

## 통행속도에 기반한 오르막차로 동적 운영방안 평가

고한검<sup>1</sup> · 최윤혁<sup>2\*</sup> · 오영태<sup>3</sup> · 강정규<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 아주대학교 건설교통공학과, <sup>2</sup> 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실, <sup>3</sup> 아주대학교 환경건설교통공학부

### Evaluation of Dynamic Lane Allocation Method at Climbing Lane Section

KO, Han Geom<sup>1</sup> · CHOI, Yoon Hyuk<sup>2\*</sup> · OH, Young Tae<sup>3</sup> · KANG, Jeong-Gyu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

<sup>2</sup> Transportation Research Division, Korea Expressway Corporation Research Institute, Gyeonggi 445-812, Korea

<sup>3</sup> Division of Environmental, Civil and Transportation Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

#### Abstract

In aspects of traffic operation, a climbing lane may cause traffic congestion if the volume of traffic (v/c) grows and the ratio of heavy vehicle increases. Conversely, it would be effective, if the climbing lane is dynamically operated according to changes in traffic flow. However, there are no guideline to effectively control this climbing lane in aspects of traffic operation. In this study, we examine the necessity of flexible traffic operation criteria and its process for dynamic traffic management and also establish and analyze the effect of flexible traffic operation criteria in accordance with traffic properties using an example of climbing lane. We selected the operation criteria (critical travel speed), which decides whether to operate or close the climbing lane when the average travel speed of climbing lane is 50km/h based on VISSIM (microscopic traffic simulation) analysis of Nakdong junction towards Masan with the volume of traffic (v/c), ratio of heavy vehicle as the traffic operation parameters. Based on the simulation result in accordance with the volume of traffic by the operation mode of climbing lane, the analysis on the effect of dynamic traffic management of climbing lane showed that the dynamic traffic management provides more convenience compare to the operation and close of climbing lane. Thereby, we proved that the dynamic traffic management of climbing lane is more effective.

교통소통을 개선하기 위해 설치된 오르막차로의 운영효율은 교통상태에 따라 달라지는 것이 관측된다. 교통운영측면에서 교통량(v/c)이 증가하고 중차량 구성비가 증가할 경우, 오르막차로는 오히려 교통혼잡의 요인으로 작용하기도 한다. 이는 교통류 상태에 따라 오르막차로를 동적으로 운영하면 효과가 있다는 것을 시사하지만, 교통운영측면에서 이를 효과적으로 제어할 계량적인 기준은 없는 실정이다. 본 연구에서는 오르막구간에서의 동적차로운영기준의 필요성을 제시하고, 교통특성에 맞는 기준을 수립하여 이에 대한 효과를 분석하고자 하였다. 낙동분기점 마산방향의 오르막구간을 선정하여 교통량비(v/c), 중차량 구성비 등을 교통운영변수로 VISSIM 분석을 시행하였다. 시뮬레이션 결과, 오르막구간의 평균통행속도가 50km/h일 때 오르막차로의 개방과 폐쇄를 결정하는 운영기준(임계통행속도)으로 적절한 것으로 나타났다. 또한 오르막차로 동적운영에 따른 효과를 분석한 결과, 동적운영의 경우 일반적인 개방과 폐쇄보다 편익이 높은 것으로 나타났다.

#### Key Words

Climbing Lane, Dynamic Lane Allocation, Operation Criteria, Dynamic Operation, Benefit Evaluation

오르막차로, 동적차로관리, 교통운영기준, 동적운영, 편익분석

\*: Corresponding Author  
yhchoi76@ex.co.kr, Phone: +82-31-371-3429, Fax: +82-31-371-3319

## I. 서론

오르막차로는 오르막 구간에서 속도 감소가 큰 대형 차의 혼입률이 증가하여 교통용량의 감소가 크게 예상되는 경우나, 대형 화물차가 허용된 최저속도 이상으로 주행할 수 있도록 하기 위하여 도로의 노선 선정 및 구조적 형상면에서 경제성이 없거나 불합리한 경우, 고속 교통류에서 저속 교통류를 분리하기 위해서 설치된다[1]. 오르막차로는 저속차량과 고속차량을 공간적으로 분리시켜 저속차량으로 인한 교통용량 감소를 예방한다. 또한 고속주행 차량과 저속주행 차량간 속도차이 때문에 발생하는 앞지르기를 줄여서 교통안전성을 개선한다.

그러나, 오르막차로는 교통량이 증가하고 중차량 구성비가 증가할 경우 오히려 교통혼잡을 발생시키기도 한다. 오르막 구간에서는 전후구간보다 1개 차로가 많아서 소통상태가 좋아진 것처럼 보인다. 그러나 1개 차로가 줄어드는 중점 합류부에서는 병목현상이 발생하여 주행차로의 용량이 저하되고 교통안전성이 낮아진다. 또한 저속차량 운전자들이 오르막차로(저속차로) 이용을 꺼려하거나, 고속차량 운전자들이 오르막차로를 이용한 앞지르기를 시도하는 등의 문제점들이 발생되었다. 이에 따라 고속도로 오르막차로의 운영방식을 개선하여 시행한 바 있다(한국도로공사, 2009).

그럼에도 불구하고 명절과 같이 교통수요가 급증하는 시기에는 오르막차로를 폐쇄하기도 하지만, 이에 대한 명확한 운영 기준은 없는 실정이다. 경험적으로는 v/c와 중차량 구성비에 따라 오르막차로를 개방하는 것과 폐쇄하는 것이 바람직한 상황이 존재한다. 그러나 이에 대한 계량적 기준이 없기 때문에 실시간으로 시행하지 못하고 오프라인으로 시기를 정하여 폐쇄와 개방을 시행하는 것이다. 이는 오르막차로에 대한 경험적 동적운영방식이 존재하며 또한 필요하다는 점을 시사하고 있다.

본 연구에서는 먼저 오르막구간에서 교통상황에 맞추어 오르막차로를 탄력적으로 개방/폐쇄할 수 있는 동적차로운영의 필요성을 탐색하고 기준을 제시하고자 한다. 그리고 구체적인 오르막구간 동적차로운영 프로세스를 제시하고 이의 효과를 평가하기 위해, 교통조건별 시나리오를 작성하여 VISSIM 분석을 시행하였다. VISSIM에서 도출된 미시적 데이터를 기반으로 교통소통, 환경 등의 편익을 산출하였다. 오르막구간 본선에 설치된 검지기에서 평균통행속도, 통행시간절감편익과 차량운행비절감 편익, 대기오염 및 온실가스 배출 절감 편익을 각각

산출하였다. 오르막차로 동적운영 시의 운영성과와 비교하여 교통소통과 환경 측면에서 어느 정도 개선효과가 발생하는지를 비교해 보았다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 기존 연구 고찰

이희석(2009)은 고속도로 정체 구간에 갓길차로(LCS 차로) 도입에 대한 효과분석을 시행하였다. 서해안고속도로 서산IC→당진Jct 구간에서 LCS차로 이용율, 도로용량증대, 평균통행속도 향상, 정체길이 감소, 평균통행시간 감소, Simulation분석, 경제성분석 등을 수행하여 갓길차로(LCS 차로) 도입의 타당성을 입증하였다. Kyeong-Pyo Kang 등(2009)는 고속도로 본선 차로수가 감소(Lane Drop) 하는 상황에서 통과 교통량에 따라 차량의 합류 위치를 가변 제어하는 방안의 효과를 평가하였다. 교통량이 적은 "light traffic demand" 상황에서는 사고 지점의 상류부에서 합류를 미리 유도하는 SEM(Static early merge)이 유리하며 "congested condition"의 경우 사고지점에 근접하여 합류를 유도하는 SLM(Static late merge)이 유리하다는 것을 도출하였다. 또한 Kyeong-Pyo Kang 등(2006)은 DLM(Dynamic late merge)방안을 현장에 적용하여 미제어시와 비교하였다. 점유율이 5% 이하일 경우 PCMSs(Portable changeable message signs)가 작동하지 않도록 하고, 점유율 15% 이상일 경우 PCMSs에 두 차로 모두 사용하라는 메시지를 표출하는 제어방식을 평가하였다. 두 제어방식을 분석한 결과 DLM 수행시 통과 교통량이 증가하고, 일반(오픈) 차로와 폐쇄차로간의 교통량 편차가 감소하며, 최대 대기행렬 길이가 감소하는 것으로 평가하였다.

