

# 정체상황에서의 강제 차로변경행태 분석

## - 도로공사로 인한 차로폐쇄 시뮬레이션 기반 -

### Mandatory lane-changing behaviors

### under the congested work zone traffic operations

## 강 경 표

(한국교통연구원, 첨단교통기술연구실, 책임연구원)

## 목 차

I. 서론	III. 도로공사 교통 시뮬레이션 보정
1. 연구 배경	1. 현장자료 수집
2. 연구 목적	2. 시뮬레이션 보정
II. 도로공사 시 교통운영	IV. 차로변경행태 모형추정 및 분석
1. 차로폐쇄를 유발하는 도로공사 형태	1. 로지스틱 회귀모형
2. 도로공사 시 합류제어 전략	2. 모형 추정 및 분석
	V. 결론: 모형의 한계와 의의

## I. 서론

### 1. 연구 배경

교통류의 차로변경행태 분석은 지난 몇 십년간 담보상태에 있다고 해도 과언이 아니다. 가장 큰 이유는 실제 자료수집 및 방법이 어렵고, 차로변경을 일으키는 요인으로서 교통 및 도로조건들이 다양해지고 이에 따른 운전자 반응행태가 복잡해짐에 따라 이를 충분히 반영할 수 있는 분석모형 개발이 어렵기 때문이다. 현재 사용 중인 미시적 교통 시뮬레이션 프로그램은 기존의 차로변경(lane-changing) 모형을 자체적으로 단순히 수정 또는 보완해서 사용하고 있는 실정이다.

나아가, 교통상황에 따른 차로변경 관련 현장자료의 부재와 더불어 기존 시뮬레이션 프로그램의 반영여부에 대한 연구가 없는 상태에서 특정 교통 및 도로조건하에서의 차로변경행태를 무시한 시뮬레이션 자료나 연구결과는 실제 상황과 비교하여 많은 차이를 초래할 수 있다. 특히, 특정 교통조건하에서 차로변경 또는 운전가간 추종(care-following) 행태 사이의 상호

관계에 대한 구체적인 이해와 지식이 없이는 교통운영자들이 교통정체패턴의 공간적 전이(spatial evolution)를 추정 또는 예측하기가 불가능하며, 특정 제어전략을 효과적으로 적용하기가 어렵다.

### 2. 연구 목적

본 연구에서는 언급한 특정 교통 및 도로조건 중 진입연결로 및 도로공사 시 합류 구간에서 빈번하게 발생하고 있는 강제 차로변경(mandatory lane-changing actions)을 유발하는 교통상황에서의 차로변경을 대상으로 하고 있다. 이런 유사한 조건을 반영하기 위하여 도로공사로 인한 차로폐쇄 때문에 발생하는 정체상황에서의 차로변경행태를 분석하고자 한다. 이를 위하여 실제 도로공사 중 차로폐쇄로 인한 정체상황 시 수집한 현장자료를 바탕으로 미시적 보정작업을 거친 CORSIM의 차로변경 자료를 가지고 시간당 차로변경차량의 퍼센트를 추정하는 모형을 만들었다. 모형분석을 바탕으로 정체상황에서 해당 교통운영전략에 따른 CORSIM의 강제 차로변경행태 반영여부의

적정성을 알아본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 실험 대상으로 삼고 있는 교통상황에 대한 이해를 돕기 위하여 2장에서는 차로가 폐쇄되는 도로 공사구간의 기본정의와 이로 인한 교통류를 효과적으로 처리하기 위한 기본적인 교통운영전략에 대해서 살펴본다. 다음 3장에서는 이러한 실제상황을 적절하게 구현하기 위하여 시뮬레이션 프로그램인 CORSIM을 이용하여 미시적인 보정작업을 설명한다. 4장에서는 2장에서 언급한 교통운영전략에 따른 차로변경행태를 분석하기 위하여 3장에서 구현한 시뮬레이션 차로를 가지고 강제 차로변경행태 모형을 추정하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 모형의 수정 및 보완작업을 논하고 시뮬레이션 기반의 강제 차로변경행태 분석의 적정성을 논한다.

