

도로공사로 인한 차선폐쇄시 교통류 특성에 관한 研究

Analysis of Traffic flow on the Lane Closure due to Road Construction

오주삼, 고동석
(중앙대 대학원, 중앙대 대학원)

목차

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| I. 서론 | III. 사례분석 |
| 1.1 연구의 배경 | 3.1 관측자료 |
| 1.2 연구의 목적 | 3.2 공사에 따른 밀도의 변화 |
| 1.3 연구의 내용 및 수행과정 | 3.3 공사에 따른 속도의 변동 |
| II. 차선변경 모형의 구축 | 3.4 통행시간의 산정 |
| 2.1 개요 | IV. 결론 |
| 2.2 관측자료 | |
| 2.3 공사구간이 없는 경우의 차선변경 | |
| 2.4 공사구간에서의 차선변경 | |

ABSTRACT

도로공사로 인해 차선의 일부가 폐쇄된 경우에 이용하는 차선에 따라서 운전자의 통행 패턴은 달라진다. 공사구간이 없는 경우 운전자의 차선변경은 제한적이거나 각 차선의 밀도에 의해서 좌우되는 것으로 나타났다. 또한 차선폐쇄지점 전방에서는 차선변경할 확률은 폐쇄 지점까지의 남은 거리에 따라서 음지수함수를 따르는 것으로 확인되었다. 또한 논문에서 공사구간에서의 차선변경행태와 교통량, 밀도, 속도를 산정하였으며, 공사로 인한 차선별 지체 시간을 산정하였다.

I. 서론

1.1 연구의 배경

우리나라의 경우 새로운 도로의 신설, 노후된 도로에 대한 보수 및 확장 등의 이유로 빈번하게 전면공사 혹은 부분공사를 시행하게 되고 따라서 공사하는 구간에서는 도로의 용량의 감소를 비롯한 여러 가지 문제를 야기하고 있다. 대표적인 문제로는 통행지체, 교통사고 유발, 환경문제 등이며 일반적으로 도로에서 발생하는 지체는 반복적 지체와 교통사고, 도로공사로 인한 비반복적 정체로 나눌 수 있으며 이들의 비율은 Lindley(1986, 1987, 198

9)1)의 연구에 의하면 발생하는 정체는 전체의 60%를 차지한다고 조사된 사례가 있으면 국내의 올림픽 대로의 경우 약 69%를 차지하는 것으로 조사되었다.

특히, 도로공사로 인한 정체는 도로의 일부구간이 폐쇄됨으로써 용량감소가 발생된다. 이러한 용량감소는 도로의 종류, 공사의 종류, 어느 차선이 폐쇄되는냐에 따라서 서로 상이하다. 폐쇄차선의 종류에 따른 용량감소는 편도 2차선으로 운영되는 도로가 편도 1차선으로 운영되는 경우 FHWA 연구²⁾에 의하면 전체용량의 65%까지 감소하고, 편도 3차선으로 운영되는 경우는 3차선이 폐쇄되는 경우 1차선의 용량감소는 51%, 2차선의 용량감소는 83%까지 감소하는 것으로 조사되었다. 이러한 비율에서도 알수 있듯이 공사나, 사고로 인한 용량 감소는 매우 크다.

그리고 도로공사로 인한 또 다른 심각한 문제점으로 사고율의 증가를 들 수 있다. Ceder³⁾의 연구에 따르면 공사로 인한 사고율의 경우 교통시설물 관련 공사시 50%증가, 재포장시 33%, 패칭시 8%, 포장확장시 3%가 증가하는 것으로 조사되었다.

따라서 도로공사로 인한 이러한 제반 문제를 완화시키기 위해서는 무엇보다 도로공사로 인한 영향을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 그리고 도로공사로 인한 차량통행에 미치는 영향은 거시적 측면에서 볼 때 교통량, 밀도, 속도로 나타나며, 미시적 측면에서 보면 가속, 감속, 차선변경 등으로 나타난다.

도로의 일부구간 공사로 인한 영향에 대한 연구는 연속류, 단속류에 관하여 미시적 혹은 거시적인 연구가 이루어지고 있으며, 외국의 경우 공사로 인한 용량제약, 속도의 감소, 교통사고 등에 관한 연구가 비교적 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

1.2 연구의 목적

여러 가지 지체요소 중에서 특히 도로의 유지보수 및 기타 이유로 발생하는 정체를 대상으로 한다. 모형을 통해서 다음과 같은 사항에 대하여 분석하고자 한다.

