

교통시뮬레이션 모형을 이용한 램프미터링 정지선 설정에 따른 효과분석

The Effectiveness Analysis on Set of Ramp Metering STOP-line Using Traffic Simulation Model

김인수 Kim, In Su

양충현 Yang, Choong Heon

한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구원 · 교신저자 (E-mail: mriskim@kict.re.kr)

정희원 · 한국건설기술연구원 도로교통연구실 수석연구원 (E-mail: chyang@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study performs fundamental research on ramp-metering design criteria.

METHODS : We carefully review previous studies in terms of ramp-metering design criteria and then consider applicability in Korea. For this, traffic simulation model is employed to analyze actual effect according to specific location of stop-line when implementing ramp-metering.

RESULTS : When a stop-line moving forward with a 50m interval, travel speed at mainline relative to current stop-line location tends to decrease. However, traveling speed at approach roads increase about 5~18% under the same condition. When a stop-line location moving backward with a 50m interval, mainline travel speed increase approximately 17~32% whereas traveling speed at approach roads decrease. All cases are compared with the current stop-line location.

CONCLUSIONS : We believe that both cases are useful with respect to freeway management. For example, moving forward a stop-line case can be used management for queuing area at ramp section and approach roads. Moving backward a stop-line case can be used for traffic control, focusing on mainline of freeways.

Keywords

ramp metering, micro-simulation, acceleration length, t-test

Corresponding Author : In Su Kim, Researcher
Korea Institute of Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro,
Ilsanseo-Gu, Goyang-si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0064 Fax : +82.31.910.0746
E-mail : mriskim@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ijhe.or.kr/

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jan. 9, 2014 Revised Jan. 14, 2014 Accepted Feb. 6, 2014

1. 서론

고속도로는 주행의 고속성, 안정성, 쾌적성 제공을 주요 기능으로 한다. 그러나 최근 교통수요와 공급의 불균형으로 인해 지속적으로 발생하는 고속도로 지·정체는 이러한 기능을 저하시켜, 궁극적으로 이용자들의 불편을 가중시키고 있다. 또한, 철도분야에 대한 투자 확대, 대안 도로(고속화된 일반국도) 증설, 민자고속도로 개통

에 따른 경쟁수단의 급격한 성장 등의 내부요인과 고유가, 경제성장률 증가추세 둔화 등의 외부요인으로 인해 고속도로 이용자의 증가세가 감소되고 있다(한국도로공사, 2006; 한국도로공사, 2013). 따라서 고속도로 이용자의 편의를 증진시키고, 주요기능을 회복하기 위한 해결방안을 찾고자 하는 노력이 많이 진행되어 왔다. 대표적인 방법으로 HOT/HOV차로, 램프미터링, 가변속

도제어, 자동요금징수 등의 차로제어시스템(LCS, Lane Control System)이 있다.

이 중 국내에서는 중앙버스차로제, 갓길차로제, 하이패스, 램프미터링 등을 운영해오고 있다(한국도로공사, 2010). 중앙버스차로제와 갓길차로제는 고속도로 본선 교통량에 대한 관리를 위해 운영되며, 램프미터링은 고속도로 진·출입 교통량 관리를 목적으로 운영된다. 램프미터링 시스템(RMS, Ramp Metering System)은 본선 교통류의 원활한 흐름을 위해 램프를 통해 본선으로 진입하는 교통량을 제어하는 기법으로, 이미 여러 선진국에서 그 실효성이 검증된 기법 중 하나로 광범위하게 적용되고 있다. 한국 고속도로의 폐쇄식 영업구간은 요금징수소 운영전략을 통해 진·출입 교통량을 효과적으로 제어할 수 있는 특징이 있고, 개방식 영업구간은 고속도로 본선으로 향하는 높은 램프 교통량으로 인한 지·정체 및 교통사고 위험 증가 등의 부정적 영향을 발생시키고 있어, 1997년에 처음 국내에 소개된 이후 현재까지 교통류 제어분야에서 검토되고 있다(한국도로공사, 2008). 현재까지 램프미터링 전략은 적절한 교통수요관리방안 부족, 도로관리기관 간 연계 부족, 대국민 홍보부족 등으로 큰 성과를 거두지는 못하였다. 즉, 구체적인 지침 개발을 위한 연구보다는 외국 사례의 장·단점을 고려한 벤치마킹 수준에 그치고 있었다. 그럼에도 불구하고 소통원활을 위한 수요자의 도입 요구에 따라 램프미터링이 시범운영을 걸쳐 일부구간에 정식으로 운영되고 있다.

