

고속도로 단기공사구간 기본용량 결정에 관한 연구

김상구* · 홍길성

전남대학교 물류교통학전공

Determination of Base Capacity Values for Short-Term Freeway Work Zone

KIM, Sang Gu* · HONG, Gil Seong

Department of Logistics and Transportation, Chonnam National University, Chonnam 550-749, Korea

Abstract

Lane closure in freeway work zone due to maintenance and repair of freeway facilities results in abrupt change of traffic flow. Sudden change of traffic flow results strong interactions among vehicles, and reduces capacity compared to the ordinary traffic condition. Such capacity reduction is likely to cause congestion, traffic queues, and economic loss cost. This study aims to determine the base capacity for a short-term freeway work zone that can be used to establish a work zone schedule in advance without any traffic impact. First, the research collected detector data and schedule data of road works on all freeways in Korea. Second, the research determined 23 study sites finding the capacity values of work zone after matching two kinds of data. All study sites had varying characteristics regarding traffic flow being adjacent to work zone during road works. The capacity values were reviewed in terms of lane closure configuration, the types of work, and design speed. Finally, research proposed capacity values for a short-term freeway work zone with the design speeds of 100 kph, 120 kph and 1,700 pcphpl, 1,750 pcphpl, respectively.

고속도로 시설의 유지보수 관련 도로점용공사는 차로폐쇄로 인해 병목구간이 생기고 급격한 교통류 변화가 발생하게 된다. 이 때, 급격한 교통류 변화는 병목구간에서 합류로 인한 차량간 마찰을 키우고 이로 인해 정상적인 교통 상황에서보다 용량이 더 낮게 나타나게 된다. 이러한 공사구간의 용량감소는 지정체를 발생시키고 상류부로 대기행렬을 형성시킴으로써 교통사고 발생 가능성도 높아지는 등 경제적인 손실비용 또한 증가시키게 된다. 따라서, 본 연구는 고속도로를 대상으로 단기 도로점용공사 작업 계획시 공사구간의 원활한 교통처리에 활용될 수 있는 공사구간 기본 용량 결정을 목적으로 수행되었다. 이를 위해 본 연구에서는 고속도로 검지기 자료와 공사현황 자료를 수집하여 두 자료의 매칭과정을 수행한 후 공사구간 검지기 자료를 1차적으로 선정하였다. 또한, 차로점용공사로 인해 교통류가 급격하게 변화되는 분석대상지점을 선정하여 용량분석을 수행하였다. 선정된 분석지점을 대상으로 공사유형, 차로감소유형, 설계속도별 등 다양한 유형별로 용량을 분석하였으며, 최종적으로 공사구간 기본용량을 설계속도 100, 120kph별로 각각 1,700, 1,750pcphpl로 제시하였다.

Key Words

Base Capacity, Design Speed, Lane Closure Configuration, Short-Term Work Zone, Type of Work
기본용량, 설계속도, 차로감소유형, 단기공사구간, 공사유형

* : Corresponding Author
kim-sg@chonnam.ac.kr, Phone: +81-61-659-7343, Fax: +81-61-659-7359

Received 12 November 2012, Accepted 11 February 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고속도로는 노후화에 따라 정기적으로 노면보수, 시설물보수, 차선도색 등과 교통환경의 변화에 따르는 시설물의 유지보수가 필수적이다. 이러한 고속도로 시설의 유지보수 관련 도로점용공사는 차로폐쇄로 인하여 공사 구간 근처에서 급격한 차로변경 및 감·가속 행태가 빈번하게 발생하게 되고, 이로 인해 낮은 교통류 상태에서도 교통류가 깨지는 교통와해 현상이 발생하고 상류부로 대기행렬이 형성되어 많은 차량들이 지정체를 경험하게 된다. 이러한 결과는 고속도로 공사구간 용량이 기본구간 용량보다 더 낮게 나타나는 용량감소 현상이 일반적이다.

이러한 용량 감소 현상이 나타나는 원인으로는 높은 교통량 상태에서 일반적인 상황(비공사시)에서 발생하는 차량상호간 마찰보다 공사로 인해 발생하는 급격한 차로변경과 감·가속 행태로 인한 차량상호간 마찰이 더욱 증대됨에 따라 공사구간 용량이 상대적으로 더 낮게 나타난다고 할 수 있다.

공사구간에서 용량감소는 대기행렬 형성으로 인한 지정체 발생과 교통사고 가능성을 증가시킬 수 있으므로 사회·경제적인 손실비용 또한 증가시키게 된다. 따라서, 고속도로 점용공사 계획시 차로차단으로 인한 교통류의 악영향을 최소화하기 위해서는 공사구간 용량을 결정하여 사용하는 것이 매우 중요한 사항이나 국내에는 아직도 정확한 도로공사 용량이 결정되지 않았고 이로 인해 효율적인 공사 작업계획 및 관리가 어려운 실정이다.

본 연구는 도로점용공사 작업 계획시 공사구간의 원활한 교통처리에 활용될 수 있는 공사구간 기본 용량을 결정하여 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 한국도로공사에서 운영하는 전국 모든 고속도로를 대상으로 한다. 고속도로 공사종류는 KEC (2009)의 고속도로 공사장 교통관리기준에 따르면 1일 이내에 공사를 마무리하는 단기공사와 그 외 장기공사로 구분한다. 장기공사는 주로 선형개량과 차로확장 등 공사에 주로 시행하는 종류로서 공사구간에서 차로차단을 시행하지 않고 공사장 주변 이외 구간과 동일한 본선 차

로수를 유지하면서 공사를 시행하여 차로차단이 발생하지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 차로차단을 시행하여 도로점용 공사를 시행하는 단기공사만을 대상으로 자료를 수집하고 분석을 수행한다.

본 연구의 수행방법은 기존 연구에서 제시하고 있는 고속도로 공사구간 용량에 대한 검토와 용량결정 방법론을 조사하고 검토결과를 토대로 기존 방법론에 대한 미비점 분석 및 연구방향을 제시한다.