## II. 도로공사 시 교통운영

### 1. 차로폐쇄를 유발하는 도로공사 형태

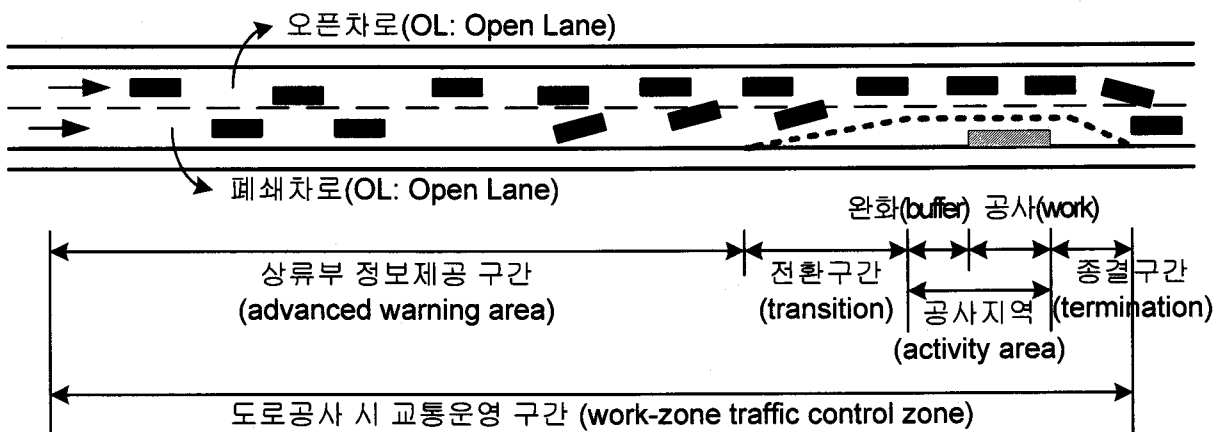
도로의 유지보수 및 건설 등으로 도로구간에서 발생하는 공사행위는 교통지체 및 안전에 악영향을 미치는 주요한 원인이다. 주 이유는 도로 공사구간의 차로폐쇄로 인한 교통운영은 용량감소뿐만 아니라 복잡한 차로변경 및 합류

행태를 유발하게 되어 상류부의 과도한 대기행렬 및 높은 속도변동(speed variation)이 나타나게 되어 추돌 및 충돌사고를 일으키게 된다 (<그림 1-1> 참조).

이러한 교통상황을 처리하기 위하여 <그림 1-2>에서 보는 바와 같이 도로공사가 진행되는 차로를 포함한 상류 및 하류부 구간에 대한 도로공사 시 교통운영구간(예: Work-zone traffic control zone)을 설정하여 다양한 교통운영 및 제어전략을 수행하고 있다.



<그림 2-1> 도로공사 시 차로폐쇄로 인한 교통정체



<그림 2-2> 도로공사 시 교통운영구간(예: 미국)

### 2. 도로공사 시 합류제어 전략

앞에서도 언급했듯이 대부분의 도로를 점유하는 공사 시에는 차로가 폐쇄되어 해당구간의 용량이 감소되기 때문에 가급적 비침두시 수행할 필요가 있지만, 그럼에도 불구하고 정체로

인한 교통흐름이 끊기고 사고가 빈번하게 발생하는 주된 이유는 차로폐쇄로 인한 도로공사 시 용량감소로 인한 상류부에 영향이 미치는 구간길이(예: Work-zone traffic control zone) 및 감소된 통과교통량(예: Work-zone

throughputs)을 예측하기가 힘들기 때문이다.

한편, 이러한 영향을 완화하기 위하여 선진국(예: 미국)에서는 다양한 교통제어 및 운영방법 및 전략들을 개발 및 현장에 적용하고 있다. 그 대표적인 예로서 속도제어(speed control) 및 합류제어(merge control)로서, 전자는 상류부의 접근교통량의 속도변동을 최소화하여 용량감소로 인한 충격파의 영향을 줄이기 위함이며, 후자는 하류부의 차로폐쇄로 인하여 불가피하게 발생하는 합류 및 차로변경 등의 복잡한 운전행태를 교통상황에 따라 효과적인 차로운영을 통하여 공사구간을 통과하도록 하는 것이다.