현재까지 국내 상황에 맞는 구체적인 램프미터링 설치·운영기준이 전무한 실정이다. 또한, 외국의 기준을 그대로 적용하기에는 무리가 있다는 것도 시행착오를 통해 경험하였다. 따라서 우선적으로 한국형 램프미터링 설치·운영기준을 정립하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 이에 필요한 기초 연구를 수행하였다. 설치 측면에서 고려되어야 할 고속도로 본선구간 상의 최적 정지선 설정을 위한 시행 가능한 대안을 마련하고, 대안별 효과를 미시적 교통 시뮬레이션 모형을 이용하여 분석하였다.

2. 문헌고찰

2.1. 램프미터링 개요

램프미터링은 1963년 처음 미국에서 소개되었으며 그 이후 여러 지역으로 확대되었다. 유럽 또한 도로운영 효율을 높이기 위해 램프미터링을 적극적으로 적용하고

있다. 다음은 램프미터링 운영에 따라 발생하는 대표적인 편익이다(FHWA, 2006).

- 안전에 대한 편익
- 이동성과 생산성에 대한 편익
- 도로 환경오염 저감
- 운전자의 긍정적 인식

Table 1과 Table 2는 각각 미국과 유럽의 사례를 정리한 것이다(FHWA, 1995, EURAMP, 2007). 이를 통해 램프미터링 시행에 따라 고속도로 본선의 통행량 및 속도가 증가되고, 또한 차량에서 배출되는 배기가스량 및 병목구간에서의 교통사고 감소 등의 부가적인 편익을 발생시키는 것으로 나타났다.

Table 1. Installation of Ramp Metering in the U.S.

Area	Specific section	Summary
Austin, Texas	3 ramps metering on a section of northbound I-35	About 7.9% increase in traffic volume as well as 60% increase in speed
Denver, Colorado	5 ramps metering on a section of northbound I-25	Average peak period travel speed increased 57% and Average travel times decreased 37% About 24% reduction in emissions as well as 5% reduction in the accident rate
Detroit, Michigan	6 ramps metering on a section of eastbound I-94	About 8% increase in average speed, Approximately 50% reduction in accidents
Long Island, New York	60 ramps metering on a section of eastbound the Long Island Expressway	About 15% reduction in travel time while about 20% increase in average speed
Minneapolis / St. Paul, Minnesota	Ramp metering on a section of eastbound I-35 in Twin Cities	About 16% increase in average speed, about 24% reduction in the average number of accidents
Seattle, Washington	17 ramps metering on a 6.9 miles test section of southbound I-5 and 5 ramps northbound I-5 in Seattle	About 47% reduction in travel time, about 39% reduction in the accident rate

Table 2. Installation of Ramp Metering in Europe

Area	Specific section	Summary
Ile de France, France	5 ramps metering on a section of A6 highway in southern Paris region	About 4.6% reduction in travel time
Utrecht, Netherlands	4 ramps metering on a section of A2 highway and A28 highway	About 5.8% reduction in travel time
North Rhine-Westphalia, Germany	5 ramps metering on a section of A40 highway	About 50% reduction in congestion as well as about 40% reduction in accidents, About 10km/h increase in average speed during peak time
Tel Aviv Metropolitan, Israel	2 ramps metering on a section of Ayalon highway	About 6.7% reduction in travel time as well as about 1.3% reduction in fuel consumption

국내의 시범운영 사례도 있다. 외곽순환고속도로의 판교~구리구간과 서울내부순환도로 및 올림픽대로 일부 구간에서 시범적으로 적용되었으나 구체적인 수요관리방안 부족, 서로 다른 도로관리기관간 연계 부족, 대국민 홍보 전략 미숙, 부적절한 기하구조 램프 등으로 인해 제대로 된 운영 효과를 거두지 못한 것으로 알려졌다. 그럼에도 불구하고, 수요자들의 도입 요구에 따라 2007년에 서울 외곽순환고속도로 중동IC와 부산 동서고가로 3개 IC에서 다시 시범운영을 하였으며, 이 중 중동 IC 구간(장수~계양)에 램프미터링이 현재는 정식으로 운영되고 있다.

2.2. 램프미터링 설계

전형적인 램프미터링 설계는 차량 정지선과 신호기를 바탕으로 램프미터링 운영전략 또는 종류에 따라 검지기를 설치하고, 운전자에게 가시거리를 제공하기 위해 사전 예고 표지, 표지판 등을 설치하는 것이다. 미국의 경우 AASHTO 및 MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control)에 설계를 포함한 램프미터링에 대한 기본지침을 명시하고 있다(FHWA, 2006). 또한, 미국의 Caltrans, TxDOT, WSDOT, MnDOT, Nevada DOT 등에서는 기본적으로 MUTCD에 명시된 내용을 준용하되, 각 주(State) 실정에 맞게 응용해서 활용하고 있다.