고속도로 공사현황 자료와 공사구간에 해당하는 차량검지기 자료(교통량, 속도, 점유율), 도로기하구조 자료를 수집한다. 수집된 자료를 분석하여 용량 분석 대상지점을 선정하고 차로감소유형, 공사유형, 설계속도별 등 다양한 형태별로 용량을 분석하고 최종적으로 공사구간 기본용량을 결정, 제시하고자 한다.

II. 기존 문헌 고찰

1. 공사구간 교통류 특성 및 용량

Kim and Lee (1998)은 차종별 교통량과 속도를 관측하여 교통류 모형을 수립하였으며, 실측용량과 모형으로부터 구한 용량을 비교하였다. 2차로에서 1차로 감소와 3차로에서 2차로 감소로 구분되며 용량은 각각 1,495, 1,822pcphpl로 제시하였다.

Yoo (2000)는 밀도-속도 모형에 대한 회귀식으로 최대교통량을 결정하였고 2차로에서 1차로 감소시 1,687대/시, 4차로에서 2차로 감소시 1,701대/시로 제시하였다.

Lim et al. (2002)은 일방향 2차로 고속도로에서 2차로의 일부구간을 폐쇄시 지수식(Underwood) 모형을 수립하여 공사중 교통용량을 최대값인 1,719pcphpl로 제시하였고, 3차로중 3차로 일부구간 차로폐쇄시 직선식(Greenshield) 모형을 이용한 공사구간 교통용량을 2,225pcphpl로 제시하였다. 또한, 공사구간길이 변화에 따른 용량의 변화를 살펴본 결과 교통량 변화와 달리 점유구간길이에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, 이는 차로감소 구간 즉 병목구간에서 이미 최대통과교통량이 결정되기 때문인 것으로 분석되었다.

Krammes and Lopez (1994)는 45시간동안 33개의 공사구간에서 5가지 차로수 감소형태에 따른 자료를 수집하였으며, 관측된 용량값의 범위는 1,414-1,741pcphpl로 분석되었고 공사구간 평균용량은 1,600pcphpl

로 결정하였고 이 용량값은 US HCM에서 제시된 도로 공사 용량값의 근간이 되었다.

국내·외 연구에서 결정된 공사구간 용량을 정리해보면 Table 1과 같으며, 국내·외 모두 용량의 편차가 크게 발생하고 있다. 국내의 경우 약 1,700pcphpl 내·외에서 가장 많이 결정되었으며, 국외는 약 1,600pcphpl 내·외에서 가장 많이 결정된 것을 알 수 있다.

2. 공사구간 교통류 영향 요인 및 보정계수

Kang (1996)는 공사구간에서 중차량의 승용차환산 계수가 평지부에서는 1.4-2.1의 범위로서 우리나라 도로용량편람에 제시된 평지부 고속도로 기본구간의 값인 1.24-1.54 보다 크다는 분석결과를 제시하였다.

KICT (1996)는 공사구간 정체길이, 시종점, 특정시간 또는 하루 동안에 점유될 도로구간의 길이, 정상 교통류의 통행을 금지시키는 도로부분, 작업일수, 도로의 점유시간이 공사구간 교통류에 영향을 미친다고 제시하였다.

Krammes and Lopez (1994)은 공사강도가 미치는 영향은 용량값 1,600pcphpl을 기준으로 10%인 ±160pcphpl로 범위를 설정하였다. 공사구간에서 연결로의 존재는 진입연결로가 공사구간의 완화구간(테이퍼) 내에 있거나, 폐쇄차로 시작부의 하류부 방향으로 500ft(152m) 이내에 있을 경우 공사구간의 용량에 영향을 미친다고 하였다.

Kayani (2010)은 공사구간 길이, 공사구간의 강도, 하류부 교차로로부터 공사구간까지의 거리, 공사구간의 상류부 공사구간 표지까지의 거리, 경찰의 존재(단속), 공사구간차로 폐쇄유형 등을 제시하였다.

TRB (2010)에서는 근로자수, 사용 차량의 수와 크기에 관련된 공사의 강도, 램프의 존재, 차로폭이 용량에 영향을 미친다고 제시하고 있다.

3. 기존 연구결과 정리 및 한계

고속도로를 포함하는 전용도로 공사구간에 대한 기존 연구들은 도로점용공사로 인한 교통류 특성변화에 관한 연구결과를 정리한 내용들이 대부분이다. 교통류 특성변화는 크게 공사구간의 최대교통량 및 용량과 공사로 인한 지체에 관한 연구를 주로 수행하였고 부수적으로 공사구간 교통류 특성에 영향을 미치는 주요 요인을 분석하여 제시하고 있다.

Table 1. Comparison of capacities at work zones

Related Studies		Lane Closure Configuration (Normal, Open)	Average Capacity		
			vphpl	pcphpl	
Domestic	Kim and Lee (1998)	(2, 1)	-	1,495	
		(3, 2)	-	1,822	
	Yoo (2000)	(2, 1)	1,687	-	
		(4, 2)	1,701	-	
	Lim et al. (2002)	(2, 1)	-	1,719	
		(3, 2)	-	2,225	
Overseas	TRB (2000, 2010)	-	-	1,600	
	Krammes R. A. (1994)	-	-	1,600	
	Dixon K. K (1996)	1,200(rural)	1,500(urban)	-	-
		-	-	1,460	-
	Wayne A. Sarasua (2004)	-	-	1,460	-
	U.S. State Capacity	Connecticut	-	1,500~1,800	-
		Missouri	-	1,240	-
		Nevada	-	1,375~1,400	-
		Oregon	-	-	1,400~1,600
		South Carolina	-	950	-
Washington		-	1,350	-	
Wisconsin		-	-	1,600(rural) 2,000(urban)	

또한, 앞서 살펴본 바와 같이 연구자별 용량의 편차가 크게 발생하고 있다. 이는 대부분의 연구가 비디오촬영을 통해 관측된 자료를 활용한 것으로 용량을 결정하기 위한 지점수가 1-2개로 매우 적은 지점을 분석한 한계가 있으며, 용량 결정시 모형을 활용한거나 관측된 최대교통량을 활용하는 등 분석방법론 차이로 인한 것으로 분석된다.