- 교통량에 따른 통행패턴의 변화
- 공사구간에서의 밀도 및 속도의 변동
- 폐쇄지점까지의 남은 거리에 따른 차선변경확률의 산정
- 공사에 따른 통행시간의 변화

1.3 연구내용 및 수행과정

공사가 구간의 영향을 평가하기 위해서는 공사가 없는 구간에서의 교통특성분석을 위해서 기존의 거시모형을 활용하여 도로의 일정구간별 교통량, 속도, 밀도를 구했다. 또한 공사 구간에서의 폐쇄구간전방에서의 차선변경행위에 대한 분석을 위해서 차선변경 모형을 구축하였다. 관측데이터의 경우 편도 2차선 도로인 중부고속도로에 대하여 공사 없는 경우와 공사가 있는 경우에 대하여 조사를 실시하였다. 이러한 조사에 모형의 입력자료와 모형치와의 비교를 위한 조사지점 2곳에 대하여 각각 교통량, 밀도, 속도자료를 구하였다. 특히 구간별 교통특성분석을 위해서 거시모형을 적용하기 위해서 필요한 데이터를 수집했으며 차선변

1. Randolph W. Hall, Non-Recurrent Congestion: How Big Is The Problem ? Are Traveler Information Systems The Solution?, Transpn. Res.-C, Vol. 1, No. 1, pp 89-103, 1993.
2. FHWA, Traffic Control Systems Handbook, p4-18, 1996.
3. A. Ceder, Traffic Behavior During Lane Closure Periods of a Two-Lane Road, Transportation and Traffic Theory, C. F. Daganzo Editor, p554, 1993.

경 모형의 경우, 현장 데이터를 활용해서 파라메타를 추정하였다.

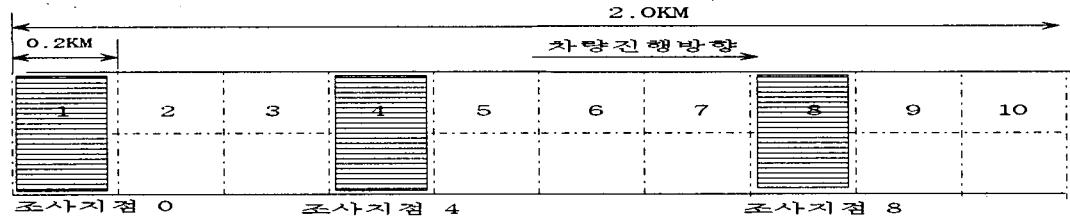
II. 차선변경 모형의 구축

2.1 관측자료

공사가 없는 경우 편도 2차선도로에 대한 조사는 기본적인 교통정보인 교통량, 차두시간, 간격, 속도, 밀도에 대하여 현장을 비디오 촬영하여 분석하였다. 비디오 촬영장소는 중부고속도로 하행선 하남기점 74km지점을 조사지점의 기준으로 하였다

<표 2-1> 조사시간 및 조사위치

구분	조사위치
정상흐름	중부고속도로 하행선 하남기점 74km지점
공사구간	중부고속도로 하행선 하남기점 82.5-85.8km구간에서 실시하는 포장보수 공사



<그림 2-1> 공사가 없는 경우의 조사지점

조사는 조사지점 0(기점-200m), 조사지점 4(기점으로부터 600-800m), 조사지점 8(기점으로부터 1,400-1,600)에 대하여 각각 200m구간을 비디오로 촬영하여 속도, 밀도, 교통량을 구하였다. 관측자료에 대한 정리는 1분단위로 하였으면 각각 시간, km 단위로 환산하였다. 조사지점 0에서 추출한 자료는 거시모형의 입력자료로 사용하며, 조사지점 4와 조사지점 8에서 구한 자료는 모형의 검증에 활용하였다. 각각의 조사지점에 대한 밀도, 속도, 교통량은 <표 2-2>에서 보는 바와 같다.

<표 2-2> 공사가 없는 경우의 각 조사지점의 교통량

구분	평균밀도(대/km)			평균속도(km/hr)			교통량(대/시간)		
	지점 0	지점 4	지점 8	지점 0	지점 4	지점 8	지점 0	지점 4	지점 8
1차선	11.8	12.6	12.8	92.3	90.5	95.1	834	853	927
2차선	9.4	10.0	8.5	84.1	89.6	86.0	638	695	655

주) 대: pcphpl를 의미

2.3 공사구간이 없는 경우의 차선변경

정상적으로 운영되는 경우에 있어서 각 차선의 차선변경은 인접차선과 자신이 이용하는 차선의 밀도의 상호관계에 의해서 결정된다고 보았다. 정상 운영되는 도로에서의 차선변경 모형을 설정하기 위해서 서로 인접하는 차선의 밀도를 각각 독립변수로 차선변경량을 종속 변수로 선정한다. 조사지점 0, 4, 8에서 일어나는 차선변경을 5분단위로 200m구간에서 조사

하였다. 5분 단위 총 3시간 분량의 36개의 데이터 그룹에 대하여 차선변경량과 밀도를 이용하여 아래의 <표 2-4>와 같은 결론을 얻었다..