램프미터링 설계는 Fig. 1과 같이 램프 신호로 인해 정

지하여 대기할 수 있는 대기공간(Storage Space), 본선 합류부에서 본선 차량들의 속도에 적응하기 위하여 적정 속도로 가속할 수 있는 가속거리(Acceleration Distance), 안전한 정지시거(Safe Stopping Distance)에 대한 고려가 필요하다(TxDOT, 2000). Table 3은 AASHTO에서 제시하고 있는 가속차로 길이이며, 이는 램프 설계속도가 'stop condition'인 상태의 거리를 가지고, 설계하도록 되어 있다. 구배가 큰 경우는, 적정한 상수를 곱하여 가속거리를 산정하도록 한다(AASHTO, 2004). 이렇게 가속거리, 대기공간, 정지시거를 고려하여 정지선은 램프가 본선의 접하는 부분 끝에 위치하며, 루프 램프의 경우 고속도로 고어부(gore area)¹⁾ 근처에 위치한다.

지침 외에도 설계적인 측면에서 많은 연구들이 수행되어 왔으며, 이는 램프미터링 설계와 정책, 램프미터링 시 가속차로와 합류, 용량 및 통과 교통량, 대기행렬 운영 및 검지로 구분할 수 있다(Caltrans, 2012).

이중 가속차로에 관한 연구에 있어서 Wang(2007)은 정지선과 정지신호가 같이 설치되는 것은 운전자의 정지 시야각과 접근 차량들의 정지시거에 부정적인 영향을 주는 것을 밝혔다. 또한 Fitzpatrick 등(2007)은 가속차로 길이와 관련하여 좀 더 현실적인 속도와 가속도를 고려하여 AASHTO에서 제시하고 있는 값보다 더 긴 값을 도출하였으며, 추가적인 연구가 필요하다고 제안하였다. TxDOT의 경우, 램프 관리 전략의 일환으로 시뮬레이션을 통해 가속차로 길이에 따른 램프미터링의 효과를 분석하였으며, 가속거리가 무조건 길다고 미터링 효과가 있지 않다는 것을 밝히고 있다(TxDOT, 2008). Nadeem 등(2002)은 램프미터링으로 인해 유발되는 대기차량을 충분히 수용할 수 있는 길이가 필요하며, 모형을 통해 가속거리와 정지시거를 고려 최소 400m의 램프 길이가 필요하다고 주장하였다.

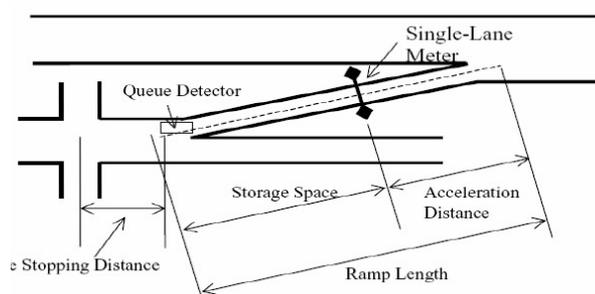


Fig. 1 Ramp Metering Design (TxDOT, 2000)

1) 합류부와 분류부에서 도로포장부분의 오른쪽 끝과 왼쪽 끝 사이의 영역을 말함

Table 3. Acceleration Length (AASHTO, 2004)

Highway Design Speed (km/h)	Ramp Design Speed(km/h)							
	stop condition	20	30	40	50	60	70	80
50	60	50	30					
60	95	80	65	45				
70	150	130	110	90	65			
80	200	180	165	145	115	65		
90	260	245	225	205	175	125	35	
100	345	325	305	285	255	205	110	40
110	430	410	390	370	340	290	200	125
120	545	530	515	490	460	410	325	245

한편, 국내에서는 램프미터링에 관한 연구가 많지 않다. 이는 국내 주요 고속도로 램프의 경우 개방식보다는 폐쇄식으로 운영되고 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 국내 연구 중 설계관점에서 수행된 연구는 거의 없다. 램프미터링에 관한 연구보다는 가속차로에 관한 연구가 수행되었으며, 고속도로 연결로 접속부에 혼잡이 발생한 후 상황에 따라 가속차로의 길이를 동적으로 제어하여 본선에 대한 상대적인 우월성을 억제함으로써 혼잡구간의 정체를 저감시키는 기법을 제안하였다(신치현, 2005). 또한, 정체 시 가속차로 길이가 길수록 합류부 혼잡구간의 범위를 확장시킨다는 사실을 밝혔다(이승준, 2005). 이와 같이 가속거리에 대한 국내 연구는 주로 가속차로의 설계와 합리적인 길이 산정기법 및 가속차로를 포함하는 합류부의 운영평가를 위한 연구가 대부분이다.

