



고속도로 상에서의 트럭교통 관리전략에 대한 영향 분석

Analysis of Truck Management Strategies Impacts on Highway

양 충 현* 손 영 태**
 Yang, Choong Heon Son, Young Tae

Abstract

The study analyzes likely impacts of left truck lane restriction strategies on urban freeways based on a traffic simulation model. This study contains two main parts. The first part is performed to develop feasible alternatives as well as provide insights into conditions under left truck lane restrictions would be effective based on the analysis of two representative hypothetical highways. Different levels of O-D demands and truck percentage is at least restrictions would work when maximum rate of flow is more than 1,300vphpl or truck percentage is at least over 10% of the total traffic. The second part of our study concerns a case study on a region with perhaps the highest truck volumes in the U.S. - a northbound section of Interstate 710 corridor in Los Angeles County, Southern California. The results show that restricting the two leftmost lanes under congested traffic with heavy truck use, provides the most positive impacts in terms of improving the flow of traffic and saving fuel. In addition, our study demonstrates that in general, the number of lanes restricted is a crucial factor in the success of this strategy.

Keywords : truck lane restriction strategies, paramics simulation model, performance measures

요 지

본 연구에서는 미시적 교통 시뮬레이션 모형을 이용하여 대표적인 트럭관리전략 중에 하나인 트럭차로이용제한 전략의 대안을 다양한 효과 척도를 통해 평가하였다. 본 연구에서는 먼저 트럭차로 이용제한 전략이 어떠한 교통 조건, 기하구조 조건에서 긍정적인 효과를 보일 지에 대한 이해를 제공한다. 이를 위해 다양한 수준의 교통수요와 트럭비율을 주요 영향 인자로 설정하여 시뮬레이션 분석을 시행하였다. 결과적으로 본 전략이 효과를 보이기 위해서는 최대 교통류율이 1,300대/시/차로 이상 이거나 트럭차량이 전체 교통량에서 차지하는 비율이 적어도 10% 이상 되어야 한다는 것이다. 이러한 결과를 바탕으로 미국에서 가장 트럭교통량이 많은 곳 중에 하나는 710 고속도로 북쪽 방향 23마일 구간에 대해 시행 가능한 트럭차로 이용제한 대안 별로 영향 분석을 시행하였다. 결과적으로, 트럭차량이 많이 포함되어 교통이 혼잡할 때에는 편도 4차로 중 왼쪽 2차로에 대한 트럭통행을 제한한 경우 교통 흐름이 향상되고 차량 당 평균 연료 소비량이 가장 적은 것으로 나타났다. 이를 통해, 트럭차량 통행 제한 차로수의 결정은 또한 이러한 전략의 성공에 중요한 역할을 하는 요소임을 증명하였다.

핵심어 : 트럭차로 이용제한 전략, 파라믹스 시뮬레이션 모형, 효과척도

* 비회원 · 명지대학교 산학 협력단 전임 연구원 · 공학박사 · 주저자
 ** 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 · 교신저자(E-mail : son@mju.ac.kr)



1. 서론

1.1 연구의 목적 및 범위

트럭교통은 두 가지 특성 즉, 운영적인 탄력성과 상대적으로 우수한 접근성으로 인해 화물 운송에 가장 자주 이용되는 교통수단이다. 그러나 도로상에 화물교통의 증가는 교통흐름, 안전, 대기 환경 등에 부정적인 영향을 미치는 경향이 있어 이미 오래 전부터 다음과 같은 다양한 트럭 관리전략들을 시행함으로써, 이러한 영향들을 줄이기 위한 노력이 많이 시행되어져 오고 있다(NCHRP, 2003).

- 시간대별 트럭차량 이용제한
- 트럭 주차 금지
- 트럭차로 이용제한
- Weigh-in-motion
- 트럭 오르막차로
- 트럭 전용차로
- 트럭 전용램프
- 통과차량 크기 및 무게에 따른 제한
- Electronic screening
- Intelligent warning device 등

이러한 전략 중 트럭차로 이용제한은 현장에서 상대적으로 저렴한 시행 비용과 시행의 용이성으로 인해 미국의 많은 주에서 시행되고 있다. 본 전략의 정의는 “트럭차량은 특정차로로만 주행이 가능한 반면, 다른 차량은 모든 차로를 자유롭게 주행할 수 있다”이다. 본 전략의 목적은 트럭교통과 다른 교통을 분리하기 위함이고, 이를 통해 안전 수준 향상과 교통류 흐름을 원활하게 해주는데 목적이 있다. 그러나 트럭차로 이용제한 전략 시행을 고려할 만한 교통조건과 전체 교통량에 트럭교통이 차지하는 비율에 대한 연구가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 첫째로 두 가지 형태의 가상적인 고속도로를 시뮬레이션 모형을 통해 구축하고 다양

한 교통조건과 트럭비율에 따른 효과를 통계 분석을 이용해 분석하였다. 두 번째로 이러한 결과를 바탕으로 실제 트럭교통량이 많은 지역에 대해 시행 가능한 트럭차로 이용제한 전략 대안에 따라, 대안 별 효과를 평가하였다. 본 연구에서는 미시적 시뮬레이션 모형인 PARAMICS를 주요 분석도구로 사용하였다.

