

■ 論 文 ■

고속도로상의 독립적인 반복 및 비반복정체의 영향비교

Different Impacts of Independent Recurrent and Non-Recurrent Congestion on Freeway Segments

강 경 표

(한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원)

장 명 순

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- I. 연구의 배경
- II. 반복 및 비반복정체하의 지체시간 비교
 - 1. 반복정체하의 지체시간 추정
 - 2. 비반복정체하의 지체시간 추정
 - 3. 반복 및 비반복정체하의 지체시간 비교
- III. 비반복정체로 인한 대기행렬 분석
 - 1. 대상 고속도로구간
 - 2. 공사구간 시뮬레이션 설계
 - 3. 오전 첨두시 최대대기행렬길이
 - 4. 오후 첨두시 최대대기행렬길이
- IV. 비반복정체하의 현 ITS 기술의 문제점 분석
 - 1. 교통정보예측시스템(TIPS)
 - 2. 첨단속도정보시스템(ASIS)
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 반복 및 비반복정체, 시뮬레이션보정, 교통정보예측시스템, 첨단속도정보시스템, 도로공사
 Recurrent congestion, Nonrecurrent congestion, Simulation calibration, Traffic information and prediction System, Advanced speed information system, Work zone

요 약

지금까지 고속도로 상에서 반복 및 비반복정체에 대한 연구가 많이 진행되어 왔지만 이들이 독립적으로 발생했을 때 교통정체의 영향에 대한 연구는 활발히 진행되지 못하고 있는 실정이다. 가장 큰 이유는 반복 및 비반복정체시 교통상황에 자료수집이 부족했으며, 뿐만 아니라 이들의 영향을 독립적/정량적으로 추정할 수 있는 분석도구의 효과적 사용이 미비했기 때문이다. 본 연구에서는 미국 고속도로 구간의 교통정체시 수집한 교통자료를 바탕으로 시뮬레이션을 이용한 반복 및 비반복정체의 독립적인 영향을 분석하는 방법을 제시하였다. 분석결과로서 대상구간에 따라 비반복정체가 반복정체보다 고속도로기능을 크게 악화시키는 것으로 나타났다. 더불어 교통정체시 실시간 교통정보제공을 위한 기존 ITS기술들의 현장평가결과로서 안정적인 교통정체에서는 정보의 정확성은 높으나, 정체가 시작되거나 해소되는 시간대 또는 비반복정체시 제공되는 교통정보의 정확성은 낮은 것으로 나타났다. 결론적으로 본 연구에서는 비반복정체의 중요성과 더불어 제시하고 있는 반복 및 비반복정체의 영향분석 방법론은 향후 대상 고속도로의 정체해소를 위한 개선사업의 투자우선순위를 판단할 수 있는 기초연구로서 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

There have been few studies on the impacts of independent recurrent and non-recurrent congestion on freeway networks. The main reason is due partly to the lack of traffic data collected during those periods of recurrent and non-recurrent congestion and partly to the difficulty of using the simulation tools effectively. This study has suggested a methodology to analyze the independent impacts of the recurrent and non-recurrent congestion on target freeway segments. The proposed methodology is based on an elaborately calibrated simulation analysis, using real traffic data obtained during the recurrent and non-recurrent congestion periods. This paper has also summarized the evaluation results from the field tests of two ITS technologies, which were developed to provide drivers with real-time traffic information under traffic congestion. As a result, their accuracy may not be guaranteed during the transition periods such as the non-recurrent congestion. In summary, this study has been focused on the importance of non-recurrent congestion compared to recurrent congestion, and the proposed methodology is expected to provide a basic foundation for prioritizing limited government investments for improving freeway network performance degraded by recurrent or non-recurrent congestion.

본 연구는 건설교통부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(u-Transportation 기반기술개발)에 의해 수행되었습니다. 연구의 내용은 저자의 의견으로 향후 변경될 수 있습니다.

1. 연구의 배경

고속도로 교통운영과 관리를 위한 주요관심사는 교통류 저해요소(traffic flow disturbances)로 인한 악영향으로서 대부분 교통정체상황에서 발생하게 된다. 정상적인 교통류가 예상치 못한 저속 또는 정지되는 교통류와 만날 경우 대부분의 운전자들은 지체 및 통행시간을 최소화하기 위하여 차선변경, 합류, 추월, 교통법규위반 등의 과도한 운전행태를 보이게 되며, 나아가 사고와 같은 교통안전에 영향을 미치게 된다. 결과적으로 그러한 교통정체는 용량감소에 따른 고속도로 네트워크 기능 및 운영효과를 악화시키게 된다.

일반적으로 교통정체는 반복과 비반복정체의 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 전자인 경우는 언제 발생하고 얼마동안 계속될지를 예측할 수 있는 반면, 후자인 경우는 정체의 시작시간과 지속시간을 예측하기가 어렵다. 예를 들어, 침두시 교통정체나 지형적인 조건에 의한 교통정체는 반복적으로 발생하지만, 사고, 도로공사, 행사, 악천후 등에 의한 교통정체는 불시에 발생하는 경우가 많다. 비록 도로공사인 경우 운영스케줄이 미리 정해져 있다고 하지만 통과교통량, 최대대기길이, 평균 속도나 지체에 대한 영향은 예측하기 어렵다.

교통정체로 인한 지체시간 추정방법으로서 총지체시간 산정사례는 지체관리(Sullivan, 1997)와 사고관리(Qi & Teng, 2004; New York State DOT, 2001; Caltrans, 1999)를 위한 프로그램 및 운영시스템에서 제시되어 왔으나, 대부분이 비반복정체는 반복정체와 동일하다는 가정을 바탕으로 하고 있다(Caltrans, 1999; Lomax et al., 1997). 이밖에 다른 연구들(Dowling et al., 2004; Skabardonis et al., 2003)은 반복과 비반복정체시 지체시간을 추정하는 방법들을 제시되어 왔는데, 주로 사고와 같은 동일한 원인이 발생하기 전의 반복정체와 발생 후의 비반복정체시간을 측정하는 연구가 진행되어 왔으며, 그들의 독립적으로 발생시키는 정체시간은 고려되고 있지 않다. 이런 경우에, 어떠한 계선된 교통류 정체관리 프로그램이 반복 및 비반복정체에 미치는 영향을 제대로 평가하는 작업은 결코 쉬운 일이 아니다.