국내 지침에는 램프미터링에 관한 내용이 없으며, 연결로(램프)의 가속차로에 관한 지침은 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」에 따라 Table 4와 같이 제시되어

Table 4. Acceleration Length (The Explanation on the Decree on the Design for Road Structure and Facilities, 2012)

Highway Design Speed (km/h)	Ramp Design Speed(km/h)						
	30	40	50	60	70	80	
60	70	-	-	-	-	-	
70	110	85	50	-	-	-	
80	165	135	100	55	-	-	
90	240	210	175	130	50	-	
100	330	300	265	220	145	55	
110	390	360	330	285	210	120	
120	500	470	445	400	335	245	

있다. 국내 지침은 미국 AASHTO의 연결로 지침과 유사하지만, 'stop condition'에 따른 기준이 없다. 따라서 램프미터링 설치 시 이 부분은 도로환경조건에 따라 달라질 수 있으므로, 이에 대한 정지선에 대한 위치도 국내 가속차로에 관한 지침을 따르게 된다.

2.3. 문헌검토 결과

국외에서는 램프미터링에 관한 많은 지침 및 연구들이 있지만, 국내에서는 국외 사례를 소개하거나 운영 측면으로 연구가 제한적이다(김영찬, 1995; 김태완, 2003; 김상구, 2010; 권영혁, 2011; 강원모, 2011; 정영제, 2013). 이는 영업체계가 대부분 폐쇄식으로 운영되고 있어, 교통수요관리를 영업소를 통해 진입한 교통량을 제어할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 개방식 구간은 램프 교통량으로 인한 지·정체 또는 교통사고 등의 부정적 효과가 발생할 수 있는 바, 램프미터링의 도입이 필요한 실정이다.

국내·외 문헌 검토를 통해 램프미터링 설계에서 대기 공간 및 가속거리의 구분은 정지선 및 미터링 신호 위치에 따른다고 볼 수 있다. 국내 램프미터링 기준이 없으며, 램프가 설치된 상황에서 미국의 지침이나 새로운 지침 기준에 그대로 도입하는 것은 합리적이지 않다. 그러므로 기존 램프를 활용하려면 램프 고어부에서의 정지선을 기준으로 전·후진 가능성을 보아 램프미터링을 운영하는 것이 효과적일 수 있다. 본 연구에서는 램프미터링 전략 설정에 따라 Fig. 2와 같이 정지선을 설정한 후 속도 등을 효과적으로 하여 효과성을 확인하고자 한다. 다시 말해, 정지선의 위치에 따라 대기공간 및 가속거리를 조정하는 것이다.

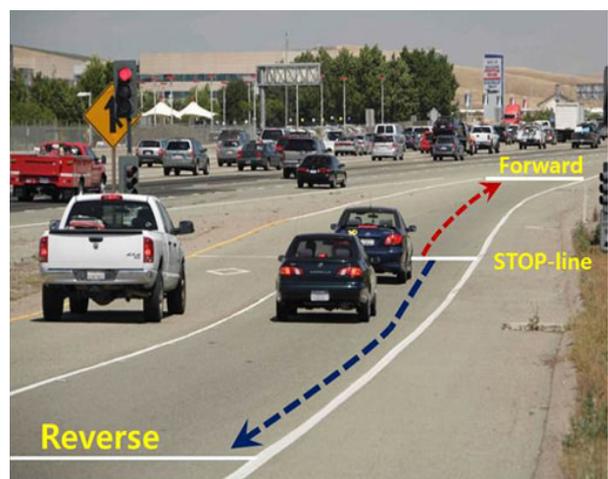


Fig. 2 Forward and Reverse of Ramp Metering STOP-line

3. 교통시뮬레이션모형을 이용한 대안 분석

3.1. 개요

본 연구에서 램프미터링 효과에 대한 정밀한 분석을 위해서는 기본적으로 세부적인 모사가 가능해야 하므로, CORSIM, TransModeler, Paramics 등과 같은 미시적 시뮬레이터가 이러한 조건을 만족시킨다. 본 논문에서는 Fig. 3과 같이 CORSIM의 기능을 전부 가지고 있으며, Paramics에 비해 자료의 입력이 비교적 쉬운 Caliper사의 TransModeler를 분석도구로 사용하였다.