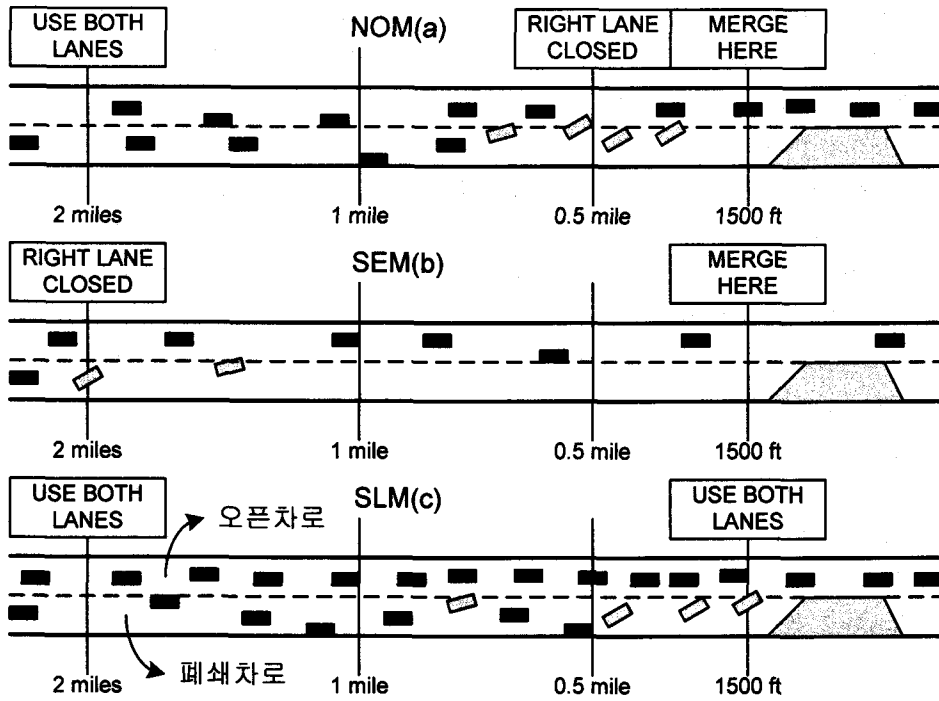
본 연구의 주요 관심사는 차로변경행태 관련이므로, 여기서는 교통운영 전략 중 합류제어전략에 따른 차로변경 및 교통상황에 대하여 간단하게 살펴보기로 한다. <표 2-1>과 <그림 2-3>은 정적인(static) 합류제어로서 비합류(예: NOM-No Merge), 조기합류(예: SEM - static early merge), 후기합류(예: SLM - static late merge)에 대한 시스템 운영특징과 운전자행태에 대하여 기존의 현장 및 시뮬레이션 실험를 통하여 얻은 결과를 요약한 내용이다.

간단히 설명하여, NOM(No merge)은 현재

정적인 합류제어로서는 보편적으로 사용하고 있는 방법으로 NDOR(Nebraska Dept. of Road, McCoy 등, 1999) 합류제어라고 불리우며, 보통 0.5mile 지점(예: “2차로 폐쇄” - “RIGHT LANE CLOSED”)까지는 모든 차로이용이 가능하다(예: “모든 차로 주행가능” - “USE BOTH LANES?”). SEM 제어전략(McCoy 등 1999, McCoy와 Pesti 2001)은 교통량이 적을 경우 고속의 차량의 합류지점에서의 상충가능성을 미리 방지하기 위하여 상류부(예: 2miles)에서 미리 합류를 유도하는 것이며, 반면에 SLM 제어전략(McCoy 등 1999, McCoy와 Pesti 2001, Beacher 등 2005)은 합류지점까지 차량이 모든 차로이용을 가능하도록 하여 차로이용을 극대화함으로써 통과교통량을 증가시키기 위함이다. 여기서 주의해야 할 것은 모든 합류제어는 합류지점에 반드시 오픈차로로 합류 및 차로변경을 알리는 표지(예: “합류 지점” - “MERGE HERE” / “TAKE YOUR TURN”)를 설치해야 한다. 이는 기존 MUTCD(Manual Uniform on Traffic Control Devices, FHWA 1995)의 내용을 따르고 있음을 말해준다.