<표 2-4> 차선별 밀도에 따른 차선변경식

구 분	회 귀 식	R^2
1차선→2차선	$LC_{12} = 8.63DEN_1 + 2.06DEN_2 - 60.64$	0.85
2차선→1차선	$LC_{21} = 2.96DEN_1 + 10.04DEN_2 - 73.50$	0.83

주: LC_{ij} : i차선에서 j차선으로 차선변경하는 양(대/시간 · km)

2.4 공사구간에서의 차선변경

편도 2차선으로 운영되는 도로에서 차선의 일정구간이 폐쇄된 경우 전방이 폐쇄된 도로를 이용하는 운전자의 경우는 폐쇄지점 도달 이전에 차선변경을 하여야 한다. 이러한 현상을 진입로로 진입한 차량은 가속구간이 끝나기 전에 본선으로 진입하는 경우와 유사하다. 가속구간에 본선으로의 진입 유무를 결정짓는 인자로는 본선의 본선의 차량과 가속구간의 차량의 시간간격(Gap), 진입각도, 본선의 속도, 가속차선이 끝나는 지점까지 남은 거리 등이다.⁴⁾ 기하조건에 기초하여 폐쇄된 차선이 우선적으로 배제될 확률(P)는 차량의 현재 위치와 차선이 폐쇄되는 지점 사이의 거리에 의해서 결정된다. 이는 진입로에서 차량의 진입 확률은 우선배제할 확률(P) 값은 운전자가 차선이 폐쇄된 지점에서는 “1”값을 갖고 반면, 폐쇄지점에서 충분히 멀리 떨어져 있는 경우에는 “0”을 갖는다. 그리고 폐쇄된 지점에 가까울 수록 확률이 증가한다고 가정한다. 이러한 현상에 부합하는 함수로는 남은 거리에 직선식, 2차식, 음지수함수에 대하여 적합도를 비교하여 결정한다.

데이터의 수집을 위해서 폐쇄지점 전방 500m구간에 50m단위로 10개의 구간으로 나누고 각각의 차량이 차선변경하는 위치를 계수하였다. 폐쇄된 차선으로 진입한 1,091대의 차량이 차선변경하는 위치를 계수하였다. 누적빈도를 활용하여 공사구간에서 남은 거리에 따른 차선변경확률의 산정해보면 <표 2-5>에서 보는바와 같다.

<표 2-5> 남은 거리에 따른 차선변경확률

차선변경 구간(m)	빈 도	누적빈도	확 률
500 - 450	218	218	0.20
450 - 400	83	301	0.28
400 - 350	62	363	0.33
350 - 300	108	471	0.43
300 - 250	48	519	0.48
250 - 200	29	548	0.50
200 - 150	48	596	0.55
150 - 100	24	620	0.57
100 - 50	21	676	0.62
50 이하	415	1,091	1.00

4. Kazi I. Ahmed, Moshe E. Ben-Akiva, Haris N. Koutsopoulos, Rabi G. Mishalani, Models of Freeway Lane Changing and Gap Acceptance Behavior, 13th Symposium on Transportation & Traffic Theory, 1996.

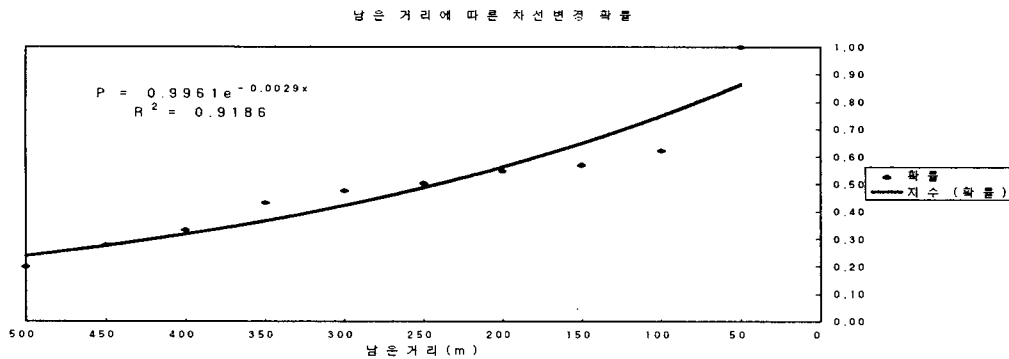
위와 같은 자료를 이용하여 직선식으로 추정했을때는 설명력(R²)은 0.85로 분석되었다. 직선식으로 추정했을때, 폐쇄지점에 가까에서는 오차가 심함을 알 수 있다. 위와 같은 자료를 이용하여 남은거리에 대한 2차식으로 추정했을때는 설명력(R²)은 0.87이고, 폐쇄지점 부근의 오차는 다소 큰 값이 발생된다.

