

램프 진출교통량 비율을 이용한 램프미터링 운영방안 연구

A Study of Ramp Metering System Using Off-ramp Exit Percentage

강 우 진* (Woojin Kang) (University of Seoul)
김 영 찬** (Youngchan Kim) (University of Seoul)
이 민 형*** (Minhyoung Lee) (University of Seoul)

요 약

본 연구는 램프미터링 기법 중 제어 대상지 내의 진입로를 통합적으로 제어하는 시스템 통합제어에서 필요로 하는 O/D 자료를 대신하여 각 구간의 램프 진출비율을 활용한 램프미터링 방안을 제시하였다. 분석대상 구간인 서울외곽순환고속도로 계양IC~장수IC 구간은 교통량이 많고 IC간 간격이 짧아 제어구간 전체를 고려하여 통합적으로 램프를 제어하는 방법이 효과적이거나 O/D 자료의 획득이 어려운 실정이다. 따라서 O/D 자료를 대신하여 램프의 진출비율을 활용하기 위해 대상지 현황 조사 및 정체현상에 대한 분석을 실시하고 램프진출비율 활용을 위한 타당성을 검증하였다. 또한 진출비율을 활용한 램프미터링 방안을 제시하고 현황 및 램프 대기행렬에 의한 하부도로 영향 고려 여부에 따른 대안을 구성하여 시뮬레이션을 실시하였다. 분석결과 본선의 통행속도와 통과교통량을 비교·분석하여 통과교통량 및 통행속도가 향상되는 결과를 보여 램프 진출비율을 활용한 램프미터링이 가능함을 확인하였다.

핵심어 : 고속도로 교통관리, 램프미터링, O/D 자료, 램프 진출비율

ABSTRACT

In this study, a scheme of ramp metering that uses Off-ramp Exit Percentage instead of the O/D table required for systems of integrated control of ramps at the target freeway segment is presented. The segment from Gyeongang IC to Jangsu IC on the Seoul Outer Ring Expressway was selected for the study because the segment frequently shows large volume of traffic on the short distance between the two ICs requiring an integrated on-ramp control by taking the traffic situation on an entire expressway into account despite an unavailability of O/D data. Thus the information of Off-ramp Exit Percentage at each IC were collected instead of securing the O/D table through actual survey, and the congestion on the segment was analyzed to identify the validity of the use of off-ramp traffic instead of O/D data.

In addition, the scheme of ramp metering that exploits the off-ramp traffic information was prepared through simulations conducted in a way supporting the traffic control for respective access roads thereof by taking traffic situations and queues on each ramp into account. The results obtained from the simulation analyses revealed an improved level of travel speed and traffic volume on the main line and validated the use of off-ramp traffic instead of the O/D table for the ramp metering.

Key words : Freeway Traffic Management, Ramp Metering, O/D table, Off-ramp Exit Percentage

† 본 논문은 2013년 10월 한국ITS학회 추계학술대회에서 발표된 논문을 수정 보완하여 작성된 것입니다.

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

** 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

† Corresponding author : Youngchan Kim(University of Seoul), E-mail yckimm@uos.ac.kr

† Received 25 May 2016; reviewed 18 June 2016; Accepted 26 October 2016

I. 서 론

경제성장으로 인한 삶의 질 향상과 다양한 사회적 요인으로 자동차등록대수는 2005년 1,590만대에서 2014년 2,012만대로 약 31% 증가하였다[1]. 더욱이 최근 저유가로 인한 개인승용차 수요가 날로 증가하고 있지만, 도로의 신설 및 증설의 한계로 인해 도로 공급은 자동차등록대수를 쫓아가지 못하고 있는 실정이다. 이로 인해 교통 혼잡은 날로 가중되고 있으며 교통 혼잡비용 또한 2006년 24.6조원에서 2012년 30.3조원으로 지속적으로 증가하고 있다[2].

교통 혼잡을 완화하기 위한 방안으로는 크게 도로의 건설 및 확장을 통한 공급증대 방안과 시설의 이용 수요를 관리하는 수요관리 방안이 있다. 하지만 지속적인 정부 정책의 변화에 따른 사회간접자본(SOC)의 예산감소 및 추가적인 도로 공급이 불가능한 도시지역 도로의 경우는 현 시스템을 보다 효율적으로 활용하는 방안을 고려해야 한다.

특히 대부분의 도시지역에 건설된 고속도로의 경우 출퇴근시간에 집중되는 수요로 인해 상습적인 지정체현상이 쉽게 발생하므로 정체해소를 위해 장기적인 비용과 시간이 소요되는 도로의 물리적 공급보다는 수요관리를 통한 기존 시설의 운영 효율을 극대화 하는 방안이 필요하다.

램프미터링(Ramp metering)은 고속도로와 같은 연속류 시설의 용량 초과로 인해 발생하는 교통와해(Break down) 현상을 방지하기 위해 램프에서 진입하는 차량의 수를 신호제어를 통해 관리하는 시스템으로써 본선의 혼잡을 감소시킬 뿐만 아니라 통행시간 감소와 안전성 또한 확보할 수 있게 된다.

램프미터링은 대상지역의 반복 및 비 반복적인 정체에 대처하기 위해 다양한 전략과 운영방식이 개발되어 운영되고 있으며 도시 고속도로의 경우 물리적 진출입 시설의 거리가 가까워 인접 진출입 시설의 진입교통량을 통합적으로 제어하는 통합제어 방식이 효과적이다.

하지만, 통합제어 알고리즘의 경우 대상지역의 정체발생 방지 및 진입 차량의 효과적인 관리를 위한 미터링율을 계산하기 위해 O/D 자료를 필요로

하게 된다. 유료고속도로의 경우, 요금소 자료를 이용해 기종점에 관한 정보를 알 수 있기 때문에 교통류의 O/D 데이터를 활용하여 램프미터링 시스템을 운영 할 수 있지만, 본 연구의 대상지역인 서울 외곽순환고속도로의 노오지JC ~ 장수IC의 경우 무료로 운영되는 구간으로 O/D 자료를 수집하기가 쉽지 않다. 이렇듯 O/D 자료를 기반으로 하는 통합제어 방식의 램프미터링 알고리즘은 본 연구의 대상지역과 같은 교통 환경에서는 효과가 뛰어나지만 O/D 자료수집이 필수적이라는 제약사항이 따른다.

본 연구는 수집이 까다로운 진입 및 진출 램프간 O/D 자료를 대신하여 각 진출램프의 진출비율을 활용한 램프미터링 방법론을 개발하고 현재 램프미터링을 운영하고 있지만 무료운영으로 인해 통합제어에 필요한 O/D데이터 확보가 어려운 서울외곽순환고속도로의 노오지JC ~ 장수IC를 대상으로 진출비율을 이용한 램프미터링 방법론의 적용 가능성 및 효과 분석을 위해 아래의 절차에 의해 연구를 진행하였다.