<표 2-1> 합류제어 전략에 따른 운영특징 및 운전자 행태

합류제어	시스템 운영특징 및 운전자 행태
NOM 그림 2-3(a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 형태(configuration), 기능(function), 효과(performance) 측면에서 SEM과 SLM의 중간형태임</li> <li>▪ 명확한 합류특징(예: 조기합류 또는 후기합류)은 없으나 운전자의 평상시의 합류지점(0.5 mile)을 이용함</li> </ul>
SEM 그림 2-3(b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 상류부에서의 합류유도를 통하여 차로변경 및 합류로 인한 상충 및 속도변동 최소화</li> <li>▪ 운전자들은 상류부(2miles)에서 합류를 시작하여 1mile전에 오픈차로로 차로변경을 완료해야 함</li> <li>▪ 합류지점에서의 고속 차량간 상충 방지</li> <li>▪ 교통량이 증가할수록 효과감소</li> </ul>
SLM 그림 2-3(c)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 합류지점까지 모든 차량의 이용을 극대화하여 통과차량을 증가시킴</li> <li>▪ 운전자는 합류지점까지 모든 차로 이용가능</li> <li>▪ 제한된 합류구간에서의 차로변경 제약</li> <li>▪ 오픈차로는 폐쇄차로 차량의 합류를 위한 충분한 공간확보 필요</li> <li>▪ 오픈 및 폐쇄차로간 차로변경 및 합류로 인한 통과교통량 증가</li> <li>▪ 교통량이 적정수준을 넘으면 기능감소</li> </ul>



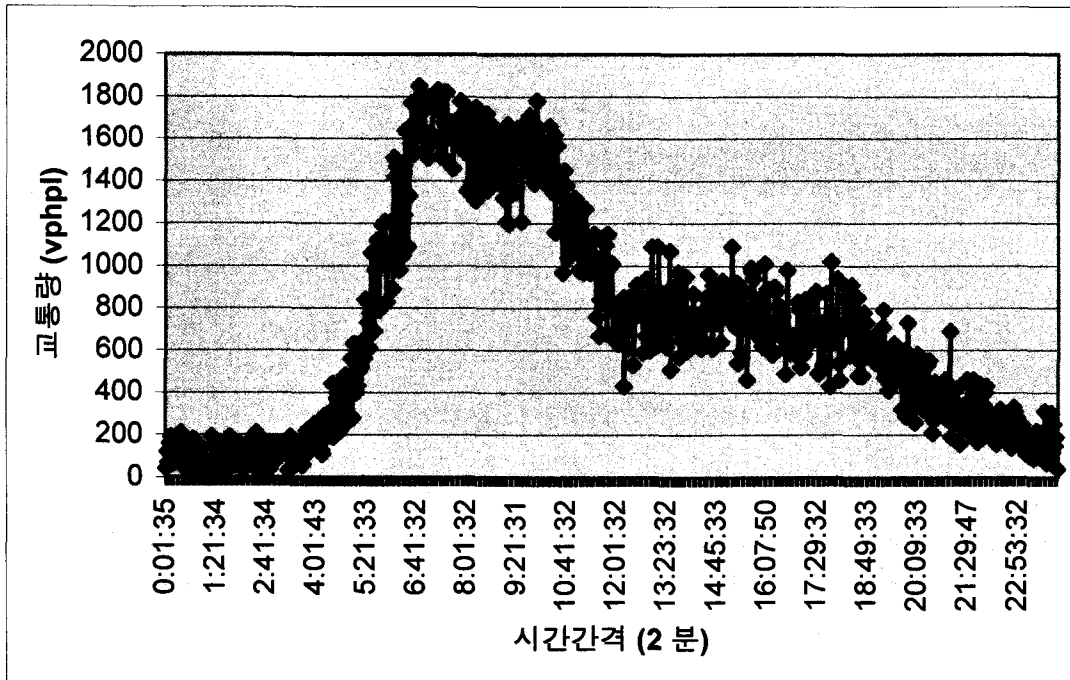
<그림 2-3> 합류제어 전략에 따른 시스템 운영

### III. 도로공사 교통 시뮬레이션 보정

#### 1. 현장자료 수집

시뮬레이션 보정에 필요한 현장자료는 도로공사 시 합류제어전략에 따른 효과를 평가하기 위한 프로젝트(Chang과 Kang, 2005)를 통하여 얻었다. 대상 도로공사구간의 합류제어는

NOM(No Merge) 제어전략이다(<표 2-1> 및 <그림 2-3> 참조). 이를 통하여 얻은 현장자료는 교통량, 속도, 점유율로서 상류지점(1.0mile), 중간지점(0.5mile), 합류지점(1500ft)에 설치한 센서(RTMS - Remote Traffic Microwave Sensor)를 통하여 단위시간(30초)마다 저장되어 있다.



