

2.1 국내외 연구

2.1.1 관측 교통류를 분석법

도로용량편람개선연구 최종보고서(Seol et al., 1999)는 속도-교통량 관계 그래프(15분단위)에 의해 관측된 값들 중 용량으로 판단되는 자료의 상한값과 하한값의 평균값을 적용하였다.

2.1.2 Headway 분석법

Kim et al.(1995)은 개별 Headway를 이용한 교통류를 분포에 대하여 95% 신뢰구간을 구한 후 95백분위값에 해당하는 교통류율이 도로용량편람(Korean Society of Transportation, 2001)의 용량값에 최근접하는 것으로 확인하였다.

2.1.3 회귀 분석법

Lim et al.(2002)은 FRESIM을 이용하여 회귀분석으로 공사구간용량을 산출하였다. 편도2차로 도로의 1차로 점용의 경우 Underwood 모형의 R^2 은 0.96, 용량은 1,719pcphpl로 나타나며, 편도3차로 도로의 1차로 점용의 경우 Greenshields 모형은 0.91, 용량은 2,225pcphpl로 나타났다.

2.1.4 Parameter Inspection 분석법

May(1990)는 Single-regime models인 Greenshields, Greenberg, Underwood, Northwestern 모형을 이용하여 자료로부터 교통류 Parameter μ_f, μ_o, k_j, k_o 추정한 뒤, 그 값을 기반으로 용량을 산정하였다.

2.1.5 기타 분석법

Eom(1994)은 고속도로를 대상으로 비디오 촬영하여 교통량, 차두간격 등을 10분단위로 측정해 1시간으로 환산하여 평균 교통량을 측정하였다. 그 결과 편도2차로 도로의 1차로 점용의 경우 단기공사 용량은 1,686pcphpl, 장기공사 용량은 1,536pcphpl 등으로 나타났다.

Kim et al.(1998)은 차로감소구간의 5분단위 교통량을 시간단위로 환산하여 평균값을 이용하였다. 고속도로 편도2차로 도로의 1차로 점용의 경우 용량은 1,495pcphpl, 속도는 25~40km/h 등으

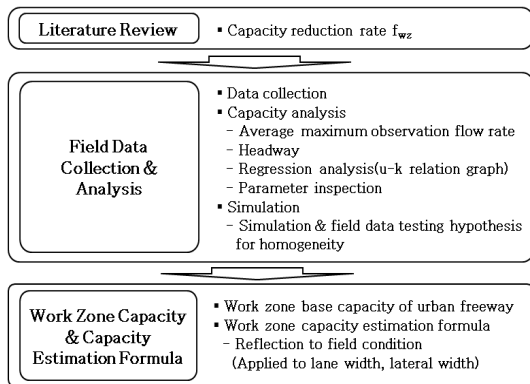


Fig. 1. The study methodology

로 나타났다.

Jeong(2006)은 서울 도시고속도로센터 돌발상황자료를 이용하여 5분단위 교통량을 시간당 교통량으로 환산하여 평균 통과 교통량으로 구하였다. 공사구간 편도2차로 도로의 1차로 점용의 경우 용량은 1,640vphpl, 속도는 17km/h로 나타났으며, 공사구간 편도2차로 도로의 1차로 점용의 경우 용량은 1,862vphpl, 속도는 26km/h로 나타났다.

Maze et al.(2000)은 2개의 트레일러로 비디오 관측하였으며, 교통량 관측은 차로폐쇄 taper의 상류부 500ft(152m)와 끝지점에서 시행하였다. 공사구간의 최대용량을 결정하기 위해서 대기행렬 생성 전 후 교통량의 상위 10%를 이용하였으며, Iowa 공사구간 용량은 약 1,400 ~ 1,600pcphpl로 나타났다.

2.1.6 공사구간 용량 산정식

도로교통 운영개선 실무서(Korea Institute of Construction Technology, 1993)는 공사구간 용량에 관한 개략적인 기준을 제시하였으며, 용량 산정식과 단기 및 장기 공사구간에 대한 용량보정계수를 그래프로 제시하였다.