한편, 대상 교통류에 미치는 이러한 정체의 영향을 완화시키기 위한 노력으로서, 최근에 실시간 교통관리와 정보제공을 위한 다양한 ITS 기술들을 개발하고 현장에서 시험 및 적용하고 있다. 하지만, 그러한 기술들의 실

제적용을 위한 기능성 및 실용성 측면에서 여전히 초기 단계에 머물고 있는 실정이며, 특히 비반복정체 등 복잡하고 불안정한 교통류에서는 더욱 그러하다. 나아가, 반복과 비반복정체의 독립적인 영향을 비교하거나 그들의 개선을 위한 투자우선순위에 대한 연구는 활발히 진행되지 못하고 있는 실정이다. 만약 고속도로 네트워크에서 반복과 비반복정체의 영향을 제대로 평가할 수 있다면, 제약된 재정과 자원을 효과적으로 배정하고 관리할 수 있는 중요한 지침이 될 수 있을 것이다.

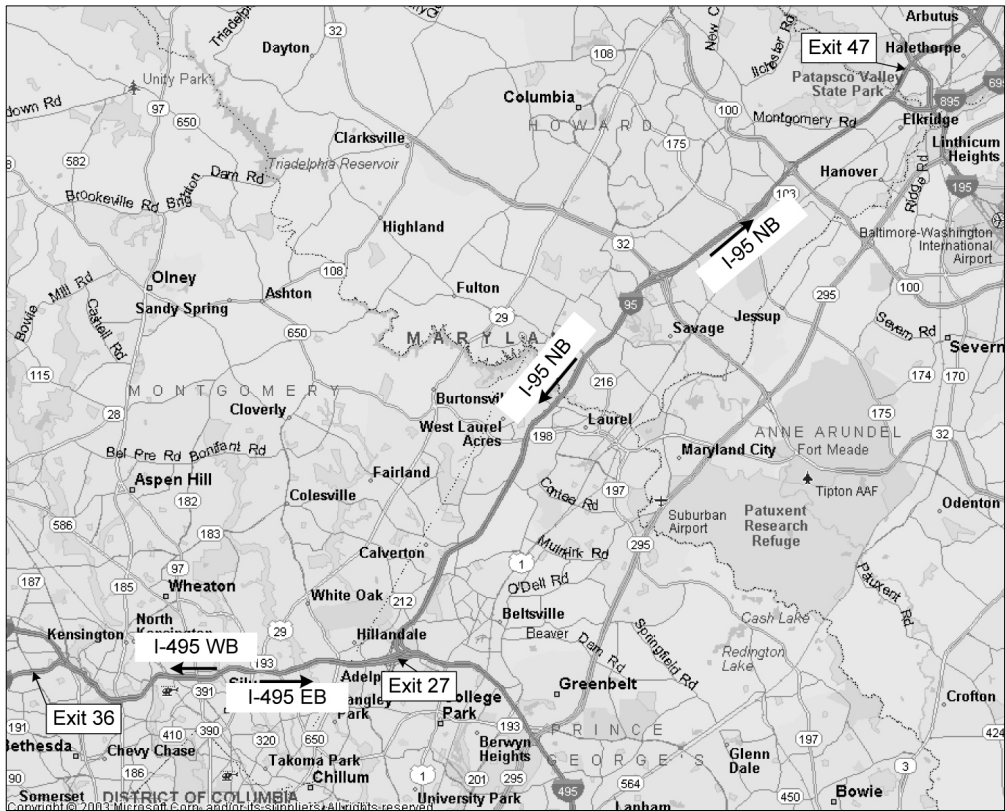
이러한 이슈들을 다루기 위한 기초단계로서 본 연구는 우선적으로 독립적인 반복 및 비반복정체하에서 서로 다른 교통영향을 분석하는데 초점을 맞추었으며, 다음과 같은 순서로 구성된다. II장은 반복 및 비반복정체가 고속도로 구간에 미치는 영향으로서 총지체시간 추정방법을 제시하고 그 결과를 비교하였다. III장은 도로공사와 같은 비반복정체하에서 대기행렬을 분석하였으며, IV장은 고속도로 정체하에서 최근 2개의 ITS 기술의 적용가능성 및 문제점을 사례연구를 통하여 알아보았다. 마지막 장에서는 본 연구내용의 결론 및 특징을 요약하였다.

II. 반복 및 비반복정체하의 지체시간 비교

반복 및 비반복정체가 미치는 독립적인 영향을 비교하기 위하여, 여기서는 실제 현장자료와 시뮬레이션 자료를 가지고 반복 및 비반복정체로 인한 지체시간을 추정한다. <그림 1>에서 보는 바와 같이, 대상구간은 두 개의 고속도로구간인 I-495와 I-95으로 구성되어 있다. I-495구간은 I-95와 연결되는 27번 진출램프(exit 27)와 MD 187과 연결되는 36번 진출램프(exit 36) 사이를 말하며, I-95구간은 27번 진출램프와 I-195와 연결되는 47번 진출램프(exit 47) 사이를 말한다.

1. 반복정체하의 지체시간 추정

반복정체를 유발하는 오전 침두시간은 7:00에서 9:30까지이며 오후 침두시간은 16:00에서 18:30까지이다. 독립적인 반복정체로 인한 지체시간은 비반복정체를 유발하는 요소(사고, 도로공사, 이벤트 등)가 없는 해당 침두시간 동안 측정된 통행시간과 속도자료를 가지고 추정한다. 추정을 위한 주요과정은 다음과 같다.