먼저 본선의 교통와해의 발생을 방지하기 위해 진입램프의 수요를 관리하기 위한 방안으로 램프미터링 시스템을 소개하고 기존 램프미터링 운영방안에 관하여 문헌고찰을 진행하였다.

둘째, 기존 O/D 기반 램프미터링의 단점을 보완하기 위한 본선교통량에 따른 진출차량비율의 적용방안을 분석하고 분석대상지역의 본선교통량에 따른 진출차량의 비율에 관한 분석을 실시하였다.

셋째, 대상지의 교통류와 기하구조 현황을 분석하고 진출비율을 활용한 램프미터링 알고리즘을 정립하였다.

넷째, Micro Simulation software Vissim 5.4를 활용하여 대상지역의 교통현황을 구현하였으며 시뮬레이션 결과 값과 현황자료와의 비교분석을 통해 유사성을 검증하였다.

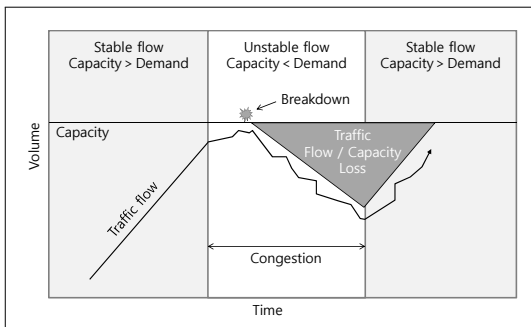
다섯째, 새로운 방법론에 의한 램프미터링 모형의 효과를 분석하기 위한 시나리오를 구성하고 API 기능을 통해 구현된 각 시나리오별 시뮬레이션 결과의 비교분석을 통해 본 논문에서 제시한 방법론의 효과를 평가하였다.

II. 램프미터링을 위한 이론고찰

1. 램프미터링 운영 원리

교통 혼잡의 발생은 특정시간 동안 교통시설을 이용하고자 하는 이용자의 수요가 용량을 초과한다는 것을 의미한다[3]. 혼잡의 발생원인 및 발생지점은 특정시간, 지점 및 기타 외부적인 요인에 의해 다양하게 나타나게 되지만 근본적 원인은 수요가 용량을 초과하는데 있으며 이로 인해 교통와해현상의 발생에 따라 시설이 임계 용량보다 낮은 처리능력을 보이는 것을 알 수 있다.

고속도로에서 램프미터링은 진입로에서 본선으로 합류하고자 하는 차량을 신호로 제어함으로써 본선을 통과하고자 하는 수요가 용량을 초과하여 발생하는 교통와해현상을 방지함으로써 교통류가 불안정해 지는 것을 사전에 방지하고 본선 교통류의 상태를 보다 원활하게 유지하는 교통수요관리 기법으로 기존 시설의 운영효율을 극대화 하는 방안이다.



〈Fig. 1〉 Traffic flow and Capacity Loss due to Breakdown[4]

2. 램프미터링 구분

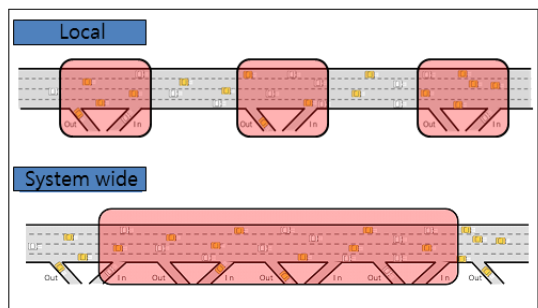
램프미터링 운영전략은 진입교통량, 즉 미터링율을 산정하는 방식에 따라 과거 평균 교통데이터를 활용하여 신호를 산정하는 TOD방식의 고정시간식(Pre-timed)과 실시간 교통상황에 따라 5~15분 단위로 정보를 수집하여 미터링율이 변화하는 감응식(Real time)으로 구분된다. 고정시간식은 비용측면에

서 효율적인 연결로 제어 기법으로 설계의 단순성으로 일반적으로 많이 쓰이는 방식이지만, 갑작스런 이벤트와 같은 비 반복적인 교통상황에 대처할 수 없는 단점이 있다. 감응식은 특정 도로의 교통상황에 대한 실시간 데이터를 수집하여 수요가 용량에 미치지 않도록 제어를 함으로서 비 반복적인 교통상황에 적절하게 대처할 수 있지만 설계가 복잡하고 비용이 비싸다는 단점이 있다.

또한 램프미터링은 제어범위에 따라 대상지 내 진입로별로 독립적으로 제어하는 독립제어(Local)와 대상지 내의 진입로를 통합적으로 제어하는 시스템 통합제어(System wide)로 구분된다.

독립제어는 진입로 이후 상·하류부 본선 교통상황을 고려하여 개별 구간 내 교통량 및 속도 최대화를 목표로 미터링율을 최적으로 제어한다. 이는 IC 간의 간격이 길어서 서로간의 영향이 적을 경우 효과적이다.

시스템 통합제어는 미터링으로 효과를 얻고자 하는 대상지 내의 진입로 이후 상·하류부 전체 본선 교통상황을 고려하여 대상지 전체 구간 내 교통량 및 속도 최대화를 목적으로 하고, 램프 간에 유기적으로 미터링율을 조절한다. 이는 IC 간의 간격이 가까워서 서로간의 영향이 클 경우 시스템 통합 제어방식을 이용한다.



〈Fig. 2〉 Ramp Metering Control Strategy According to the Range.

3. O/D 자료와 램프미터링

초기 Wattleworth(1965), Masser(1969) 등에 의해 제안된 램프미터링 알고리즘은 본선의 용량을 초과

하지 않는 범위 내에서 램프 진입교통량을 최대화하는 선형계획모형으로 각 구간의 용량 제약에서 시스템 전체적으로 가장 많은 램프 진입 교통량을 산정하기 위해 다음 식(1)에서와 같이 각 구간별 진입 및 진출 램프 즉, 주행경로에 따른 개별구간을 통과하는 차량의 비율정보가 필요하게 된다[5-6].

$$\begin{aligned}
 & \text{Find } X_i \\
 & \text{Maximize } \sum_{i=1}^n X_i \quad \dots\dots\dots (1) \\
 & \text{s.t.} \\
 & \sum_{i=1}^n A_{is} \cdot X_i \leq B_s \quad \text{for } s=1,2,\dots,m \\
 & 0 \leq X_i \leq D_i \\
 & X_i = \text{Allowable volume at input } i \\
 & D_i = \text{Demand at input } i \\
 & A_{is} = \text{the decimal fraction of vehicles entering} \\
 & \text{at input } i \text{ which pass through section } s \\
 & B_s = \text{Capacity of Section } S \\
 & n = \text{Number of On-ramps} \\
 & m = \text{Number of Sections}
 \end{aligned}$$

이때 O/D 정보의 정확도는 램프미터링 모델의 성능에 지대한 영향을 미치게 되며 Zhang(2004)은 시스템 통합제어 램프미터링 운영에 필요한 O/D 자료의 3가지 약점을 다음과 같이 지적하였다.[7]

첫째, 실시간 O/D를 추정하기가 어려움을 지적하였다. O/D 자료를 얻기 위해서는 차량이 기점을 출발하여 종점에 도착해야 온전한 기종점 즉 O/D 테이블이 완료되는데, 이때 차량 이동시간이 미터링 제어를 산정을 위한 정보수집 단위시간(5~15분)보다 길기 때문이다. 즉, 객관적인 근거를 확보하기 위해 수집해야할 최소한의 데이터가 확보되지 않아 실시간 제어를 위한 변수로 사용하기에는 무리가 따르기 때문에 실시간 O/D 자료의 추정에는 한계가 따른다고 주장하였다.