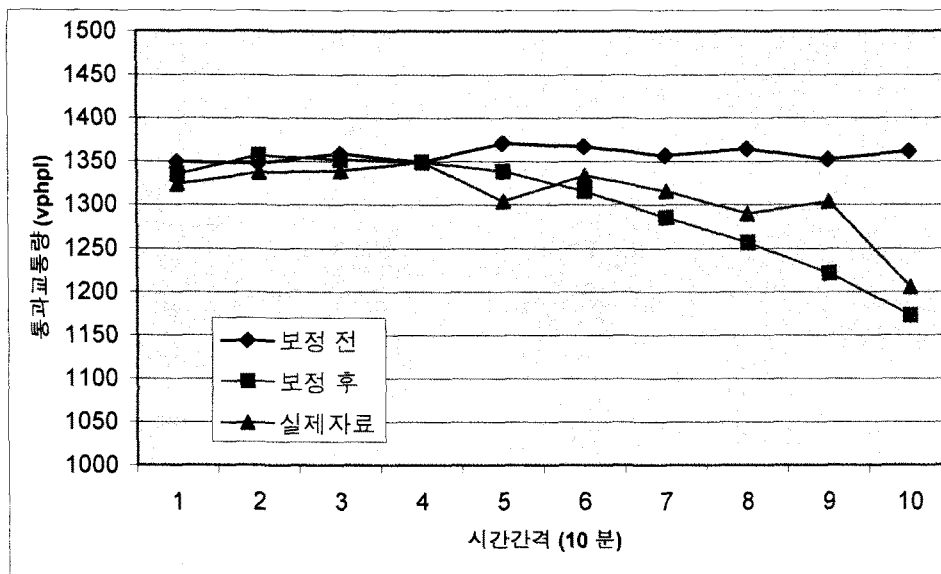
<그림 3-1> NOM 제어하의 교통량 패턴

## 2. 시뮬레이션 보정

대상 시뮬레이션 도로구간을 보정하기 위하여 사용된 현장 교통자료로서 교통량, 차량구분(예: 승용차 및 중차량), 속도 등을 10분 시간간격마다 3개 지점에서 얻은 자료를 사용하였다(<그림 3-1> 참조). <표 3-1>와 <그림 3-3>는 정상교통과 도로공사 시 교통운영 상태를 보정한 결과를 비교한 내용이다. 특히 <그림 3-3>은 합류지점에서 보정된 시뮬레이션 네트워크가 실제 도로공사 시 교통상황을 적절하게 반영하고 있음을 알 수 있다.

<표 3-1> 도로공사 교통시뮬레이션 보정 결과 비교

교통조건	실제 값	시뮬레이션 결과		
		보정 전	보정 후	
상류부 교통량 (2 lanes)	1875 vph	1890 vph	1893 vph	
중차량 비율	19 %	19 %	19 %	
중간지점	평균속도	31.0 mph	50.4 mph	34.3 mph
	교통량	1362 vphpl	1406 vphpl	1398 vphpl
합류지점	평균속도	24.0 mph	46.0 mph	22.6 mph
	교통량	1340 vphpl	1380 vphpl	1328 vphpl



<그림 3-3> 합류지점(1500ft)에서의 시뮬레이션 보정 결과 비교

## IV. 차로변경행태 모형 추정 및 분석

### 1. 로지스틱 회귀모형

교통정체상황에서 차로폐쇄로 인한 강제 차로변경행태를 분석하기 위하여 본 연구에서는 단위시간마다 차로를 변경하는 차량 퍼센트와 교통상황간 관계를 추정하기로 한다. 이를 위하여,  $\theta$ 를 단위시간간격(5분) 동안의 차로변경을 수행한 차량 퍼센트라고 표시한다. 하지만 이 값은  $[0, 1]$ 안에 존재하게 되어 선형회귀에서의 가정인 정규분포하에서 확률범위 $[-\infty, \infty]$ 와는 맞지 않는다.