Muñoz와 Daganzo(2000)은 HOV차로와 일반차로로 구성된 병목구간에서 HOV 차량의 교통량이 용량 이하로 적고, 일반차로에서 대기행렬이 생성되는 상황에 대한 동적차로제어방안을 제시하였다. 기본적으로 HOV 차량이 우선권을 갖되, HOV 차량의 용량과 HOV 차량수의 여유만큼 일반차량의 진입을 허용하는 방식으로 VMS를 통해 동적으로 제어하도록 하였다.

Mithilesh Jha 등(1999)은 LCS 구간길이 및 순응도에 따른 통행시간 및 지체 변화율을 산출하였다. 고속도로 엇갈림구간과 램프상류부에 사고가 발생하였을 경

우에 대해 LCS 구간길이 및 순응도에 따른 3개의 대안에 대해 평가하였다. 엇갈림구간에서 사고가 발생할 경우 제어 구간길이가 길 경우에는 제어 구간길이가 짧을 경우보다 제어효과가 약 10~20% 감소하였으며, 순응도에 따라 제어 효과는 가변적임을 관측하였다. 한편 L.Schaefer 등(1998)은 운전자의 LCS 순응도에 따른 운영효과를 분석하였다. 교통량이 적음(300vphpl), 보통(900vphpl), 많음(1,550vphpl) 상태에서 순응도(30%, 70%)를 조합하여 시나리오를 구성하였다. LCS 제어 효과는 1,300vphpl 이상에서 나타났으며, 사고 지속시간, 순응도에 따른 지체는 사고 지속시간에 상관없이 순응도가 높을수록 지체가 감소하였다.

## 2. 본 연구의 차별성

기존 오르막차로 관련 연구는 주로 오르막차로의 구간선정, 길이, 시·중점 위치, 설치방법 등 오르막차로 설계 및 설치 기준에 집중되었고, 오르막차로의 탄력적 교통운영 분야는 제한적이다. 반면, 국내외에서 운영 중인 차로제어시스템의 경우 과학적 기준이나 프로세스가 정립되어 있지 않다. 해당구간의 소통능력이나 안전성을 제고시키기 위하여 현장경험적인 관점에서 교통시설물을 설치하고, 정적인 운영을 하고 있는 실정이다. 실시간 교통제어 기술이 발달함에 따라 도로의 도로환경요인과 교통상황을 반영한 동적차로관리에 관한 연구가 필요하다.

본 연구는 최윤희 등(2010)의 후속연구로, 효율적인 동적차로관리에 요구되는 교통류 및 도로 기하구조의 공간적 특성을 분석한다. 이를 기반으로 오르막차로가 설치된 구간의 소통능력을 높일 수 있는 오르막차로 동적 운영방안을 제시하고 그 효과를 평가하고자 한다.

## III. 오르막차로 동적 운영기준 수립

### 1. 미시 시뮬레이션 분석<sup>1)</sup>

#### 1) 분석 개요

오르막차로 동적 운영기준을 수립하기 위해서는 오르막차로 길이, 구배, 교통량, 중차량비 등 다양한 교통변

수에 따른 교통류 변화를 사실적으로 묘사할 수 있는 시뮬레이션이 필요하다. 오르막차로 중점부 변이구간에서의 상충발생으로 인한 정체를 시뮬레이션 할 수 있고, 실제 고속도로 기하구조와 차량의 성능 등을 개별적으로 구현할 수 있는 VISSIM(ver. 5.10)을 시뮬레이션 툴로 선정하였다.

### 2) 대상구간 선정

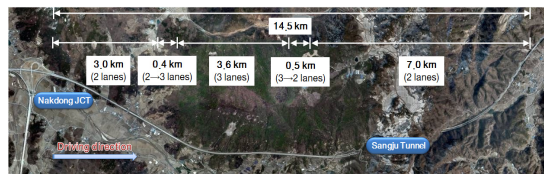
일반적인 상황에서는 교통량이 많지 않지만, 연휴 등 특별기간에는 교통량이 급증하여 오르막차로로 인한 병목현상이 발생하는 지점을 분석대상구간으로 선정하였다. 중부내륙선 낙동분기점(139.2K) 부근의 오르막차로<sup>2)</sup>구간을 분석대상으로 선정하였는데 136.9K부터 마산방향의 133.3K까지 3.6km 구간에 종단경사 3.7%로 설치되어 있다.

〈Figure 1〉은 분석 대상구간을 VISSIM 시뮬레이션에서 구현한 네트워크 구성도로, 낙동분기점에서 오르막차로까지의 거리와 오르막 구간에서의 분류 변이구간, 오르막차로 구간, 오르막 구간에서의 합류 변이구간, 그리고 본선부의 약 11.5km를 시뮬레이션 네트워크로 선정하였다.

오르막차로 교통운영기준 수립을 위한 시뮬레이션 교통운영변수 이외의 기타 변수들은 시뮬레이션의 일반적인 값을 그대로 준용하였다.

### 3) 교통운영변수 설정

오르막차로의 동적 운영기준을 수립하기 위해 적절한 교통운영변수를 선정하는 것이 중요하다. 교통운영변수가 적절하게 설정되었을 때 오르막차로의 설치 및 폐쇄 효과를 정확히 확인할 수 있고, 이를 통해 동적 운영기준을 수립할 수 있기 때문이다.



〈Figure 1〉 Expressway Section for Simulation

1) 본 연구는 최윤희 등(2010)의 후속연구로, 현장조사에 관한 자세한 내용은 이를 참고하기 바람  
 2) 오르막차로 설치방법이 오르막차로를 주행차로에 변이구간으로 접속시키는 방법에서 오르막차로를 주행차로와 독립하여 접속시키는 방법으로 2009년 초 변경되었으나, 본 연구에서는 변경되기 이전의 도로상황에 대한 분석을 수행하였음

국내의 오르막차로 설치기준(규정, 지침) 및 관련 연구 고찰 결과, 오르막차로의 교통상황은 교통량(v/c), 중차량 구성비, 종단경사, 오르막차로 연장, 차종별 주행 속도, 중차량 마력 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(국토해양부, 2009)에서 제시하고 있는 오르막차로 설치기준을 준용하여 시뮬레이션 교통운영변수로 교통량비와 중차량 구성비를 선정하였다.

교통량비는 v/c 0.6부터 1.2까지 변동시켰으며, 중차량 구성비<sup>3)</sup>의 경우 일반적인 중차량 구성비를 감안하여 10%에서 50%까지 변동시켰다. 교통량비(5)와 중차량 구성비(5)의 조합에 의해 총 25가지 경우에 대한 분석을 수행하였다.

4) 시뮬레이션 정산

VISSIM 시뮬레이션을 수행하기에 앞서, 구성된 시뮬레이션 네트워크 및 입력변수들이 실제 대상구간의 교통상황을 얼마나 정확히 모사하는지 확인하기 위하여 대상구간의 통행속도와의 비교를 통한 시뮬레이션 정확도를 검증(Calibration)하였다.

(1) 화물차량 성능 검토

화물차량의 주행성능에 대한 검증작업을 위해 시뮬레이션에서 적용한 화물차량의 주행성능이 표준트럭의 성능함수(중량/마력비 200lb/hp)와 동일한지를 검증하였다. 시뮬레이션과 표준트럭의 오르막성능에 대한 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney Test)<sup>4)</sup> 결과, Z통계량에 대한 근사유의확률이 0.706(Mann-Whitney W은 480.0, Wilcoxon W은 1110.0)으로, 시뮬레이션의 화물차량으로부터 도출된 속도 집단과 표준트럭의 속도 집단이 통계적으로 동일한 분포를 갖는 것으로 해석할 수 있다.

(2) 시뮬레이션 정확도 검증

FTMS와 시뮬레이션의 통행속도 차이에 대한 t 검정<sup>5)</sup>을 수행한 결과, t-value가 0.11(p-value 0.912)로 시뮬레이션과 FTMS의 통행속도가 통계적으로 동일

한 것으로 나타났다. 이는 시뮬레이션 구성이 현실 상황을 비교적 정확히 반영하고 있다는 것을 의미한다.

2. 오르막차로 동적 운영기준 선정

1) 교통량비를 이용한 동적 운영기준 수립

오르막차로의 개방 또는 폐쇄 여부가 오르막구간 교통운영에 미치는 영향을 파악하기 위해서 시뮬레이션 분석을 수행하였다. <Table 1>과 같이 오르막구간에서의 통행속도를 비교한 결과, 혼잡이 발생하지 않는 일반적인 교통상황에서는 오르막차로 개방 효과가 더 큰 것으로 분석되었으나, 교통량비가 증가하고 중차량 구성비가 증가할 경우 오르막차로의 폐쇄가 소통상황에 효과적인 것으로 나타났다.

