

# 고속도로 돌발상황으로 인한 교통영향 산정 모형 개발

## Development of Prediction Models for Traffic Impact Caused by Freeway Incidents

김민석

(경기대학교, 석사과정)

권상순

(경기대학교, 석사과정)

신치현

(경기대학교, 교수)

### 목 차

#### I. 서론

##### 1. 연구배경 및 목적

##### 2. 연구범위 및 방법

#### II. 선행 연구 고찰 및 문제 제기

#### III. Microscopic Simulation 분석

##### 1. 시뮬레이션 주요 입력변수

#### 2. 시뮬레이션 결과

#### IV. 교통영향 산정 모형 개발

##### 1. 수요변화가 없는 경우

##### 2. 수요변화가 10% 감소하는 경우

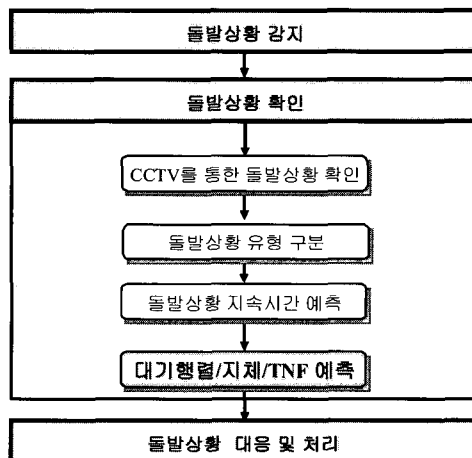
#### V. 결론 및 향후 연구과제

#### 참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

돌발상황이란 비반복 혼잡의 유발원인으로 도로의 용량을 일시적으로 크게 감소시키는 돌출적인 사건을 의미하며, 고속도로에서의 혼잡 중 약 60% 이상이 돌발상황에 의해 유발되고 있는 실정이다. 이에 외국을 비롯 서울시와 한국도로공사는 교통관리센터에서 돌발상황에 효과적으로 대처하기 위해 <그림 1>과 유사한 돌발상황 관리체계를 구축하여 운영하고 있다.



<그림 1> 돌발상황 관리체계 수행 흐름도

효율적인 돌발상황 관리체계 구현을 위해 국내외에서 돌발상황 자동감지알고리즘의 성능개선과 돌발상황

지속시간 예측에 대한 연구가 수행되어 왔다. 하지만 이는 감지와 처리방안에 중점을 둔 것으로 정작 TMC 운영자가 VMS를 통해 정보를 제공하는 범위라던가 교통류 현장제어의 운영범위를 결정하기 위해 필요한, TNF (Time to Normal Flow), 총 지체, 특히 대기행렬길이등과 같은 후속교통영향에 대한 산정(예측)에 관한 연구는 상대적으로 미미한 실정이었다.

이상과 같은 문제로 현재 해당 TMC 운영자들이 돌발상황 대응에 많은 시행착오를 거듭하고 있다. 이어 본 연구는 TMC 운영자가 돌발상황 발생시 시공간적 차원에서 예상되는 교통영향을 즉각 파악하고 속히 대응할 수 있도록 돕는 주요 운영상황 지표인 대기행렬길이, 총 지체, TNF 등을 신속하고 용이하게 산정할 수 있는 교통영향 산정모형을 개발하고자 한다.

### 2. 연구범위 및 방법

본 연구는 고속도로 돌발상황을 대상으로 하며, 돌발상황 유형과 지속시간, 상류 유입 교통량 등 다양한 조건(독립변수) 하에서 시뮬레이션 결과로 얻어진 대기행렬길이, TNF, 총 지체 등을 예측하는 다중회귀 모형을 개발한다.

## II. 선행 연구 고찰 및 문제제기

### 1. 선행 연구 고찰

지금까지 연구된 돌발상황으로 인한 교통영향 산정

은 Deterministic Queuing Diagram을 이용한 방법과 회귀모형을 이용한 방법으로 크게 구분할 수 있다.

Morales(1986)가 결정론적 Queuing Diagram을 이용하여 총 지체 및 TNF를 산정하는 방법을 제시한 바 있으며, Garib(1997)는 미국 I-880 고속도로에서 수집된 자료를 이용하여 지체산정을 위한 아래와 같이 2개의 회귀모형을 제시한 바 있다.

$$\text{Model 1) } = -4.26 + 9.71X_1X_2 + 0.5X_1X_3 + 0.003X_2X_4 + 0.0006X_3$$

$$\text{Model 2) } = -0.288 + 3.8X_1X_2 + 0.51X_1X_3 + 0.6X_3 + 0.356X_2^3$$

X1 : 폐쇄 차로수

X2 : 돌발상황에 연루된 차량수

X3 : 돌발상황 지속시간(min)

X4 : 돌발상황 발생 이전 15분간의 상류 교통량

또한 천승훈(2001)이 CA(Cellular Automata)모형을 기반으로 한 시뮬레이션을 통해 돌발상황에 의한 구간통행시간의 변화와 지체시간의 변화를 산출하고자 하였다.