<표 2-6> 차선변경확률의 비교

구 분	수 식	R ²
직 선 식	$P = 0.067x + 0.1228$	0.85
2 차 식	$P = 0.0047x^2 + 0.0159x + 0.2265$	0.88
음지수식	$P = 0.99e^{-0.0029x}$	0.92

주) x: 도로폐쇄지점까지 남은 거리

남은거리에 대한 음지수함수로 추정했을때는 설명력(R²)은 0.91로 오차가 가장 작게 발생되면 자료의 특성을 반영하고 있다. 즉, 남은 거리가 작을수록 차선변경할 확률은 큰 값을 갖는다.



<그림 2-4> 남은거리(x)에 대한 음지수 함수식 추정

이들 자료를 활용하여 최적의 관계식을 도출하면 아래의 (식 2-3)와 같음을 알 수있다.

$$P = 0.99e^{(-0.0029x)} \quad (R^2 = 0.92) \quad (\text{식 2-2})$$

여기서 X는 차선폐쇄지점까지의 거리(m단위)

이러한 결과는 편도 2차선으로 운영되는 고속도로의 1차선을 점유하는 이동또는 단기공사장에 대한 교통통제 방법으로 제안된 결과⁵⁾와 일치하는 결과를 보인다.

III. 사례분석

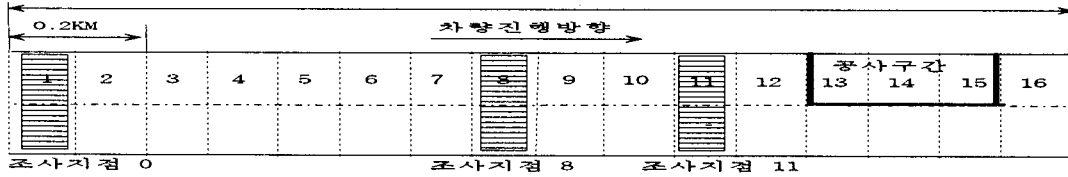
3.1 관측자료

공사구간에 대한 조사는 검지기를 통한 자료를 이용하는게 보통이나 본 연구에서는 비디오 촬영하고 이를 재생되는 화상을 통하여 구하였다. 자료의 분석은 편의상 1분 단위로 교통량, 속도, 밀도를 구하여 1시간 단위로 환산하였다. 공사구간의 위치는 중부고속도로 하행

5) 건설교통부, 도로 공사장 교통관리지침, P 189, 1996.4

선 하남 기점 82.5-85.8km로 공사구간의 길이는 300m이며 모형을 위한 단위구간의 길이는 100m로 설정하였으며 전체는 16개구간으로 공사내용은 포장보수공사이다.

또한 공사로 인한 차선이 폐쇄되는 구간은 13번째 구간이다. 조사지점 0의 시간대별 교통량, 속도, 밀도자료는 모형의 입력 값으로 이용하였으며 조사지점 8(700-800m), 조사지점 11(1,000-1,100)의 자료는 모형과 관측치의 비교하는데 이용하였다.



<그림 3-1> 공사구간의 개략도

각 조사지점별로 밀도, 속도, 교통량에 대한 자료는 <표 3-1>에서 보는 바와 같다. 사고의 영향이 비교적 미치지 않는 조사지점 0의 경우 교통상태가 양호한 것을 알 수 있다.

<표 3-1> 지점별 밀도, 교통량, 속도 자료

구분	조사지점 0			조사지점 8			조사지점 11		
	평균밀도	평균속도	교통량	평균밀도	평균속도	교통량	평균밀도	평균속도	교통량
1차선	17.6	77.6	1,068	25.9	48.9	1,091	18.0	53.4	508
2차선	15.8	72.5	687	32.5	42.5	544	50.8	28.3	964

3.2 공사에 따른 밀도의 변화

각 조사지점에 따른 오차는 조사지점 8의 경우가 작은 것으로 분석되었다. 차선별 비교에서는 2차선 보다 1차선의 경우가 오차가 작게 발생된다.