Krammes et al.(1994)은 공사구간 용량 관측을 작업구간의 상류부 끝단 지점에서 하였고, 기존연구를 토대로 공사구간의 용량을 약 1,600pcphpl로 결정하였다. 최종적으로 공사강도, 중차량, 램프를 고려한 공사구간 용량식을 제시하였다.

USHCM2000(TRB, 2000)은 공사구간은 설치시설물에 따라 단기 및 장기공사로 구분하였고, Krammes et al.(1994)의 연구결과를 인용하여 용량 산정식을 제시하였다.

USHCM2010(TRB, 2010)은 단기 및 장기공사일 때 용량 산정식에서 고려변수의 순서를 변경하여 USHCM2000을 보완하였고, 추가로 차로폭을 고려하였다. 장기공사일 때 용량 default 값 제시하였다(TRB, 2000; TRB, 2010).

2.2 공사구간 용량 감소율

공사시 용량이 감소하는 정도는 추정하기 위해 공사구간 용량 감소율은 $f_{wz} = 1 - \frac{\text{공사시 차로당 용량}}{\text{비공사시 차로당 용량}}$ 로 정의한다. 기존연구결과를 토대로 용량 감소율은 산출하면 평균 0.2이다. 공사구간 용량은 비공사시 보다 약 20% 감소한다는 것을 확인하였다.

문헌검토를 통해 추정된 공사구간 용량 감소율은 0.2이고, 본 연구에서는 현장자료를 바탕으로 공사구간의 용량을 분석한다.

3. 현장자료 수집

3.1 현장조사자료 수집

도시고속도로는 교통량이 많고 공사영향과급이 빠르고 커서

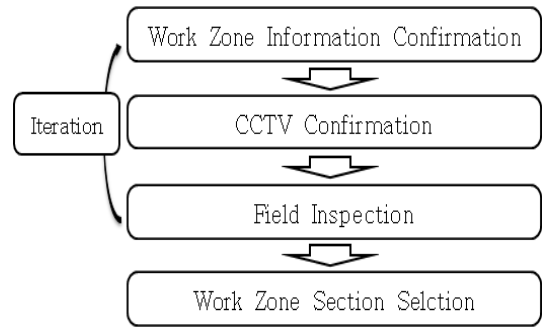


Fig. 2. The work zone selection procedure (The field inspection)

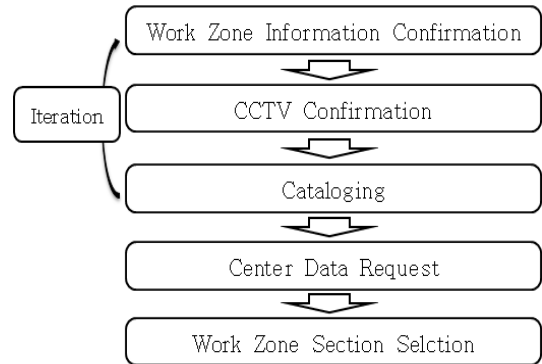


Fig. 3. The work zone selection procedure (The center)

Table 1. The data collection outline

Index	Field Investigation Data	Urban Freeway Center Data
The Data Collection Spot	Urban Freeway	
The Data Collection Period	2012.2.15 ~ 6.17	2012.5.1 ~ 6.30
The Collection Equipment	Video Camera	Image Detector
The Collection Contents	Flow, Speed, Headway etc.	Section, Flow, Speed etc.
The Collection Number of Points	1point	9points
The Collection Interval	Individual, 5, 15minutes	5, 15minutes

차로감소공사는 대개 주간이 아닌 야간, 새벽에 작업을 수행하거나 매우 짧은 시간에 마무리되므로 용량 관측이 매우 어려웠다. 공사구간을 선정하기 위해 공사정보를 토대로 CCTV를 확인하여 현장조사를 실시하였다. 그 과정을 여러 번 반복 후 공사구간을 선정하였다. 최종 현장조사자료 수집 지점은 동부간선도로 성수 JC 인근이다. 기하조건은 차로폭 3.5m, 측방여유폭 1.5m 등 도로용량편람(Korean Society of Transportation, 2001)상의 이상적인 조건을 만족한다.