따라서 본 연구에서는 일반적인 회귀모형

(generalized linear models)의 하나인 로지스틱 회귀모형(logistic regression model)(Chang and Kao 1991, Kang and Chang 2006)을 이용하여 강제 차로변경행태를 추정하기로 한다. 모형에 대하여 간단히 설명하면, 먼저  $n_i$ 을 시간간격  $k$  동안 구간  $i$ 에서 관측된 차량갯수이고, 이 중 차로를 변경하는 차량갯수를  $y_i$ 라고 정한다. 그러면, 변수의 집합(예:  $y_1/n_1, \dots, y_N/n_N$ )은 차로를 변경하는 차량갯수의 분량(fraction)으로 다음과 같이 변환된다.

$$P[sr_i(k)] = Y_i(k) = \ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = b_{i,0} + b_{i,1} \cdot u_i(k) + b_{i,2} \cdot rs_i(k)$$

<식 1>

여기서,  $Y_i$ 은 차로상에서 확률  $P_i (= y_i / n_i)$ 의 로지스틱 변환함수이고,  $u_i$ 와  $rs_i$ 은 각각 현재차로에서의 평균속도(average speed)와 인접 차로간 상대속도비율(speed ratio)(예:  $rs_i^O = u_i^O / u_i^C$ 와  $rs_i^C = u_i^C / u_i^O$ )를 나타낸다. 그리고,  $b_{i,0}$ ,  $b_{i,1}$ ,  $b_{i,2}$ 은 maximum likelihood 방법에 의하여 추정되는 모형 파라미터 값들이다.

## 2. 모형추정 및 분석

서론에서 밝혔듯이, 도로공사와 같은 비반복 교통정체하의 차로변경행태에 대한 연구는 거의 전무하기 때문에, 본 연구에서는 세밀한 보정작업을 거친 시뮬레이션을 기반으로 한 실험 데이터를 이용하여 합류 및 차로변경 행태를 분석하고 및 이에 대한 기존 시뮬레이션의 반영여부를 알아보고자 한다.

주의할 점은 비록 기존 시뮬레이션 프로그램이 자체적으로 미리 정해진 차로변경 모형을 적절하게 보완 및 수정작업을 거쳐 사용하고 있으나, 본 연구는 실제 차로변경행위는 현재 운영 중인 제어(예: 합류제어)와 처해진 교통 상황(예: 평균속도 및 상대속도비율)에 따라 다를 것으로 예상된다. 본 연구에서는 이러한 특정 정체상황에서의 강제 차로변경행태를 시뮬레이션 자료를 가지고 분석가능한지를 알아보고자 한다.

이를 위하여 차로변경 및 합류행태가 전방에 설치한 첫 번째 제어정보(예: merging sign)의 위치(예: 2 miles) 뚜렷하게 차이가 나는 조기합류 및 후기합류제어 전략(<표 2-1> 및 <그림 2-3> 참조)에 대한 차로변경행태를 분석하였으며, <표 4-1>은 위 <식 1>를 기반으로 추정된 모형결과를 요약한 것이다.

<표 4-1> 차로를 변경하는 차량들의 확률모형

상류부	합류제어 (현재차로) (OL)-Open Lane / (CL)-Closed Lane		C(intercept)	Average speed	Speed ratio
			$b_{i,0}$	$b_{i,1}$	$b_{i,2}$
AFTER	SLM (OL)*	Parameter	0.1291	-0.0337	-0.1224
		t-value	5.40	-108.80	-3.43
	SLM (CL)*	Parameter	-0.3627	-0.0351	<b>0.9584</b>
		t-value	-18.57	-161.68	<b>71.65</b>
	SEM (OL)	Parameter	-1.6899	-0.0374	-0.1411
		t-value	-7.87	-11.40	-5.13
	SEM (CL)	Parameter	-1.2689	-0.2218	<b>12.2391</b>
		t-value	-26.34	-272.89	<b>278.23</b>
BEFORE	SLM (OL)	Parameter	-4.0480	<b>0.1513</b>	-6.5714
		t-value	-10.46	<b>54.73</b>	-15.30
	SLM (CL)	Parameter	-5.5731	<b>0.1549</b>	-5.2542
		t-value	-13.61	<b>60.44</b>	-14.62
	SEM (OL)	Parameter	2.5437	<b>0.0269</b>	-5.5446
		t-value	62.75	<b>33.46</b>	-65.11
	SEM (CL)	Parameter	-4.7729	<b>0.0212</b>	<b>2.2813</b>
		t-value	-67.23	<b>31.73</b>	<b>68.05</b>