## 2. 문제제기

Queuing Diagram과 같은 결정론적 교통류 이론의 적용은 현상을 너무 단순화하여 비현실적 결과도출이나 오류를 생산할 가능성이 높으며 지체산정은 주로 이용자의 관점에서 그 중요성이 높다.

따라서 정작 TMC 운영자에게 필요한 공간개념의 지표나 관련 보조지표는 현실모사 능력이 높은 미시적 인 시뮬레이션을 통해 도출되어 운영자가 즉각적으로 쉽게 교통영향산정에 임할 수 있도록 모형의 구축이 이루어져야 한다.

## III. Microscopic Simulation 분석

모형의 개발을 위해 TSIS(FRESIM)를 이용하여 대기행렬 및 총 지체, TNF를 도출하였다.

### 1. 시뮬레이션 주요 입력변수 구성

1) 차로 폐쇄 유형

편도 2, 3, 4차로의 고속도로를 대상으로 발생 가능한 돌발상황을 9가지의 차로폐쇄 유형으로 구분하여

시뮬레이션 하였으며, 폐쇄 차로 수가 같은 경우라도 통행가능 차로의 분리여부에 따라 교통류에 미치는 영향이 상이할 수 있으므로 이를 구분하였다.

2) 검지기 설치

대기행렬길이와 TNF의 보다 정밀한 산정을 위해서는 검지기 간격이 좁을 필요가 있으나 SW상에서 제한하는 검지기 수 때문에 전체 차로에 500m 간격으로 검지기를 설치하였다.

3) 돌발상황 지속시간

수도권 고속도로 전체 사고 중 약 80%가 지속시간이 60분미만(신치현, 2001)으로 나타나 시뮬레이션 분석에 사용한 돌발상황 지속시간은 10분, 20분, 30분, 45분, 60분 등 총 5개의 지속시간으로 분류하여 분석을 수행하였다.

4) 상류 교통수요

같은 돌발상황일지라도 상류교통수요에 따라 그 후속 교통영향이 상이하므로 상류 교통량이 차로당 1200vph 인 경우와 1400vph, 1600vph, 1800vph인 경우를 구분하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 상류 교통수요의 변화가 없는 경우와 VMS 및 미디어를 통한 정보 획득을 통해 차량이 우회하는 경우를 감안 수요가 10% 감소하는 경우도 동시에 시뮬레이션 하였다.

다만 돌발상황 발생으로 인해 용량이 감소할지라도 상류 유입교통량이 여유용량에 비해 상대적으로 작은 경우는 교통류에 미치는 영향이 작을 것으로 판단하여 분석에서 제외하였다.

## 2. 시뮬레이션 결과

1) 대기행렬 길이 도출

대기행렬길이는 500m 간격으로 설치된 검지기의 자료를 이용, 링크의 통행속도가 현저히 낮은 구간까지 대기행렬이 전개된 것으로 보았으며, 이를 통해 최대 대기행렬 길이를 도출하였다.

$$\text{대기행렬길이(km)} = \text{저속차량 검지 지점수} \times \text{검지기 설치간격(500m)}$$

2) TNF 도출

TNF는 1분 단위의 검지기별 자료를 이용하여 모든 개별링크의 평균속도가 88km/h 이상이 되면 지체가 해소된 시점으로 간주하였는데, 이는 돌발상황이 종료되어 대기행렬이 해소되는 시점에서의 최하류 링크의 속도가 높게 나타날 수 있기 때문이다.

TNF(min) = 링크의 속도 측정치가 88km/h 이상 일 때의 시각 - 돌발상황 발생시각

### 3) 총 지체 도출

총 지체는 돌발상황 발생에서부터 종료할 때까지의 돌발상황으로 발생하게 되는 순수한 지체를 의미한다.