본 연구는 기존 연구의 한계점인 분석 지점수의 보완을 위해 전국 고속도로 검지기 자료를 수집하여 다량의 데이터를 분석함으로써 다수의 공사구간 용량을 검토하기 때문에 고속도로 공사구간에 대한 대표적인 기본용량값 결정이 가능하다. 또한, 용량 결정시 차로감소유형, 공사유형, 설계속도별 등 다양한 유형으로 분석 제시하고 최종 공사구간 기본 용량을 결정한다. 이로써 기존에 산정된 용량을 검증하여 안전성과 신뢰성을 확보한다.

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집

분석을 위해 수집된 자료의 내용은 Table 2와 같다. 본 연구의 범위인 지방부 고속도로 공사구간에 대한 FTMS VDS 검지기 자료를 수집하였다. 서울외곽선, 영동선, 경부선, 중부내륙선, 중부선, 호남선, 서해안선

Table 2. Overviews of data collection

Classification		Traffic Data	Work Zone Data
Location		All Freeways in Korea	
Period		2011.4.1~2011.6.30 (3 months)	
Device for Collection		LOOP Detector	-
Data Inventory		Volumes, Speeds, Occupancies, etc	Line, Direction, Location, Time, Type of Work, etc
No. of Sites	Design Speed 100 kph	358,110	3,228
	120 kph	92,160	2,065
	All	450,270	5,293
Data Interval		30 sec, 15 min	-

의 총 7개 노선을 대상으로 2011.4.1-2011.4.30(1달) 간의 자료를 수집하였고, 고속도로 전 노선을 대상으로 2011.5.1-2011.6.30(2달) 동안의 자료를 수집하여 총 3달 간의 교통류 자료를 수집하였다. 수집내용으로는 집계간격 30초, 15분의 교통량, 속도, 점유율 등이다.

공사현황자료 또한 교통자료와 동일한 대상으로 2011.4.1-2011.6.30(3달) 동안의 자료를 수집하였다. 수집된 자료의 내용은 노선명, 작업구간, 작업시간, 작업차로 등 공사구간에 관한 작업현황 내용을 포함하고 있다.

설계속도별로 살펴보면, 교통류 자료의 경우 100, 120kph에 해당되는 자료수는 각각 16,140개와 10,325개 지점으로 총 26,465개 지점이며, 공사자료의 경우 각각 3,228건과 2,065건으로 총 5,293건의 자료를 수집하였다.

공사현황 자료에 대해서 공사유형별 건수를 정리하면 Table 3과 같다. 공사유형을 분류하면 크게 노면, 교량, 도색, 시설물에 대한 공사로 구분할 수 있으며, 총 공사건수는 5,293건이다. 세부유형별로 살펴보면, 시설물보수와 노면보수가 각각 1,921건과 1,674건으로 가장 높게 나타나며, 전체 공사건수 중 약 36%와 32%를 차지하고 있다.

2. 자료처리 과정

1) 용량분석을 위한 공사구간 지점 선정

공사구간 용량을 결정하기 위한 자료의 선정과정은 Figure 1과 같다.

공사현황자료의 공사일시, 주행방향, 공사이점 등을 기준으로 검지기 자료와 비교하여 해당 공사구간의 검지기 자료를 분류하였다. 공사현황 자료에 공사이점이 누락되어 있거나 공사현황 자료에는 공사이점이 표기되어 있으나 검지기 자료에는 포함되지 않은 자료를 제외하였

Table 3. Road work types

Type of Work		Collected Sites	Proposition (%)
Main Category	Sub Category		
Pavement	Pavement Repair	1,674	31.6
	Resurfacing	27	0.5
Bridge	Bridge Repair	251	4.7
	Check-Up	83	1.6
Markers	Pavement Markers	637	12.0
	Facility Markers	175	3.3
Facility	Installation	288	5.4
	Repair	1,921	36.3
	Removal	46	0.9
	Check-Up	191	3.6
All		5,293	100

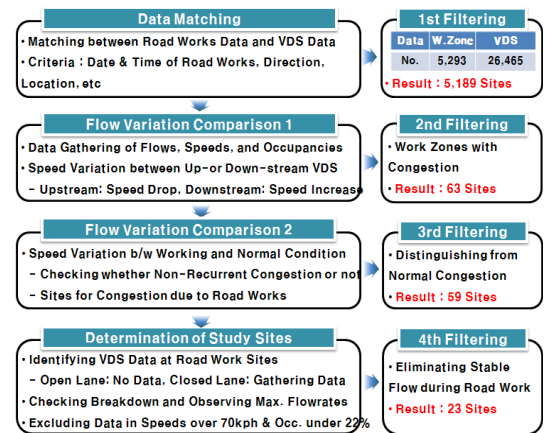


Figure 1. Data filtering process for work zone

으며 총 5,293건 중 98%인 5,189건이 추출되었다.

다음으로 공사시간대 교통류 변화가 발생하는 지점을 추출하기 위해 공사구간과 인접한 검지기의 속도-시간 그래프를 도출하여 공사시간대 속도변화를 분석하고, 공사구간을 기준으로 상·하류부 속도변화를 분석하여 공사로 인한 교통류 변화가 발생하는 지점을 추출하였다. 이렇게 추출된 자료는 63건으로 총 공사건수중 1.2%에 해당하는 것이다. 대부분의 자료가 공사로 인한 교통류 변화특성이 나타나지 않는 것은 한국도로공사에서 공사 계획시 정체시간을 피해서 공사를 계획하고 시행하기 때문인 것으로 분석된다.