3.2 서울도시고속도로센터자료 수집

현장조사자료의 수집지점수를 보완하기 위해 서울도시고속도로 센터 검지기 자료를 수집하여 공사구간 용량 분석에 이용하였다. 이 때 대상구간 선정은 현장조사자료 수집과 마찬가지로 공사정보를 토대로 CCTV를 확인한다. 공사 관련 내용을 정리해 앞의 과정을 반복 후 요청목록을 작성하고, 센터에 요청하여 분석구간을 선정하였다. 최종 센터자료 수집지점은 동부간선도로, 올림픽대로 등 총 9지점이다.

4. 공사구간 용량 분석

본 연구에서는 현장조사 및 서울도시고속도로센터 수집 자료를 평균 최대 관측 교통류율 분석법, Headway 분석법, 회귀분석 분석법, Parameter Inspection 분석법을 적용한다. 또한 미시적 교통류 시뮬레이션 모형을 이용하여 공사로 인한 영향을 다양한 차로수별로 적용해보고, 현장자료와 유사한지 통계적 검정을 실시한다.

교통량은 중차량 혼입율을 적용하여 pcphpl로 변환하고, 속도는 공간평균속도 식을 이용한다. 밀도는 현장자료를 통해 구할 수 없으므로 $\bar{q} = \bar{\mu} \times \bar{k}$ 식을 이용하여 산출한다.

기존문헌의 집계단위는 공사구간 용량 산정시 5, 10분 등으로 다양하게 적용하고 있어 도로용량편람(Korean Society of Transportation, 2001)과 일관성을 유지하기 위해 15분단위로 적용하기로 한다.

4.1 용량분석 방법론

4.1.1 평균 최대 관측 교통류율 분석법

도로용량편람개선연구 최종보고서(Seol et al., 1999)는 속도-교

통량 관계 그래프(15분단위)에 의해 관측된 값들 중 용량으로 판단되는 자료의 상한값과 하한값의 평균값을 적용하였다. 본 연구에서는 이 방법을 차용하여 속도-교통량 관계 그래프(15분단위)상에서 용량으로 판단되는 영역의 최소와 최대 교통류율의 평균값을 용량으로 결정한다. 용량으로 판단되는 영역은 설계속도 80km/h의 고속도로 기본구간일 경우 임계속도 70km/h 및 용량 2,000pcphpl 부근이고(Korean Society of Transportation, 2001), 공사시는 속도 및 용량이 비공사시보다 낮은 값을 가질 것으로 판단된다. 문헌고찰결과 약 20%정도 감소한다고 추정하였으므로 심한 감소는 지장체로 인해 용량상태로 볼 수 없어 이상치로 판단하여 포함시키지 않는다.

본 방법론을 1개 지점의 현장자료, 9개 지점의 센터자료에 적용하여 용량을 산출하였다.

4.1.1.1 현장조사 자료 분석(동부간선도로 성수 JC 인근 비공사시는 편도4차로, 공사시는 1차로 적용)

위치별 자료 분석시 차로변경 및 교통류의 흐름이 이상적이지 않은 경우는 제외하여 분석자료는 비공사시 470분, 공사시 75분이다. 비공사시 평균 최대 관측 교통류율(15분단위)의 용량부근에서 최소 교통량은 1,836pcphpl, 최대 교통량은 2,080pcphpl로 나타내며, 평균은 1,953pcphpl로 산출되었다. 공사시 평균 최대 관측 교통류율(15분단위)의 용량부근에서 최소 교통량은 1,669pcphpl, 최대 교통량은 1,930pcphpl로 나타내며, 평균은 1,724pcphpl로 산출되었다.

4.1.1.2 도시고속도로센터자료 분석(올림픽대로 영동대교 인근 비공사시는 편도4차로, 공사시는 1차로 적용)

센터자료 분석 결과 공사구간 내에 검지기가 설치되지 않거나

Table 2. The work zone capacity analysis methodology

Methodology	Explanation
Average Maximum Observation Flow Rate	• The capacity calculated with the average of the area the speed-flow relation graph is treated by the capacity
Headway	• The capacity calculated 95 percentile after calculating 95% confidence interval about the flow distribution of individual headway.
Regression Analysis	• The capacity calculated from the value after the speed-density model equation is estimated (Used such as the Greenshields, Greenberg, Underwood, and Northwestern model).
Parameter Inspection	• The capacity calculated after the parameter is estimated (Used such as the Greenshields, Greenberg, Underwood, and Northwestern model).