국내지침 부재로 인해 국외지침을 적용한 실험 계획을 수립하고 이를 통해 변수를 설정하였다. 결과적으로 잠재적인 램프미터링 전략에 따른 결과 값을 비교·분석하였다.

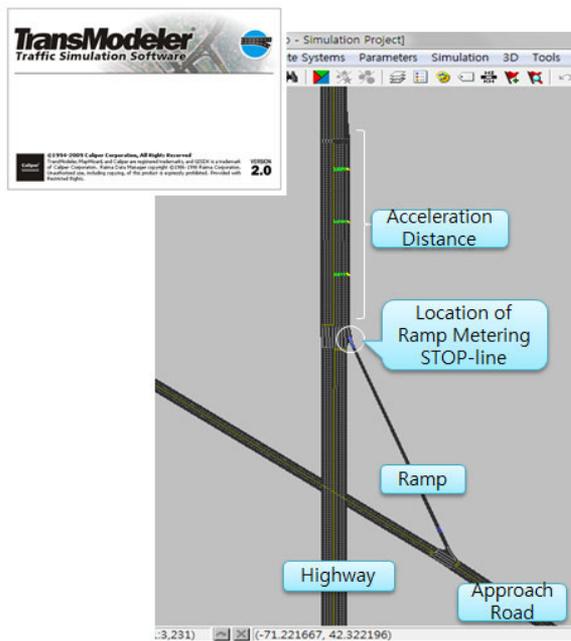


Fig. 3 Micro-Simulation (TransModeler)

3.2. 실험 계획

본 연구의 램프미터링 대안을 설정하기 이전에 실험 계획을 수행하였으며, 이를 통해 램프미터링의 효과 및 가속차로의 적정성을 사전에 확인하고자 하였다.

실험 계획을 수행하기 위해 분석 대상의 범위는 일반적으로 설치되어 있는 개방식의 램프 형태를 바탕으로 가상의 도로망을 구성하였으며, 고속도로 본선 및 우합류 연결로 접속부에 대한 속성값들은 Table 5와 같이 설정하였다. 대상 구간은 총 3km 구간, 편도 4차로, 연결로가 1차로이며, 각 수행 결과의 평가척도는 밀도와 속도로 설정하였다. AASHTO를 바탕으로 램프미터링

을 설계하고, 척도를 판단하고자 본선의 가속차로 길이를 150m, 200m, 260m, 345m, 430m, 545m로 차등하여 설계하였다. 한편, 결과값의 통계분석을 위해 Eq. (1)과 같이 귀무가설 검정을 수행하며 본선에서 램프미터링으로 인해 영향을 받게 되는 본선의 평균 통행속도값과 밀도 값을 대상으로 한다. 검정역은 양측 검정을 통해 신뢰수준 5%로 정의된다.

Table 5. The Operating Conditions of Experiments

Classification	Contents
Model	Car(Default)
Highway	Design Speed : 100km/h, Freeflow Speed : 120km/h, Width of lane : 3.6m Lateral Width Widening : 1.5m Number of lane : 4 Capacity : 2200veh/hr/lane
Ramp	Design Speed : 70km/h Freeflow Speed : 70km/h Width of lane : 3.6m Lateral Width Widening : 1.5m Number of lane : 1 Capacity : 1800veh/hr/lane Direct-Ramp, Ramp length : 500m
Approach road	Design Speed : 80km/h Freeflow Speed : 92km/h Width of lane : 3.5m Lateral Width Widening : 1.5m Number of lane : 3 Capacity : 2000veh/hr/lane

$$\begin{aligned}
 H_0 &: \mu_1 = \mu_2 \\
 H_1 &: \mu_1 \neq \mu_2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

where,

μ_1 : Measured Value due to Do-Not

μ_2 : Measured Value due to Metering

시뮬레이션 결과 Table 6과 같이 진입제어 시행 시 속도는 증가하는 반면, 밀도는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 미시행 대비 속도 및 밀도의 증감률로서 345m 일 때 효과가 가장 높은 것을 알 수 있다. 이는 본선의 가속거리가 무조건 길어지는 것이 좋은 것이 아니라 가속거리 345m에서 속도가 미시행 대비 약 19% 정도로 가장 높게 나타나면서 줄어드는 것을 알 수 있다. 그리고 가속차로 길이별 미시행과 미터링간 양측 검정을 수행한 결과로서 95% 신뢰구간에서 유의한 것으로 나타났다.