그리고 선정된 지점이 공사가 없는 평상시에도 교통류 변화가 발생할 가능성이 있기 때문에 3일(공사 일주일 전 또는 후, 공사 하루 전, 공사 하루 후)에 대하여 교통류 변수를 비교분석하였다. 즉, 앞서 분석된 공사구간 교통류 변화가 평상시에도 동일하게 발생한 경우 그 구간에서는 공사외의 다른 요인(검지기 오류 등)에 의해

주기적으로 교통류 변화가 발생하는 것으로 판단하여 이에 해당하는 자료를 제외하였으며, 그 결과 59건의 공사지점 자료가 추출되었다.

최종적으로 공사시간 전·후 검지기에서 교통류 자료 측정 여부를 확인 하였다. 이는 Figure 2와 같이 공사시간 동안은 개방차로에서 교통량이 측정되고 폐쇄차로에는 교통량이 측정되지 않다가 공사가 완료된 이후에 모든 차로에서 다시 정상적으로 교통류가 측정되는 검지기를 공사활동구간에 설치된 검지기로 추정할 수 있다. 또한, 공사시간 동안 교통와해 발생여부와 최대교통량이 발생하는 자료를 선정하고자 속도 70kph이상과 점유율 22% 이하인 자료는 안정류 자료로 생각되어 제외하였

다. 이러한 기준의 근거는 공사구간 자료중 교통와해가 발생한 자료를 분석한 결과로서 임계속도와 임계점유율이 각각 69.6kph, 21.8%로 분석되었으며, 속도와 점유율을 반올림하여 위와 같은 기준으로 설정하였다.

이러한 자료 추출과정을 통하여 최종적으로 공사구간의 검지기 자료로 23개 지점을 선정하였고 이는 전체 5,293건의 공사시행 자료 중 0.43%에 해당하는 것이다. 이러한 낮은 선정 비율은 한국도로공사에서 공사시행 계획시 공사로 인해 정체가 발생되지 공사시간을 사전에 계획하여 시행함을 알 수 있고 최종적으로 선정된 공사지점 현황은 Table 4와 같으며, 이러한 공사지점 자료를 대상으로 용량 분석을 진행하였다.

Table 4. Critical variables at work zones

Site No.	Max. Flowrate (vph)	Critical Speeds (kph)	Critical Occupancies (%)
2	1,748	72	23
12	1,588	68	21
15	1,656	76	21
16	1,628	56	22
18	1,656	76	22
Average	1,655	69.6	21.8

2) 공사구간의 분석범위

본 연구에서 공사구간 용량 산정을 위해 공사구간의 공간적 범위를 규정하여 분석에 활용하고자 하며, 그 내용은 Figure 2와 같다. 공사점용공사가 1차로에서 9:08-11:20 사이에 시행되었고 공사활동구간내에 설치된 검지기 자료가 이 공사기간동안 1차로에는 교통류 자료가 없고 2차로에는 교통류 자료가 올라오는 것을 보여주고 있다.

Table 5. Study sites selected after data filtering

No.	Lines	Dates	Length of Work (km)	VDS Location (km)	Work Duration	Direction	Work Lane	Type of Work
1	Honam-B.	05-13	45	44.9	10:33-14:06	Origin Bound	2	Pavement Repair
2	Honam-B.	05-13	47	46.8	8:55-10:29	Origin Bound	2	Pavement Repair
3	Ho-Nam	06-09	57	56.75	8:22-12:26	Origin Bound	2	Pavement Repair
4	Jung-Bu	06-03	248	248.8	9:08-11:20	Destination Bound	1	Facility Repair
5	Jung-Bu	06-03	248	248.8	9:09-11:20	Origin Bound	1	Facility Repair
6	Jung-Bu	06-03	248	248.8	14:09-17:09	Destination Bound	1	Facility Repair
7	Jung-Bu	06-08	248	248.8	9:02-16:56	Origin Bound	1	Facility Repair
8	Jung-Bu	06-02	259	259.2	8:59-18:02	Origin Bound	1	Facility Repair
9	Jung-Bu	06-13	260	260.3	9:15-17:46	Destination Bound	1	Facility Repair
10	Jung-Bu	06-13	260	260.3	9:16-17:46	Origin Bound	1	Facility Repair
11	Jung-Bu	06-16	261	261.3	9:13-17:28	Destination Bound	1	Facility Repair
12	Jung-Bu	06-16	261	261.3	9:14-17:28	Origin Bound	1	Facility Repair
13	Jung-Bu	06-16	266	266.3	9:10-12:55	Destination Bound	2	Bridge Repair
14	Jung-Bu	04-05	273	273.3	13:57-16:27	Origin Bound	1	Facility Repair
15	Jung-Bu	06-09	277	277.2	9:48-11:04	Destination Bound	2	Pavement Repair
16	Seoul Outer Ring	05-25	104	105.3	12:51-13:56	Destination Bound	4	Pavement Markers
17	Namhae-1st	06-08	12	11.8	14:35-17:15	Origin Bound	1	Pavement Repair
18	Nam-Hae	05-17	142	142.15	13:16-17:26	Destination Bound	1,2	Pavement Repair
19	Kyung-Bu	05-03	10	10.03	8:06-12:41	Destination Bound	3	Pavement Repair
20	Kyung-Bu	05-18	143	143.12	9:45-12:31	Destination Bound	4	Facility Repair
21	Kyung-Bu	06-21	274	274.37	9:52-17:59	Origin Bound	1	Pavement Repair
22	Kyung-Bu	06-02	276	275.27	8:49-15:35	Destination Bound	1	Pavement Repair
23	Kyung-Bu	06-15	284	285.24	11:22-12:25	Origin Bound	1	Facility Repair

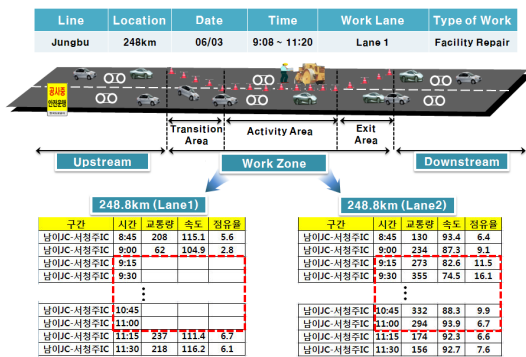


Figure 2. Study site example for capacity observation

공사구간은 변화구간, 공사활동구간, 공사이탈구간으로 구성된다. 공사구간을 기준으로 공사장 안전시설을 설치하는 상류부 구간과 공사구간에서 교통류가 다시 본선 차로로 복귀하는 하류부 구간으로 구분할 수 있다.