둘째, 운전자의 운전행태가 쉽게 바뀔 수 있음을 지적하였다. 운전자는 도로의 정체, 혹은 목적지 및 시간의 변경으로 고속도로 진입 이후에도 언제든지 경로와 목적지등을 변경하는 이동행태가 나타날 수 있으며, 최근 정확한 교통정보를 보다 쉽고 다양한 방법으로 운전자에게 제공하기 때문에 경로 선택이 이전보다 더욱 비 확일적으로 이루어져 O/D 추정에

는 한계가 있음을 주장하였다.

셋째, O/D 자료 수집 방법론의 복잡성을 지적하였다. 구간정보 수집을 위해서는 Loop검지기와 같은 간단한 방식의 지점검지방식으로는 O/D 자료를 수집할 수 없고, DSRC나 AVI와 같이 개별차량의 ID 구분을 통해 개별차량이 이용하는 고속도로의 진입 및 진출 램프를 구별할 수 있는 구간검지체계 방식이 필요하나 이는 가격이 비싸고 자료의 가공을 위한 별도의 복잡한 절차가 필요함을 주장하였다.

따라서 Zhang은 일반적으로 고속도로의 교통량 패턴의 변화가 느리고 하류부 진출램프의 진출량은 상류부 진입램프의 미터링 교통량에 영향을 받게 되므로 현재 주기의 진출램프의 진출비율과 다음 주기의 진출램프의 진출비율에는 큰 변화가 없을 것으로 판단하고 미국 미네소타주 Trunk Highway 169의 25개의 진출램프를 대상으로 1999년 11월 2일 14:30~19:30 진출교통량 비율 분석을 실시하였다. 분석결과 가정을 통해 추정된 진출교통량이 절대오차의 오차율은 ±1.2%를 넘지 않으며 상대오차에서는 약 20%의 오차를 보여 O/D 자료를 대신하여 진출비율을 활용할 수 있음을 증명하였다.

따라서 본 연구에서는 본선교통량에 따른 진출차량의 비율을 활용한 시스템 통합제어 방안에 관한 연구를 진행하였으며 대상지역의 경우 실시간으로 진출램프의 진출차량 비율을 산정하기 위한 검지기가 설치되어 있지 않아 일정기간 이동형 교통정보 수집장치를 통해 대상구간의 각 진출램프별 진출비율을 분석하고 진출램프의 평균 진출비율을 활용한 램프미터링 시스템을 개발 및 평가를 진행하였다.

III. 대상구간 진출비율 분석

앞서 언급한 것과 같이 본 연구는 진출비율을 활용하여 대상지역에 정체가 발생하지 않는 최적 진입교통량을 산정하는 것으로 O/D 자료를 대신하기 위해 특정 구간의 본선교통량과 하류부 진출램프의 진출교통량이 일정한 비율을 나타내는 특성을 활용

하였다. 따라서 각 구간별 본선교통량 대비 진출비율을 분석하고 평균 진출비율의 적용 가능성에 대한 타당성 검증을 수행하였다.

1. 교통정보 수집

대상구간은 본선의 경우는 일정간격으로 설치된 검지기를 통해 교통량과 속도 데이터를 수집할 수 있지만 진출부의 경우는 검지기가 설치되어 있지 않아 실시간으로 정확한 진출 교통량을 확인할 수가 없다. 따라서 진출비율 확인을 위해 대상지 구간 내의 램프 진출부에 이동형 교통정보 수집 검지 장치인 NC200과 영상장비를 설치하여 2012년 4월 2일(월)부터 8일(일)까지 진출교통량을 수집하였다.

<Table 1> Exit Ratio by Time at Gyeongang IC (Unit : %)

Time \ Date	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8
0:00	14	13	14	15	14	12	14
1:00	14	13	14	17	19	18	14
2:00	13	18	16	17	12	18	16
3:00	13	18	16	14	13	18	17
4:00	15	12	13	13	11	18	10
5:00	10	12	11	11	13	13	11
6:00	13	13	11	13	13	10	12
7:00	15	11	13	12	14	15	12
8:00	16	13	14	11	17	18	12
9:00	11	13	12	13	18	11	12
10:00	10	13	11	13	16	10	11
11:00	14	14	10	12	14	11	11
12:00	14	13	13	11	11	12	13
13:00	14	13	11	11	11	12	13
14:00	14	13	11	14	14	14	13
15:00	15	12	11	14	16	14	14
16:00	12	14	14	15	13	15	12
17:00	13	15	14	15	15	16	12
18:00	15	16	13	13	11	12	12
19:00	15	17	13	13	16	19	15
20:00	14	17	14	16	15	15	14
21:00	12	15	14	15	14	14	11
22:00	14	15	15	15	14	15	9
23:00	11	12	13	12	11	11	8
Average	13.5						
Standard Deviation	2.1						

2. 진출비율 확인

한 주간 계양IC를 통과하는 본선교통량 대비 진출교통량의 비율은 <Table 1>와 같으며 서운JC, 중동IC, 송내IC의 평균 진출비율 및 표준편차는 <Table 2>과 같이 각각 13%~24%의 진출비율을 보이며 각 시간별 관측치와 평균값의 표준편차는 2.5%를 넘지 않아 관측값의 평균 진출비율을 대푯값으로 활용하였다.

<Table 2> Average Exit Ratio and Standard Deviation by Section

	Gyeongang IC	Seoun JC	Joongdong IC	Songnae IC
Ave. Exit ratio	13.5	24.3	22.9	20.0
Standard Deviation	2.1	2.1	2.5	1.7

3. 진출비율 검토

확인된 평균 진출비율의 타당성을 검토하기 위해 통계분석프로그램인 SPSS Statistics 20을 이용하여 유의확률을 분석하였으며, T검정을 수행하기 위해 먼저 정규성 검정을 수행하였다.