〈그림 1〉 지체시간 추정을 위한 I-495와 I-95 고속도로 구간

- 1단계: 첨두시간동안 대상 고속도로구간에서의 통행시간 자료를 수집한다.
- 2단계: 기 정해진 자유속도(free flow speed)하에서 평균 통행시간을 계산한다. (1mile≈1.6km)
- 3단계: 1단계와 2단계 사이의 통행시간 차이를 계산한다.
- 4단계: 실제 교통량자료를 가지고 총지체시간을 계산한다.

1 단계에서는 2005년에 수집된 통행시간자료가 사용되었으며, 〈표 1〉은 대상구간에서 수집된 통행시간자료 현황을 보여준다.

더불어, 자유속도로써 65mph(104km), 70mph(112km) 및 75mph(120km)가 자유교통류 상태에서의 통행시간을 계산하는데 사용되었는데, 이 속도는 자유류 교통조건하에서의 실제 운행속도를 고려하기 위하여 규정속도(regulatory speed limit, 예로서 I-495는 55mph(88km), I-95는 65mph)보다 높은 값을 사용하였다.

위의 과정을 거치게 되면, 〈표 2〉에서 보는 바와 같이

〈표 1〉 I-495와 I-95 대상구간에서 방향별로 수집된 통행 시간자료

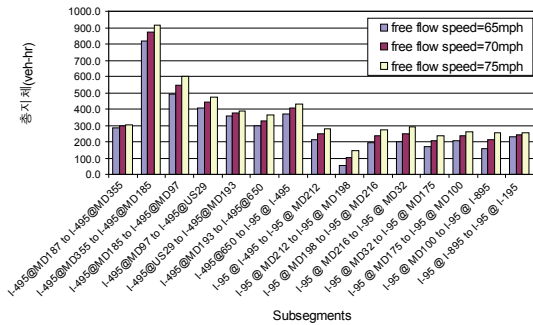
방향*	7:00-7:30am	7:30-8:00am	8:00-8:30am	8:30-9:00am	9:00-9:30am	합
I-95SB(NB)	10 (3)	15 (4)	14 (5)	3 (14)	0 (5)	42 (32)
I-495WB(EB)	8 (3)	10 (3)	12 (13)	11 (10)	10 (0)	51 (29)

방향	4:00-4:30pm	4:30-5:00pm	5:00-5:30pm	5:30-6:00pm	6:00-6:30pm	합
I-95SB(NB)	0 (4)	3 (5)	3 (7)	3 (3)	3 (0)	12 (19)
I-495WB(EB)	6 (3)	4 (4)	4 (3)	3 (3)	0 (3)	17 (16)

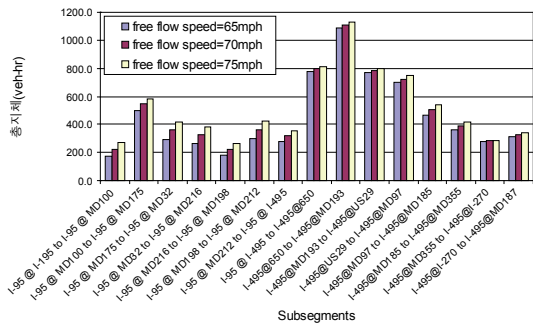
(*) SB: 남쪽방향, NB: 북쪽방향 / WB: 서쪽방향, EB: 동쪽방향

〈표 2〉 대상구간에서 발생하는 반복정체로 인한 총 지체시간

대상구간	총 지체시간 (million veh-hr-yr)		
	65mph	70mph	75mph
I-495	2.80	3.51	3.81
I-95	2.72	3.34	3.59
합	5.52	6.85	7.40



〈그림 2〉 오전첨두시 I-495EB와 I-95NB의 총지체시간 분포



〈그림 3〉 오전첨두시 I-495WB와 I-95SB의 총지체시간 분포

반복정체로 인하여 일년동안 대상 고속도로 구간의 양방향에서 발생하는 총 지체시간을 얻을 수 있다.

참고로, 〈그림 2〉와 〈그림 3〉은 오전 첨두시간동안 발생하는 방향별 총 지체시간의 분포를 보여준다.

2. 비반복정체하의 지체시간 추정

비반복지체를 추정하기 위하여, 본 연구는 기존에 개발된 비선형회귀모형을 이용하였는데 특히, 이 모형 (Chang et al., 1997)은 사고로 인하여 과도하게 발생하는 지체시간과 교통량, 전체 차로수에서 사고로 인한 폐쇄된 차로수의 비 등과의 관계를 고려할 수 있다. 아래 식(1)이 차로폐쇄를 유발하는 사고자료를 바탕으로 비반복 지체시간을 추정하기 위하여 사용된 모형이다.

$$\Delta Delay = e^{-a} \times (V)^b \times (NLB/TNL)^c \times (ID)^d \quad (1)$$

여기서, $\Delta Delay$: 사고로 인한 지체시간

TNL : 총 차로수

NLB : 폐쇄된 차로수

V : 교통량 그리고

ID : 사고진행시간

주의할 점은, 다양한 사고형태 중에서 본 연구에서는 길어깨(shoulder)가 폐쇄되는 사고형태인 경우(즉, $NLB/TNL=1$)를 고려하여 반복정체하의 교통상황과 비슷한 상황을 가정하였다.