2) 통행속도를 이용한 동적 운영기준 수립

교통량비와 중차량비를 이용하여 오르막차로 동적 운

<Table 1> Travel Speed Changes to Operation Scenario of Climbing Lane

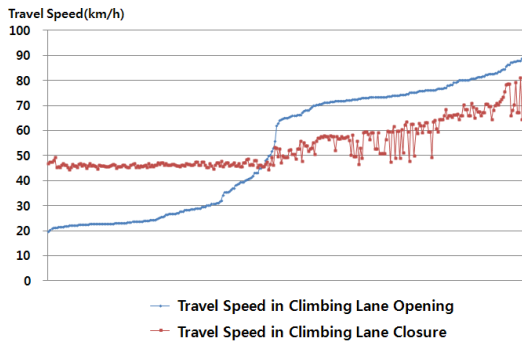
(Unit : km/h)

Division	Heavy Vehicle Ratio (%)	Traffic Volume Ratio (v/c)				
		0.6	0.8	0.9	1.0	1.2
Climbing Lane Opening (a)	10	86.7	81.8	79.0	72.6	61.0
	20	80.6	75.0	72.5	33.5	33.3
	30	76.0	71.2	44.8	28.5	30.1
	40	73.2	66.1	30.0	27.4	29.9
	50	70.4	39.8	23.4	23.7	23.6
Climbing Lane Closure (b)	10	79.3	70.3	66.4	49.2	49.4
	20	69.7	63.1	53.5	47.4	47.5
	30	63.0	57.1	46.3	46.1	46.8
	40	59.6	53.7	46.1	45.8	45.9
	50	57.8	47.3	45.2	45.3	45.2
Speed Difference (a-b)	10	7.5	11.5	12.6	23.3	11.5
	20	10.9	12.0	19.1	-13.9	-14.2
	30	13.1	14.1	-1.5	-17.6	-16.7
	40	13.6	12.4	-16.1	-18.4	-16.0
	50	12.6	-7.4	-21.9	-21.7	-21.7

3) 승용차와 승합차의 경우 차종과 관계없이 승용차로, 화물차 역시 화물차로만 구성되어 VISSIM 시뮬레이션 및 분석을 수행하였음

4) 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney Test)은 분산의 동질성이나 정규분포를 요구하지 않으므로 일반적인 조건하에서는 t 검정만큼 통계적 검정력이 있는 방법으로, 표본의 t 검정 시 요구되는 기본 가정이 맞지 않아서 얻어진 결론이 오류를 범할 가능성이 상당히 클 때 이 방법은 특히 유용하다고 할 수 있음

5) t 검정은 상용 통계 프로그램인 SPSS 18.0을 이용하여 분석을 실시함



〈Figure 2〉 Travel speed Distribution in Opening and Closure of Climbing Lane

영기준을 수립할 경우, 실제 현장에서는 이를 정확히 알 수 없기 때문에 적용성에 한계가 있다. 따라서 실시간으로 수집이 가능한 교통운영변수인 통행속도를 이용한 운영기준을 검토하였다.

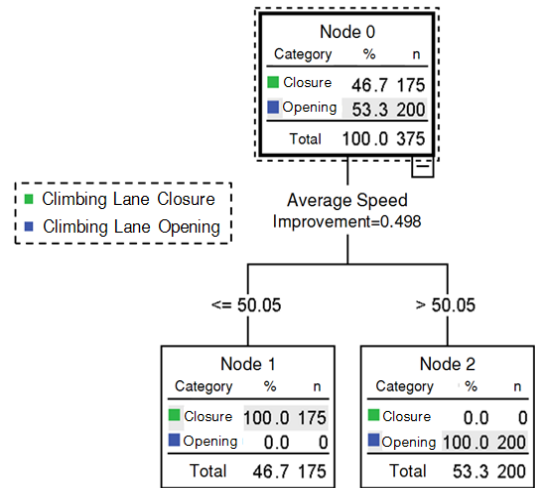
〈Figure 2〉는 시뮬레이션 분석 결과를 바탕으로 오르막차로 개방과 폐쇄의 통행속도의 관계를 도시한 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 통행속도 50km/h를 기준으로 이하에서는 오르막차로 폐쇄가, 이상에서는 오르막차로 개방이 효과적인 것을 알 수 있다. 즉 통행속도 50km/h가 오르막차로 동적 운영 임계속도에 해당한다.

3) CART분석을 통한 운영기준

보다 정확한 임계점(Critical Point)을 찾기 위하여 CART분석<sup>6)</sup>을 실시하였다. 집단간 분류기준이 되는 통행속도를 ‘임계 통행속도’로 정의하고, 이를 오르막차로 운영기준으로 삼고자 하였다.

〈Figure 3〉과 같이 CART 분석을 수행한 결과, 50.05km/h를 기준으로 오르막차로 개방집단과 폐쇄집단으로 구분되는 것으로 나타났다. 집단 1(Node 1)은 오르막차로 개방 통행속도가 폐쇄 통행속도보다 높은 집단인 ‘오르막차로 개방 집단’으로, 집단 2(Node 2)는 오르막차로 개방 통행속도보다 폐쇄 통행속도보다 낮은 집단은 ‘오르막차로 폐쇄 집단’으로 정의하였다.

〈Table 2〉는 CART 분석에 의해 구분된 집단에 대하여 t-검정을 실시하여 통행속도에 따라 재분류한 집단간의 통계적 검증 결과이다. Levene의 등분산 검정<sup>7)</sup>에



〈Figure 3〉 CART Analysis Result

〈Table 2〉 T-test Result

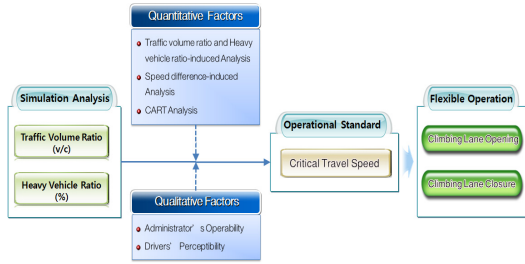
Parents Node	Children Node	N	Average	Standard Deviation
Node0	Node1	180	30.666	8.340
	Node2	195	74.316	6.835
Levene's test		F-value : 16.530 p-value : 0.000		
t-test		t-value : -55.609 p-value : 0.000		

서의 p값이 0.000로 각 집단의 분산의 동일성이 같고, t-test에 대한 p값이 0.000으로 나타나 95% 신뢰수준에서 두 집단간의 차이가 유의하다고 할 수 있다.

4) 분석결과 종합

오르막차로 개방과 폐쇄의 통행속도의 관계를 분석 결과, 통행속도 50km/h가 동적 운영기준으로 나타났다. 보다 정확한 분류를 위하여 CART 분석을 시행한 결과 50.05km/h에서 집단간 분류되는 것으로 분석되었다. 위의 분석결과를 바탕으로 고속도로에서의 운용성 및 운전자 인지성 등을 고려하였을 때, 오르막구간의 평균통행속도가 50km/h일 때 오르막차로의 운영여부를 결정하는 임계통행속도로 선정하였다.

6) CART(Classification And Regression Trees) 분석은 이진트리구조로 모형을 형성하는데 목표변수를 가장 잘 분리하는 설명변수와 그 분리시점을 찾는 분석방법으로 SPSS 18.0을 사용하였음  
7) Levene 검정은 분산의 동일성을 검증하는 방법으로, 집단간 분산이 같다는 귀무가설의 기각여부를 판단함



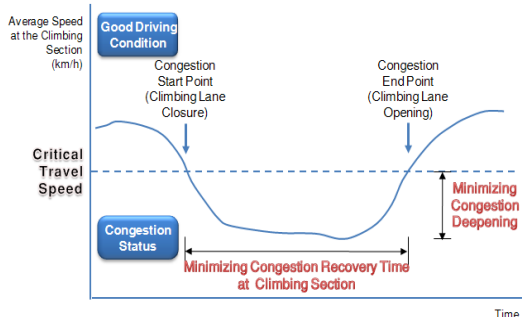
〈Figure 4〉 Establishment of Dynamic Operation Plan in Climbing Lane

#### IV. 오르막차로 동적 운영방안 효과평가

##### 1. 오르막차로 동적 운영방안

###### 1) 개요

교통류 특성상 혼잡이 발생할 경우, 초기에 혼잡을 해소하지 않으면 혼잡은 하류부로 빠르게 전이된다. 그리고 통과교통수요가 낮아지지 않으면 혼잡은 점차 심해져서 교통류 제어가 어려운 상황에 도달하게 된다. 특히 오르막 구간에서 혼잡이 발생하는 경우 오르막차로 종점부에서 상대적으로 통행속도가 낮은 중차량이 고속 주행차로로 합류하므로, 합류와 오르막의 영향으로 혼잡은 더욱 빠르게 확산되게 된다. 따라서, 오르막구간에서 혼잡이 발생할 경우 이를 빠르게 해소시키기 위한 동적 운영방안의 수립이 필요하다. 본 연구에서는 평상시에는 오르막차로를 개방하다가, 오르막구간의 평균통행속도가 임계통행속도(동적 운영기준)를 유지하지 못할 경우에는 오르막차로를 폐쇄하도록 하는 동적 운영방안을 수립하고자 한다.