계양IC의 진출비율 타당성 검토를 위해 다음과 같은 가정을 세웠으며 유의수준 0.05로 정규성 검정을 수행하였고 결과는 <Table 3>와 같다.

$$H_0 = \text{정규분포를 이룬다.}$$

$$H_1 = \text{정규분포를 이루지 않는다.}$$

<Table 3> Result of Normality Test

Kolmogorov-Smirnov	statistic	0.074
	degree of freedom	168
	significance probability	0.200
Shapiro-Wilk	statistic	0.985
	degree of freedom	168
	significance probability	0.362

T검정을 수행하기 위한 정규성 검정 결과, 유의 확률이 0.200과 0.362로 정규성을 따르므로(≥ 0.05) T검정을 수행하여 평균 진출비율의 타당성을 분석하였다. 활용한 옵션 값으로는 검정값(계양IC 평균 진출비율) 13.5%, 신뢰구간 95%로 일표본 T검정을 수행하였고 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Result of One ample t-test at Gyeongang IC

Test value = 0.135	t	0.321
	degree of freedom	167
	significance probability	0.749
	mean difference	0.10358
	95% Confidence interval	Lower
Max		0.7455

계양IC의 경우, 유의확률이 0.749(≥ 0.05)로 검정 값 13.5%는 신뢰할 만한 수치를 보였으며, 동일한 방법으로 서운JC, 중동IC, 송내IC 또한 타당성을 검증을 시행하여 모두 정규성 검정을 만족하였고 일 표본 T검정 수행결과, 유의확률이 0.05 이상으로 검정값이 신뢰할 만한 수치를 보였다.

<Table 5> Result of t-test at other sections

	Seoun	Joongdong	Songnae
Test value	0.243	0.229	0.200
Significance probability	0.641	0.702	0.589

IV. 램프 진출교통량 비율을 이용한 램프미터링 시스템

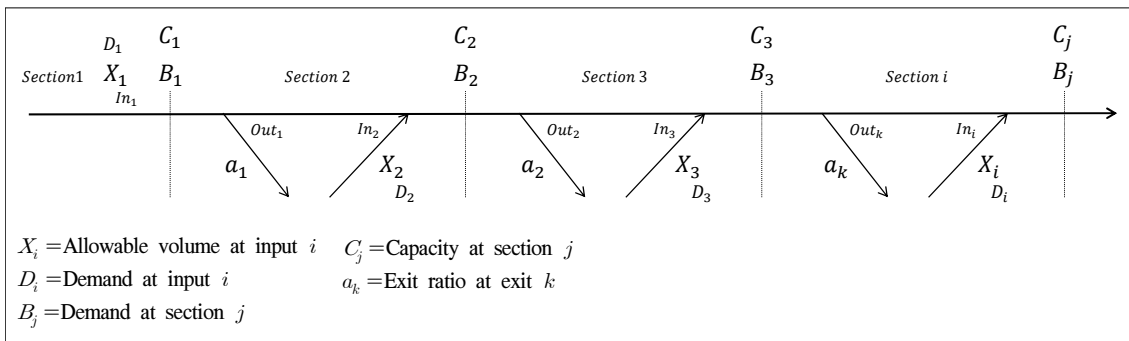
시스템 통합제어 램프미터링은 대상구간 램프 간에 유기적인 미터링을 조절을 통하여 정체가 발생하는 지점의 통과수요 조절과 동시에 제어대상 지역을 통과하는 차량수의 극대화를 목표로 한다.

본 연구에서는 각 구간의 본선교통량과 일정한 진출비율을 활용하여 System Wide방식의 최적 램프 진입량을 산정하기 위해 2가지 탐색 과정을 통해 각 진입램프 별로 최적의 미터링을 산정하는 방안을 다음과 같이 제시하였다.

먼저 <Fig. 3>과 같이 대상지역을 나타낸 네트워크에 본선의 교통량($B_1 \sim B_j$), 용량($C_1 \sim C_j$) 및 램프 부의 진출비율($a_1 \sim a_k$) 등과 같이 미리 획득 가능한 데이터를 하루부에서부터 입력한다.

다음은 전방 탐색과정(Forward Process)을 통해 제어대상 구간 상류부에서부터 각 구간별 용량의 제약을 고려한 최적의 진입교통량을 순차적으로 산정하는 과정으로 Section1의 경우 상류부의 진입교통량(D_1)이 Section1 전체의 수요교통량으로 지점용량(C_1) 이하일 경우 통과가능 교통량(X_1)을 결정하고 Section2로 넘어가게 된다.

Section2에서는 Section1을 통과하는 전체 교통량(X_1)과 진출비율(a_1)을 통해 Section2의 진출램프를 통해 진출하는 차량의 수를 산정할 수 있으며, Section1을 통과하는 전체 교통량(X_1) 중 진출차량의 수를 제한 본선교통량($X_1 \times (1 - a_1)$)과 Section2



<Fig. 3> Network for Metering Solution

의 진입램프를 통해 진입하고자 하는 교통량(D_2)을 더한 Section2의 수요교통량(B_2)이 Section2의 지점용량(C_2) 이하일 때는 진입램프의 진입가능 교통량(X_2)을 결정하고 다음 구간인 Section3로 넘어가게 된다.

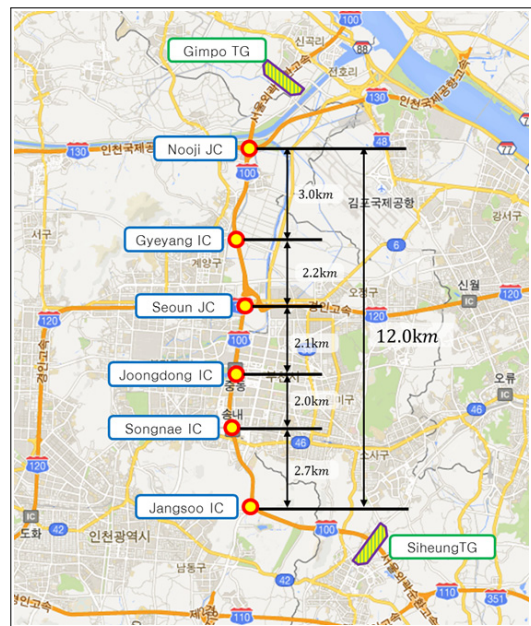
이때, Section별로 진출차량의 비율 산정을 통해 수요 교통량과 지점용량의 비교를 실시하여 제어 대상구간의 하류부까지 Section별 진입가능 교통량이 산정 될 경우 최적 미터링율의 산정 과정을 종료하게 된다. 하지만 특정 Section의 수요교통량(B_j)이 지점용량(C_j)을 초과할 시에는 램프의 최대 진입 교통량($X_i = C_j - (X_{i-1} \times (1 - a_k))$)을 진입가능 교통량(X_i)으로 결정하고 최소 진입 허용교통량($MinX_i$)을 만족할 경우 다음 Section으로 진행하게 된다. 하지만 진입가능 교통량(X_i)이 최소 진입 허용교통량($MinX_i$)을 만족하지 못할 경우 진입가능 교통량($X_i = MinX_i$)을 최소 진입 허용교통량으로 결정하고 후방탐색과정(Backward Process)을 통해 상류구간(Section $i-1$)의 진입 차량(X'_{i-1})의 수요를 조절하여 $B'_j \leq C_j$ 를 만족하면 후방탐색과정(Backward Process)을 종료하고 전방 탐색과정(Forward Process)을 다시 진행하게 되지만 제약조건이 만족되지 못할 경우 상류부내 가능한 Section까지 후방탐색과정(Backward Process)을 진행한 후 다시 전방 탐색과정(Forward Process)을 통해 Section별로 진입가능 교통량을 결정하게 된다.