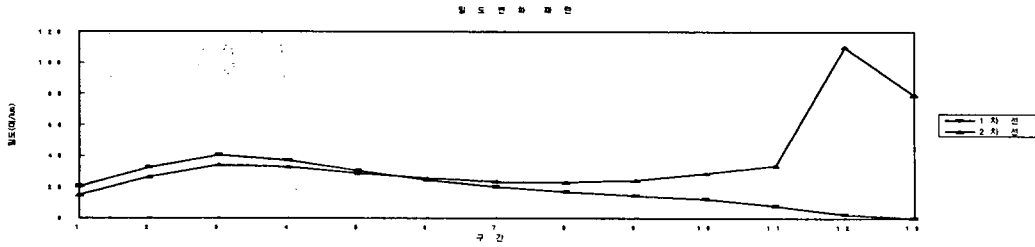
<표 3-2> 조사지점의 밀도오차

구분	조사지점 8				조사지점 11			
	관측치	모형치	MAPE	MADE	관측치	모형치	MAPE	MADE
1차선	25.9	27.18	14.88	3.89	18.0	14.85	17.50	2.70
2차선	32.5	36.07	20.72	4.63	58.8	62.71	23.22	5.11

주: MAPE: Mean Absolute Percentage Error로 $MAPE = \frac{\sum_{i=0}^N 100 \cdot |\text{관측치} - \text{모형치}| / \text{관측치}}{N}$

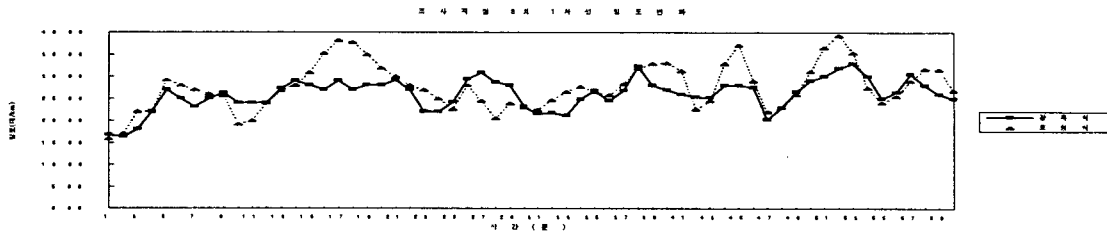
MADE: Mean Absolute Difference Error로 $MADE = \frac{\sum_{i=0}^N |\text{관측치} - \text{모형치}|}{N}$

밀도의 변화패턴에서는 구간의 전반부의 차선별 밀도 차는 유입되는 차선 밀도 차에 의해서 발생된 것이며 공사구간에 가까워질수록 전방이 폐쇄된 차선보다는 그렇지 않은 차선의 밀도가 급격히 증가함을 할 수 있다. 공사구간 400m 전방에서부터 2차선의 밀도가 증가함을 알 수 있다.



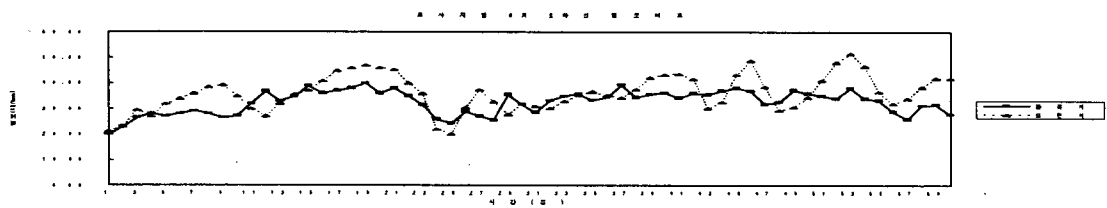
<그림 3-2> 각 구간별 밀도변화 패턴

조사지점 8의 1차선 밀도 오차백분율은 14.88 %로 비교적 근사한 결과를 나타내는 것으로 조사되었다.