1.2 관련문헌 고찰

트럭차로 이용제한 전략에 대한 이전 연구들은 주로 전략의 운영적인 측면과 교통안전 측면으로 국한되었다. 이러한 영향들도 매우 중요하지만 환경에 대한 영향이나 연료 사용과 같은 다른 영향들에 대한 연구가 미비함으로써, 이 전략에 대한 전반적인 효과 평가에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 세 가지 형태의 트럭차로 이용제한 전략이 미국 여러 주에서 현재 시행 중에 있다. 먼저 중앙차로제한(median lane)은 한 방향에 차로가 3개 이상 되는 구간중 중앙(가운데) 차로에 대해 트럭차량의 이용을 제한하는 방법이다. 이 밖에 왼쪽 차로(left lane)제한과 오른쪽 차로(right lane)제한은 차로가 3개 이상 되는 구간에 가장 왼쪽 혹은 가장 오른쪽 차로에 대해 트럭차량의 이용을 제한하는 방법이다. 현재까지 연구된 트럭차로 이용제한 전략의 편익은 다음과 같다 (Hoel and Peek, 1999; Gan and Jo 2003).

- 도로의 트럭차량에 대한 수용 용량을 늘림
- 평균 통행시간 감소
- 트럭운전자들의 높은 순응율(0%~10%)
- 승용차 운전자들이 느끼는 주행 시 안정감 상승

반면에, 오른쪽차로 제한방법은 분·합류 구간에서 안전상의 문제를 야기하고 트럭차량으로 인해 각종 표지판에 대한 승용차 운전자의 시야를 방해하는 단점이 있다(Mannering, 1990). 따라서 이 방법은 최근 들어 많이 시행되고 있지 않는 추세이다.



트럭차로 이용제한 전략에 대한 연구는 크게 두 가지 형태, Simulation 모형을 이용한 분석과 현장 자료를 이용한 분석으로 구분된다. 이 전략에 대한 실제적인 영향은 현장에서 관측할 수 있는 효과척도만을 사용하여 조사된다. 반면에, Simulation-based 연구는 여러 가지 다양한 효과척도들의 사용이 가능하다. 현재까지 진행된 주요 트럭차로 이용제한 전략에 대한 연구 결과는 다음 표 1과 같다. 다음 장에서는 두 개의 서로 다른 가상의 고속도로에 대해 다양한 교통조건과 트럭비율에 따른 교통류 요소의 변화를 분석하고 이를 바탕으로 이 전략이 효과를 거두기 위한 기본적인 교통 조건에 대한 기초 정보를 제공한다.

표 1. 기존 트럭차로 이용제한 연구

연구자	제한 종류	분석도구	효과 척도
Graber Gardiraju	(오른쪽) 트럭차로 속도제한	CORSIM	교통량, 속도, 차두시간
Hoel Peek	(오른쪽/왼쪽) 트럭차로	FRESIM	밀도 속도차이
Rakha et al	(왼쪽/중앙) 트럭차로	Integration	속도 통행시간 지체
Fontaine, et al	(왼쪽) 트럭차로	현장자료	사고자료 속도
Gan Jo	(왼쪽) 트럭차로	현장자료	평균속도 처리량 차선변경률
Cate Urbanik	(왼쪽) 트럭차로	VISSIM	속도 속도차이 차선변경률
Murgarul Mussa	(중앙) 왼쪽차로	SIMAN	통행시간 지체 차선변경률
Zavoina Urbanik	(왼쪽) 트럭차로	현장자료	속도 시간 gap

2. 실험적 연구

2.1 Paramics Simulation 모형

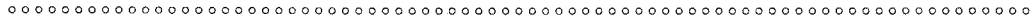
미시적 교통 시뮬레이션 모형은 교통공학과 계획 분야에서 중요한 역할을 담당해 왔다. 일반적으로 미시적 모형들은 개별 차량의 위치, 속도, 가속도, 그리고 시간 간격에 따른 상태 변수들을 갱신(update) 함으로서 개별 차량의 움직임을 상세하게 묘사한다. Paramics는 본 연구의 주요 분석 도구로 사용되었다. Paramics는 확률적인 모형으로써, 임의로 발생하는 난수에 따라 존(zone)에서의 차량 배출, 차량 형태 배분, 도착과 경로, 그리고 운전자 행태를 결정짓는다. 개별적인 simulation의 수행(run)은 모든 가정이 동일하더라도, 다소 다른 결과 값을 산출한다. 그러므로 simulation 결과는 수차례에 걸친 simulation 수행에 따른 결과 값들의 평균을 사용해야 한다. Paramics는 또한 기본적인 simulation module의 많은 특징들을 사용자가 원하는 대로 쉽게 설정을 변경하거나 추가할 수 있는 API(Application programming Interface) 기능을 포함하고 있다. API를 사용하기 위해 사용자가 직접 C나 C++ 언어를 사용하여 자신만의 source code를 만들고, 이를 API library를 통해 핵심 모형에 접근할 수 있다.