만약, 후방탐색과정(Backward Process)을 진행 하여도 교통량이 용량을 초과할 시에는 구간마다 미터링율을 최소 진입 허용교통량으로 결정하고 최적 미터링율의 산정 과정을 종료하게 된다.

IV. 대상구간 현황분석

서울을 중심으로 방사형으로 건설된 서울외곽순환고속도로는 총 127.6Km, 왕복 6~8차선으로 2007년 완공되었다. 본 연구의 분석대상구간인 판교방향 장수IC~노오지JC 구간은 1999년 개통되었으며 2014년 기준 1일 평균 통행량이 24만대로 전국고속

도로 중 교통량이 가장 많은 도로이며 서비스수준이 F인 상습적인 정체구간이다.[8] 또한 한국도로공사가 관리하는 91.7Km 구간 중 영업소 설치의 어려움으로 인해 무료로 운영되는 63.6Km 구간에 포함된다. 노오지JC 상류부에는 김포TG, 장수IC 하류부에는 시흥TG가 위치하고 있으며, 구간 내에는 노오지JC, 계양IC, 서운JC, 중동IC, 송내IC로 총 5개 지점에서 진입램프가 설치되어 있고 진출램프의 경우 장수IC를 포함 6개 지점에 진출램프만이 운영되고 있다.



(Fig. 4) Target Area Map

대상지역의 경우 IC 및 JC의 간격이 대부분 2km 내외로 중동IC~송내IC의 경우에는 진출입차로를 제외한 본선간 거리는 600m로 매우 가까우며 서운JC의 경우에는 경인고속도로와 연결되어 진출 교통량 및 진입 교통량이 많은 특징을 가지고 있어 진출입부에서의 잦은 엇갈림으로 인한 상습적인 정체가 발생할 확률이 높으며 실제 대상구간에 설치된 검지기를 통해 수집된 속도분포를 살펴보면 장수IC~계양IC까지 아침 출근시간 7시부터 저녁 퇴근시간 20시까지 13시~14시를 제외하고 정체가 지속되며 장수IC로 진출하는 교통류로 인해 정체가 발생하여

계양까지 정체가 전파되는 것을 알 수 있다.

<Table 6> Speed Contour Map of Target Area

Time	Nooji~Gyeyang	Gyeyang~Seoun	Seoun-Joongdong	Joongdong-g-Songnae	Songnae~Jangsoo	Jangsoo~Si-hueng
0	107	89	97	98	102	91
1	108	90	101	100	103	91
2	107	90	100	100	103	91
3	102	86	98	97	101	87
4	104	86	98	95	97	87
5	102	81	96	93	97	88
6	102	77	84	76	94	85
7	99	75	48	28	74	86
8	94	34	21	27	32	86
9	93	27	25	30	36	85
10	92	26	25	29	45	85
11	92	29	28	30	39	85
12	93	68	54	39	86	86
13	92	75	69	72	74	87
14	84	76	62	62	71	85
15	86	61	45	58	40	84
16	85	34	44	38	38	84
17	83	34	42	41	33	85
18	81	24	42	44	31	84
19	84	72	40	51	35	83
20	91	78	64	68	57	85
21	98	79	76	81	87	88
22	100	82	82	85	95	89
23	105	86	89	92	98	90

시간별 교통량-속도를 현실과 유사하도록 구축함으로써 진출교통량비율을 활용해 산정된 미터링율을 통해 정체의 발생 및 확산방지의 가능성을 평가하였다.

2. 시뮬레이션 평가

1) 교통량 비교

시뮬레이션을 통해 알고리즘의 효과를 평가하기에 앞서 효과의 타당성을 위해 구축된 시뮬레이션 환경이 얼마나 현실과 유사하게 구현했는지에 대한 평가가 필요하다. 따라서 시뮬레이션 결과 산출된 효과척도가 오차범위 내에 있다면 현실을 비슷하게 구현하였다고 결론을 내릴 수 있고, 반대의 경우는 보정(Calibration) 과정의 수행이 필요하다.

먼저, 교통량 비교 평가를 위해서 GEH statistic 기법을 사용하였다[9]. GEH는 식(2)와 같이 두 집단의 교통량이 얼마나 유사한지 평가하는 통계 기법으로, 카이-제곱 검정과 유사하며 다양한 교통 분석의 검증에 사용된다.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (2)$$

M=Hourly traffic volume from the traffic model
C=Real-world hourly traffic count

VI. 시뮬레이션 분석

1. 현황구축 개요

본 연구는 Vissim 5.4을 활용하여 2013년 2월21일(목) 오후 정체가 발생하는 14시부터 정체가 해소되는 20시까지 총 7시간의 현황을 시뮬레이션으로 구축하였다.

시뮬레이션구축은 대상구간의 정체발생 원인에 따라 정체확산 및 정체지속시간을 시뮬레이션을 통해 도출된 속도 및 교통량 결과 자료와 FTMS를 통해 수집된 현실자료와의 비교를 통해 보정작업을 수행하며 유사하게 구현하였다. 이는 무료구간의 경우 차량의 O-D를 정확히 알 수 없기 때문에 진입 및 진출교통량, 본선교통량을 이용하여 대략적인 O-D를 구축하였고, 시뮬레이션을 통해 획득한 본선 및 진출입교통량을 기반으로 보정작업을 실시하여

구축된 시뮬레이션의 본선 교통량을 추출하여 GEH 값을 분석한 결과, 전체 42개 수집 구간 중 35개 구간(85%)의 값이 5이하로 나타나 통계적으로 유사함을 입증하였다.

<Table 7> Analysis Result of GEH

Unit : GEH

	Nooji~Gyeyang	Gyeyang~Seoun	Seoun~Joongdong	Joongdong~Songnae	Songnae~Jangsoo	Jangsoo~Sihueng
14:00	1	3	4	3	5	1
15:00	2	1	7	5	1	4
16:00	4	4	4	3	4	4
17:00	3	4	5	4	4	4
18:00	2	1	2	6	5	3
19:00	2	2	4	14	5	15
20:00	0	1	4	3	14	5

■: GEH > 5

2) 속도 비교

분석대상구간은 전 구간에서 약 80km/h의 속도를 유지하다가 14시부터 송내IC부터 정체가 시작되어 계양IC~장수IC 구간에서 통행속도가 70km/h 이하로 떨어져 18시까지 30~40km/h의 속도 분포를 보이다 19시 이후 계양IC~서운JC 구간에서부터 서서히 속도가 회복되는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과 <Table 8>과 같이 정체 발생, 지속 및 확산현상의 유사성을 중심으로 시뮬레이션 현황구축을 시행하였다.