〈Figure 5〉 Basic Concept of Dynamic Operation in Climbing Lane<sup>8)</sup>

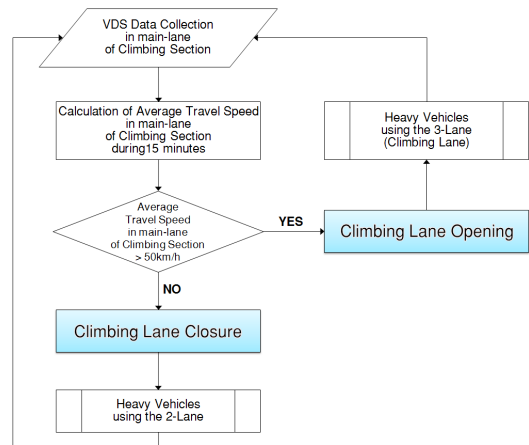
##### 2) 오르막차로 동적 운영 프로세스

〈Figure 6〉의 오르막차로의 동적 운영 프로세스를 통해 수집된 교통량, 속도자료를 이용하여 오르막구간 15분 공간평균속도를 산출하고, 임계통행속도와 비교하여 오르막차로 개방 또는 폐쇄를 결정하게 된다.

승용차는 오르막차로 동적운영과 관계없이 1, 2차로를 상시 이용하며, 화물차량은 오르막차로 개방 시에는 3차로(오르막차로)를, 폐쇄 시에는 2차로를 이용한다(〈Table 3〉 참조). 이상의 차종별 주행 프로세스는 VISSIM의 VAP (Vehicle Actuated Programming)를 이용하여 시뮬레이션에서 각 차량이 차종과 오르막차로 개방/폐쇄 여부에 맞춰 자동적으로 주행로를 선택하도록 구현하였다.

##### 3) 오르막차로 동적 운영방안

오르막차로의 동적 운영방안의 핵심은 오르막차로 개방과 폐쇄를 결정하는 주기를 결정하는 것이다. 본 연구

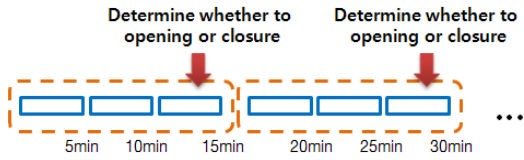


〈Figure 6〉 Dynamic Operation Process in Climbing Lane

〈Table 3〉 Lane of Each Car Type in accordance with Dynamic Operation in Climbing Lane

Type	Passenger Car	Truck
Climbing Lane Opening	Using the 1 or 2-lane	Using the 3-lane (Climbing Lane)
Climbing Lane Closure		Using the 2-lane

8) 이환필(2011) 인용



〈Figure 7〉 Dynamic Operation Cycle in Climbing Lane

에서는 다음과 같은 운영방안을 수립하였다.

- 수집되는 교통류 상태의 진단 주기(Interval)는 타 시스템의 수집 및 관리주기와 동일하여야 하며, 검지된 교통정보의 연계가 가능해야 한다.
- 오르막구간 동적운영 실행 시 최소 운영시간(1주기)은 15분으로 설정하였다. 이는 오르막구간 속도 변화에 따라 지나치게 예민하게 동적으로 운영될 경우 운전자에게 혼란을 야기하고, 이는 부가적으로 교통사고 발생을 증가시키기 때문이다.
- 그러나, 실시간 교통상황을 수집하여야 하기 때문에 검지기에서 교통자료 수집은 5분 단위로 하되, 오르막차로의 동적운영은 15분 단위로 시행하기로 한다. 따라서, 설치된 검지기에서 5분 주기의 구간 통행시간을 산출하며, 교통상황 판단은 이전 3주기인 15분 값을 이용(운영방법 변경 시의 gap time은 생략하는 것으로 가정)한다.

## 2. 동적 운영방안 효과평가

### 1) 개요

오르막차로 동적 운영방안을 평가하기 위해 〈Table 4〉와 같이 네트워크에서 1시간 간격으로 v/c가 1.0, 1.2, 0.9, 0.8로 변하는 상황을 가정하기로 한다. 이는 실제 현장에서 교통혼잡의 발생과 해소를 반영하기 위한 것이다.

본 연구에서는 고속도로의 일반적인 중차량비인 30%를 적용하였으며, 오르막차로 개방과 폐쇄, 동적운영 등을 조합한 오르막차로 운영방식에 대한 효과를 각각 분석하였다.

시뮬레이션 결과의 신뢰도를 높이고, 오르막차로 운영 방식별 효과에 대한 객관적인 평가를 위해 Random Seed 값을 6회에 걸쳐 다르게 발생시켜 각각 2회씩 총 12회에 걸쳐 분석을 실시하고, 결과의 평균값을 비교하였다.

### 2) 평가 절차

오르막구간 내 본선 2개 차로 및 오르막차로에 1km

〈Table 4〉 Evaluation Scenario of Dynamic Operation Plan in Climbing Lane

Time Period	0~1h	1~2h	2~3h	3~4h
Traffic Volume Ratio (v/c)	1.0	1.2	0.9	0.8
Heavy Vehicle Ratio	30%			

간격(오르막 시점부로부터 각각 1km, 2km, 3km 지점)으로 각각 설치하였으며, 오르막구간의 교통량 및 통행속도를 산출하여 동적운영의 판단 및 효과평가 자료로 활용하였다. 동적운영 여부를 판단하기 위한 검지기의 경우 오르막 구간의 본선 구간 1, 2차로의 검지기를 이용하였다.

### 3) MOE 선정

먼저, 오르막차로 개방, 폐쇄, 동적운영 등 운영방식에 따른 효과를 살펴보기 위해서 통행속도를 효과적으로 선정하였다. 통행속도는 현재 한국도로공사의 FTMS에서 정제 판정지표로 사용되고 있으며, 생산 및 가공이 용이하고, 이해 및 인식이 쉬운 평가지표이다. 대상지점이 고속도로임을 감안하여 15분의 time interval을 적용하였으며, 오르막구간의 본선차로의 공간평균속도를 산출하였다.

### 4) 효과평가 결과

오르막차로 운영방식별 소통능력을 평가하기 위하여 오르막구간의 본선차로에 설치된 검지기로부터 수집되는 차종별 공간평균속도를 비교분석하였다.

〈Table 5〉와 〈Figure 8〉에서 제시한 시나리오별 통행속도 분석 결과, v/c별로는 교통량비가 높은 혼잡상황(v/c 1.0 초과)에서는 오르막차로를 폐쇄하는 방식이, 교통량비가 낮은 상황(v/c 0.8 이하)에서는 오르막차로 개방이 통행속도가 높은 것으로 분석되었다. 그 중간단계에서는 동적운영이 효과적인 것으로 나타났다. 즉, 교통량비에 따라 차이가 존재하기는 하였으나, 동적운영 시가 개방과 폐쇄에 비해 대체적으로 통행속도가 높은 것으로 나타났다.

v/c가 1.0에서 0.8까지 변하는 4시간의 통행속도를 전체적으로 비교한 결과, 동적운영의 통행속도가 55km/h가 가장 높게 나타났으며, 폐쇄가 51.52km/h, 개방이 48.98km/h로 나타났다. 즉, v/c 0.8이상의 준혼잡 상황에서는 오르막차로를 동적으로 운영하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

승용차와 화물차를 각각 분리하여 효과를 비교해보아도, 역시 전체 차량과 마찬가지로 동적운영이 폐쇄와 개방보다 대체적으로 통행속도가 높은 것으로 분석되었다.