2.2 Simulation 시나리오 구성

본 연구를 위해 3가지 형태의 왼쪽차로 이용제한 대안을 다음과 같이 산정하였다.

- 대안 1 : 어떠한 전략도 시행하지 않음
- 대안 2 : 가장 왼쪽차로 1차로에 대해 트럭차량 이용제한
- 대안 3 : 가장 왼쪽차로 2차로에 대해 트럭차량 이용제한

약 5마일(8km) 구간의 편도 4차로와 5차로 고속도로 네트워크를 구축하였다. 이들은 각각 하나의 유출입 구간을 포함하고 있고, 그들 사이의 간격은 US-HCM(2001)에서 제시한 기준을 따른다. 그림



1은 구축된 가상적인 고속도로망 Case 1 과 Case 2 를 각각 보여준다. 두 고속도로는 유·출입 구간의 형태와 총 차로수에 있어서 차이가 있다.

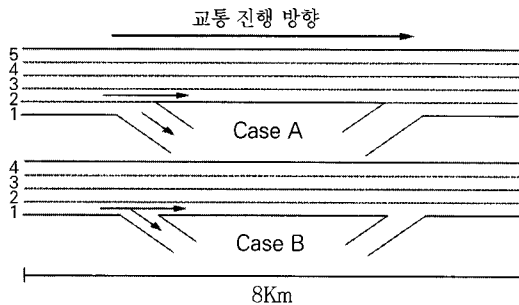


그림 1. Case 1과 2에 대한 Paramics 네트워크

본 연구를 위한 교통조건은 US-HCM (2001)에서 제시하고 있는 다차로 고속도로에 대한 서비스 수준을 사용하였고 (MSF: 1,000대/시/차로-2,000대/시/차로) 트럭차량의 비율은 5%~20%로 산정하였다.

유·출입 구간의 교통량은 낮은 교통량 수준인 500 승용차/시로 가정하였다. 이는 높은 교통량 수준, 약 1,000대/시 이상이 되는 경우 왼쪽차로이용 제한에 대한 편익이 감소한다는 연구결과를 따른 것이다. 또한 두 개 고속도로의 구배는 모두 4% 미만으로 가정하였다. 일반적으로 구배가 4% 이상이 되면 트럭차로 이용제한 전략보다는 트럭오르막차로 설치가 더 효과적이라는 연구 결과에 따른 것이다 (Hoel and Peek, 1999). 따라서 총 48개의 교통조건과 트럭비율의 조합을 분석하였다.

2.3 교통류 구성요소

세 가지 형태의 교통류 구성요소가 교통류의 특성을 표현하기 위해 정의되었다. Paramics API를 통해 이들 구성요소에 대한 결과값이 측정되었다.

2.3.1 평균속도(마일/시)

고속도로 전체의 평균속도는 운영적 편익에 대한 척도로 사용될 수 있다. 이를 구하기 위해 본 연구

에서는 C 언어를 통한 code를 만들고 이를 Paramics 핵심 모형에 plug-in 하였다. 이를 통해 네트워크 상의 각 링크를 주행한 모든 차량에 대한 평균속도를 산출하였다. 대안에 따른 평균속도의 변화는 트럭차로 이용제한 전략이 교통흐름 효율성 향상 측면에서 긍정적인 영향을 미치는가에 대한 조사에 사용된다.

2.3.2 평균 차로 변경 횟수(빈도/대)

평균 차로 변경 횟수는 교통류의 일관성을 결정하는데 사용된다. Paramics는 “Measurements Manager”를 제공하고 있고, 이를 통해 각 링크에 대한 거리 당 총 차로 변경 횟수 결과를 산출할 수 있다. 이 결과를 바탕으로 설정된 시뮬레이션 시간 동안 네트워크상의 총 simulated된 차량으로 나누고 거기에 총 네트워크 길이를 곱하면 차량 당 평균 차로 변경 횟수가 산출된다. 이전 연구에서 차로 변경 횟수가 증가할수록 차량 간 추돌사고의 위험 또한 증가한다는 것을 증명하였다(Rakha.et al, 2005).