이러한 공사구간 분석범위를 기준으로 용량을 관측하고 분석을 수행하였다.

IV. 분석결과

1. 용량분석방법

공사구간의 용량관측지점은 Figure 3과 같이 변화구간의 테이퍼 종점부나 공사활동구간내에서 관측되는 것으로 기존연구에서 제시하고 있다. 변화구간의 테이퍼 종점부는 본선 차로의 차량들이 개방 차로로 이동하기 위하여 차로 변경을 시도하는 구간으로서 2개 이상의 차로 교통류가 개방차로로 합류하는 과정을 모두 마친 상태에서 관측되는 교통량으로 규정할 수 있다. 공사활동구간에서 교통량 관측은 차로변경이 끝난 차량들이 동일한 차로에서 일정거리 이상 주행하면서 일반적으로 대기행렬풀림 교통류(Queue Discharge Flowrate)가 발생하는 지점이라고 할 수 있다.

본 연구에서 사용된 검지기 자료들은 용량관측지점에 대한 명확한 구분은 어려우나 공사구간 분석지점 선정과

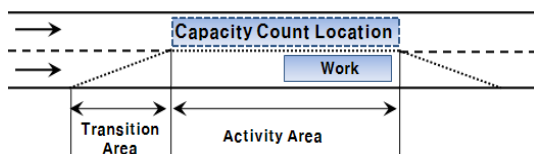


Figure 3. Capacity count location

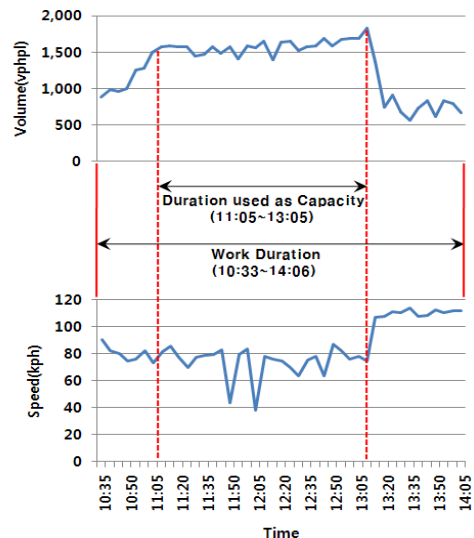
정을 통해 용량관측지점 범위 안에 포함된 검지기 자료를 선정한 것으로서 앞서 선정된 검지기 자료를 대상으로 공사구간 기본용량을 결정하고자 한다.

공사구간 용량은 공사활동구간내 검지기 위치에 따라 약간의 차이가 있을 수 있다. 하지만 US HCM을 비롯한 기존연구에서 제시한 바와 같이 공사구간의 최대교통량은 변화구간 테이퍼 종점부에서부터 공사활동구간내에서 결정되기 때문에 공사활동구간으로 진입할 수 있는 교통량이 제한되어 검지기 위치별 용량 차이는 크게 없을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 검지기 자료(VDS)를 분석하여 평균값을 적용함으로써 이러한 불안정 요소를 제거하고자 하였다.

용량산정방법은 공사시간중 대기행렬풀림 교통류가 발생하는 시간대의 교통량을 평균하여 용량을 산정하였다. Figure 4와 같이 전체 공사시간 중에서 교통량이 증가한 후 균일하게 나타나는 시간대를 대기행렬풀림 교통류로 판단하고 이 시간대의 교통량을 평균하여 용량값을 결정하였다.

기본용량은 이상적인 조건에서의 용량을 의미하는 것으로서 본 연구에서 분석된 용량도 이상적인 조건을 만족하여야만 기본용량으로 활용할 수 있을 것이다.

MOCT (2001)에서 고속도로의 이상적인 조건은 차로폭 3.5m 이상, 측방여유폭 1.5m 이상, 승용차만으로 구성된 교통량, 평지를 제시하고 있다. 현재 설계속도



note: Data generated at study site #1

Figure 4. Time duration used as capacity

100kph 이상 고속도로의 차로폭은 3.6m를 유지하고 측방여유폭의 경우도 1.5m 이상을 유지하고 있어 이상적인 조건을 만족하지만 공사로 인한 차로폐쇄시 라바콘의 설치위치에 따라 일부 영향을 받을 수 있다.

본 연구에서 사용된 검지기 자료는 혼잡교통량 단위로서 증차량을 보정하여 승용차 단위(pcu)로 환산하여야 한다. 증차량 보정은 MOCT (2001)에서 제시된 방법에 따라 소형, 중형, 대형으로 차종을 구분하여 증차량 보정계수를 산정하였다. 차중비율은 한국도로공사에서 제공하는 고속도로 교통량 조사 자료(2011년 기준)를 활용하였다.

용량은 교통량 자료의 집계간격별로 차이가 발생할 수 있으며 기존 연구에서는 5분, 15분, 1시간 등 다양한 집계간격을 사용하여 용량을 결정하고 있다. 본 연구에서도 다양한 집계간격별 용량을 살펴보고, 공사 계획 및 운영시 적용하기에 가장 적합한 집계간격의 용량을 사용

하고자 한다.