<Table 8> Analysis Result of Speed

① Traffic Detector Data Unit : km/h

Observe	Nooji ~Gyeong	Gyeong ~Seoun	Seoun ~Joongdong	Joongdong ~Songnae	Songnae ~Jangsoo	Jangsoo ~Sihueng
14:00	84.9	75	75.5	60.1	71.8	86
	82.2	76.5	48.9	64.8	69.5	84.4
15:00	85.6	69.9	44.1	59.5	40.3	84.1
	85.7	51.1	44.9	56.1	39.2	83.9
16:00	85.7	37.6	44.2	39.2	39.7	84.5
	84.7	30.8	43.6	36	35.8	84.3
17:00	83.7	36.8	41.3	41.1	30.5	84.8
	83.1	32.1	41.8	40.7	35.4	85.3
18:00	81.1	25.3	42	41	30.4	85.2
	80.5	22.8	42.7	47.1	31.3	82.6
19:00	81	69.5	39.5	50.5	34	82.1
	87	74.3	41.2	51.4	35.6	83.2
20:00	90.9	77.6	52.8	56.1	41.2	83.7
	90.8	77.9	75.3	80.6	72.5	85.4

② Simulation Result Unit : km/h

Model	Nooji ~Gyeong	Gyeong ~Seoun	Seoun ~Joongdong	Joongdong ~Songnae	Songnae ~Jangsoo	Jangsoo ~Sihueng
14:00	82.1	60.5	73.3	63.8	82.8	84.3
	81.8	70.7	52.9	60.6	69.9	84.2
15:00	82.1	60.9	34.2	67.5	33.8	84.5
	81.7	53.2	33.8	49.7	33	84.5
16:00	82.1	42	35.8	41.6	34.6	84.2
	82.2	44.1	38.9	43.4	34.7	84.5
17:00	81.6	40.5	33.9	51.2	34.2	84.8
	82.2	40.3	35.1	42.2	34.8	84.6
18:00	82.4	43.6	34.4	45.4	34.5	84.3
	82.1	47.5	33.4	37.7	34.5	84.5
19:00	82.5	75.8	37.1	29.3	29.3	84.4
	82.5	81.9	26.7	29.1	30.7	85.2
20:00	83.1	83.1	31.7	41.8	43.2	83.8
	82.9	83.2	71.6	64.5	82.9	84.3

3. 램프미터링 운영 원칙

1) 운영 및 평가를 위한 정보수집 체계

본 연구 방법론에 따른 램프미터링 시스템의 운영 및 평가를 위해서는 교통량 및 속도 자료의 수집이 필요하다. 시뮬레이션 상에도 실제 분석 대상 구간에 설치되어 있는 루프검지기의 위치와 동일한 지점에 검지기를 설치하여 필요한 교통정보를 수집하였다. 실시간으로 수집된 자료는 5분 주기로 가공되며 이에 따라 5분마다 램프미터링 운영기준 또한 재산정 되도록 하였다.

또한, 램프미터링 운영에 따른 램프부의 영향을 평가하기 위해 램프진입부에 검지기를 설치하여 램프진입교통량과 램프진입차량의 대기행렬 길이에 관한 자료를 수집하였다.

본선 구간의 검지기 설치지점은 노오지JC~계양IC 구간, 계양IC~서운JC 구간, 서운JC~중동IC 구간, 중동IC~송내IC 구간, 송내IC~장수IC 구간, 장수IC~시흥IC 6구간에서 정보 수집을 하였으며 램프부의 경우 계양IC~송내IC까지 4개의 IC 진입램프부에 검지기를 설치하였다.

2) 램프미터링 운영 시작 기준 및 용량 산정

신호운영은 본선 차량 통행속도를 기준으로 결정된다. 한국도로공사에서 제공한 램프미터링 운영 매뉴얼에 따르면 평상시에는 점멸등으로 운영하고, 대상지 내의 본선 6구간 중 한 구간이라도 통행속도가 70km/h이하일 때, 구성하여 놓은 미터링울(허용교통량)에 맞게 신호가 작동하게 된다[10].

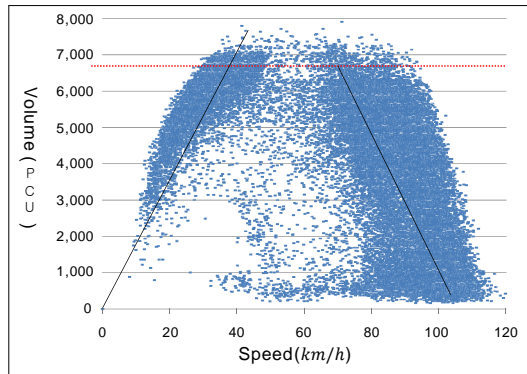
미터링울을 계산하기 위해서 대상지 구간의 용량 산정이 필요하다. 진입 교통량은 램프 진입 후 하류부의 용량을 기준으로 결정되어지기 때문에 용량을 산정해야 한다. 이를 위해서 노오지JC~장수IC 구간의 2013년 2월 3일부터 3월 2일까지 한 달여간의 데이터(FTMS)로 교통량-속도 분포도를 작성하고 용량을 선정하였다.

먼저 교통량 정보제공 시스템(Traffic Monitoring System, TMS)에서 제공하는 서울외곽순환고속도로의 차종구성비를 검토하였고, 그 비율은 <Table 9>과 같다.

<Table 9> AADT and Vehicle Composition

Unit : Veh/day			
AADT	Compact	Mid	Large
244,940	193,363	50,343	1,235
Ratio	79%	20%	1%

다음은 차종구성비를 활용하여 교통량(PCU)-속도 분포도를 작성하였다. 한 달여간의 5분주기 교통량 및 속도 데이터를 추출하였고, 이를 차종구성비를 이용하여 최종 분포도를 작성하였고, 용량은 6,800PCU로 선정하였다.



<Fig. 5> Distribution of Volume-Speed

3) 램프미터링 운영 종료 기준

램프미터링 신호운영 종료, 즉 점멸등 운영은 본선 통행속도와 램프 대기차량의 길이에 총 2가지 상황을 고려하여 적용된다.

첫째, 램프미터링 신호운영종료는 모든 제어구간의 통행속도가 70km/h 이상일 경우 미터링 운영이 필요하지 않다고 판단하여 모든 램프미터링 신호운영을 점멸등으로 운영된다.

둘째, 각 진입램프의 과도한 대기차량으로 인하여 하부도로의 운영상에 영향을 미치는 것을 최소화하기 위한 방안으로 대기차량의 길이가 하부도로의 영향권에 도달 시 해당 램프미터링 운영은 종료하고 대기행렬이 영향권을 벗어날시 해당 램프의 미터링을 재개하도록 설정하였다. 하부도로 영향권 역은 <Table 10>과 같다.