2.3.3 처리량(대/시)

본 연구에서 사용된 처리량의 정의는 설정된 1시간 시뮬레이션 시간동안에 전체 네트워크를 통행한 총 차량수이다. 트럭차로 이용제한 하에서의 처리량의 향상은 트럭 주행이 제한된 차로의 여유 용량에 다른 차량들이 채워졌기 때문이다. 이것 또한 전략에 대한 중요한 운영적 편익으로 고려할 수 있다. 실제로 Gan and Jo(2003)는 편도 3차로 중 한 차로에 대해 트럭통행을 제한 한 경우와 4 또는 5차로 중 하나 또는 두 차로에 대해 트럭통행을 제한 한 경우는 트럭제한이 없는 경우와 비교해서 전체 처리량이 25%까지 증가하는 것을 증명하였다.

2.4 시뮬레이션 수행

사용자는 새로운 차량 형태를 정의하고 입력할 수



있다. “Vehicle type manager function”은 차량의 물리적 속성, kinematics, 전체교통량에서 차지하는 비율 등을 정의할 수 있는 기능을 포함하고 있다.

본 연구에서는 트럭차량은 California legal trucks legislation에서 제시한 기준을 사용하였다. 반면에 일반 승용차량은 Paramics 안에 내재되어 있는 default 형태를 사용하였다.

표 2. 트럭차량 정보

트럭차량	무게 (ton)	길이(ft)	높이(ft)
설정	36.29	65	14

참고문헌 : Caltrans 2005

Paramics는 트럭차로 이용제한에 대한 위반율을 모형화하지 못하기 때문에 위반율 0%로 가정하였다. 총 시뮬레이션 시간은 80분이고 이 중 처음 20분은 warm-up 시간으로 설정되어 각 효과척도에 대한 통계적 계산은 최종 60분 동안의 시뮬레이션 결과를 통해 수행되었다. 서로 다른 seed(30회)를 통해 얻은 값들의 평균값이 사용되었다.

2.5 통계 분석

설정된 대안들이 통계적으로 중요한 차이가 있는가를 분석하기 위해 본 연구에서는 통계분석 방법으로 분산분석을 사용하였다. 정의된 가설은 다음과 같다.

H_0 : 최대 교통류율과 트럭 비율에 상관없이 대안별 교통류 구성요소의 평균값은 동일하다.

모든 통계 분석은 유의수준 5%에서 수행되었고, SPSS 통계 분석 도구를 사용하였다.

표 3에서 평균속도와 관련한 모든 p-값들은 가설을 수락하지 않는다. 이것은 대안들 간에 평균 속도에 있어서 분명한 차이가 있음을 의미한다. 차로변경 횟수의 경우 최대교통류율(MSF)이 2,000대/시/차

표 3. Case 1에 대한 p-값 결과

MSF	트럭 비율					
	5%			10%		
	평균 속도	차로 변경	처리량	평균 속도	차로 변경	처리량
1,000	0.028	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
1,300	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.748
1,600	0.000	0.000	0.350	0.000	0.001	0.074
2,000	0.002	0.219	0.070	0.000	0.153	0.019
MSF	트럭 비율					
	15%			20%		
	평균 속도	차로 변경	처리량	평균 속도	차로 변경	처리량
1,000	0.001	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
1,300	0.000	0.000	0.414	0.000	0.000	0.028
1,600	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.021
2,000	0.001	0.000	0.008	0.000	0.001	0.015

로일 때 트럭 비율이 5% 그리고 10%일 때를 제외하고는 모두 가설을 수락하지 않는다. 처리량은 최대 교통류율이 1,300대/시/차로 이고 20%의 트럭비율이 있을 때 대안 별로 차이가 있음을 나타낸다. 굵게 표현된 p-값이 모든 교통류 구성요소가 동시에 변하기 쉬운 조건임을 나타낸다.

표 4는 Case 2에 대한 세 가지 교통류 구성요소의 p-값들을 나타낸다.

대안별 평균속도는 Case 1과 마찬가지로 동일한 가설에 대해 차이가 있음을 나타낸다. 굵게 표현된 부분은 마찬가지로 주어진 교통조건과 트럭비율 하에서 동시에 변하기 쉬운 조건을 나타낸다. Case 2는 Case 1과 다소 다른 결과를 보여준다.

통계분석결과를 바탕으로 본 연구에서는 왼쪽차로 이용제한 전략은 최대교통류율이 1,300대/시/차로 이상 이거나 트럭교통이 적어도 전체교통량에 10% 이상을 차지할 때 긍정적인 효과가 있을 것으로 판단하였다. 이러한 판단을 바탕으로 이와 비슷한 교통조건과 트럭비율을 가진 실제 교통축을 대상으로 다양한 효과를 시뮬레이션을 통해 분석하였다.