각 공사의 집계간격별 용량은 Table 6과 같으며, 그 내용을 간단하게 정리하여 Table 7에 제시하였다. 승용차 단위(pcp)를 기준으로 살펴보면 집계간격 5분 단위의 용량은 1,534-1,892pcp로서 모든 집계간격중 가장 높게 나타났으며, 다음으로 15분 단위의 집계간격으로 1,519-1,863pcp로서 나타났다. 또한, 1시간 단위의 집계간격은 1,476-1,841pcp로서 모든 집계간격중 가장 적게 나타났다. 집계간격별 평균은 5분, 15분 1시간이 각각 1,726, 1,703, 1,641pcp로서 나타났다.

본 연구에서는 현재 MOCT (2001)에서의 용량 산정 기준과 일관성을 유지하며, 기존 연구에서 많이 적용되고 있는 집계간격 및 공사구간에서 차량의 간격분포가 균일하게 유지되는 시간을 고려하여 15분 간격의 자료를 사용하였다.

용량분석지점에서 관측된 최대교통량이 이상적인 도로 및 교통조건으로 환산하여 만족시킨다 하더라도 기존 연구결과에서 알려진 바와 같이 공사구간 용량에 영향을 주는 많은 요인들로 인하여 최대교통량의 관측차이는 발생하는 것으로 생각된다.

Table 6. Individual capacity by aggregated interval

No.	5-minute		15-minute		1-hour	
	vph	pcph	vph	pcph	vph	pcph
1	1,591	1,744	1,574	1,726	1,522	1,669
2	1,675	1,889	1,635	1,844	1,613	1,819
3	1,421	1,607	1,417	1,602	1,323	1,495
4	1,526	1,759	1,505	1,735	1,448	1,669
5	1,500	1,690	1,475	1,662	1,323	1,491
6	1,572	1,813	1,565	1,805	1,533	1,768
7	1,576	1,777	1,564	1,764	1,505	1,697
8	1,541	1,734	1,528	1,719	1,468	1,651
9	1,516	1,742	1,495	1,718	1,446	1,662
10	1,622	1,823	1,606	1,805	1,536	1,727
11	1,526	1,759	1,508	1,739	1,481	1,708
12	1,493	1,668	1,471	1,644	1,448	1,619
13	1,485	1,695	1,454	1,659	1,424	1,625
14	1,464	1,651	1,423	1,605	1,355	1,528
15	1,641	1,892	1,616	1,863	1,597	1,841
16	1,656	1,763	1,623	1,728	1,539	1,639
17	1,495	1,534	1,481	1,519	1,440	1,476
18	1,546	1,768	1,520	1,738	1,489	1,703
19	1,478	1,630	1,464	1,615	1,384	1,526
20	1,477	1,748	1,458	1,726	1,363	1,613
21	1,461	1,676	1,440	1,652	1,401	1,607
22	1,446	1,650	1,438	1,640	1,396	1,592
23	1,500	1,684	1,470	1,650	1,449	1,626

2. 공사구간 기본용량 결정

본 연구에서는 용량과 관련된 다양한 요소를 살펴보고 요소별 용량을 산정하여 최종적으로 공사구간 기본 용량을 결정하고자 한다.

용량관련요소는 차로감소유형, 공사유형, 설계속도가 있으며, 공사지점별 요소는 Table 8과 같다.

차로구성(정상, 개방) 중 (2, 1)이 16개 지점으로 가장 많았으며, 모두 구간에 용량이 관측되었다. 또한, 공사유형중 시설물보수와 노면보수가 각각 12, 9개 지점으로 가장 많았고, 설계속도는 100kph와 120kph에서 각각 11개, 12개 지점으로 나타났다.

본 연구에서는 차로구성, 공사유형, 시간대, 설계속도별로 각각의 그룹별 용량과 전체지점에 대한 평균용량을 산정·제시하고 최종적으로 공사구간 기본 용량을 결정하고자 한다.

다양한 유형별로 산정된 공사구간 용량은 Table 9와 같으며 차로감소 유형별 용량 분포는 Figure 5에 제시하였다. 이를 살펴보면, (2, 1), (3, 2), (4, 2), (4, 3)의 4가지 차로감소유형(정상, 개방)에서 용량이 관측되었으며, 각각의 용량(자료수)은 1,721(16), 1,639(3),

Table 7. Capacity value by aggregated interval

(Unit: pcphpl)

Interval	5-minute	15-minute	1-hour
Data Range	1,534-1,892	1,519-1,863	1,476-1,841
Average	1,726	1,703	1,641
Ratio (%)	0	-1.4	-4.9

Note: Ratio value based on 5-minute data

Table 8. Classification by lane closure configuration, type of work, and design speed

No.	Lane Closure Configuration (Normal, Open)	Type of Work	Design Speed (kph)
1	(2, 1)	Pavement Repair	100
2	(2, 1)	Pavement Repair	100
3	(2, 1)	Pavement Repair	100
4	(2, 1)	Facility Repair	120
5	(2, 1)	Facility Repair	120
6	(2, 1)	Facility Repair	120
7	(2, 1)	Facility Repair	120
8	(2, 1)	Facility Repair	120
9	(2, 1)	Facility Repair	120
10	(2, 1)	Facility Repair	120
11	(2, 1)	Facility Repair	120
12	(2, 1)	Facility Repair	120
13	(2, 1)	Bridge Repair	120
14	(2, 1)	Facility Repair	120
15	(2, 1)	Pavement Repair	120
16	(4, 3)	Pavement Markers	100
17	(2, 1)	Pavement Repair	100
18	(4, 2)	Pavement Repair	100
19	(3, 2)	Pavement Repair	100
20	(4, 3)	Facility Repair	100
21	(3, 2)	Pavement Repair	100
22	(3, 2)	Pavement Repair	100
23	(4, 3)	Facility Repair	100

Table 9. Work zone capacity by lane closure configuration, type of work, and design speed

Classification		No. of Studies	Average Capacity	
			vph	pcph
Lane Closure Configuration (Normal, Open)	(2,1)	16	1,520	1,721
	(3,2)	3	1,447	1,639
	(4,2)	1	1,520	1,738
	(4,3)	3	1,517	1,702
Type of Work	Pavement Repair	9	1,509	1,698
	Facility Repair	12	1,506	1,717
	Bridge Repair	1	1,454	1,677
	Pavement Markers	1	1,623	1,729
Design Speed (kph)	100	11	1,502	1,684
	120	12	1,518	1,731
All		23	1,510	1,703

1,738(1), 1,702(3)pcphpl로 나타났다.