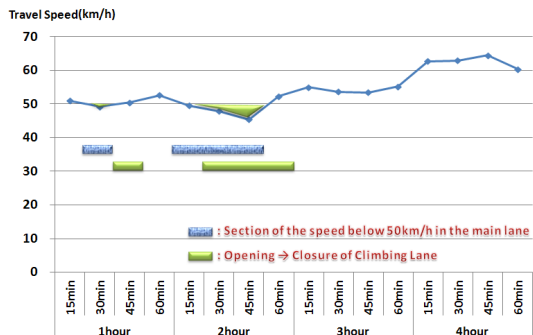
이와 같은 오르막차로의 동적운영 효과는 교통상황에 따라 통행속도가 50km/h 이하로 떨어질 경우, 오르막차로를 폐쇄 시켜 오르막구간에서의 혼잡을 막았기 때문으로 판단된다. 실제로 동적운영에 따른 4시간동안의 통행속도 변화를 도식화한 <Figure 9>를 살펴보면, v/c가 1.0을 넘어 혼잡이 발생한 경우 곧바로 오르막차로를 폐쇄하여 통행속도를 증가시켰으며 이 효과로 임계속도를 넘어서자 오르막차로를 개방하였다. 또한 v/c가 1.2가 되어 임계속도보다 떨어지자 다시 오르막차로를 폐쇄하다가 통행속도가 회복할 경우 다시 오르막차로를 개방하는 등 오르막차로의 동적운영을 확인할 수 있었다.

<Table 6>은 오르막구간의 본선통행속도의 변화에

<Table 5> Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : Average Travel Speed  
(Unit : km/h)

Division		Traffic Volume Ratio(v/c)				
Car Type	Operation Type	0~1h (v/c 1.0)	1~2h (v/c 1.2)	2~3h (v/c 0.9)	3~4h (v/c 0.8)	Average
All Vehicle	Opening	40.3	39.4	48.7	<b>67.5</b>	48.98
	Closure	48.9	<b>48.1</b>	50.0	59.1	51.52
	Dynamic Operation	<b>54.6</b>	47.9	<b>52.9</b>	64.7	<b>55.02</b>
Passenger Car	Opening	41.1	40.1	49.9	<b>69.9</b>	50.25
	Closure	50.3	<b>49.5</b>	51.4	61.1	53.08
	Dynamic Operation	<b>55.9</b>	49.0	<b>54.1</b>	66.8	<b>56.45</b>
Truck	Opening	32.7	32.8	42.4	<b>58.7</b>	41.65
	Closure	45.4	44.9	46.7	54.3	47.83
	Dynamic Operation	<b>49.8</b>	44.0	<b>48.6</b>	57.5	<b>49.98</b>

따른 동적운영 시뮬레이션 시 오르막차로 개방과 폐쇄가 이루어진 횟수를 제시한 표로, 시뮬레이션 분석(Random Seed 값을 6회에 걸쳐 다르게 발생시켜 각 2회씩 총 12회에 걸쳐 실시) 결과에 대한 평균값이다. 1시간동안 4번의 운영주기(15분)동안 v/c 1.2에서는 평균 2.5회를, v/c 1.0과 0.9에서는 각각 1.3회와 0.7회에 걸쳐 오르막차로를 폐쇄하여 운영하였으며, v/c 0.8에서는 4번의 운영주기 모두 개방운영을 하는 것으로 분석되었다.

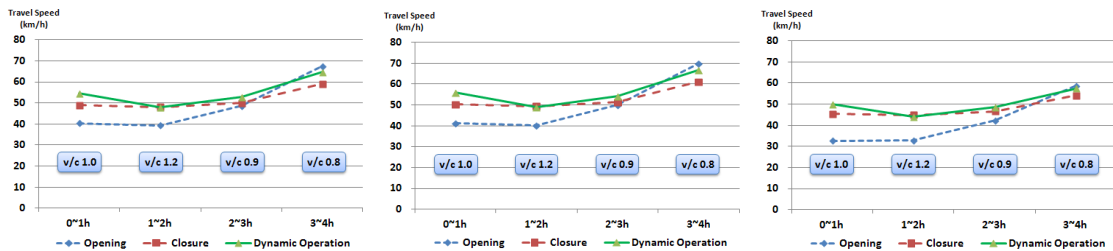


<Figure 9> Travel Speed Distribution in Main-Lane of Climbing Lane during Dynamic Operation of Climbing Lane(15min Interval, Random Seed 42)

<Table 6> Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : Review of Operation Method of Climbing Lane

Division		0~1h (v/c 1.0)	1~2h (v/c 1.2)	2~3h (v/c 0.9)	3~4h (v/c 0.8)
Average Travel Speed (km/h)		54.6	47.9	52.9	64.7
Whether or not Dynamic Operation <sup>note)</sup>	Opening	2.7	1.5	3.3	4.0
	Closure	1.3	2.5	0.7	0.0

note) 1 Operation Cycle = 15 minute, 1 hour = 4 times



(a) Travel Speed of All Vehicle (b) Travel Speed of Passenger Car (c) Travel Speed of Truck  
<Figure 8> Travel Speed of Main-Lane of Each Operation Method in Climbing Lane



## V. 편익 분석

### 1. 평가 방법론 선정

#### 1) 편익분석 개요

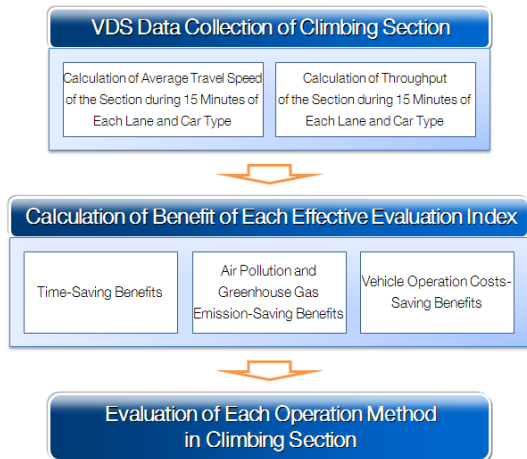
오르막구간 내 본선차로에서의 15분 동안의 차로별 · 차로별 평균통행속도 및 교통량을 수집하여, 정(+)의 개념인 통행시간 절감 편익과 부(-)의 개념인 대기오염 및 온실가스 배출비용 절감, 차량운행비 절감 편익을 각각 산출한다. 이렇게 산출된 편익을 합산하여 오르막차로 운영 방식별 효과를 비교하도록 한다(〈Figure 10〉 참조).

#### 2) 통행시간 절감편익 분석

통행시간비용은 차로별 통행시간가치(〈Table 7〉), 교통량, 통행시간의 곱으로 산정하며, 사업시행으로 절감된 통행시간 비용을 편익으로 계상한다. 오르막차로 운영방식별 통행속도 차를 이용하여 오르막구간의 통행시간 절감 편익으로 산출한다.

#### 3) 대기오염 및 온실가스 절감 편익 분석

오르막차로 운영방식별 대기오염 및 온실가스<sup>9)</sup> 배출량이 산출되면 오염물질 및 온실가스의 단위당 환경피해 비용 원단위(〈Table 8〉)를 곱하여 산정한다. 오르막차



〈Figure 10〉 Evaluation Process of Each Operation Method in Climbing Section

〈Table 7〉 Time value per Vehicle in All Parts of the Country

(in 2009)

Division	Passenger Car	Bus	Truck
Value of Time (won/veh)	16,153	63,590	14,574

reference) Transportation Facilities Investment Evaluation Guidelines(4th Edition), Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011

〈Table 8〉 Air Pollution and Greenhouse Gas Emission Costs of Car Type and Travel Speed

(Unit : won/km, rural region)

Division	Passenger Car	Bus			Truck		
		small	midium	Large	small	midium	Large
10	106.7	132.82	279.58	587.82	122.51	396.27	724.04
20	70.115	88.656	196.80	430.46	88.095	265.01	541.63
30	56.523	70.176	159.40	352.87	72.77	210.02	453.70
40	49.082	59.533	138.66	305.92	63.621	180.22	401.63
50	44.547	52.406	126.31	274.54	57.366	162.54	367.98
60	41.374	47.209	119.16	252.65	52.709	152.21	345.82
70	40.256	46.018	115.71	237.22	53.577	147.60	331.84
80	40.315	46.397	115.64	226.45	56.763	148.50	324.57
90	41.301	48.302	125.49	219.65	62.739	156.82	323.97
100	42.956	51.753	146.99	216.32	71.515	178.55	331.09

reference) Transportation Facilities Investment Evaluation Guidelines(4th Edition), Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011