<Table 10> Maximum Allowable Queue Length

Unit : km				
	Gyeyang IC	Seoun JC	Joongdong IC	Songnae IC
Queue Length	1.4	2.4	0.9	1.7

4) 단계별 미터링을 제어

램프미터링을 본선 교통량에 따라 10단계로 제어하였다. 본 연구에서 실시간 미터링을 한 차로 당 최대 미터링을 경우 1,200대/시이고, 최소 미터링을의 경우 240대/시로 설정하였으며, 미터링을 이 그 이하로 결정될 경우 신호운영을 종료하도록 하였다.

<Table 11> Metering Step for Simulation

Level	Metering rate (veh/h)	Signal sign			
		Cycle	Green	Yellow	Red
1	1,200	6	3	1	2
2	1,000	7	3	1	3
3	900	4	1	1	3
4	720	5	1	1	4
5	600	6	1	1	5
6	510	7	1	1	6
7	450	8	1	1	7
8	400	9	1	1	8
9	240	15	1	1	13
10	No control	-			

4. 시나리오 구성

본 연구에서는 램프 진출교통량 비율을 이용한 램프미터링 시스템의 효과를 측정하기 위해 2가지 시나리오를 구성하였다. 대상구간은 본 연구의 분석구간에 포함된 5개 진입램프 중 계양IC~중동IC 구간 3개 지점의 대기행렬길이가 최대 800~1400m까지 과도하게 생성되어 본선의 정체발생 방지 및 램프대기행렬에 의한 교차로 앞 막힘 현상(spillback)을 모두 만족하는 미터링을 산정에는 어려움이 있다고 판단하였다. 따라서 대안 1의 경우 램프 진출

교통량 비율을 이용한 램프미터링을 실시하되 과도한 대기행렬 발생에 따른 하부도로 영향을 고려하지 않고 램프미터링에 의한 고속도로 정체 발생방지 가능성만의 효과분석을 실시하기 위해 진입램프만을 구축하여 분석을 실시하였으며, 대안2는 각 진입램프와 인접한 첫 번째 교차로에 검지기를 설치하여 진입로에서 생성된 대기행렬이 검지가 되면 램프미터링 운영을 일정기간 종료시켜 하부도로의 영향을 최소화 및 고속도로의 정체예방 효과를 동시에 고려하고자 하였다.

〈Table 12〉 Simulation Scenarios

Scenarios	
Alternative1	Not Consider the access road
Alternative2	Consider the access road

5. 시나리오별 시뮬레이션 비교 분석 및 평가

각 시나리오 별 시뮬레이션을 진행하고 본선 교통상황을 비교 분석하였다. 비교 대상구간은 노오지JC~장수IC구간으로 본선에 설치된 검지기를 통해 수집된 통행속도, 통과교통량 및 통행시간자료를 활용하였다.

1) 지점 속도 분석

지점 속도 결과를 살펴보면 램프미터링 운영시 〈Table 13〉와 같이 구간별 전반적으로 통행속도가 증가하였다.

하부도로 영향을 고려하지 않은 대안 1의 경우 전반적인 통행 속도가 50km/h 이상이었고, 특히 송내IC~장수IC 구간은 현황에 비해 50km/h 가량 증가하는 것으로 나타났다.

하부도로의 영향을 고려한 대안 2의 경우도 전반적으로 속도가 증가하였고, 대한 1과 마찬가지로 송내IC~장수IC 구간의 속도가 50km/h 가량 증가하였으나 서운JC~중동IC 구간 15~18시 시간동안 평균 통행속도가 35km/h로 현황과 유사한 정체 수준을 보였다.

정체가 발생하지 않는 노오지JC~계양IC 구간과

장수IC~시흥IC 구간을 제외한 계양IC~서운JC, 서운JC~중동IC, 중동IC~송내IC, 송내IC~장수IC 4구간의 7시간 평균 통행속도를 살펴보면 현황 대비 대안 1과 대안 2에서 각각 25km/h, 13km/h 속도 증가를 보였다.

〈Table 13〉 Result of Speed by Scenario

① Result of Present Unit : km/h

	No-ji ~Gyeong	Gyeong ~Seou	Seou ~Joongdong	Joongdong ~Songnae	Songnae ~Jangsoo	Jangsoo ~Si-hueng	Ave.
14:00	82	66	63	62	76	84	72
15:00	82	57	34	59	33	85	58
16:00	82	43	37	43	35	84	54
17:00	82	40	35	47	35	85	54
18:00	82	46	34	42	35	84	54
19:00	83	79	32	29	30	85	56
20:00	83	83	52	53	63	84	70
Ave.	82	59	41	48	44	84	58
Average speed by section at Gyeong~Jangsoo							48

② Result of Alternative1 Unit : km/h

	No-ji ~Gyeong	Gyeong ~Seou	Seou ~Joongdong	Joongdong ~Songnae	Songnae ~Jangsoo	Jangsoo ~Si-hueng	Ave.
14:00	82	78	74	59	83	84	77
15:00	82	77	74	60	83	84	77
16:00	82	63	81	47	83	85	74
17:00	82	53	78	59	83	85	73
18:00	82	75	79	64	83	85	78
19:00	82	78	82	68	83	85	80
20:00	83	79	83	77	69	85	79
Ave.	82	72	79	62	81	85	77
Average speed by section at Gyeong~Jangsoo							73

③ Result of Alternative2 Unit : km/h

	No-ji ~Gyeong	Gyeong ~Seou	Seou ~Joongdong	Joongdong ~Songnae	Songnae ~Jangsoo	Jangsoo ~Si-hueng	Ave.
14:00	82	70	65	62	83	84	74
15:00	82	65	32	65	83	84	69
16:00	82	41	36	45	83	85	62
17:00	82	40	35	55	83	84	63
18:00	82	50	32	66	83	85	66
19:00	83	74	62	46	50	85	67
20:00	83	78	83	54	67	84	75
Ave.	82	60	49	56	76	84	68
Average speed by section at Gyeong~Jangsoo							61

2) 본선 통행시간 분석

노오지JC에서 장수IC까지 총 12km 구간 내 평균 통행시간을 시나리오별로 분석하였다.

대안1의 평균 통행시간은 10.3분으로 현황에 비해 5.5분 감소하였고, 19시에는 최대 9.5분까지 감소하였다. 평균 구간속도는 24km/h 증가하였으며, 18시에는 최대 40km/h까지 증가하였다.

대안2의 평균 통행시간은 13.0분으로 현황에 비해 2.8분 감소하였고, 19시에는 최대5.7분까지 감소하였다. 평균 구간속도는 10km/h 증가하였으며, 18시에는 최대 20km/h까지 증가하였다.

대안별 시간변화에 따른 통행시간 및 평균구간속도는 <Table 14>와 같다.