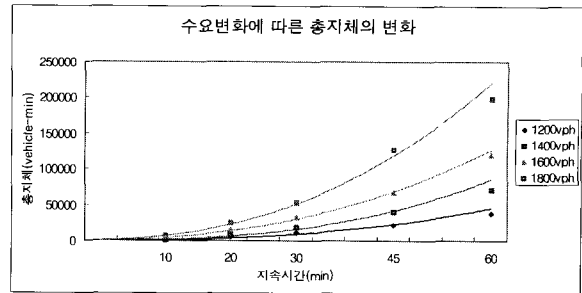
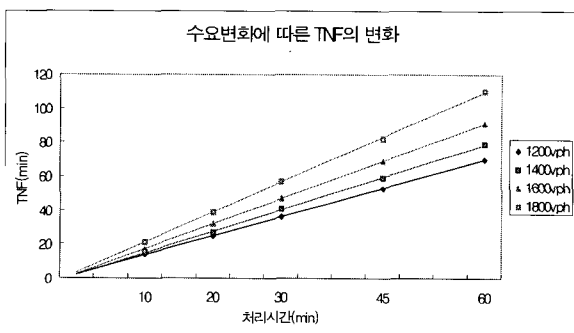
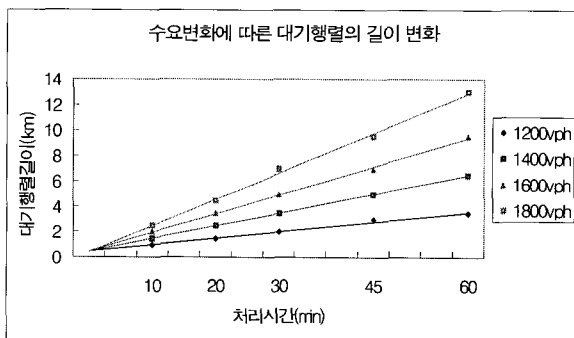
총지체(veh-min) = 돌발상황 발생시의 총 지체 - 돌발상황이 발생하지 않은 경우의 총 지체

### 4) 결과 도출

시뮬레이션 결과 중 돌발상황으로 인해 4차로 고속도로에서 2개 차로가 폐쇄된 경우의 시뮬레이션 결과는 다음의 <표 1>과 같이 제시하였다.

<표 1> 시뮬레이션 결과

교통 수요		돌발상황 지속시간				
		10분	20분	30분	45분	60분
1200 (vphpl)	대기행렬	1.0	1.5	2.0	3.0	3.5
	TNF	14	25	36	53	70
	총지체	732	5180	10681	22084	37368
1400 (vphpl)	대기행렬	1.5	2.5	3.5	5.0	6.5
	TNF	15	27	41	59	79
	총지체	1139	8322	18422	40178	70987
1600 (vphpl)	대기행렬	2	3.5	5.0	7.0	9.5
	TNF	17	32	47	69	91
	총지체	3792	14639	32540	66788	119611
1800 (vphpl)	대기행렬	2.5	4.5	7.0	9.5	13.0
	TNF	21	39	57	82	110
	총지체	6262	24573	53263	126881	198270



## IV. 교통영향 산정모형 개발

교통영향 산정모형의 독립변수로 차로폐쇄 규모, 돌발상황 지속시간, 상류교통수요, 통행가능 차로의 분리 여부에 따른 더미변수 등을 사용하였으며 다중회귀 분석을 수행하였다.

### 1. 수요변화가 없는 경우

돌발상황 발생지점 상류에서 유입되는 차량들이 사고 상황 정보를 얻지 못하였거나, 대안도로가 없어 우회가 불가능하여 수요변화가 없는 경우의 모형으로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{대기행렬} &= -7.62 + 0.64X_1 - 1.05X_2 + 0.15X_3 \\ &\quad + 9.06X_4 + 0.76X_5 \\ \text{TNF} &= -41.11 + 3.46X_1 - 4.66X_2 + 1.53X_3 \\ &\quad + 48.40X_4 + 3.76X_5 \\ \text{총 지체} &= 64286.83 + 18.69X_6 - 71372.6X_2 \\ &\quad + 10.80X_3^2 + 14924.16X_5 \\ &\quad + 0.008408X_6X_3^2 \end{aligned}$$

$X_1$ : (상류 전체교통량÷100)<sup>2</sup>

$X_2$ : 통행가능 차로수

$X_3$ : 돌발상황 지속시간(min)

$X_4$ : 차로 폐쇄율

$X_5$ : 더미변수

- 통행가능 차로가 분산되어 있는 경우 1

- 통행가능 차로가 분산되어 있지 않으면 0

$X_6$ : (상류 차로교통량÷100)<sup>2</sup> × e<sup>(상류 차로교통량÷100)</sup>

각각의 종속변수와 각종 변수들과의 상관분석결과 P값이 0.1미만으로 신뢰수준 90%에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

<표 2> 통계적 분산분석표

구분		제곱합 (SS)	자유도 (df)	평균제곱 (MS)	F값
대기행렬	회귀결과	1801.388	5	360.278	172.332
	잔차	301.047	144	2.091	
TNF	회귀결과	129995.9	5	25999.188	528.390
	잔차	7085.452	144	49.205	
총지체	회귀결과	6.1E+11	5	1.2E+11	83.083
	잔차	2.1E+11	144	1.5E+09	

대기행렬과 TNF의 경우 85% 이상의 높은 설명력을 보이고 있으나, 총 지체의 경우 이들보다 낮은 74%의 설명력을 갖고 있다.