〈Table 9〉 Vehicle Operation Costs of Car Type and Travel Speed

(Unit : won/km)

Division	Passenger Car	Bus		Truck		
		small	Large	small	midium	Large
10	440.40	596.50	758.41	384.62	601.31	856.25
20	356.45	466.76	606.76	307.64	463.47	678.65
30	302.56	381.85	498.49	256.91	395.27	573.27
40	258.87	322.32	424.54	222.01	343.42	505.78
50	227.08	283.96	379.76	200.79	314.02	457.58
60	209.93	257.38	353.58	187.20	296.70	432.27
70	198.03	238.74	339.52	179.51	290.20	419.52
80	186.08	224.39	332.23	176.21	292.85	417.90
90	180.17	216.92	330.49	179.53	308.11	440.10
100	178.57	214.17	339.93	190.10	347.08	465.02
110	179.54	214.97	363.26	-	-	-
120	183.15	225.27	-	-	-	-

note) Vehicle Operation Costs : Including cost of gas, cost of engine oil, cost of tire abrasion, cost of maintenance and depreciation expenses

reference) Transportation Facilities Investment Evaluation Guidelines(4th Edition), Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011

9) 대기오염물질의 경우 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 미세먼지(PM)를, 온실가스의 경우 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 구성되어 있음

로 동적운영에 따른 대기오염 및 온실가스 절감 편익은 타 운영방법 대비 편차로 계산된다.

4) 차량운행비 절감 편익 분석

타당성 평가에서 추정하는 차량운행비 절감 편익은 크게 유류비, 엔진오일비, 타이어 마모비, 유지관리비, 감가상각비로 구분할 수 있다. 통행배정 결과 사업시행 전·후 각 링크의 통행속도와 차종별·속도별 차량운행비용 원단위(〈Table 9〉)를 적용하여 분석 대상사업으로 인한 차량운행비용 절감 편익을 산출할 수 있다.

오르막차로 운영방식별 차량운행비 절감 편익은 통행속도와 교통량을 이용하여 주행속도에 따른 차량운행비용 원단위를 적용하여 산출하며, 동적운영에 따른 효과는 타 운영방법 대비 편차로 계산된다.

5) 효과분석 시 교통량 적용 비율

본 연구에서는 VISSIM의 차종구성을 승용차와 화물차만으로 구성하였으나 차종별 대기오염 및 온실가스 발생 비용과 차량운행비를 계산하기 위해서는 차종별·속도별 다른 원단위를 활용하여야 하기 때문에 차종에 대한 세부적인 분류가 필요하다. 이에 〈Table 10〉과 같이 '2011

〈Table 10〉 Ratio of Traffic Volume Application

Division		Traffic Volume <sup>10)</sup> (veh/day)	Ratio (%)	Simulation Application Ratio (%)	Effective Evaluation Application Ratio <sup>11)</sup> (%)	
		(a)	(b)	(c)	(d)	
Passenger Car		15,970	52.54	70	64.74 (92.49%) <sup>note)</sup>	
Bus	small	1,297	4.27		30	5.26 (7.51%)
	midium					
	Large					
Truck	small	5,648	18.58	30	12.91 (43.02%)	
	midium	4,824	15.87		11.02 (36.75%)	
	Large	2,656	8.74		6.07 (20.23%)	
Sum		30,395	100.0	100.0	100.0	

note) In the parenthesis, each rate of a Passenger Car and a Bus when the simulation application rate of the Passenger Car is 100%

년 고속도로 교통량통계'에서의 분석대상구간의 조사교통량을 바탕으로 하여 승용차와 승합차, 화물차에 대한 비율을 이용하여 차종에 대한 교통량을 산출하였다.

화물차량에 대하여 각기 다른 오르막성능을 가지는 차종을 구분(소형, 중형, 대형 화물차)하여 시뮬레이션 분석을 수행하고 정산을 수행하는 과정이 가장 타당하나 화물차종에 따른 오르막성능과 관련한 설계지침상의 세부적인 구분이 없고 정산상의 제약 등으로 인하여 표준트럭(중량/마력비 200lb/hp)으로 분석을 수행한 후 효과분석 시 차종을 구분하는 방법을 채택하였다. 버스의 경우 대부분의 차량이 승용차와 같은 통행특성(1~2차로 주행, 오르막차로 미이용)을 보이는 것으로 조사되었으며, 해당 구간에서의 평상시 통행속도 역시 승용차와 비슷한 경향을 보이고 있기에, 화물차에서 분석한 방법과 같이 승용차로 분석을 수행한 후 효과분석 시 승용차와 버스 차종을 구분하는 방법을 채택하였다.

2. 편익 분석 결과

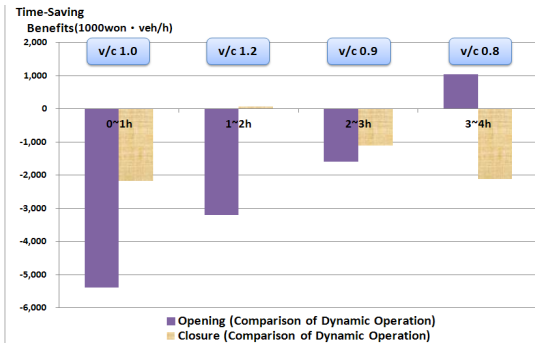
1) 통행시간 절감 편익 비교

〈Table 11〉과 〈Figure 11〉은 동적운영의 통행시간 대비 타 운영방식의 통행시간 및 통행시간비용의 증감에 대한 분석 결과이다. 개방과 폐쇄 시 모두 동적운영과 비교하여 증가하는 것으로 분석되었다. 특히 개방 시의 v/c 0.8의 경우와 폐쇄 시의 v/c 1.2의 경우에는 통행시간가치가 증가하는 것으로 분석되어 교통량비에 따라 오르막구간 동적운영의 효과가 달리 나타난다는 것을 알 수 있다.

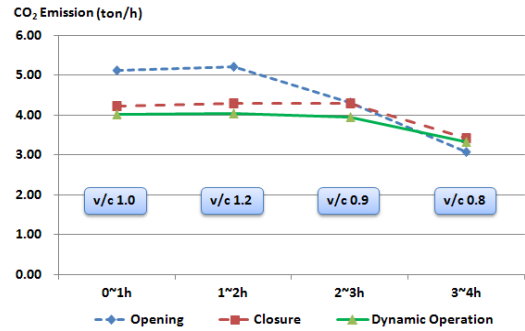
〈Table 11〉 Effective Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : Time-Saving Benefits  
(Unit : 1000won-veh/h)

Division	0~1h (v/c 1.0)	1~2h (v/c 1.2)	2~3h (v/c 0.9)	3~4h (v/c 0.8)	Sum (4h)
Opening (Comparison of Dynamic Operation)	-5379.737	-3196.298	-1580.858	1049.539	-9,107.354
Closure (Comparison of Dynamic Operation)	-2162.479	83.313	-1094.077	-2111.653	-5,284.896

10) 2010년 중부내륙선 낙동JC~선산IC 교통량  
11) 교통량 적용 비율(d) = 시뮬레이션 적용비율(c) × 교통량 조사 비율(a)



〈Figure 11〉 Comparison of Time-Saving Benefits of Each Operation Method in Climbing Lane



〈Figure 12〉 Comparison of CO<sub>2</sub> Emissions of Each Operation Method in Climbing Lane

2) 대기오염 및 온실가스 배출 절감 편익 비교

(1) CO<sub>2</sub> 발생량 비교

우선적으로, 오르막차로 운영방식별로 차종에 따른 CO<sub>2</sub> 발생량을 산출하였다. 「교통시설 투자평가지침 제 4차 개정(2011), 국토해양부」에서 제시하고 있는 차종별·속도별 CO<sub>2</sub> 배출계수를 이용하여 오르막차로 운영방식별로 시간당 CO<sub>2</sub> 발생량을 산출한 결과, 오르막차로 개방 시가 가장 많았으며, 다음으로 동적운영과 폐쇄 시의 순으로 분석되었다(〈Table 12〉, 〈Figure 12〉 참조). 이는 폐쇄의 경우 통과교통량이 타 운영방식에 비해 적기 때

〈Table 12〉 Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : CO<sub>2</sub> Emissions

(Unit : ton-veh/h)