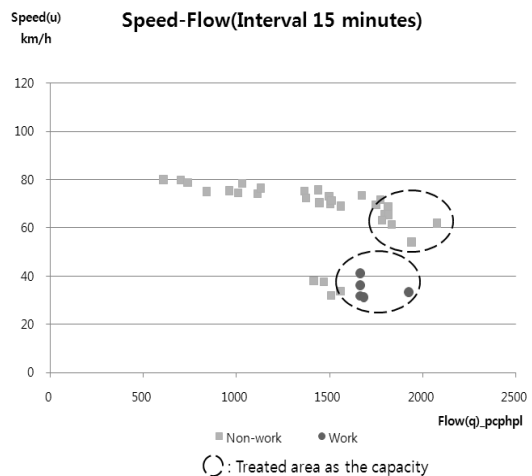


Fig. 4. The speed-flow relationship graph

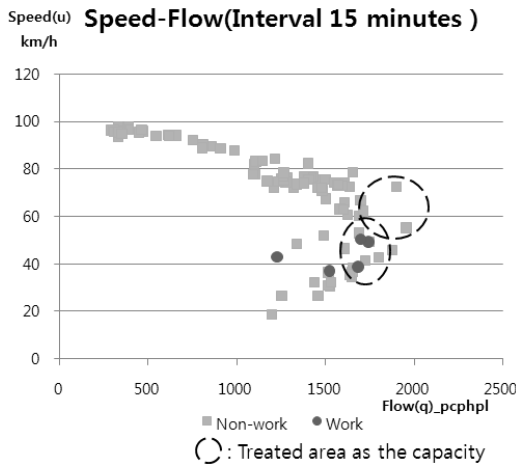


Fig. 5. The speed-flow relationship graph

수요 부족, 공사시 속도가 높고 교통량이 낮은 구간 등을 제외하였다. 도시고속도로센터 올림픽대로 영동대교 인근 자료는 2012년 5월 23일 00:00~24:00 하루동안 수집한 자료로 그 중 공사시간은 13:16~14:32으로 약 75분 동안 진행되었다. 비공사시 평균 최대 관측 교통류율(15분단위)의 용량부근에서 최소 교통량은 1,878 pcphpl, 최대 교통량은 1,958pcphpl로 나타내며, 평균은 1,918 pcphpl로 산출되었다. 공사시 평균 최대 관측 교통류율(15분단위)의 용량부근에서 최소 교통량은 1,688pcphpl, 최대 교통량은 1,745pcphpl로 나타내며, 평균은 1,707pcphpl로 산출되었다.

4.1.2 Headway 분석법

Kim et al.(1995)은 올림픽대로의 승용차로만 구성된 1차로를 대상으로 침투시간대에 조사하였으며, 개별 Headway를 이용한 교통류율 분포에 대하여 95% 신뢰구간을 구한 후 95 백분위값에 해당하는 교통류율이 매뉴얼상 설정된 용량 값에 최근접하는 것으로 확인하였다. 본 연구에서는 속도-교통량 관계 그래프(15분단위)에서 용량 인근으로 판단되는 15분 교통류율 자료 속에 포함된 개별 Headway에 상기 방법을 적용하여 용량을 산정한다. 이 방법은 두 기준점을 통과하는 차량들의 진입시각을 측정하여 구하는 방법으로 현장조사를 통해서만 얻을 수 있는 자료이다.

4.1.2.1 현장조사 자료 분석(동부간선도로 성수 JC 인근 비공사시는 편도4차로, 공사시는 1차로 적용)

비공사시 차두시간 95% 신뢰구간은 1,837~1,989vphpl, 95 백분위값은 2,079pcphpl(1,989vphpl)로 나타났다. 공사시 차두시간 95% 신뢰구간은 1,629~1,667vphpl, 95 백분위값은 1,737 pcphpl(1,659vphpl)로 나타났다.