Table 6. Results of Experiments

Contents		Acceleration Distance 150m	Acceleration Distance 200m	Acceleration Distance 260m	Acceleration Distance 345m	Acceleration Distance 430m	Acceleration Distance 545m
Speed (km/h)	Do not	37.5	38.3	38.3	38.6	39.2	39.7
	Metering	41.3	42.9	44.6	45.9	45.5	45.1
	Rate	9.98%	11.93%	16.63%	18.91%	15.84%	13.63%
	t-test	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Density (veh/km/lane)	Do not	45.1	43.9	43.6	42.9	42.3	41.7
	Metering	41.9	40.2	38.4	36.9	37.1	37.4
	Rate	-7.11%	-8.46%	-11.92%	-13.91%	-12.26%	-10.38%
	t-test	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3.3. 전략 설정

본 연구를 위한 램프미터링 전략을 수행하기 위한 잠재적 대안은 다음과 같다.

대안 1 : 어떠한 전략 수행 없이 기본 램프미터링 수행

대안 2 : 램프미터링의 정지선 전진(50m 간격)

대안 3 : 램프미터링의 정지선 후진(50m 간격)

실험 계획과 마찬가지로 구동조건을 설정하였으며, 가급적 이상적인 조건에 부합하도록 하였다. 본 전략은 연구목적에 따라 정지선의 전·후진의 적정성을 확인하

기 위해 연결로와 가속거리를 임의로 설정하여 분석을 수행하였다. Table 7과 같이, 분석 구간의 도로 기하구조는 총 3km 구간, 편도 4차로로 구성하였으며, 차로 폭은 3.5m로 설정하였다. 한편, 국내의 개방식 체계의 램프는 2008년 기준으로 44개가 있는 것으로 조사되었으며, 이들의 평균 연결로 길이는 약 287m인 것으로 나타났다(한국도로공사, 2008). 따라서, 연결로의 길이는 300m로 선정하였으며, 이에 따른 정지선의 전·후의 가능성을 적정하게 파악하기 위해 가속차로의 길이를 250m로 설정하였다. 대안에 따른 교통시뮬레이션 수행을 위해 정지선 위치를 램프의 끝단에서 50m씩 전진 및 후진을 수행하는 것이며, 이 전략들의 결과를 확인하기 위한 척도를 통행속도로 설정하였다.

가속차로 길이 및 연결로의 길이를 고려하여 수행한 결과 Table 8과 같이 본선의 통행속도 결과가 나타났다. 실험계획에서 수행한 바와 같이 통계분석을 위해 귀무가설 검정을 수행하며 본선에서 램프미터링으로 인해 영향을 받게 되는 평균 통행속도 값을 대상으로 한다. 검정역은 양측 검정을 통해 정의되며, 통계분석을 수행한 결과 95% 신뢰구간에서 유의한 것으로 나타났다.

Table 7. The Operating Conditions of Ramp Metering Strategies

Classification	Contents
Model	Car(Default)
Highway	Design Speed : 100km/h Freeflow Speed : 120km/h Width of lane : 3.6m Lateral Width Widening : 1.5m Number of lane : 4, Capacity : 2200veh/hr/lane Acceleration Distance 200m
Ramp	Design Speed : 70km/h Freeflow Speed : 70km/h Width of lane : 3.6m Lateral Width Widening : 1.5m Number of lane : 1, Capacity : 1800veh/hr/lane Direct-Ramp, Ramp length : 300m
Approach road	Design Speed : 80km/h Freeflow Speed : 92km/h Width of lane : 3.5m Lateral Width Widening : 1.5m Number of lane : 3, Capacity : 2000veh/hr/lane

3.3.1. 정지선 위치의 전진

미시행 시보다 램프미터링을 시행함으로 인해 본선의 속도가 증가하고, 이로 인하여 미시행 시보다 고속도로와 연결된 접속도로의 속도가 감소하는 것을 알 수 있다. 다만 150m 전진 시에는 오히려 미터링의 효과가 없다. 여기서 주목할 것은 정지선에서 전진하였을 때와 그렇지 않았을 때의 차이이다. 기존 미터링을 수행하였을 때보다 본선의 속도는 감소하지만 고속도로와 연결된 접속도로의 속도는 약 5~18% 증가한다. 또한 50m 전진 보다 100m 전진 시에 미터링의 효과가 감소하지만, 고속도로와 연결된 접속도로의 속도는 더욱 개선된다.