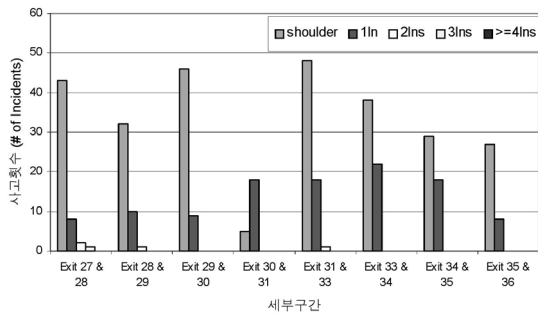
사고로 인한 지체시간자료를 얻기 위하여, 시뮬레이션 실험을 통한 결과를 가지고 위 식을 이용하여 지체시간을 계산하였다. 시뮬레이션 실험을 위한 보정과정은 실제 길어깨가 폐쇄되는 사고시나리오를 바탕으로 CORSIM (ITT Ind., 2003)를 가지고 이루어졌다. 비반복정체로 인한 지체시간 추정 과정은 다음과 같다:

- 1단계: 총 차로수가 4인 실제 대상구간을 포함하는 고속도로 시뮬레이션(CORSIM) 네트워크를 만든다.
- 2단계: 최대통과교통량을 용량으로 선택한다.
- 3단계: CORSIM에서 통행 파라미터(예: rubbernecking factor, design free flow speed, car-following factor, 등)를 보정한다(이에 대한 설명은 다음 장에서 할 것임).
- 4단계: 길어깨 폐쇄를 유발하는 사고자료를 가지고 보정된 시뮬레이션을 이용하여 지체시간을 수집한다.
- 5단계: 위 4단계에서 실험된 동일한 교통상황에서 사고가 없을 경우의 통행시간을 수집한다.
- 6단계: 위 4, 5단계 결과를 가지고 해당 사고로 인한 지체시간을 계산한다.
- 7단계: 위 6 단계 결과를 가지고 통계분석을 수행한다.

〈표 3〉 비반복지체시간 추정모형(예)

구분	지체시간 추정모형
20% t-값	$\Delta Delay = e^{-133.718} \times (V)^{17.626} \times (ID)^{1.041}$ R-square=0.81 Intercept=-7.04, ln(V)=7.15, ln(ID)=2.16
30% t-값	$\Delta Delay = e^{-84.055} \times (V)^{11.734} \times (ID)^{0.558}$ R-square=0.88 Intercept=-13.47, ln(V)=14.77, ln(ID)=2.60
40% t-값	$\Delta Delay = e^{-78.401} \times (V)^{10.987} \times (ID)^{0.943}$ R-square=0.93 Intercept=-18.46, ln(V)=19.96, ln(ID)=3.86

(*): Rubbernecking factor 값



〈그림 4〉 I-495 대상구간상의 길어깨폐쇄를 유발하는 사고분포

〈표 4〉 독립적인 반복 및 비반복 지체시간 비교

구분	고속도로	비반복지체/반복지체 시간 비율
20%*	I-495	3.00
	I-95	1.20
30%	I-495	3.05
	I-95	1.17
40%	I-495	3.00
	I-95	1.15

(*) Rubbernecking 畵

제시된 모형식을 바탕으로, 〈표 3〉은 실제사고시 길어깨 폐쇄로 인한 지체시간모형의 추정결과를 예로서 보여주고 있다.

비침두시간 동안에 비반복정체로 인한 지체시간은 2004년 메릴랜드 고속도로 관리청(MSHA: Maryland State Highway Administration)에 있는 교통운영센터(TOC: Traffic Operation Center)에서 나오는 사고자료를 가지고 구했다. 간단히 말하면, I-495와 I-95 상에서 수집된 사고자료수는 각각 3404와 1244건이며, 본선차로폐쇄를 유발하는 심각한 사고자료수는 각각 673과 251건이다. 한 예로서 〈표 4〉는 I-495 대상구간 상에서 발생한 길어깨가 폐쇄되는 사고수의 분포이다.

3. 반복 및 비반복정체하의 지체시간비교

위 1과 2의 결과를 바탕으로, 독립적으로 발생하는 반복과 비반복정체로 인한 지체시간을 구했다. 〈표 4〉는 반복 지체시간에 대한 비반복지체시간의 비율을 나타낸다.

〈표 4〉에서 나타나는 바와 같이 I-495상에서는 비반복정체가 지체의 주요원인이 되고 있음을 보여주고 있는데, 특히, I-495에서 MD650과 MD193구간이 반복(0.597 million veh-hrs)과 비반복지체시간(1.360 million veh-hrs) 차이가 큰 것으로 나타난다. 반면,

I-95구간에서는 개략적으로 비반복정체로 인한 지체가 반복정체의 영향과 비슷하거나 다소 큰 것으로 나타났으나 통계적 의미는 없는 것으로 판단된다.

비록 위 비교는 고속도로 구간의 제한된 수의 사고자료로부터 얻은 결과지만, 전체적으로 고속도로상에서 발생하는 비반복정체의 영향이 반복정체보다 크다는 것을 알 수 있다. 나아가, 대상 고속도로네트워크 정비사업에서는 반복정체보다 비반복정체에 대한 개선방안에 대한 노력이 우선적으로 이루어져야 할 필요가 있음을 암시하고 있다.

III. 비반복정체로 인한 대기행렬의 영향

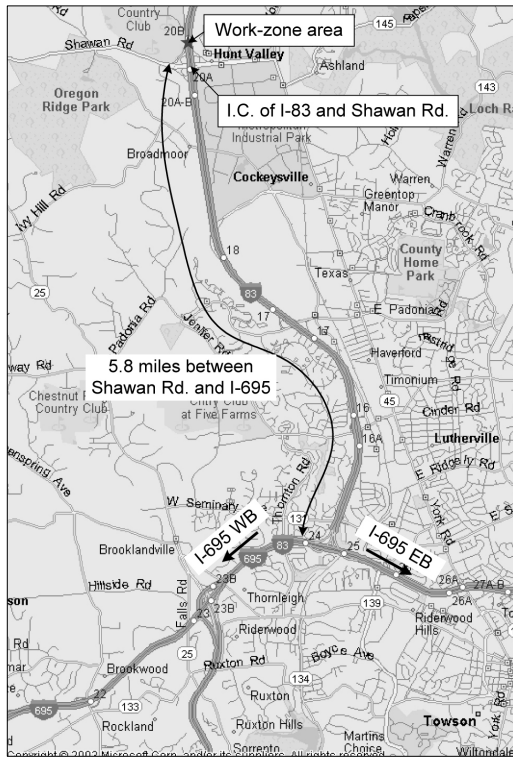
I 장에서 언급했듯이, 교통정체로 인한 대기행렬은 고속도로 네트워크의 운영효과뿐만 아니라 교통안전에도 큰 영향을 미치는 요소이다. 특히, 병목구간, 도로공사, 또는 사고와 같은 교통류 저해요소로 인한 비반복정체하의 대기행렬에서 운전자는 긴 대기행렬로 인한 지체뿐만 아니라 급격한 속도감소와 주행시거의 제한 등을 경험하게 된다.