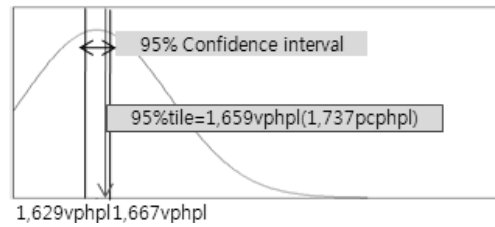


Fig. 6. 95% confidence interval 95percentile

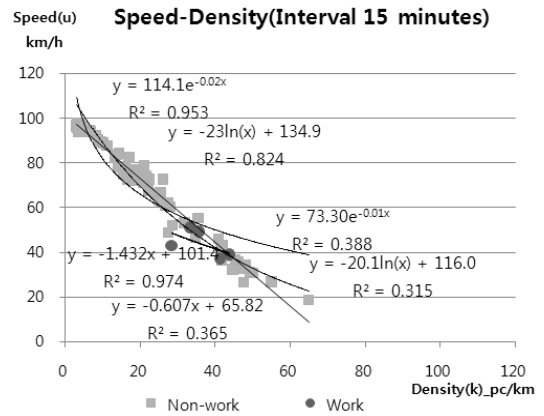


Fig. 7. The regression analysis

4.1.3 회귀분석법($\mu - k$ 관계 그래프)

회귀분석법은 Greenshields, Underwood, Greenberg 등의 속도-밀도 모형식을 추정하여 그 계수 값으로 부터 용량을 산출하는 방법이다(May, 1990; Kim et al., 1998; Lim et al., 2002; Jeong, 2006; Kim, 2010). 본 방법론을 현장자료에 적용하여 교통용량을 산정하였으며, 적합도는 결정계수(R^2)로 판단하였다.

센터자료 분석결과 비공사시는 속도-밀도 모형인 Greenshields의 R^2 값이 0.97로 가장 높은 설명력을 가지며 용량은 1,795pcphpl로 분석되었다. 공사시는 속도-밀도 모형인 Underwood의 R^2 값이 0.39로 가장 높은 설명력을 가지며 용량은 2,697pcphpl로 분석되었다. R^2 값이 0.39일 때는 R^2 값이 낮아 추정값의 신뢰성이 낮으며, 비공사시 보다 공사시의 용량이 더 크게 나오는 한계를 지닌다.

4.1.4 Parameter Inspection 분석법

Parameter Inspection 방법은 Single-regime models인 Greenshields, Greenberg, Underwood, Northwestern 모형을 이용하여 자료로부터 교통류 Parameter μ_f, μ_o, k_j, k_o 추정한 뒤, 그 값을 기반으로 용량을 산정하는 방법이다(May, 1990). 본 방법론을 현장자료에 적용하여 용량을 산정한 결과 Greenberg는 공사시와 비공사시의 용량이 유사하게 나왔으며, Underwood는 비공사시보다 공사시 용량이 더 높게 나왔다. 현장관측결과 공사시는 비공사시

Table 3. The field inspection data analysis results

Unit: pcphpl

Flow Para-meter	Greenshields		Greenberg		Underwood	
	Non-work	Work	Non-work	Work	Non-work	Work
q_m	1,800	1,590	2,124	2,112	1,680	2,080
μ_f	90	60	∞	∞	96	86
μ_o	45	30	36	32	35	32
k_j	80	106	160	180	∞	∞
k_o	40	53	59	66	48	65

Table 4. The field and center data analysis results (15 per minute)
Unit: pcphpl

Method	Field data		Center data		
	Non-work	Work	Work		
	4lanes		4lanes	3lanes	2lanes
Average Maximum Observation Flow Rate	1,953 (1point)	1,724 (1point)	1,695 (4points)	1,631 (3points)	1,580 (2points)
Headway	2,079 (1point)	1,737 (1point)	-	-	-
Type Average	-	1,702 (5points)	1,631 (3points)	1,580 (2points)	
Average	About 2,000	About 1,650			

* The lane is the number of one-way lane, work zone is 1lane occupied construction.

의 용량보다 혼잡 등으로 인해 더 낮은 값을 보여야하지만 그렇지 않은 부분이 많아 수치의 변동성 및 판단의 임의성이 높다는 한계를 지닌다.