표 4. Case 2에 대한 p-값 결과

MSF	트럭 비율					
	5%			10%		
	평균 속도	차로 변경	처리량	평균 속도	차로 변경	처리량
1,000	0.000	0.001	1.000	0.000	0.000	1.000
1,300	0.000	0.519	1.000	0.000	0.000	0.963
1,600	0.000	0.000	0.961	0.000	0.000	0.007
2,000	0.000	0.003	0.247	0.000	0.000	0.004
MSF	트럭 비율					
	15%			20%		
	평균 속도	차로 변경	처리량	평균 속도	차로 변경	처리량
1,000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
1,300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1,600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2,000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

3. Case Study

분석 대상은 미국 남가주 LA 카운티에 위치한 710번 고속도로이다. 이는 미국 최대 항구인 LA와 Long Beach로부터 LA 도심지역까지 연결하는 주요 고속도로 교통축으로써, 도시부를 통과한다. 이 고속도로의 구배는 0~1%로 분포되어 있다.

3.1 교통자료

실제 교통자료는 PeMS¹⁾에서 제공하는 교통자료를 사용하였다. 다음은 PeMS에서 제공하는 time of day에 해당하는 교통량 자료이다.

트럭차량의 경우 일반 승용차와는 다른 첨두시를 가지고 있다. 본 연구에서는 트럭차량의 첨두시간대로 알려진 Mid-day²⁾ 시간대에 대해 트럭차로이용제한의 효과를 분석하였다. 실제로 710 고속도로에서

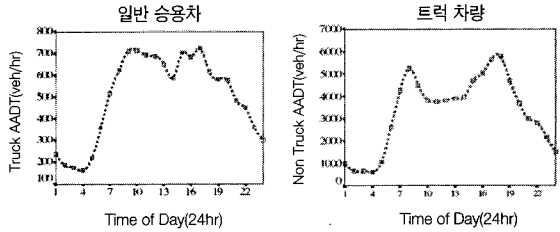


그림 2. 승용차와 트럭의 AADT

이 시간대의 트럭교통 비율은 하루 중 가장 높은 13%가 전체 교통에 차지하고 있었고, 대략 973~1950대/시/차로의 교통조건을 가지고 있다. 본 연구에서 사용된 교통자료의 타당성을 입증하기 위해 Mid-day에 대해 동일한 기간 동안에 트럭 count를 조사하였다.

3.2 시뮬레이션

710번 고속도로에 대한 교통 수요를 산출하기 위해 본 연구에서는 대표적인 planning 모형인 TransCAD를 사용하였다. Paramics 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 710번 고속도로만의 교통수요가 필요하고, 이러한 자료는 어디에도 존재하지 않기 때문에 교통 수요 추출 작업이 필요하다. 710 교통 수요 자료는 Southern California Association Government(SCAG)에서 제공한 2000년 O/D 자료를 근거로 하였다.

3.2.1 모형 정산 (Calibration)

모형의 정교성과 시뮬레이션 결과의 정확성은 모형 정산(calibration)과 밀접한 관련이 있다. 모형 정산의 기본적인 목적은 모형 수행에 필요한 여러 가지 계수(parameter)들을 조정하여 교통 성능 특성과 도로망의 운전자 운전 형태의 보정을 통해 전반적인 모형 수행 능력을 향상시키는 것이다. 모형 정산은 모형 수행에 필요한 모든 입력 자료와 네트워크 구축이 검토된 후에 수행된다. 모형 정산은 어떠한

1) Freeway Performance Measurement System (PATH 제공)

2) 승용차 첨두시가 끝난 바로 다음 시간대 (오전 10:00~12:00)

모형도 모든 가능한 교통 상태에 대해 동일하게 묘사하고 그 결과에 있어서도 정확하다고 기대할 수 없기 때문에 필요하다.

본 연구에서는 모형 정산 동안에, SCAG에서 제공한 2000년도 교통수요와 PeMS에서 참조한 2005년 실제 교통자료를 바탕으로 710번 고속도로에 대한 교통수요를 2005년의 교통수요로 갱신 (update) 하였다. 시뮬레이션을 통해 나온 결과값과 현장에서 관측된 값을 비교함으로써 교통량 수준을 갱신할 때 쓰이는 Paramics estimator가 사용되었다. 교통수요 갱신은 GEH 통계치를 근거로 수행된다. GEH 통계치는 두 개의 다른 교통량 집합을 비교할 때 사용되고, 이 값이 5 이하인 경우 두 교통량 집합은 일치한다고 고려할 수 있다. 본 연구에서는 5 이하인 GEH 통계치가 전체 88%를 차지하였다. 이는 2000년 교통수요가 2005년 수준으로 갱신되었음을 의미한다. 그림 3은 일반적인 미시적 시뮬레이션 정산절차를 나타낸다.