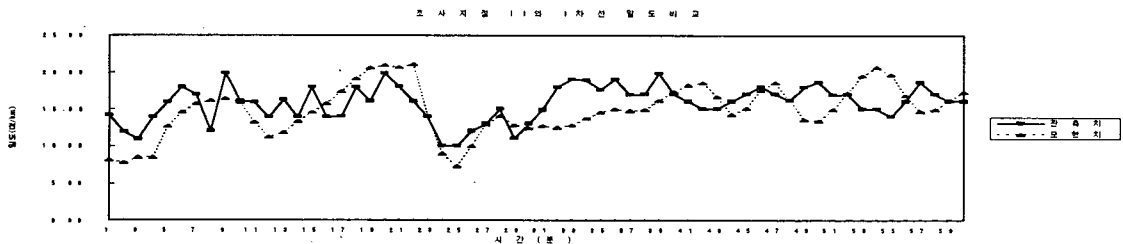
<그림 3-3> 조사지점 8의 1차선에서의 밀도변화

조사지점 8의 2차선의 오차백분율은 20.72 %로 다소 높게 나타났으나 증·감추세는 관측치를 반영하고 있다고 판단된다.



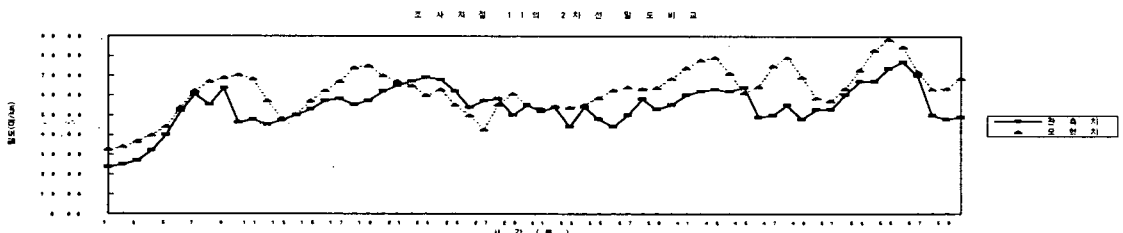
<그림 3-4> 조사지점 8의 2차선에서의 밀도변화

조사지점 11의 1차선의 경우 오차백분율은 17.50 %로 분석되었다. 25분대를 제외하고는 변화폭이 비교적 적다.



<그림 3-5> 조사지점 11의 1차선에서의 밀도변화

조사지점 11의 2차선 밀도의 경우 감, 감소 성향은 따라가나 오차는 1차선보다 큰 값을 보인다.



<그림 3-6> 조사지점 11의 2차선에서의 밀도변화

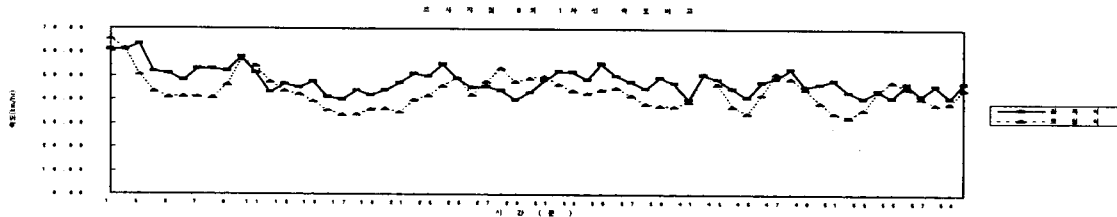
3.3 공사에 따른 속도의 변동

속도의 오차도 밀도오차와 동일하게 조사지점 8의 경우는 비교적 관측치와 유사하나 조사지점 11의 경우는 다소 높게 나타났다.

<표 3-3> 조사지점의 속도오차(단위: km/hr)

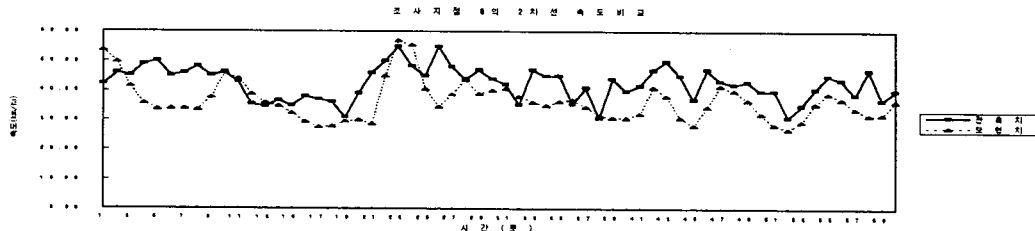
구 분	조사지점 8				조사지점 11			
	관측치	모형치	MAPE	MADE	관측치	모형치	MAPE	MADE
1차선	47.9	45.65	14.72	12.72	53.4	66.79	25.52	10.45
2차선	42.5	37.52	17.92	14.92	28.3	24.75	19.25	6.60

구간별 속도 변화패턴을 보면 전방이 폐쇄된 1차선의 경우가 높게 나타나며 이는 밀도가 2차선보다 낮음에 기인한 결과이다. 2차선의 속도는 공사구간에 접근할수록 급격히 감소함을 알 수 있다. 이러한 패턴은 공사구간 전방 500m부터 나타내고 있다. 조사지점 8의 1차선의 속도변화 특징으로는 증·감의 성향은 비슷한 양상을 보이며 오차백분율 14.72%로 비교적 양호한 결과이다.