<Table 14> Travel Time and Average Section Speed

	Present		Alternative1		Alternative2	
	Travel Time (Min)	Section Speed (km/h)	Travel Time (Min)	Section Speed (km/h)	Travel Time (Min)	Section Speed (km/h)
14:00	10.2	78	10.1	79	10.1	79
15:00	13.7	59	10.1	79	11.5	69
16:00	15.4	52	10.7	75	12.9	62
17:00	16.1	50	10.5	76	15.3	52
18:00	15.9	50	9.9	80	11.4	70
19:00	19.5	41	10.0	80	13.8	58
20:00	20.2	40	11.0	72	15.8	50
Ave.	15.8	53	10.3	77	13.0	63

3) 본선 통과교통량 분석

본선 통과교통량 결과를 살펴보면 램프미터링 시행 시 전반적으로 통과교통량이 증가하는 것으로 나타났다.

하부도로 영향을 고려하지 않은 대안1의 경우 시물레이션 기간 동안 통과교통량이 216,124대로 현황 대비 4,159대의 증가폭을 보였다. 특히 계양IC~서운IC 구간의 통과교통량이 현황에 비해 1,494대 증가하였다.

하부도로의 영향을 고려한 대안2의 경우 통과교통량은 212,261대로 현황 대비 296대의 소폭의 증가

량을 보였지만, 주요 정체구간인 송내IC~장수IC 구간에서 현황 대비 118대가 증가하는 효과를 보였다.

<Table 15> Result of Throughput by Section

Unit : veh/simulation time

	Present	Alternative1	Alternative2
No-ji ~ Gyeyang	40,803	40,799	40,810
Gyeyang ~ Secun	39,847	41,341	39,864
Secun ~ Jongdong	35,929	36,634	35,992
Jongdong ~ Songnae	35,729	36,303	35,778
Songnae ~ Jangsoo	35,127	35,913	35,245
Jangsoo ~ Si-hueng	24,530	25,134	24,572
Total	211,965	216,124	212,261

VI. 결론

램프미터링 시스템은 본선의 교통상황에 따라 진입 차량을 제어함으로써 정체 발생을 예방하여 본선의 교통상황을 보다 원활하도록 유지시키는 교통수요관리기법이다.

램프미터링 시행을 위해 대상지역의 교통현황을 분석한 결과 진출입 시설간의 인접성 및 정체의 특성에 따라 시스템 통합제어를 시행하는 것이 효과적이다. 하지만 기존 알고리즘들의 경우 시스템 통합제어를 위해 O/D 자료가 필요하지만 대상지역의 경우 무료운영으로 인해 O/D 자료의 수집이 어려운 실정으로 본 연구에서 진출교통량 비율을 활용한 램프미터링 시스템의 알고리즘과 방법론을 모색하고 램프미터링 적용에 따른 효과 분석을 실시하였다.

분석결과 통행속도, 통과교통량 및 통행시간자료를 통해 램프미터링을 실시한 대안의 결과 값이 현황에 비해 효과적임을 알 수 있다. 대안 1의 경우 램프미터링을 실시하지 않은 현황에 비해 지점속도 25km/h 증가, 구간속도 24km/h 증가, 통행시간 5.5분 단축, 본선 통과교통량 4,159대 증가로 운영적인 측면에서 가장 효과적이었으며 하부도로 영향을 고려한 대안2의 경우도 지점속도 13km/h 증가, 구간속도 10km/h 증가, 통행시간 2.8분 단축, 본선 통과교통량

296대 증가하여 대상구간의 정체개선을 위해 본 연구에서 제시한 방법론을 통한 램프미터링 시스템의 운영이 효과적임을 알 수 있다.

하지만 본 연구에서는 1주일 데이터를 활용하여 진출비율을 산정하였으므로 보다 장기적인 자료의 수집을 통해 진출비율을 산정한다면 보다 효과적인 램프미터링 운영이 가능할 것으로 판단되며 대안 2로 제시한 방안의 경우 단순히 하부도로 영향에 따른 램프미터링의 시행여부를 판단했지만 하부도로의 신호와 연계를 통해 지속적으로 램프미터링의 시행과 함께 하부도로의 영향을 최소화하는 방법론의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Korea National Statistical Office, <http://www.kostat.go.kr>, 2016.05.09.
- [2] e-Index, <http://www.index.go.kr>, 2016.05.09.
- [3] Wattleworth J. A.(1965), Peak-Period Analysis and Control of a Freeway system.
- [4] Jacobson, L., Jason S. and Lisa N.(2006), "Ramp Management and Control Handbook," FHWA-HOP-06-001.
- [5] Wattleworth J. A. and Berry D. S.(1965), "Peak-period control of a freeway system - some theoretical investigations," *Highway Res. Rec.* 89, pp.1-25.
- [6] Messer C. J.(1969), "A design and synthesis of a multilevel freeway control system and a study of its associated operational control plan," *Ph. D dissertation*, Texas A&M university, College station.
- [7] Zhang L. and Levison D.(2004), "Optimal freeway ramp control without origin-destination information," *Transportation Research Part B* 38, pp.869-887.
- [8] Korea Traffic Monitoring System, <http://www.road.re.kr>, 2016.05.09.
- [9] Geoffrey E. Havers, Wisconsin Department of Transportation Model Calibration, http://www.wisdot.info/microsimulation/index.php?title=Model_Calibration, 2016.05.09.
- [10] Kwon Y.(2011), "A Study on RMS Operating Guidelines-with a Focus on Seoul Ring Expressway," *Korean society of transportation paper*, vol. 31, no. 5D, pp.649-656.

저자소개



강 우 진(Kang, WooJin)
2016년 3월~ 현 재 : 서울시립대학교 박사과정 (교통공학 전공)
2014년 1월~ 현 재 : 한국교통연구원 도로교통본부 연구원
2012년 2월~ 2013년 12월 : 서울시립대학교 석사과정 (교통공학전공)
2006년 2월~ 2012년 2월 : 목원대학교 공학사 (도시공학전공)
e-mail : kwj21c@koti.re.kr



김 영 찬(Kim, YoungChan)
1996년 2월~ 현 재 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
1996년 : 명지대학교 교통공학과 교수
1993년 : 도로교통안전협회 연구소 연구위원
1991년 : 교통개발연구원 선임연구원
1990년 : Texas A&M University 공학박사(교통공학전공)
1985년 2월 : 서울대학교 공학석사(도시공학전공)
1983년 2월 : 서울대학교 공학사(도시공학전공)
e-mail : yckimm@uos.ac.kr



이 민 형(Lee, Minhyoung)
2013년 3월 ~ 현 재 : 서울시립대학교 박사과정 (교통공학 전공)
2013년 2월 : 서울시립대학교 공학석사 (교통공학 전공)
2007년 2월 : 서울시립대학교 공학사 (교통공학 전공)
e-mail : min632954@gmail.com