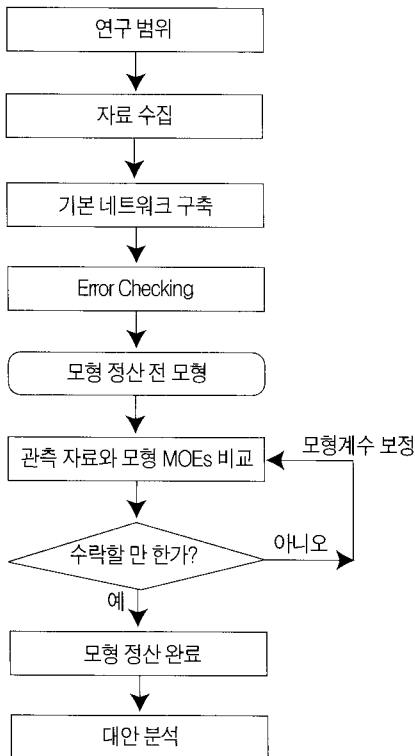


그림 3. 미시적 교통 시뮬레이션 모형 정산

3.2.2 시뮬레이션 수행 (Simulation run)

실험적 분석에서와 마찬가지로 서로 다른 seed 30개를 이용하여 30회 시뮬레이션을 실시하였다. 총 시뮬레이션 시간은 80분이고, 이중 처음 20분은 warm-up 시간으로 설정하였다. 따라서 최종 60분만이 효과적도 통계분석에 사용되었다. 다음 그림 4는 시뮬레이션을 통해 나온 교통량과 실제 관측된 교통량 사이의 비교를 나타내었다.

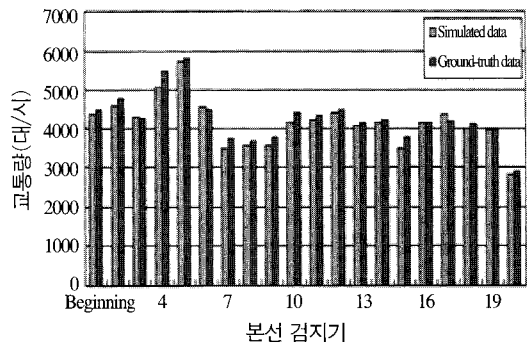


그림 4. 실제교통자료와 simulated 자료의 비교

본 연구에서는 트럭차로 이용제한 전략의 효과를 평가하기 위해 교통 혼잡, 안전, 대기환경 관점에서 총 15개의 효과적도를 정의하였다. 710 고속도로에 대해 사용된 이 전략의 대안은 실험적 분석에서 정의했던 것과 동일하다.

- 대안 1 : 어떠한 전략도 시행하지 않음
- 대안 2 : 가장 왼쪽차로 1차로에 대해 트럭차량 이용제한
- 대안 3 : 가장 왼쪽차로 2차로에 대해 트럭차량 이용제한

3.2.3 시뮬레이션 수행 결과

시뮬레이션 수행을 위해 본 연구에서는 자체 개발된 혹은 널리 사용 중인 API를 plug-in 하였다. 아래 표 5는 시뮬레이션 수행에 따른 효과적도 값들을 대안별로 나타낸다.



표 5. 효과적도에 대한 시뮬레이션 결과

효과적도	대안 1	대안 2	대안 3
평균 지체(분/대)	11.88	11.79	11.55
평균 통행률(분/마일)	1.36	1.36	1.31
평균 통행시간(분)	34.59	34.54	33.43
평균 지체율(분/마일)	49.9	46.5	44.2
평균차로변경횟수 (번/대)	9.78	11.08	11.60
차로별 평균 속도차이 (마일/시)	10.89	13.31	13.35
CO	171.93	172.13	171.59
CO ₂	1369.3	1354.1	1353.1
NOX	6.37	6.40	6.39
HC	4.40	4.39	4.38
연료소비량	521.51	513.90	510.36
통행시간 window(분)	34.59 ± 0.74	34.54 ± 0.71	33.436 ± 0.55
백분율 변동치 (%)	2.06	2.14	1.70
트럭통행시간(분)	40.84	43.50	45.49
처리량(대/시)	17,694	17,709	17,810

NCHRP (1997)에서는 고속도로, 간선도로 등을 포함한 교통 시스템에 대한 다양한 교통 혼잡척도를 제시하였다. 그 중 본 연구에서 사용된 혼잡척도는 총 4가지이다. 이들은 각기 비슷한 특성을 가지고 있지만, 초점에 있어서는 차이가 있다.

먼저 평균 통행시간(average travel time)은 교통 혼잡에 대한 경제적 비용을 평가하는데 유용하게 사용된다. 평균 통행율(average travel rate)은 특정 도로 구간이나 차량 통행에 대한 이동률을 나타낸다. 비록 이것은 혼잡척도로써 널리 쓰이지는 않지만 통행속도보다는 통행자에 의한 통행계획에 더욱 알맞다고 알려져 있다. 평균 지체율(average delay rate)은 혼잡상태에서의 차량의 시간 손실율을 나타내고 이것은 대안 별로 혼잡 완화 정도에 대한 우선 순위를 결정할 때 유용하다.