Table 8. Results of Ramp Metering Strategies

Classification		Do not	Alt. 1 : Basic	Alt. 2 : Forward of STOP-line			Alt. 3 : Reverse of STOP-line			
				50m	100m	150m	50m	100m	150m	200m
Highway Speed (km/h)		55.5	69.6	60.1	57	42.9	79	86.3	87.2	85.4
	Rate of change compared Do not	-	25.43%	8.34%	2.78%	-22.75%	42.34%	55.47%	57.19%	53.96%
	T-test	-	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
Approach road Speed (km/h)		71.9	38.7	42.1	47.8	51.4	38.3	37.9	35.7	33.1
	Rate of change compared Do not	-	-46.21%	-41.37%	-33.47%	-28.52%	-46.77%	-47.21%	-50.37%	-53.96%
	T-test	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

이는 정지선 전진으로 인하여 고속도로와 연결된 접속도로에 미치는 영향이 줄어들어 속도가 증가하는 것을 의미한다.

3.3.2. 정지선 위치의 후진

정지선 위치의 전진과 마찬가지로 미시행 시보다 램프미터링을 시행함으로 인해 본선의 속도가 증가하고, 이로 인하여 미시행 시보다 고속도로와 연결된 접속도로의 속도가 감소한다. 정지선 후진 시에 주목할 것은 후진을 하였을 때와 그렇지 않았을 때의 차이이다. 기존 미터링 수행하였을 때보다 본선의 속도는 약 17~32% 증가하게 되며, 150m 후진 시 이를 기점으로 속도 증가율이 감소하게 된다. 이와 반대로 고속도로와 연결된 접속도로의 속도는 기존 미터링 대비 약 1~7% 감소한다. 이는 정지선 위치의 후진으로 인하여 고속도로와 연결된 접속도로에 미치는 영향이 커져 속도가 줄어드는 것을 의미한다.

3.4. 결과 종합 및 분석

결과를 종합하면 Table 9와 같다. 전진배치를 하는 경우는 기존도로의 가속거리가 충분하고 우합류 연결로 접속부에서 연결로의 길이가 작은 경우에 효과를 발휘할 수 있다. 반면 후진배치를 하는 경우에는 기존 도로의 가속거리가 부족하고 연결로의 길이가 충분한 경우에 효과를 발휘할 수 있게 된다. 전진배치의 경우 대기행렬 관리 수단들과 병행 사용하게 될 시 정지선으로 인하여 발생하는 대기행렬 차량들과 고속도로와 연결된 접속도로를 효과적으로 관리할 수 있지만, 오히려 기본적인 램프미터링을 시행하는 것보다 본선에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다. 반대로 후진 배치의 경우, 본선 속도를 향상시킬 수 있지만 고속도로와 연결된 접속도로에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다.

Table 9. Overall Results

Classification	Forward	Reverse
Conditions	· Acceleration Distance : enough · Ramp Distance : shortage	· Acceleration Distance : shortage · Ramp Distance : enough
Advantage	Management about approach road and queue	Management about main road on freeway
Disadvantage	· Adverse effect of main road on freeway · Absence of guideline	· Adverse effect of approach road · Absence of guideline

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 램프미터링 시행 시 정지선 위치에 대한 설계요소를 시뮬레이션 연구를 통해 분석하였다. 실험계획을 통해 램프미터링 시 본선의 적정 가속거리가 필요하다는 것을 확인할 수 있었고, 이를 바탕으로 본 램프미터링 전략을 구성하였다.

이를 통해 기존 위치 대비 속도증감율은 정지선을 전진하였을 경우 고속도로와 연결된 접속도로에 효과가 있고, 정지선을 후진하게 되면 본선에 효과가 있는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 램프미터링 시행 시 정지선 위치의 전진배치는 고속도로와 연결된 접속도로 및 대기공간 관리기법으로 활용할 수 있으며, 후진배치는 본선 관리 수단으로 활용할 수 있다.

본 연구 수행에 따른 2가지 주요한 시사점은 다음과 같다.