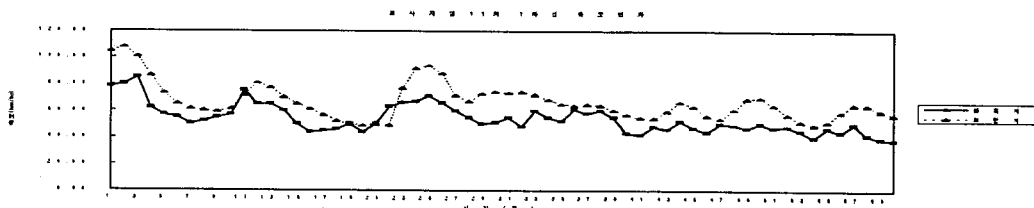
<그림 3-7> 조사지점 8의 1차선에서의 속도변화

조사지점 8의 2차선의 경우 1차선보다 오차백분율 17.92 % 로 분석되었다. 1, 2차선의 전반부에서 유사한 패턴을 보이는 것은 차선의 밀도가 증가패턴을 보이는 것은 분석되었다.



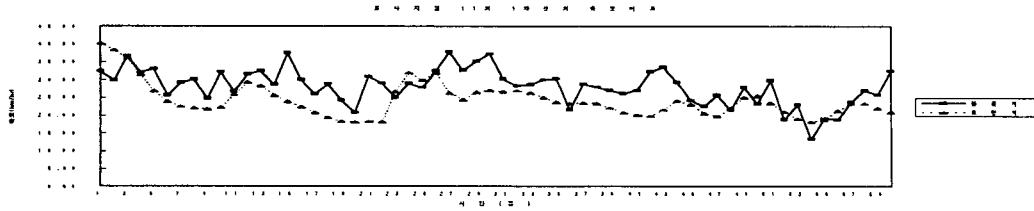
<그림 3-8> 조사지점 8의 2차선에서의 속도변화

조사지점 11의 1차선의 경우 오차백분율 25.52 % 로 분석되었으며 모형의 밀도가 관측치 보다는 다소 높게 나타났다.



<그림 3-9> 조사지점 11의 1차선에서의 속도변화

11지점의 경우 오차백분율은 19.25 %로 전반적으로 관측 값보다는 작은 값을 보인다.



<그림 3-10> 조사지점 11의 2차선에서의 속도변화

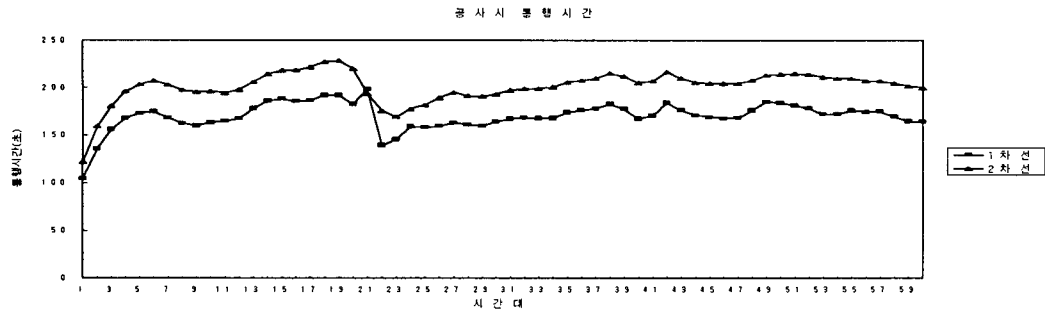
3.4 통행시간의 산정

통행시간은 정체가 없는 경우보다는 정체가 있는 경우에 더욱 민감한 사항이다. 따라서 유고나 공사구간로 인한 영향 가운데서 지체시간은 중요한 측도가 된다. 지체시간은 공사가 없을 시 평균통행시간을 구하고 또한 공사시 통행시간을 구하여 비교하였다. 통행시간은 각 구간의 속도로 해당 구간의 거리(100m)를 나눈 값이다. 평균통행시간을 살펴보면 1차선의 경우 주행속도 76.8km/hr일때 75초에서 170초로 2.26배가 증가하고 2차선의 공사가 없는 경우 주행속도 71.1km/hr일 때 81초가 소요되나 공사가 있는 경우는 201초로 2.41배 증가하는 것으로 분석되었다.