위의 표에서 보면 대안 2와 3은 대안 1과 비교했을 때 교통 혼잡 완화에 긍정적인 영향을 제공한다. 특히 대안 3은 혼잡 완화에 가장 긍정적인 영향을 미

치는 것으로 나타난다. 대안 3이 적용되었을 경우 대안 1에 비해 평균 지체(3%), 평균통행률(4%), 평균 통행시간(4%), 평균지체율(11%)에 있어서 감소를 보이고 있다.

안전 측면 평가를 위해 본 연구에서는 평균차로변경횟수와 차로별 평균 속도차이를 효과 척도로 사용하였다. 전자의 경우 차량 추돌 사고의 잠재성을 예측할 수 있는 좋은 척도이고, 후자는 차량 간 상호 작용의 관점에서 안전위험 심각성의 정도를 표현할 수 있다. 대안 1에서의 평균차로변경횟수가 가장 낮은 것으로 나타났다. 대안 3에서 이 척도는 대안 1과 2에 비해, 각각 18.6%와 5% 정도 증가하였다. 대안 3에서 트럭통행이 제한되지 않는 차로에 더 많은 트럭차량군(Platoon)이 형성되고, 이러한 차량군은 일반적으로 낮은 속도로 주행하기 때문에 다른 차량들의 차로변경을 야기하는 경향이 있다. 또한 고속도로 유입부를 통해 본선으로 진입하는 승용차들은 적어도 2번 이상의 차로변경을 통해 트럭통행이 제한된 차로로 들어가려는 경향이 있어, 이들 차량들의 차로 변경횟수가 증가하는 경향이 있다. 차로별 평균 속도 차이의 경우도 대안 1이 다른 대안들에 비해 더 낮게 산출되었다. 이것은 일반 승용차에 대한 평균속도가 약간 증가하는 반면, 트럭차량의 경우는 통행이 제한된 차로수가 증가함에 따라 평균속도도 감소하는 경향을 보였다.

트럭차로 이용제한 시행에 따른 대기 환경 영향을 분석하기 위해 본 연구에서는 캘리포니아 주립대학교 리버사이드 연구팀이 개발한 Comprehensive Modal Emission Model(CMEM)을 주요 분석도구로 사용하였다. 본 모형은 Paramics와 호환가능하며, 가장 중요한 특징으로는 트럭차량의 대기배출량을 미시적 관점에서 측정할 수 있다는 점이다. 차량의 연료소비량을 포함한 총 5가지 연료 배출물에 대한 결과를 산출하였다. 각 배출율(emission rate)은 총 배출량을 설정된 시뮬레이션 시간동안에 전체 네트워크를 움직인 총 차량 수로 나누어 구한다. 표 5에서와 같이 CO₂는 배출량의 관점에서 주요 요소이

다. 대안 3은 CO와 연료소비량에 있어서, 가장 높은 감소 효과를 보이고 있다.

통행시간 신뢰성의 향상은 경제적인 측면과 밀접한 관련이 있다. 실제로 통행시간 신뢰성은 특정 구간에 대해 수일에 걸쳐 현장에서 직접 측정해야 알 수 있다. 그러나 본 연구는 하나의 단일 교통수요를 이용한 시뮬레이션으로 대안을 평가하였기 때문에 다른 접근법을 사용하였다. 대부분의 확률적 교통 시뮬레이션 모형에 포함되어 있는 Random number simulator 혹은 seed라고 불리는 차량 배출 보정 요소(factor)를 통해 운전자의 운전 형태의 타당한 범위를 묘사 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 통행시간 신뢰성은 운전자의 형태 변화에 의해 야기되는 교통류의 시간당 혹은 일당 변동을 묘사하는 것으로 제한되었다. 통행시간 신뢰성에 대한 공통적인 척도가 없기 때문에 본 연구에서는 통행시간 window와 %변동을 이용하여 대안별 통행시간 신뢰성을 평가하였다. Texas Transportation Institute(2003)는 위의 두 가지 척도를 개발하였다. 전자는 통행시간의 표준편차에 “±”의 형태로 표현되고 이것은 통행시간이 대안별로 얼마나 차이가 나는지에 대한 명확한 묘사가 가능하다. 대안 1에서의 통행시간은 33.86분~35.54분으로 분포되어 있고, 그 차이는 대략 1.48분이다. 반면에 대안 2에서는 상대적으로 일정하다. % 변동은 분산계수와 비슷한 형태를 가진 통계척도이다.