기존 연구에서 보면 같은 차로수가 폐쇄 되더라도 기존 차로수가 많은 경우 용량이 더 높게 나타나는 것이 일반적이다. 예를 들어, (2, 1)과 (4, 3)의 경우 두 가지 모두 한 차로만 폐쇄 되었으나, 용량은 (4, 3)에서 더 높게 나타나게 된다. 이는 (2, 1)의 경우 개방차로는 1개 차로이고 (4, 3)의 경우는 개방차로가 3개 차로로서

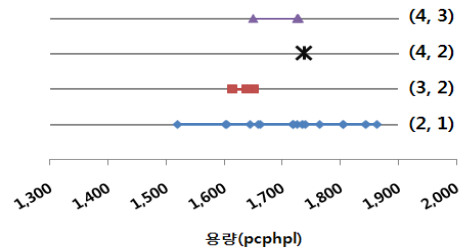


Figure 5. Capacity variation by lane closure configuration (normal, open)

(4, 3)의 형태가 교통류가 이용할 수 있는 차로수가 더 많아 차량간 마찰이 상대적으로 더 적기 때문에 용량이 더 크게 나타나게 되는 공사구간의 일반적 특성으로 이해될 수 있다.

본 연구의 결과에서 1개 차로를 폐쇄한 유형으로 비교해보면, (4, 3)의 경우 (3, 2)보다는 더 높게 나타났으나, (2, 1)보다는 낮게 나타났다. 또한, (3, 2)가 (2, 1)보다 더 낮게 나타나 앞서 설명한 공사구간의 일반적 특성이 나타나지는 않았다. 이는 각각의 차로구성별로 자료수의 차이가 크게 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 즉, (2, 1)의 경우 자료수가 16개 지점으로 다른 차로감소유형보다 현저히 높은 자료수를 확보하므로 결정된 용량이 해당 차로감소유형을 대표하기에 안정적인 수 있으나, (3, 2), (4, 2), (4, 3)은 자료수가 각각 3건, 1건, 3건으로 자료수가 상대적으로 적어 해당 차로 감소유형을 대표하기에는 무리가 있기 때문에 비교는 어려울 것으로 판단된다.

공사유형별 용량은 차선도색, 시설물보수, 노면보수, 교량보수의 순서로 각각 1,729, 1,717, 1,698, 1,677 pcphpl로 나타났다. 이 또한, 자료수의 차이로 모든 유형을 직접 비교하기에는 무리가 있으나, 비교적 자료수를 많이 확보하는 노면보수와 시설물보수 비교시 시설물보수가 더 크게 나타났다.

설계속도는 100, 120kph에서 각각 1,684, 1,731 pcphpl로 분석되어 120kph에서 47pcphpl 더 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한, 전체지점(23개)에 대한 평균 용량은 1,703pcphpl로 나타났다.

본 연구에서는 공사구간 기본 용량을 기존 MOCT (2001)과 일관성을 유지하여 설계속도별로 제시하고자 하며, Table 10과 같이 설계속도 100kph와 120kph에서 각각 1,700pcphpl과 1,750pcphpl로 결정되었다.

기존 도로용량편람(KHCM)과 미국 HCM과의 용량

Table 10. Short-term work zone capacity
(Unit: pcphpl)

Classification		Average Capacity	Capacity
Design Speed(kph)	100	1,684	1,700
	120	1,731	1,750
Type of Work	Bridge Repair	1,677	1,680
	Pavement Repair	1,698	1,700
	Facility Repair	1,717	1,720
	Pavement Markers	1,729	1,730
전체		1,708	1,700

Table 11. Comparison of work zone capacity
(Unit: pcphpl)

Classification	Speed	Capacity		Reduction Ratio (%)
		Basic Section	Work Zone	
USHCM (2010) (mile/h)	60	2,300	1,600	-30.4
	65	2,350		-31.9
	75	2,400		-33.3
KHCM (2001) (km/h)	100	2,200	1,700	-22.7
	120	2,300	1,750	-23.9

을 비교하여 Table 11에 제시하였다.

KHCM에서는 공사구간 용량을 다루고 있지 않기 때문에 본 연구에서 산정된 공사구간 용량을 기준으로 비교하였다. US HCM에서는 공사구간 기본 용량을 하나의 값으로 1,600pcphpl을 제시하고 있다. 기본구간 대비 공사구간 용량감소 비율을 살펴보면, 설계속도 120kph (75mile/h)를 기준으로 US HCM은 약 33.3%가 감소하였고, 본 연구는 23.9%가 감소하여 미국보다 더 적은 감소폭을 보였다. 이는 국내 고속도로 기본구간 용량이 다소 미국 고속도로 용량보다 낮은 값을 보이는 것에 기인한다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 고속도로 단기 도로점용공사로 인하여 교통류의 영향이 없는 공사일시 및 차단차로수 결정을 위하여 필요한 단기 공사구간 기본용량을 결정하고자 수행하였다.