일반적으로, 비반복정체로 인한 대기행렬 길이는 예측하기가 어렵다. 이유는 처해진 교통조건에 따라 다양한 형태의 대기행렬이 발생하기 때문이다. 예를 들면, 도로공사구간(work zone)에서 차로폐쇄 및 운영형태와 공사기간동안의 교통상황에 따라 다양한 대기행렬을 보여준다. 더욱이, 공사소요시간이 계획보다 지연되는 경우에는 최대대기행렬 길이는 인접 고속도로구간으로 확대될 수 있으며 잠재적으로는 주변 고속도로 네트워크 성능을 약화시킬 수 있다.

여기서는 고속도로 공사 중 발생하는 대기행렬을 분석하여 최대대기행렬이 어느 정도이며 공사구간 상류부에 어느 정도까지 영향이 미치는지 알아본다.

1. 대상 고속도로구간

〈그림 5〉는 대상 공사구간의 위치와 주변 고속도로 네트워크를 보여주고 있다. 공사구간은 고속도로 I-83 NB와 간선도로인 Shawan Rd. 사이에 있는 인터체인지(IC) 하류부에 위치해 있으며, I-83 NB 상류부 길이는 고속도로 I-695까지 약 5.8 miles 정도이다.



〈그림 5〉 대상 공사구간의 위치와 인접 고속도로 네트워크

2. 공사구간 시뮬레이션 설계

대상공사구간의 실제 기하구조 및 교통량 자료를 바탕으로, 본 연구에서는 CORSIM를 이용하였으며, 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 대상 공사구간에 대한 시뮬레이션 네트워크를 보정하였다. 전체적인 보정작업은 다음과 같다.

- 공사구간의 운전 및 통행행태를 반영하기 위한 주요 시뮬레이션 파라미터 값 보정
 - Rubbnecking factor: 통과차량들이 인접한 폐쇄차로(들) 상에서 발생하는 활동(activity) 인지에 따른 속도저하로 인한 용량감소
 - Car-following sensitivity factor: 앞차량간 반응인지를 위한 소요 시간간격
 - Desired free-flow speed: 구간별 최대설계속도 대상 교통조건 반영(〈그림 6〉 참조)
 - 상류부 교통량(Upstream volume)
 - 공사구간 통과교통량(through traffic volume)
 - 합류부의 평균통행속도(Average speed at the merge point)

〈표 5〉 CORSIM 고속도로 공사구간 시뮬레이션 보정결과

교통조건	실제자료	시뮬레이션 결과	
		전	후
상류부 교통량	2695 vph	2695vph	2695voh
중차량비율	13%	13%	13%
합류부 평균통행속도	21.5mph	32.6mph	22.1mph
공사구간 통과교통량	1610vph	1807vph	1616vph

〈그림 7〉은 시뮬레이션 네트워크로서 공사구간 길이는 4,000ft(약 1.2km) 정도이며 인터체인지 하류부쪽에서 왼쪽차로가 폐쇄되어 있다. 특히 공사구간 하류부에서의 인터체인지의 기하구조는 실제자료(예: 잇갈림구간 및 부가차로구간)를 바탕으로 설계된다. 공사소요시간을 나타내는 시뮬레이션 시간은 30분, 45분, 1시간 및 2시간으로 나누어 수행하였으며, 상류부의 유입교통량 분포(예: Random number seed)에 따라 반복 작업(예: 최소 3회 이상)을 통하여 평균값을 얻는다.

〈표 5〉는 대상 2차로 고속도로 구간에서 왼쪽차로가 폐쇄되는 도로공사시 시뮬레이션 보정결과를 보여주고 있다.

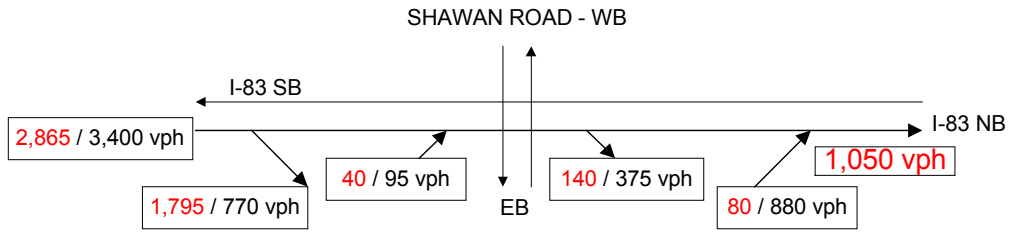
3. 오전첨두시 최대대기행렬

대상 공사구간에서 오전 첨두시간 동안, 실질적인 대기행렬은 나타나지 않았는데 주 이유는 공사기간동안 통과차량(2,865vph)의 상당수(예: 1,795vph)가 공사구간을 통과하기 전에 간선도로인 Shawan EB Rd.로 빠져나가기 때문이다. 〈그림 6〉에서 보여주는 바와 같이, 대상 인터체인지를 통과한 후 실제 주방향의 교통량은 단지 1,050vph이다.