평균트럭통행시간은 일반적으로 트럭산업에 대한 생산성을 측정하는 척도로 알려져 있다. 이 척도는 트럭회사의 교통비용과 직접적으로 연관이 있다. 대안 1은 가장 낮은 평균트럭통행시간 결과를 가진다. 대안 1에서의 평균트럭통행시간은 대안 2와 3에 비해 대략 각각 6.5%와 11.63% 감소하였다. 이는 앞서 말한 바와 같이 트럭통행이 제한된 차로수가 증가함에 따라 트럭차량에 대한 평균속도 또한 감소하는 것과 관련이 있다.

처리량은 대안 2와 3의 경우 운영적 편의으로써 대안 1에 비해 다소 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 결론

이전의 많은 연구에서 트럭차로이용제한 전략 시행에 따른 효과를 평가하였으나, 대부분의 경우 운영적 측면과 안전측면 평가로 국한되어 온 것이 사실이다. 이러한 것들은 매우 중요하지만 다른 측면들에 대한 고려가 없기 때문에 이 전략에 대한 전반적인 영향 평가는 거의 없는 실정이다. 본 연구는 다양한 효과척도들을 바탕으로 이러한 영향들을 정량화하였다.

요약하면 실험적 연구에서는 3가지 트럭차로 이용제한 방법 중 왼쪽차로 이용제한 전략의 시행으로 발생할 수 있는 긍정적인 효과를 거두기 위한 조건, 즉, 최대교통류율이 1,300대/시/차로 이상이거나 전체 교통량 중에 차지하는 비율이 10% 이상과 같은 교통 기준을 제공하였고, 이를 바탕으로 실제 네트워킹에 실제 교통수요를 통해 이 전략과 시행 가능한 대안들에 대한 다양한 분석을 시행하였다. 그 결과, 본 지점에서는 왼쪽차로에 대한 트럭이용제한 전략은 교통류의 흐름을 향상시키고, 차량 전체의 연료 소비량 절감에 효과가 있다는 것을 알아냈다. 그러나 기대했던 전략 시행으로 인한 안전 향상에 대한 긍정적인 효과는 나타나지 않았다. 이는 710 고속도로의 기하구조 특성으로부터 기인한 것으로 판단된다. 이 고속도로는 본선 구간과 연결된 유출입 구간의 간격이 상대적으로 짧아 기본적으로 차량들의 차로 변경이 잦은 구간이다. 앞서 연구(Garber and Gardiraju 1990)의 결과와 마찬가지로 유출입 구간이 많은 도시부 고속도로에서는 트럭차로제한이 특히 유출입 구간 부근에서 안전하지 않은 상태를 발생시킬 수 있음을 의미한다.

향후 과제으로써, 트럭차로 이용제한에 대한 도로 파손 효과에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

Cate and Urbanik II. Another view of Truck Lane



- Restriction. *Transportation Research Record* No.1867, 2004, pp.19~24.
- CMEM user's Guide: *The Comprehensive Modal Emissions Model*. Version 3.0 University of California, Riverside, 2006.
- Fontaine, Michael D; Torrance, Kristen. *Evaluation of Truck Lane Restrictions in Virginia*. VTRC 07-CR11, 2007.
- Gan, A and S, Jo. Operational Performance Models for Freeway Truck-Lane Restrictions. *Florida International University*, 2003.
- Garber, N.J., and R. Gadiraju. Effects of Truck Strategies on Traffic Flow and Safety on Multilane Highways. *Transportation Research Record No.1256*, 1990, pp.49~54.
- Hoel, L.A and J.L. Peek. A Simulation Analysis of Traffic Flow Elements for Restricted Lanes on Interstate Highway in Virginia. *Virginia Department of Transportation*, 1999.
- Rakha, H., Flintsch, A M., K, Ahn. Evaluating Alternative Truck Management Strategies along Interstate 81. *Transportation Research Record No.1925*, 2005, pp.76-86.
- Legal Truck Size and Weight. *California Department of Transportation*.
- Mannering, F.L., J.L. Koehne, and J. Arauto. Truck Restriction Evaluations: *The Puget Sound Experience*. University of Washington, 1993.
- Mugarula and Mussa. Evaluation of Truck Operating Characteristics on a Rural Interstates Freeway with Median Lane Truck Restriction. *Transportation Research Record No.1856*, 2003, pp. 54~61.
- NCHRP. Qunatifying Congestion Volume 1 Final Report, *TRB* 1997.
- NCHRP. Strategies for Managing Increasing Truck Traffic, *Transportation Research Board* 2003.
- Texas Transportation Institute, *Selecting Travel Reliability Measures*, 2003.
- TRB. *Highway Capacity Manual 2001*.
- Truck Data on 2006 year. *California Department of Transportation*.
- Zavoina, Urbanik II and Hinshaw. Operational Evaluation of Truck Restrictions on I-20 in Texas. *Transportation Research Record No.1320*, 1991, pp.24~31.

접 수 일: 2009. 3. 4
심 사 일: 2009. 3. 13
심사완료일: 2009. 4. 27