## 2. 수요가 10% 감소하는 경우

돌발상황 발생지점의 상류에서 유입되는 차량들이 VMS, 미디어 등을 통해 돌발상황 정보를 제공받아 상류차량의 10%가 돌발상황 발생지점을 통과하지 않고 우회하였을 때의 상황을 고려 다음과 같은 모형을 제시하였다.

$$\begin{aligned} \text{대기행렬} &= -7.94 + 0.75X_1 - 0.79X_2 + 0.11X_3 \\ &\quad + 10.18X_4 + 0.68X_5 \\ \text{TNF} &= -30.75 + 3.27X_1 - 3.72X_2 + 1.35X_3 \\ &\quad + 39.75X_4 + 2.31X_5 \\ \text{총 지체} &= 50721.55 + 18.12X_6 - 56160.9X_2 \\ &\quad + 8.66X_3^2 + 10366.33X_5 \\ &\quad + 0.007107X_6X_3^2 \end{aligned}$$

$$X_1 : ((\text{상류 전체교통량} \times 0.9) \div 100)^2$$

$$X_6 : ((\text{상류}$$

$$\text{차로교통량} \times 0.9) \div 100)^2 \times e^{((\text{상류차로교통량} \times 0.9) \div 100)}$$

그 외 변수는 수요변화가 없는 경우의 모형과 동일

〈표 3〉 통계적 분산분석표

구	분	제곱합 (SS)	자유도 (df)	평균제곱 (MS)	F값
대기행렬 R <sup>2</sup> =0.816	회귀결과	1227.116	5	245.423	127.841
	잔차	276.444	144	1.920	
TNF R <sup>2</sup> =0.957	회귀결과	98350.858	5	19670.172	648.032
	잔차	4370.935	144	30.354	
총지체 R <sup>2</sup> =0.709	회귀결과	3.4E+11	5	6.7E+10	70.109
	잔차	1.4E+11	144	9.6E+08	

수요변화가 없는 모형에 비하여 대기행렬과 총 지체의 설명력은 떨어지고 있으나 TNF의 경우는 오히려 설명력이 높게 나타나고 있다.

## V. 결론 및 향후 과제

본 연구를 통해 개발된 교통영향 산정 모형은 다음과 같은 장점을 갖고 있다. 첫째, 기존에 제시된 결정

론적 방법을 통한 TNF, 총 지체의 계산과 달리 Microscopic Simulator인 TSIS를 사용하여 개발하였기 때문에 모형을 통한 결과의 정교성이 높다는 점과, 둘째로 기존 모형들에 비해 변수의 수나 계산 또는 산정 소요시간이 짧아 TMC에서 사용하기에 편리하다. 셋째, TNF와 총 지체뿐만 아니라 대기행렬의 예측이 가능하여 정보제공범위와 교통류 제어시스템 운영범위 결정하는데 적절히 참조할 수 있으며 이에 신속한 대응을 강구할 수 있게 된다.

본 연구에서 제안한 모형들은 사용한 TSIS S/W의 한계로 500m 단위로 검지기를 설치하여 도출된 대기행렬 및 TNF를 기반으로 개발되었으나, 예측 정확도를 높이기 위해서 상황에 따라 부분적으로 검지기 설치 간격을 줄임으로써 모형의 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단하며, 현장 실사 및 관측을 통한 비교분석이 뒤따라야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 신치현, 고속도로 돌발상황 지속시간 예측모형 개발, 대한교통학회, 2001
2. 천승훈, CA(Cellular Automata) 모형을 이용한 고속도로 돌발상황 영향 분석 교통 시뮬레이션 모형 개발, 대한교통학회지, 2001
3. 고속도로 FTMS 구축편람 수립, 한국도로공사, 2000
4. 돌발상황 처리시간 예측알고리즘 개발, 건설교통부, 2001
5. Ozbay & Kachroo, Incident Management in Intelligent Transportation Systems, Artech House, 1999
6. Traffic Incident Management Handbook, FHWA, 2000
7. Asad J. Khattak et al, A Simple time sequential Procedure for predicting freeway incident duration, IVHS Journal, 1995
8. Duration and Travel time Impacts of Incidents, ADVANCE project Technical Report, 1994
9. Morales et al, Analytical Procedures for Estimating Freeway Traffic Congestion, Public Road, Vol.50, 1986
10. Garib et al, Estimating Magnitude and Duration of Incident Delays, Journal of Transportation Engineering, 1997
11. Highway Capacity Manual 2000,