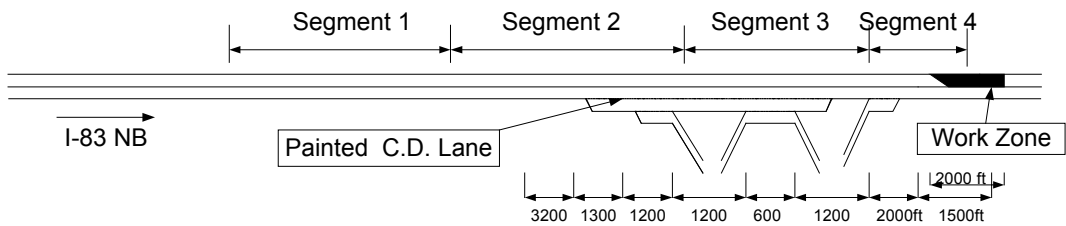
4. 오후첨두시 최대대기행렬

오후첨두시 주어진 교통조건하에서, 〈그림 8〉은 기정해진 공사기간에 따른 최대대기행렬길이의 변화를 보여주고 있다. 특히, 공사기간이 2시간을 넘길 경우에는 대기행렬의 길이가 상류부인 인접고속도로(즉, I-695 〈그림 5〉 참조)까지 미칠 수 있음을 보여준다.

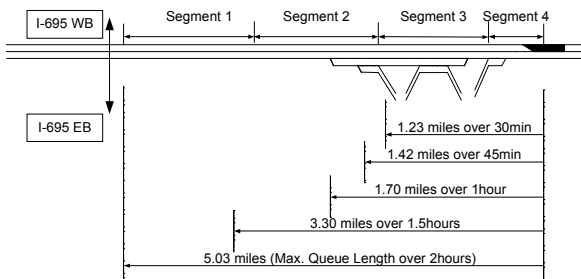
더불어, 〈그림 9〉는 단순 충격과 이론(Ullman, 1996)에 의한 결과를 보여주는 사례로서, 이 두 결과의 공통점은 도로공사를 위한 운영시간이 지연될수록 최대대기행렬 길이는 급속하게 커지게 됨을 보여준다.



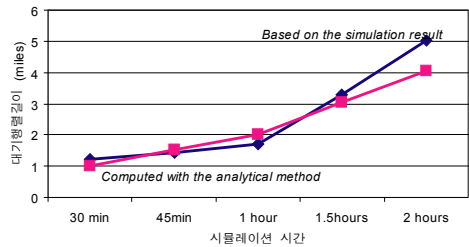
〈그림 6〉 침두시 평균교통량 (오전/오후)



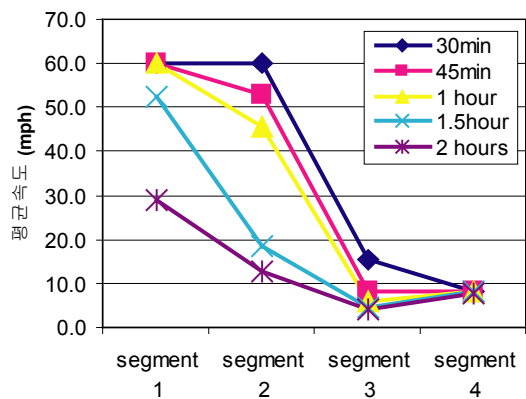
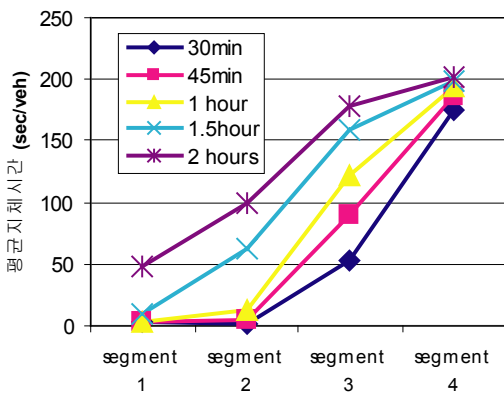
〈그림 7〉 시뮬레이션상의 공사구간 네트워크



〈그림 8〉 공사시간에 따른 최대대기행렬 길이비교



〈그림 9〉 시뮬레이션과 충격파에 의한 최대대기행렬 길이비교



〈그림 10〉 도로공사정체로 인한 지체와 속도진행상황 비교

도로공사로 인한 정체가 지체시간 및 속도에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 〈그림 10〉은 공사지역 상류부의 연속구간으로 진행되는 지체시간 및 속도의 영향을

보여준다. 마찬가지로 운전자들이 공사구간에 접근할수록 급속하게 그들의 평균속도 감소와 평균지체 증가정도가 급속하게 진행됨을 보여준다.

IV. 비반복정체하의 현 ITS 기술의 문제점 분석

교통정체로 인한 영향을 최소화하기 위하여 최근에는 많은 ITS 기술들이 개발되고 실제 고속도로구간에서 시험 및 적용되고 있다. 그러나 그들의 잠재적인 효과에도 불구하고 실질적인 성능은 모든 정체상황에서 보장되는 것은 아니다. 여기서는 교통정체하에서 최근 2개의 ITS 기술인 교통정보예측시스템(TIPS: Traffic Information and Prediction System)과 첨단속도정보시스템(ASIS: Advanced Speed Information System)의 성능평가 결과분석을 통하여 교통정체 중 비반복정체하의 ITS 기능상 문제점을 알아보도록 한다.

1. 교통정보예측시스템(TIPS)

TIPS(Chang & Kang, 2005)는 고속도로 주요정체 구간(예: 도로공사구간)에 접근하는 운전자들에게 통행시간을 추정하여 제공해주는 이동식 정보제공 시스템이다. 이 시스템은 교통센서(예: RTMS, Remote Traffic Monitoring Sensor)간 거리를 바탕으로 통행시간을 계산하고 일정 시간간격(예: 30초)마다 통행시간정보를 업데이트 해준다.

1) 시스템 설치

해당 시스템은 미국 메릴랜드주 고속도로관리청(MSHA: Maryland State Highway Administration)과 업체(PDP Association Inc.)에 의하여 개발된 ITS 기술로

서, I-70 EB 고속도로구간(US-32와 I-695사이의 약 11 miles)에 설치되었다. <그림 11>은 대상 I-70 EB 구간상에 설치된 전체 TIPS를 보여주고 있으며, 하류부 구간(Spot 3과 Spot 4사이)에서는 도로공사로 인하여 중앙분리대 또는 왼쪽 차로가 폐쇄되어 있는 교통상황이다.