고속도로 검지기 교통자료와 공사현황 자료를 수집하

여 자료매칭, 교통류 변화를 통한 분석예상지점 선정, 공사시와 평상시의 교통류 변화 비교분석, 공사시간 전·후 검지기에서 교통류 자료 측정여부 확인, 교통와해 발생 확인 등을 통해 총 5,293건의 공사 중 0.43%에 해당하는 23건의 지점을 공사구간 용량분석지점으로 선정하였다. 상당히 많은 공사지점 자료를 분석하였음에도 불구하고 용량분석지점이 전체 자료수에 비해 적게 나타나는 것은 한국도로공사에서 공사계획시 교통지정체를 최소화 할 수 있는 시간을 선택하여 공사를 시행하기 때문인 것으로 파악된다.

공사구간 용량은 공사시점의 변화구간 테이퍼 종점부 및 공사활동구간에서 관측되며, 이 구간에 속하는 검지기 자료를 대상으로 공사 시간 중 대기행렬풀림 교통류가 발생하는 시간대의 평균용량을 사용하였다. 또한, 용량 관측을 위한 집계간격은 15분 집계자료를 사용하여 기존 도로용량편람의 용량분석방법과 일관성을 유지하였다.

차로감소유형(정상, 개방)의 형태는 (2, 1), (3, 2), (4, 2), (4, 3)의 4가지 유형으로 구분하여 용량을 분석하였고, 공사유형 또한 노면보수, 시설물보수, 교량보수, 차선도색의 유형으로 구분하여 용량을 관측되었다. 또한, 용량은 모두 주간에 관측되었고, 설계속도 100kph와 120kph에 대해 분석하였다. 이러한 여러 유형별로 공사구간 용량을 제시하였으나 일부 유형의 경우 적은 표본자료수로 인한 신뢰성 문제로 제외하고, 최종적으로 공사구간의 기본용량을 설계속도 100kph와 120kph를 대상으로 각각 1,700pcphpl와 1,750pcphpl로 결정하여 제시하였다.

기존 국내 연구에서 일부 고속도로 노선의 1-2개 공사구간 자료를 수집하여 제시한 용량값의 다양한 변화와 비교하여 볼 때, 본 연구결과는 전국 고속도로를 대상으로 많은 현장자료를 수집, 가공, 분석하여 최대교통량 관측방법으로 결정된 공사구간 용량 값으로서 기존 연구결과보다 신뢰성있는 대표적인 기본용량이라고 판단되고 국내 고속도로 단기 공사구간의 기본용량 기준으로 사용할 수 있는 결과라고 생각된다.

본 연구결과인 공사구간 기본용량은 고속도로 도로공사 계획시 공사시간과 차단차로수를 사전에 결정하는 계획적 분석단계에서 매우 중요한 기준값으로 사용될 것이다.

향후 연구로는 고속도로 공사구간의 용량에 영향을 미치는 다양한 요인들에 대한 분석을 통하여 주요 영향 요인을 결정하는 과정이 필요할 것이다. 또한 본 연구에서 결정된 공사구간 기본 용량을 기준으로 하여 공사구

간 도로 및 교통조건 등을 고려한 용량조정계수 산정이 필요하다. 이를 통하여 다양한 공사구간에서 다양한 도로 및 교통조건을 반영한 실용용량 분석이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Dixon K. K., Hummer J. E., Lorscheider A. R. (1996), Capacity for North Carolina Freeway Work Zones, J. Transp. Res. Board, No.1529, Transportation Research Board, pp.27-34.
- Kang S. K. (1996), Passenger Car Equivalents of Various Vehicle Types on Expressway Work Zones, J. Korean Soc. Transp., Vol.14, No.3, Korean Society of Transportation, pp.61-73.
- Kayani W. I. (2010), Work Zone Capacity Estimation : An Analytical Review, Transp. Res. Board 89th Annual Meeting.
- KEC (2009), Traffic Management Standards at Expressway Work Zone (고속도로 공사장 교통관리기준), Korea Expressway Corporation.
- KEC (2011), Statistics on Highway Traffic Volume, Korea Expressway Corporation.
- KICT (1996), Traffic Management Guidelines in Highway Work Zones, Korea Institute of Construction Technology.
- Kim D. N., Lee S. H. (1998), Traffic Characteristics on Lane Drop Areas around Highway Work Zones, J. Korean Soc. Civil Eng., Vol.18, No.III-4, Korean Society of Civil Engineering, pp.445-462.
- Krammes R. A., Lopez G. O. (1994), Updated Capacity Values for Short-Term Freeway Work Zone Lane Closure, J. Transp. Res. Board, No.1442, Transportation Research Board, pp.49-56.
- Lim C. M., Lee J. H., Lee Y. W. (2002), A Study on the Traffic Flow Characteristic Analysis and Applicability of Work Zones, J. Korean Soc. Industrials Application, Vol.5, No.4, The Korean Society of Industrials Application, pp.329-337.
- MOCT (2001), Highway Capacity Manual, Ministry of Construction and Transportation.
- TRB (2000), Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington D.C.
- TRB (2010), Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington D.C.
- Wayne A. Sarasua, Willian J. Davis, David B. Clarke, Jayaram Kottapally, Pawan Mulukutla (2004), Evaluation of Interstate Highway Capacity for Short-Term Work Zone Lane Closures, J. Transp. Res. Board, No.1877, Transportation Research Board, pp.85-94.
- Yoo J. H. (2000), Traffic Characteristics at Highway Work Zones, Myong-Ji University Thesis for Degree of Master.

알림 : 본 논문은 한국ITS학회 2012년 춘계학술대회에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ✉ 주 작성자 : 김상구
- ✉ 교신저자 : 김상구
- ✉ 논문투고일 : 2012. 11. 12
- ✉ 논문심사일 : 2013. 1. 7 (1차)
2013. 2. 11 (2차)
- ✉ 심사판정일 : 2013. 2. 11
- ✉ 반론접수기한 : 2013. 6. 30
- ✉ 3인 익명 심사필
- ✉ 1인 abstract 교정필