Division		0~1h (v/c 1.0)	1~2h (v/c 1.2)	2~3h (v/c 0.9)	3~4h (v/c 0.8)	Sum (4h)	
Opening	Passenger Car	1.562	1.572	1.328	0.911	5.373	
	Bus	0.859	0.863	0.742	0.522	2.986	
	Truck	small	0.606	0.626	0.499	0.356	2.087
		midium	0.967	0.998	0.808	0.599	3.372
		Large	1.119	1.156	0.932	0.681	3.888
Sum	5.113	5.215	4.309	3.069	17.706		
Closure	Passenger Car	1.226	1.220	1.175	0.984	4.605	
	Bus	0.691	0.687	0.666	0.572	2.616	
	Truck	small	0.476	0.481	0.477	0.393	1.827
		midium	0.754	0.761	0.758	0.643	2.916
		Large	0.878	0.888	0.882	0.740	3.388
Sum	4.025	4.037	3.958	3.332	15.352		
Dynamic Operation	Passenger Car	1.270	1.331	1.270	1.005	4.876	
	Bus	0.724	0.737	0.721	0.579	2.761	
	Truck	small	0.497	0.504	0.511	0.402	1.914
		midium	0.808	0.805	0.827	0.670	3.110
		Large	0.933	0.937	0.958	0.765	3.593
Sum	4.232	4.314	4.287	3.421	16.254		

문에, 통과교통량의 영향을 받은 것으로 판단된다.

차종별로 분석해 본 결과, 가장 많은 비율을 차지하고 있는 승용차의 CO<sub>2</sub> 발생량이 가장 많았고, 통과교통량은 적지만 배출계수의 값이 큰 화물차가 다음의 순인 것을 알 수 있었다.

(2) 대기오염 및 온실가스 배출 절감 편익 비교

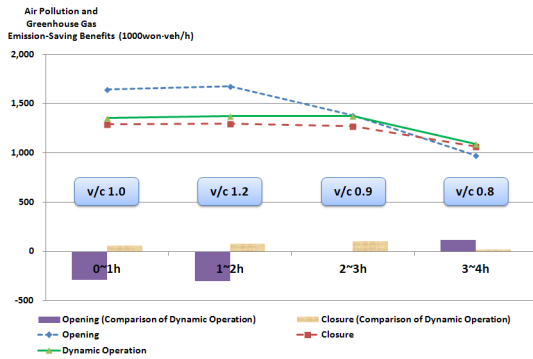
다음으로, 운영방식별 대기오염별 온실가스 배출 비용을 산출해 본 결과 CO<sub>2</sub> 발생량과 마찬가지로, 오르막차로 개방 시가 가장 많았으며, 다음으로 동적운영과 폐쇄 시의 순으로 분석되었다(〈Table 13〉, 〈Figure 13〉 참조). 이 역시도 통과교통량의 영향을 크게 받은 것으로 판단된다.

동적운영 시의 대기오염 및 온실가스 배출 비용 대비 타 운영방식별 배출 비용의 비교를 통해 대기오염 및 온실가스 배출 절감 편익을 산출해본 결과, 폐쇄 시에는 감소하는 것으로 분석된 반면 개방 시의 경우 오히려 증가하는 것으로 분석되었다.

〈Table 13〉 Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : Air Pollution and Greenhouse Gas Emission-Saving Benefits

(Unit : 1000won-veh/h)

Division	0~1h (v/c 1.0)	1~2h (v/c 1.2)	2~3h (v/c 0.9)	3~4h (v/c 0.8)	Sum (4h)
Opening	1642.948	1676.538	1378.593	973.100	5,671.179
(Comparison of Dynamic Operation)	(290.160)	(301.420)	(6.840)	(-116.890)	(481.530)
Closure	1293.143	1297.151	1270.932	1371.573	5,232.799
(Comparison of Dynamic Operation)	(-59.645)	(-77.967)	(-100.821)	(281.583)	(43.150)
Dynamic Operation	1352.788	1375.118	1371.753	1089.990	5,189.649



(Figure 13) Comparison of Air Pollution and Greenhouse Gas Emission-Saving Benefits of Each Operation Method in Climbing Lane

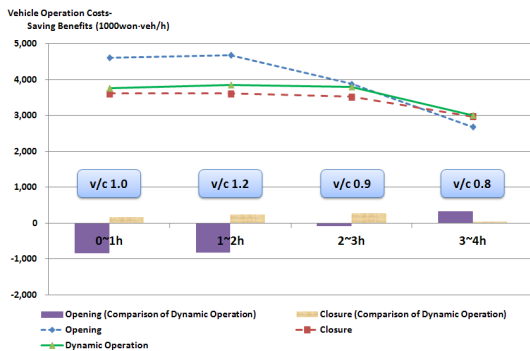
### 3) 차량운행비 절감 편익 비교

운영방식별로 차량운행비를 산출 결과, 앞서 제시한 분석결과와 마찬가지로, 오르막차로 개방 시에 가장 많

(Table 14) Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : Vehicle Operation Costs-Saving Benefits

(Unit : 1000won-veh/h)

Division	0~1h (v/c 1.0)	1~2h (v/c 1.2)	2~3h (v/c 0.9)	3~4h (v/c 0.8)	Sum (4h)
Opening (Comparison of Dynamic Operation)	4612.165 (839.435)	4686.467 (827.055)	3884.149 (79.11)	2679.292 (-328.282)	15,862.073 (1417.318)
Closure (Comparison of Dynamic Operation)	3611.033 (-161.697)	3613.054 (-246.358)	3522.340 (-282.699)	2971.399 (-36.175)	13,717.826 (-726.929)
Dynamic Operation	3772.730	3859.412	3805.039	3007.574	14,444.755



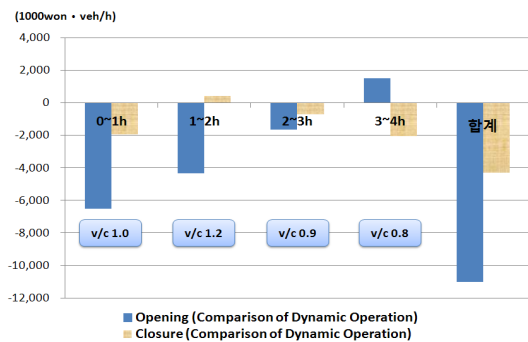
(Figure 14) Comparison of Vehicle Operation Costs-Saving Benefits of Each Operation Method in Climbing Lane

은 것으로 분석되었다(〈Table 14〉, 〈Figure 14〉 참조). 차량운행비 절감 편익 산출 결과, 동적운영 대비 폐쇄 시에는 감소하는 것으로 분석된 반면 개방 시의 경우 오히려 증가하는 것으로 분석되었다.

### 4) 오르막차로 동적운영 효과분석 결과 종합

오르막차로 동적운영에 따른 효과를 종합적으로 살펴 보기 위해 앞서 분석한 통행시간 절감과 대기오염 및 오염물질 절감, 차량운행비 절감 편익의 합을 계산해 보았다.

(Table 15)와 (Figure 15)에서 제시한 바와 같이 동적운영의 경우 개방 및 폐쇄 시와 비교하여 교통량비에 따라 차이가 존재하기는 하였으나, 대체적으로 편익이 높은 것으로 나타났다. 특히 교통량비에 따른 분석 결과, 동적운영과 비교하여 v/c 0.8에서는 개방 시에서, v/c 1.2에서는 폐쇄 시에서 더 높은 편익을 보이는 것으로 나타난 것을 고려하여, 교통량비에 따른 운영방식에 대해 보다 구체적인 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.