상류부 첫 번째 합류제어 정보의 위치를 각각 <표 4-1>의 상단과 하단에 제시되었으며, 준으로 운전자들이 이곳을 통과한 후(AFTER) 이에 대한 분석결과는 다음과 같다. 와 전(BEFORE)에 보이는 차로변경 행태는 각

### 1) 통과 후의 차로변경행태 (AFTER)

운전자는 해당 합류표지판을 통과하게 되면 (AFTER) 운전자의 평균주행속도(average speed)는 희망속도(desired speed)보다 낮게 되면서 강제 차로변경에 제약을 받게 된다. 따라서,

- 후기합류(SLM) 제어하에서는 차로변경과 합류의 영향은 하류부 합류지점을 제외하고는 균일하게 나타났다.
- 오픈차로(OL - Open Lane)상에 있는 운전자는 평균속도와 상대속도비율이 인접해 있는 폐쇄차로(CL - Closed Lane)보다 작지 않는 한 폐쇄차로로의 차로변경을 꺼려한다.
- 따라서, 오픈차로에서는 평균속도 및 상대속도비율과 차로변경확률 사이에는 비슷한 음성적 관계(negative relation)를 보여주고 있다.
- 그러나, 폐쇄차로에서는 상대속도비율과는 양성적 관계(positive relation, 예: 0.9584)가 존재하는데 주된 이유는 폐쇄차로 상에서 대부분의 차로변경행위는 하류부의 합류지점에서 발생하며, 이 때 오픈차로보다는 높은 상대속도비율 값을 보여주고 있다.
- 결과적으로, 폐쇄차로에서는 평균속도와는 음성적 관계(예: -0.0351)가 존재하는데, 왜냐하면 합류횟수가 증가할수록 합류로 인한 상충 때문에 평균속도가 감소되기 때문이다.
- 조기합류(SEM) 제어하에서는 차로변경과 합류의 영향이 폐쇄차로보다는 오픈차로에서 상대적으로 크게 나타난다.
- 동일한 이유로 인하여, 오픈차로에서는 평균속도 및 상대속도비율과 차로변경확률 사이에는 비슷한 음성적 관계를 보이고 있다.
- 그러나, 폐쇄차로에서는 평균속도와의 음성적 관계(예: -0.2218,  $t$ -value: -272.89)와 상대속도비율과의 양성적 관계(예: 12.2391,  $t$ -value=278.23)가 후기합류(SLM) 제어하의 값(예: -0.0351,  $t$ -value: -161.68과 0.9584,  $t$ -value=71.65)보다 크게 나타나고 있다.

- 주된 이유로서, 폐쇄차로에서는 대부분의 차로변경과 합류행위는 오픈차로보다 높은 상대속도비율 값을 가지고 나타나고 있다.

### 2) 통과 전의 차로변경행태 (BEFORE)

운전자가 해당 합류표지판을 통과하기 전에는 자유 교통류상태를 의미하며 대부분의 운전자들은 그들의 희망속도(desired speed)에 가까운 평균속도로 주행할 수 있다.

- 운전자들은 현 차로(current lane) 상에서의 평균속도와 상대속도비율이 차로변경이나 합류를 하고자 하는 차로(target lane)에서보다 작을 경우 기꺼이 차로변경을 시도한다.
- 높은 희망속도(desired speed)를 유지하기 위해서는 고속의 차량들은 상대적으로 낮은 앞차량들을 적극적으로 추월하고자 하는 경향을 보인다.
- 후기합류(SLM)의 경우, 양차로(오픈차로 및 폐쇄차로) 모두 비슷하게 차로변경확률과 평균속도 사이에는 음성적 관계(예: 오픈차로=0.01513, 폐쇄차로=0.1548)와 상대속도비율 사이에는 양성적 관계(예: 오픈차로=-6.5714, 폐쇄차로=-5.2545)가 나타나고 있다.
- 이러한 관계는 비강제(non-mandatory) 차로변경행태관련 기존 연구결과(예: Chang and Kao 1991, Kang and Chang 2006)와 비슷하다.
- 조기합류(SEM) 제어하에서는 평균속도가 차로변경행위에 미치는 영향(예: 오픈차로=0.0269,  $t$ -value=33.46, 폐쇄차로=0.0212,  $t$ -value=31.73)은 후기합류(SLM)에서보다 약하다(예: 오픈차로=0.1513,  $t$ -value=54.73, 폐쇄차로=0.1548,  $t$ -value=60.44).
- 주된 이유는, 폐쇄차로로의 조기합류의 영향이 정체상황에서는 상류부 끝단까지 미칠 수 있기 때문이다. 결과적으로, 폐쇄차로에서는 평균속도와 차로변경확률 사이에는 양성적 관계(예: 2.1838)가 존재한다.