<표 3-4> 평균통행시간의 변화

구 분	공사없을시 평균통행시간(초)	공사시 평균통행시간(초)
1차선	75	170
2차선	81	201

시간대별 1.6km구간을 주행하는데 소요되는 시간을 도식화하면 <그림 3-12>에서 같다. 공사구간이 있는 경우 1차선을 이용하는 경우가 평균통행시간의 경우는 118%정도 적으나, 총지체 시간 비교에서는 125% 많이 소요되는 것을 분석되었다. 이는 전방차선이 폐쇄되었음에도 불과하고 1차선을 이용하는 교통량이 많음에 기인한다.



<그림 3-15> 시간대별 통행시간의 변화

IV. 결론

본 연구에서 구축한 모형과 같은 차선변경 행태를 예측능력을 갖는 모형을 통하여 폐쇄 지점에 도착하기전에 차선변경에 대한 정보를 제공함으로써 고속도로의 정체를 완화, 교통사고의 감소, 소통의 증진과 같은 잇점이 있다. 그리고 연구에서 도출된 결과를 요약하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 차선변경에 있어서 공사구간이 없는 경우와 있는 경우 대하여 차선변경 모형을 도출하였다. 공사구간이 없는 경우를 보면 회귀분석을 통하여 아래와 같은 식을 구했다. 밀도를 통한 선형모형의 활용에는 보다 많은 데이터를 이용한 검정이 필요하다.

둘째, 공사구간이 있는 경우에 있어서 차선변경은 여러 가지 대안의 모형가운데서 가장 설명력이 좋은 경우는 공사로 인한 폐쇄지점까지의 남은 거리(L)에 대한 음이항 분포함수임을 알수 있었다.

셋째, 공사구간에서의 차량의 움직임에 대한 패턴은 시간과 거리에 따라서 공사구간을 기준으로 전방으로 혹은 후방으로 충격파가 전파되어나감을 알수 있었다.

넷째, 또한 평균통행시간을 살펴보면 1차선의 경우 75초에서 170초로 2.26배가 증가하고 2차선의 공사가 없는 경우 81초가 소요되나 공사가 있는 경우는 201초로 2.41배 증가하는 것으로 분석되었다. 시간대별 1.6km구간을 주행하는데 소요되는 시간을 도식화하였으며, 1차선을 이용하는 경우가 평균통행시간의 경우는 118% 적으나, 총지체 시간 비교에서는 125% 많이 소요되는 것을 분석되었다.

차선변경모형을 결합한 거시모형을 통하여 공사로 인한 차선폐쇄구간이 있는 도로에서의 운전자 행태분석에 대하여 기존 모형보다는 좀더 현실에 가까운 분석을 하였다.

향후 연구과제로는 운전자에게 실시간 교통정보 제공했을 때 어느 정도의 효과를 나타낼 것인가에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 또한 도로를 관리하는 측면에서는 모형을 통하여 공사시행 계획 전에 시뮬레이션을 통하여 다음과 같은 사전계획의 수립이 가능할 것이다.

< 참 고 문 헌 >

1. 이용재, 교통 및 도로공학(교통편), p53, 1995.
2. 이용재, 오주삼, 실시간 교통감시 시스템을 위한 통행시간 예측모형의 개발, 대한토목학회 학술대회, 1996.
3. 이용재, 임성만, 연속교통류 해석을 위한 시뮬레이션 모형의 개발에 관한 연구, 대한토목학회 학술대회, 1996.
4. 서울시, 도로공사장 교통관리규정 해설, 1995.
5. 건설교통부, 도로공사장 교통관리지침, 1996.
6. 서울시, 도도공사장 교통관리규정 해설, 1995.
7. Sreenivasulu R. Kanipakapatnam, Andrzej P. Tarko. Extensions of The Higher-Order Continuum Model for Freeways with Discontinuous Lanes. Transportation Research Board 76th Annual Meeting January 12-16, 1997.
8. David R. Martinelli and Danqing Xu, Delay Estimation and Optimal Length for Four-Lane Divided Freeway Workzones, Journal of Transportation Engineering, Vol.122, No.2 March/April, 1996.
9. Young Tae Son, Michael J. Cassidy and Samer M. Modanat, Evaluation Steady-State Assumption for Highway Queuing System, Journal of Transportation Engineering , Vol. 121, No 2, March/April, 1995.
10. Sreenivasulu R. Kanipakapatnam and Andrzej P. Tarko, Extensions of the Higher-Order Continuum Model for Freeways with Discontinuous Lanes, TRB 76nd Annual Meeting January 12-16, 1997.