<그림 12>에서 보는 바와 같이, 이동식 가변정보판(PCMS: Portable Changeable Message Sign)을 통해 제공되는 통행시간정보는 각 PCMS에서 최종 지점(Spot 5: I-695 분기점) 까지 예측된 통행시간의 범위(예: I-965까지 8-12분 / 8 TO 12 MIN TO I-695)를 보여주게 된다.

2) 자료수집(시험차량법)

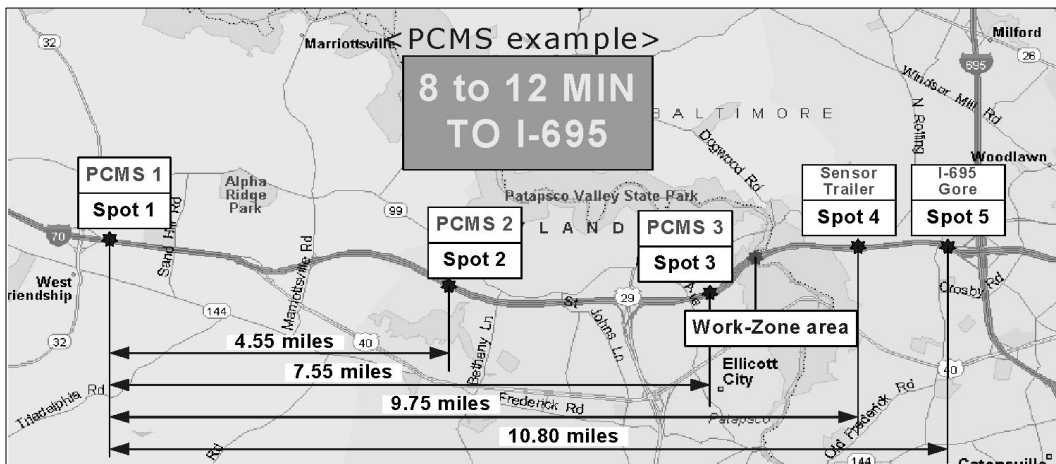
오전 및 오후 첨두시간대는 첫 번째 PCMS(PCMS #1)가 설치되어 있는 Spot 1에서 관측된 교통량 분포에 의하여 다음과 같이 정해진다.

오전첨두(AM peak) - 06:30 to 10:00

오후첨두(PM peak) - 16:00 to 19:00

실제 통행시간을 얻기 위하여 본 연구에서는 시험차량법을 이용한 다음 일련의 과정을 반복하여 실제자료를 얻게 된다:

- 1단계: 일련의 시험차량을 통하여 대상 I-70 EB 구간을 5내지 10분 간격으로 출발시킨다.
- 2단계: 대상 도로공사구간을 통행하는 시험차량들의 통행시간표를 순서대로 작성한다.
- 3단계: 위의 1 단계와 2 단계를 서로 다른 첨두 시간대와 다양한 날씨조건하에서 반복 수행한다.



<그림 11> TIPS 설치개요도

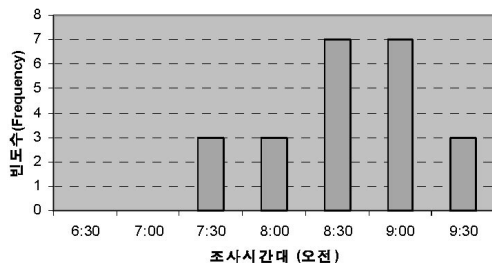
4) TIPS 평가결과

TIPS의 평가는 시스템의 정확성과 신뢰성을 근거로 수행되었으나, 지면제약상 정확성에 대해서만 서술하기로 한다. 시스템의 정확성은 현장에서 조사된 실제 통행시간을 각 PCMS에서 제공되는 통행시간과 비교하여 평가하였는데 해당 TIPS의 정확성 평가에 대한 잠정적인 결론은 다음과 같다(그림 11) 참조.

중점(Spot 5)에서 먼 PCMS일수록 통행시간정보의 정확성은 떨어지거나 교통량의 변화에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 예를 들면, 관측기간 동안 Spot 1(PCMS #1)에서 제공되는 중점까지의 실시간 통행시간 정보의 정확성은 매우 낮게 나타났다.

TIPS은 정체가 되는 첨두시간 동안 정확한 통행시간 정보를 제공할 수가 없었는데, 특히 첨두와 비첨두시간 사이의 전환되는 시간대(transition periods)인 경우에 제공되는 정보의 정확성은 매우 낮았다. <그림 12>에서 보는 바와 같이, 첨두시 정체가 해소되는 시간대(8:30-9:00AM)에서 통행시간정보의 정확성은 낮았다.

반면, TIPS는 교통류가 안정적인 정체상태이거나 점진적으로 변화되는 조건하에서 예측정보의 정확성은 높았다.



<그림 12> TIPS의 부정확하게 추정된 통행시간대의 분포 (PCMS #1)

2. 첨단속도정보시스템(ASIS) 평가

ASIS(Chang & Kang, 2005)는 하류부 센서로부터 속도자료를 가지고 통행속도를 계산하여 상류부에 위치해 있는 PCMS를 통하여 속도정보 및 관련 교통정보를 제공하게 된다. 센서자료 및 정보는 매 30초 간격으로 업데이트 된다.

1) 시스템 설치

3개의 PCMS(PCMS #1, #2, #3)가 I-70 EB 구간

<표 6> PCMS 정보내용

구분	교통조건	정보메세지
FF	50mph이상이면 자유교통류 상태	SPEED LIMIT 65 MPH
CO	30mph에서 50mph 사이면 교통정체 상태	REDUCE SPEED SPEED AHEAD XX MPH
HC	0mph에서 30mph 사이면 극심한 정체상태	TRAFFIC BACKUP AHEAD STAY ALERT

* FF (free flow), CO (Congestion), HC (Heavy congestion)

상에서 TIPS와 동일한 지점(<그림 11> 참조)에 설치되었으며, 3개의 RTMS(Sensor #1, #2, #4)는 해당 PCMS 다음에 설치되었다.