첫째, 국내 지침이 없는 상황에서 연구를 수행하고자 하였다. 일반적으로 램프미터링의 정지선은 가속거리와 연관이 있다. 가속거리에 관한 지침은 국토교통부의

『도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(해설 및 지침)』에 제시되어 있으나, 정지상태의 가속거리는 제시되어 있지 않아, ASHTTO를 참고하여 이에 대한 기반 연구를 수행하였다. 둘째, 램프미터링 최적 레이아웃에 대한 고려이다. 현재 국내 가속거리 기준은 램프미터링을 고려하지 않은 기준이므로 램프미터링을 고려할 시, 필요 가속거리가 적정하지 않을 경우 전진 또는 후진배치되어야 한다. 즉, 램프미터링의 정지선 위치로 인하여 발생하는 대기행렬공간과 가속차로 길이가 균형을 이루는 것이 필요하며, 대기행렬 관리를 위한 기존 방법들이 존재하지만, 이를 위한 추가적인 검토가 필요하다.

향후 연구 과제로는 본선 및 연결로 교통량, 연결로 길이 등의 변화 요소를 더욱 상세화하여 추가 분석할 필요가 있으며, 실제 도로망에 대해 적용하고, 결과에 대한 모형화를 통해 국내 상황에 적합한 램프관리의 효과적인 지침 개발 및 유효한 설계방안으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 02. 20)와 대한토목학회 제39회 정기 학술대회(2013. 10. 23)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

References

- AASHTO, 2004. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
- Caltrans, 2012. Ramp Metering Design.
- EURAMP, 2007. European Ramp Metering Project - Evaluation Results.
- EURAMP, 2007. Presentations on ramp metering from external experts - Germany.
- FHWA, 2006. Ramp Management and Control.
- FHWA, 1996. Traffic Control handbook.
- Jeong, Y.J., Kim, Y.C., Lee, S.J., 2013. Integrated Traffic Management Strategy on Expressways Using Mainline Metering and Ramp Metering, Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 12, No. 2, pp. 1-11.
- Kang, W.M., Lee, S.Y., 2011. Highway Ramp Metering Technique for Solving Non-Recurrent Congestion according to Incident, Journal of The Korea Institute of Intelligent Systems, vol. 21, No. 2, pp. 186-191.
- Kay Fitzpatrick and Karl Zimmerman, 2007. Potential Updates to 2004 Green Book's Acceleration Lengths for Entrance Terminals, Transportation Research Record, No. 2023, pp. 130-139.
- Kim, T.W., 2003. Analysis of the Effectiveness of Freeway Ramp-Metering with Computer Simulation, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol. 23, No. 6, pp. 785-792.
- Kim, S.G., Ryu, J.H., 2010. The Effect of Single-Entry Metering and Platoon Metering on Mainstream under the Same Metering Rate with Pre-timed Metering, Journal of Korean Society of Transportation, vol. 28, No. 3, pp. 29-37.
- Kim, Y.C., Bin, M.Y., 1995. Development of an Optimization Model for Freeway Entrance-Ramp Metering, Journal of Korean Society of Transportation, vol. 13, No. 4, pp. 117-132.
- Korea Expressway Corporation, 2012. Statistics of Expressway Traffic Volume(2013).
- Korea Expressway Corporation, 2010. Development of highway Operation Strategy based on Urban and Rural Traffic Characteristics.
- Korea Expressway Corporation, 2008. A Research on feasibility study of Expressway RMS.
- Korea Expressway Corporation, 2006. A study on the Long-term valuation Standards for the Government Performance evaluation of KHC.
- Kwon, Y.H., Yoon, J.Y., Lee, E.E., 2011. A Studying on RMS Operating Guidelines(With a Focus on Seoul Ring Expressway, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol. 31, No. 5, pp. 649-656.
- Lee, S.J., Park, J.B. and Kang, J.K., 2005. Analysis of Merging Behaviors and Traffic Characteristics on Freeway Merging Areas According to Acceleration lane Length, Journal of Korean Society of Transportation, vol. 23, No. 8, pp. 53-66.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(국토교통부), 2012. The Explanation on the Decree on the Design for Road Structure and Facilities.
- Nadeem A, Chaudhary and Carroll J. Messer, 2002. Freeway On-Ramp Design Criteria for Ramp Meters with Excessive Queue Detectors, Transportation Research Record, No. 1796, pp. 80-85.
- Shin, C.H. and Kim, G.O., 2005. Longitudinal Control of Acceleration Lanes and its Impact on Congestion Alleviation, Journal of Korean Society of Transportation, vol. 23, No. 5, pp. 169-176.
- TxDOT, 2008. MANAGED LANES STRATEGIES FEASIBLE FOR FREEWAY RAMP APPLICATIONS.
- USDOT, 1995. RAMP METERING STATUS IN NORTH AMERICA - 1995 Update.
- Zhongren Wang, 2007. Placement Design of Ramp Control Signals, Transportation Research Record, No. 2023, pp. 83-91.