(Figure 15) Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : Overall

## VI. 결론 및 향후 연구과제

### 1. 결론

도로의 친환경성에 대한 관심이 높아지는 시점에서 기존 도로시설의 효율적 이용은 매우 중요하고도 필요하여, 램프미터링, 갓길차로제 등 시공간 맞춤형 교통운영관리 기법이 정책 해결의 새로운 대안으로 이슈화되고 있다. 오르막차로의 경우, 교통운영측면에서 교통량(v/c)이 증가하고 중차량 구성비가 증가할 경우 오르막차로는 오히려 교통혼잡의 요인으로 작용하기도 한다. 고속도로의 서비스수준 및 안정성을 감소시키며 최근 중요성이 부각되고

<Table 15> Evaluation of Dynamic Operation in Climbing Lane : Overall

(Unit : 1000won·veh/h)

Division		0~1h (v/c 1.0)	1~2h (v/c 1.2)	2~3h (v/c 0.9)	3~4h (v/c 0.8)	Sum (4h)
Opening (Comparison of Dynamic Operation)	Time-Saving Benefits(a)	-5379.737	-3196.298	-1580.858	1049.539	-9,107.354
	Air Pollution and Greenhouse Gas Emission-Saving Benefits(b)	290.160	301.420	6.840	-116.890	481.530
	Vehicle Operation Costs-Saving Benefits(c)	839.435	827.055	79.110	-328.282	1417.318
	Sum(d) <sup>note)</sup>	-6509.332	-4324.773	-1666.807	1494.721	-11006.191
Closure (Comparison of Dynamic Operation)	Time-Saving Benefits(a)	-2162.479	83.313	-1094.077	-2111.653	-5,284.896
	Air Pollution and Greenhouse Gas Emission-Saving Benefits(b)	-59.645	-77.967	-100.821	281.583	43.150
	Vehicle Operation Costs-Saving Benefits(c)	-161.697	-246.358	-282.690	-36.175	-726.929
	Sum(d)	-1941.137	407.639	-710.556	-2053.483	-4297.537

note) Sum(d) = Time-Saving Benefits(a) - {Air Pollution and Greenhouse Gas Emission-Saving Benefits(b) + Vehicle Operation Costs-Saving Benefits(c)}

있는 차량들의 배기가스 배출량이 증가하게 되는 문제점을 내포하고 있다. 하지만 교통운영측면에서 이를 효과적으로 제어할 운영기준은 제시된 바가 없는 실정이다.

본 연구에서는 오르막차로의 동적차로관리를 위한 교통특성에 맞는 동적 운영기준을 수립하고 이에 대한 효과를 분석하고자 하였다. 낙동분기점 마산방향의 오르막 구간을 선정하여 교통량(v/c), 중단경사, 중차량 구성비 등을 교통운영변수로 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM 분석 결과를 바탕으로, 오르막구간의 평균통행속도가 50km/h일 때 오르막차로의 개방과 폐쇄를 결정하는 운영기준(임계 통행속도)으로 선정하였다.

오르막차로 운영방식별로 교통량비(v/c)에 따른 효과를 비교분석한 결과, 동적 운영대안이 단순한 개방과 폐쇄 대안보다 통행속도가 높은 것으로 나타나, 혼잡상황에서는 효과적인 대안인 것으로 판단된다. 특히 동적운영에 대한 사회경제적 편익을 알아보고자 통행시간절감, 대기오염 및 온실가스 저감, 차량운영비 절감 등을 종합적으로 분석한 결과, 동적 운영대안이 개방 및 폐쇄 대안보다 효과적인 것으로 나타났다. 세부적으로는 교통량비에 따라 동적운영과 비교하여 v/c 0.8에서는 개방 시, v/c 1.2에서는 폐쇄 시 더 높은 편익을 보이는 것으로 나타났다.

## 2. 향후 연구과제

본 연구에서는 교통량비에 따른 통행속도 분석결과, 동적운영과 비교하여 v/c 0.8에서는 오르막차로 개방이, v/c 1.2에서는 오르막차로 폐쇄가 더 높은 효과를

보이는 것으로 나타났지만, 동적 운영방식의 효과를 보다 구체적으로 파악하기 위해 v/c 0.8 이하 상황에 대한 추가 분석이 필요할 것이다.

또한 오르막차로 동적운영을 위한 임계기준에 대한 보다 세부적이고 심도 깊은 연구가 요구된다. 본 연구에서는 시뮬레이션 분석을 통해 오르막차로 개방과 폐쇄의 통행속도가 변하는 변곡점을 임계통행속도로 선정하여 이를 운영기준으로 삼았다. 그러나, 도로 및 교통상황 등에 따라 동적운영으로 인한 효과가 최대가 될 수 있는 변곡점을 선정하는 방법과 추가적인 고려사항 등과 관련한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 특정 대상구간을 선정하여 오르막차로의 동적 운영기준을 수립하였지만, 향후 범용적으로 사용가능한 교통운영기준의 수립이 필요하다. 이를 위해서는 다양한 대상구간을 기초로, 보다 세분화된 시뮬레이션 입력변수(중차량 가속성능, 교통량(v/c), 중차량 구성비, 중단경사)를 적용하여 분석할 필요가 있다.

동적 운영방안의 효과분석과 관련하여 본 연구에서는 세부 차종비율(승용차, 승합차, 화물차)에 대해 일부 가정을 하여 분석을 수행하였다. 또한 동적 운영방안에 대한 평가로써 편익만을 분석하였고 이를 위해 필요한 장비인 VMS, LCS 등의 설치 및 운영·유지비용은 고려하지 않았다. 편익은 차종에 따라 달라질 수 있음을 고려할 때, 향후 이에 대한 고려가 필요하며, 실제 시행에 앞서 동적운영 필요시설의 설치 및 운영·유지비용을 고려한 경제성분석이 선행되어야 한다.

마지막으로, 지속적인 현장검증을 통해 오르막차로

동적운영의 효과를 정량화, 계량화시키는 노력 역시 중요하며, 오르막차로의 동적운영 실시에 따른 효과를 극대화하기 위한 최적제어 시행방안에 대한 연구가 필요하다. 본 연구를 계기로 도로시설의 탄력적 운영기준에 대한 연구가 활성화될 수 있을 것으로 기대된다.

알림 : 본 논문은 제64회 대한교통학회 학술대회 발표논문 (2011. 2. 19.)을 수정·보완하여 작성한 것입니다.

## REFERENCES

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2008), "Rules for standard of structure and facilities of the road (explanation and guideline)".
2. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2004), "Guide on Road Capacity".
3. Korea Expressway Corporation(2009), "Guideline for Road Construction", Vol.1, Road plan and Geometrical structure.
4. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2011), "Transportation Facilities Investment Evaluation Guidelines(4th Edition)".
5. Korea Research Institute For Human Settlements(1999), "Road Project Investment Analysis Handbook".
6. Young-Tae Oh, Yoon-Hyuk Choi, Han-Geom Ko(2011), "A Case Study on the Traffic Operational Guidance based on Travel Speed for Temporary Closure of Climbing Lane at Nakdong JC", Proceedings of the KOR-KST Conference 64th, Korea Society of Transportation, pp.333~338.
7. Hee-Seok Lee(2009), "Analysis on Effectiveness of Hard Shoulder Lane at Congested Section of Freeway", Master's Degree thesis, University of Seoul.
8. Hwan-Pil Lee(2011), "Development of A Tollgate Entrance Control Model for Expressway Traffic Flow Management", Ph. D. thesis, Ajou University.
9. Yoon-Hyuk Choi, Seung-Jun Lee, Young-Seok Bae, Han-Geom Ko(2010), "A Case Study on the Traffic Operational Guidance for Temporary Closure of Climbing Lane : Focusing on Nakdong JC at Jungbunaeryuk Expressway", Korean Society of Road Engineers Journal, Vol.12, No.4, Korean Society of Road Engineers, pp.1~8.
10. Kyeong-Pyo Kang Gang-Len Chang(2009), "Lane Based Dynamic Merge Control Strategy Based on Optimal Thresholds for Highway Workzone Operation", Journal of Transportation Engineering, Vol.135, Issue.6.
11. Kyeong-Pyo Kang, Gang-Len Chang, Jawad Paracha(2006), "Dynamic Late Merge Control at Highway Work Zones Evaluation, Observations, and Suggestions", Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board 1948, Transportation Research Board, pp.86~95.
12. Mithilesh Jha, David Cuneo, Moshe Ben-Akiva(1999), "Evaluation of Freeway Lane Control For Incident Management", Journal of Transportation Engineering, Vol.125, Issue.6, pp.495~501.
13. Muñoz, J.C. and Daganzo, C.F.(2000), "Experimental characterization of multi-lane freeway traffic upstream of an off-ramp bottleneck", PATH Working Paper 2000-13.
14. L. Schaefer, J. Upchurch, S. A. Ashur (1998), "An Evaluation of Freeway Lane Control Signing using Computer Simulation", Mathematical and Computer Modelling, Vol.27, Issue.9-11, pp.177~187.

- ✉ 주 작성자 : 고한검
- ✉ 교신저자 : 최윤혁
- ✉ 논문투고일 : 2011. 12. 19
- ✉ 논문심사일 : 2012. 1. 10 (1차)  
2012. 2. 13 (2차)
- ✉ 심사판정일 : 2012. 2. 13
- ✉ 반론접수기한 : 2012. 6. 30
- ✉ 3인 익명 심사필
- ✉ 1인 abstract 교정필