4.1.5 소결론

현장자료 분석 결과 회귀 분석법과 Parameter Inspection 분석법은 비공사시 보다 공사시 용량이 높게, 유사하게 또는 낮게 나오는 등 변동성이 크다는 한계를 지니고 있어 신뢰성이 낮으므로, 평균 최대 관측 교통류용 분석법과 Headway 분석법이 상대적으로 적절한 것으로 판단된다. 현장자료(전체) 편도 차로수별 용량은 편도4차로 도로의 1차로 점용의 경우 1,702pcphpl(5지점), 편도3차로 도로의 1차로 점용의 경우 1,631pcphpl(3지점), 편도2차로 도로의 1차로 점용의 경우 1,580pcphpl(2지점)로 나타났다. 편도차로수가 적을수록 공사시 차로변경 등으로 혼잡이 심화되어 용량이 더 감소하는 것으로 보인다. 도시고속도로 공사구간 평균 용량은 약 1,650pcphpl로 나타난다.

Table 5. The simulation scenario

Scenario	Type	
	Non-work	Work
Case1	One way 4 lanes	Occupied 1lane
Case2	One way 3 lanes	Occupied 1lane
Case3	One way 2 lanes	Occupied 1lane

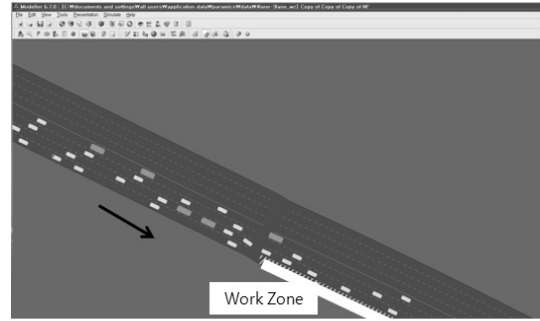


Fig. 8. The analysis network

4.2 시뮬레이션 분석

시뮬레이션 분석은 차로 감소를 모델링 할 수 있는 교통 시뮬레이션인 PARAMICS로 결정한다. 공사로 인한 영향을 다양한 편도 차로수별로 적용해보고, 현장자료와 동질하다고 볼 수 있는지 검증하고자 한다.

4.2.1 네트워크 개요 및 입력자료

네트워크는 북부간선도로 10km 구간(신내IC → 구리시계)으로 자세한 네트워크 개요 및 입력변수는 Table 5와 같다. 시뮬레이션 분석시간은 총 3시간, 분석단위는 15분, 수효는 LOS E 상태의 값을 입력하였고, 중차량 비율을 14%로 전제하여 10가지 random seed를 구현하였다. 중차량 14%는 도시고속도로 CCTV 분석으로 산출된 평균 중차량 비율이다.

분석대상 네트워크는 Figure 8과 같으며, 편도4차로 도로의 1개 차로(바깥쪽 차로) 점용 시 공사구간이다.

4.2.2 시나리오

시뮬레이션 시나리오는 편도 2~4차로 도로의 비공사시와 공사시로 구분하여 편도 차로수별로 용량을 산출한다. 시뮬레이션 시나리오는 Table 5와 같다.

4.2.3 시뮬레이션 분석 결과

편도 4차로 공사시 1,725pcphpl, 편도 3차로 공사시 1,642 pcphpl, 편도 2차로 공사시 1,591pcphpl로 나타났다. 공사를 시행할 경우 차로변경 등의 행위로 인해 혼잡이 심화되어 편도 차로수가

Table 6. The work zone capacity by simulation method
Unit: pcphpl

	Work Zone		
	One way 4 lanes	One way 3 lanes	One way 2 lanes
Capacity	1,725	1,642	1,591
Average Capacity	About 1,650		

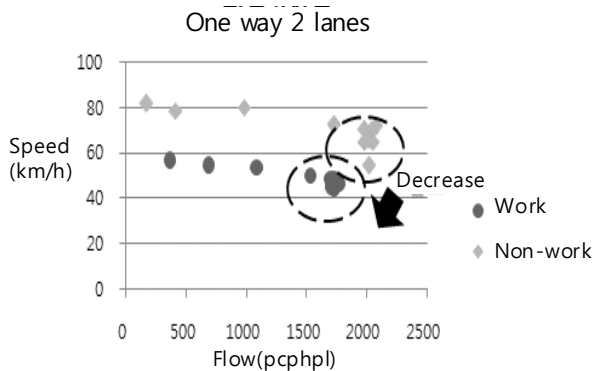


Fig. 9. Comparison before and after the work zone operation

적을수록 용량이 더 감소하는 것으로 보인다. 또한, 편도 차로수에 따라 약 50pcphpl씩 감소하는 현장자료 분석결과와 유사한 패턴을 보인다.