## V. 결론 : 모형의 한계 및 의의

차로변경행태관련 모형연구 및 개발이 전무한 상태에서 특정 교통상황에 따른 차로변경행태 연구는 현실적으로 힘든 게 사실이다. 이에 대한 대체수단으로서 다양한 교통 분야에서 적절한 시뮬레이션 프로그램을 사용하고 있으나, 반영하고자 하는 특정 교통상황에 따른 미시적인 교통류 행태분석에는 사용한 사례가 드물다.

본 연구에서는 기존 시뮬레이션 프로그램의 교통자료를 이용한 차로변경행태를 살펴 보았다. 이를 위하여 실제 차로폐쇄를 유발하는 도로공사 시 시간대별 현장자료에 이용한 미시적인 보정단계를 걸친 시뮬레이션 네트워크를 설계하였다. 더불어, 도로공사 시 정체상황에서 기존 합류제어 전략(예: 조기 및 후기 합류 제어)에 따른 운전자의 차로변경행태를 교통 시뮬레이션상에서 반영하여 강제 차로변경행태 모형을 추정하였다.

4장에서 추정된 모형은 추후 특정 교통조건 하에 실제 교통상황과 차로변경행태간 상호관계규명을 위하여 신뢰성 있는 모형개발에 필요한 기초자료(preliminary results)에 해당함을 밝혀둔다. 따라서, 추정된 모형의 파라메타 값들은 상대적인 개념으로서 의미가 있는 것이지, 모형자체의 적용성을 논할 단계는 아니다.

마지막으로, 이러한 기초자료는 관련 ITS 기술(예: 이동식 가변정보표지판)을 적용하여 상류부에서 접근해 오는 운전자들에게 차로변경 및 합류관련 정보제공 및 위치설정을 적정하게 설계하는데 사용될 수 있다.

## 참조문헌

1. Beacher, A. G., Fontaine, M. D., and Garber, N. J. Field Evaluation of the Late Merge Work Zone Traffic Control, TRB 84<sup>th</sup> Annual Meeting, CD-ROM, 2005.
2. Beacher, A. G., Fontaine, M. D., and Garber, N. J. Guidelines for Using Late Merge Work Zone Traffic Control: Results of a Simulation-based Study, TRB 84<sup>th</sup> Annual Meeting, CD-ROM, 2005.
3. Chang, G. L. and Kang, K. P., *Evaluation of Intelligent Transportation System Deployments for Work Zone Operations*. Report MD-05-SP, Department of Civil Engineering, University of Maryland(UMCP), Sponsored by Maryland State Highway Administration, August 2005.
4. Chang, G. L. and Kao, Y. M. (1991), An Empirical Investigation of Macroscopic Lane-changing Characteristics on Uncongested Multilane Freeway. 1991, Transportation Research Part A, p375-389.
5. Federal Highway Administration (FHWA), *Part IV of Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)*, Revision 4, Department of Transportation. U.S. January 1995.
6. Kang, K. P. and Chang, G. L., Observations of Macroscopic Non-mandatory Lane-changing Behaviors on the Capital Beltway, presented in the 85<sup>th</sup> TRB Annual Meeting, 2006, Washington D.C. USA
7. McCoy, P. T., Pesti, G., and Byrd, P. S., ALTERNATIVE DRIVER INFORMATION TO ALLEVIATE WORK-ZONE RELATED DELAYS, Research Project SPR-PL-1(35)P513. Department of Civil Engineering College of Engineering and Technology, sponsored by Nebraska Department of Roads, February 1999.
8. McCoy, P. T. and Pesti, G. Dynamic Late Merge-Control Concept for Work Zones on Rural Interstate Highways, In Transportation Research Record 1745, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2001, pp. 20-26