4.2.4 통계적 검정

시뮬레이션 용량과 현장자료 용량이 동질하다는 것을 검증하기 위해서 카이제곱 분포의 동질성 검정을 실시한다. 카이제곱 분포의 동질성 검정은 각 범주그룹마다 데이터의 빈도(관측도수)와 기대되는 값(기대도수)이 동질한지 통계적으로 검정하는 것이다. 카이제곱 분포의 동질성 검정을 위한 자료는 편도 차로별로 얻은 시뮬레이션 용량과 현장자료의 용량으로 구성되어 있다.

- H_0 : 시뮬레이션용량과 현장자료용량은 동질하다.
- H_a : 시뮬레이션용량과 현장자료용량은 동질하지 않다.

$\chi^2_{cal} = 1.026$ (d.f.=2)이고, p-value는 0.599이다.

따라서 H_0 (귀무가설)을 기각할 수 없어 시뮬레이션용량과 현장자료용량은 동질하다고 볼 수 있다.

5. 공사구간 용량 및 용량 산정식

5.1 공사구간 용량

현장자료 및 시뮬레이션 분석 결과, 편도 4차로 공사시 약

Table 7. The data of Chi-Square Test for Homogeneity

Index	One way 4 lanes	One way 3 lanes	One way 2 lanes	Total
Simulation Capacity	10	10	10	30
Field data Capacity	5	3	2	10
Total	15	13	2	40

Table 8. The type capacity by work zone lane reduction
Unit: pcphpl

Index	Work zone		
	One way 4 lanes	One way 3 lanes	One way 2 lanes
Capacity	About 1,700 (5points)	About 1,650 (3points)	About 1,600 (2points)
Capacity Reduction	0.15	0.175	0.2
Average Capacity	About 1,650		

1,700pcphpl, 편도 3차로 공사시 약 1,650pcphpl, 편도 2차로 공사시 약 1,600pcphpl로 나타났으며, 용량 감소율은 0.15, 0.175, 0.2로 나타났다. 공사시는 비공사시보다 혼잡을 야기하여 편도차로수가 적을수록 용량이 더 감소하는 것으로 보인다. 현장자료와 시뮬레이션자료 모두 편도 차로수에 따라 약 50pcphpl씩 감소하는 패턴을 보였다. 따라서 설계속도 80km/h인 도시고속도로 공사구간 평균용량은 약 1,650pcphpl로 산출되었다.

본 연구에서는 문헌검토를 통해 용량 감소 및 공사구간 용량을 1,600pcphpl로 추정하였고, 여러 용량분석법을 적용하여 신뢰성이 낮은 등 한계를 지닌 분석법을 제외하는 차별성을 두었다.

5.2 공사구간 용량 산정식

기존문헌 검토를 통해 현장조건을 반영하는 공사구간 용량 산정식을 결정하였다.

USHCM2010(TRB, 2010)의 공사구간 용량 산정식을 준용하였다. 공사장도관련 조정계수(J)는 engineer나 해당 지역의 경험을 토대로 결정하는 변수로 계량화에 어려움이 있고, 램프영향계수(R)는 진입램프가 공사구간의 taper부분에 있거나, 차로가 폐쇄된 지점의 하류부 150m이내에 있거나 혹은 공사구간 상류부 450m에 근접해 있을 때 용량을 보정하는 변수로 현장조사시 관측의 어려움 등으로 제외하였다.

중차량 보정계수(f_{HV})와 차로폭 및 측방여유폭 보정계수(f_w)는 기존 도로용량편람(Korean Society of Transportation, 2001) 값을 준용하여 고려하였다. C_{jw} 은 편도 차로수별 상기 용량값을 적용하고 중차량, 공사시 운영되는 차로수, 차로폭 및 측방여유폭을 고려한다.

$$C_{WZ} = C_{jw} \times f_{HV} \times N \times f_w \quad (1)$$

여기서,

C_{WZ} : 공사구간의 용량(vph)

C_{jw} : j 설계속도의 편도 차로수별 공사구간 기본용량(pcp/hpl)

f_{HV} : 중차량 보정계수

N : 공사시 운영되는 차로수

f_w : 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

6. 결론

도시고속도로의 차로감소 공사구간은 혼잡 심화로 도로의 용량 감소에 많은 영향을 끼친다. 국내여건에 적합한 차로감소 도로점용 공사의 용량 및 용량 산정식에 관한 연구가 미비하여 효율적이고 체계적인 도로운영 및 관리하기 위해 공사구간 용량을 산정하였다. 도시 고속도로를 대상으로 현장조사 및 서울도시고속도로 센터 자료를 수집하여 용량을 분석하였다. 평균 최대 관측 교통류를 분석법과 Headway 분석법을 적용시 약 1,650pcphpl로 나타났다. 회귀 분석법 및 Parameter Inspection 분석법은 변동성이 크다는 한계를 지니고 있어, 용량 산정시에는 적절하지 않다고 판단된다. 현장자료 분석결과는 편도 차로수별로 용량값이 다르게 나타났으며, 공사시 차로변경 등으로 혼잡이 심화되어 편도차로수가 적을수록 용량이 더 감소하는 것으로 보인다.

본 연구에서는 도시고속도로를 대상으로 편도 차로수별로 공사구간 용량 감소율, 공사구간 용량, 공사구간 용량 산정식을 제시하고 있다.

향후에는 비공사시의 서비스 수준 설정처럼 공사시에도 서비스 수준 평가 지표를 선정하고, 각 평가지표에 대한 서비스 수준 설정을 통해 효율적이고 체계적인 도로운영 및 관리, 공사구간의 교통대책 수립, 교통운영방안 모색 등이 가능해질 것으로 예상된다.

References

Eom, T. G. (1994). *Continuous flow lane drop section of the characteristics of the traffic flow*, MSc Thesis, Dankook University (in Korean).

Jeong, H. H. (2006). *Capacity drop on lane drop areas due to incidents*, MSc Thesis, University of Seoul (in Korean).

Jo, H. S. and Lee, D. M. (2008). *Traffic congestion nationwide cost estimates and trend analysis*, The Korea Transportation Institute (in Korean).

Kim, D. N., and Lee, S. H. (1998). "Capacity drop on lane drop areas due to incidents." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 18, No. 3-4, pp. 445-462 (in Korean).

Kim, S. H. (2010). *The study of model development for delay at short-term work zones on two-lane freeway*, MSc Thesis, Keimyung University (in Korean).

Kim, Y. G. and Jang, M. S. (1995). "The development of capacity estimation methods from statistical distribution of observed traffic flow." *Journal of Korean Society of Transportation*, Korean Society of Transportation, Vol. 13, No. 1, pp. 167-183 (in Korean).

Korea Institute of Construction Technology (1993). *Road transportation operation improvement working paper*, Ministry of Construction & Transportation (in Korean).

Korean Society of Transportation (2001). *Highway capacity manual*, Ministry of Construction & Transportation (in Korean).

Krammes, R. A., and Lopez, G. O. (1994). "Updated capacity values for short-term freeway work zone lane closures." *Transportation Research Record*, No. 1442, TRB, National Research Council, Washington D. C., pp. 49-56.

Lim, C. M., Lee, J. H. and Lee, Y. W. (2002). "A study on the traffic flow characteristic analysis and applicability of work zones." *KSIA Journal of Korea Society of Industrials Application*, The Korea Society of Industrials Application, Vol. 5, No. 4, pp. 329-337 (in Korean).

May, A. D. (1990). *Traffic flow fundamentals*. Prentice hall.

Maze, T. H. (2000). "Capacity of freeway work zone lane closures." *Mid-Continent Transportation Symposium 2000 Proceedings*, pp. 178-183.

Seol, J. H. et al. (1999). *Study on the improvement of highway capacity manual the final report*, Korea Institute of Construction Technology (in Korean).

Transportation Research Board (1985). *Highway capacity manual special report 209*, National Research Council, Washington D. C.

Transportation Research Board (2000). *Highway capacity manual 2000*, Transportation Research Board.

Transportation Research Board (2010). *Highway capacity manual 2010*, Transportation Research Board.