<표 6>에서 보는 바와 같이, PCMS를 통해 제공되는 속도 및 교통정보는 검지되는 교통상황에 따라 3가지로 나누어 제공된다.

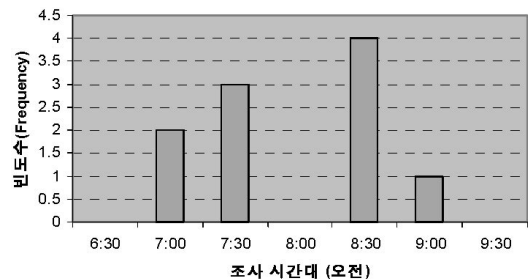
2) 자료수집방법

자료수집은 정체상태의 시스템 성능평가를 위하여 TIPS 평가와 동일한 시간대에서 수행된다. 수집된 자료는 PCMS를 통해서 제공되는 교통정보 및 속도정보이며, 전자인 경우는 해당 PCMS 지점에서 메시지 내용이 바뀔 때마다 기록하였으며, 후자인 경우는 스피드건(speed gun)으로 지점 속도를 매 5분 간격으로 기록하였다.

3) ASIS 평가결과

평가내용은 주로 시스템의 정확성에 초점을 맞추었는데 이유는 시스템의 신뢰성은 시스템의 H/W 문제로 인하여 통계적인 평가를 수행하기가 어려웠다. 주요 평가 결과는 다음과 같다.

시스템 운영상태는 날씨의 영향(예: 악천후)을 많이 받았다.



<그림 13> ASIS의 부정확하게 추정된 통행속도시간대의 분포 (PCMS #1)

TIPS인 경우와 마찬가지로 ASIS도 침두시, 특히 사고와 같은 비반복정체 등 교통류 특성의 전환시점에서 정확한 속도정보를 제공하지 못했다. <그림 13>은 대상 구간에서 가벼운 충돌사고가 발생하는 시간대(7:00-7:30AM)에서 제공되는 통행시간정보의 부정확성을 보여주고 있다.

반면, 안정적인 교통류상태(예: 자유교통류나 장시간 정체상태)에서는 제공되는 정보의 정확성은 높았다.

V. 결론

본 연구는 반복 및 비반복정체로 인한 교통영향을 정량적으로 분석하였고, 사례연구를 통하여 비반복정체에 대한 기존 ITS 기술의 한계점을 제시하였다. 즉, 총 지체시간과 대기행렬길이의 거시적인 분석방법을 제시하고 그 결과를 통하여 독립적인 반복 및 비반복정체가 고속도로에 미치는 영향을 비교분석하였으며, 더불어 실시간 고속도로 정체정보를 제공하는 2개의 ITS 기술의 적용 가능성을 검토하기 위하여 교통정체에 따른 제공되는 정보의 정확성에 대한 평가결과를 요약 및 분석하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다

고속도로 상에서 발생하는 침두시 반복정체와 사고나 도로공사와 같은 교통류 저해요소(traffic flow disturbances)로 인한 비반복정체간 독립적인 지체시간을 거시적으로 비교할 수 있는 방법이 가능하다.

비교결과로서, 비반복정체로 인하여 발생하는 지체시간 및 대기행렬길이가 반복정체인 경우보다 지속시간이 크면 클수록 교통상황을 크게 악화시킬 수 있다.

침두시간대와 같이 교통류가 급변하는 교통조건에서는 현재의 ITS 기술은 실시간 정보의 예측과 제공 측면에서 보완해야 할 부분들(예: 검지기술, 예측알고리즘 등)이 많은 것으로 판단된다.

이러한 결론으로부터 교통정체로 인한 특정 고속도로 네트워크 관리구간에서 도로정비사업시 반복 및 비반복정체 중 어느 쪽에 우선적으로 개선사업을 할 필요가 있는지 판단할 수 있는 방법에 대한 연구는 중요하다고 볼 수 있다.

이와 더불어, 최근에는 고속도로 공사시 효율적인 교통운행을 위한 새로운 ITS 전략과 기술들이 개발 및 시험 운영되고 있는데, 예를 들어 동적합류제어(Dynamic Merge Control; Taavola et al., 2004)와 가변속도

제어(Variable Speed Limit Control; Lyles et al., 2004) 등은 교통류의 변동에 실시간으로 대응할 수 있는 대안으로서 긍정적으로 평가되고 있다. 이러한 제어 전략들은 교통사고나 도로공사로 인해 발생하는 교통정체를 교통운영의 효율성과 안전측면에서 높은 개선효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로, 연구의 성격 및 내용과 관련하여 주지하고픈 점은 분석대상으로 하는 반복 및 비반복정체는 침두시간 및 사고유무 등 물리적인 기준을 가지고 구분하였기 때문에 기존의 교통조건 및 도로조건에 따른 교통 파라메타간 관계분석과 같은 공학적인 방법과는 분석구간 및 자료의 시간적/공간적 범위 면에서 차이가 있다. 따라서 본 연구에서 제시하고 있는 정략적이고 거시적인 분석방법은 반복 및 비반복정체간 교통류 특성(traffic flow characteristics) 분석에는 적절치 않음을 밝혀둔다.

참고문헌

1. Caltrans(1999), Statewide Highway Congestion Monitoring Program. HICOMP Report. Division of Traffic Operations, Sacramento, Calif..
2. Chang, G. L. and Kang, K. P.(2005), Evaluation of Intelligent Transportation System Deployments for Work Zone Operations, Part II. Report MD-05-SP, Department of Civil Engineering, University of Maryland (UMCP), Sponsored by Maryland State Highway Administration, August.
3. Chang, G. L., Shrestha, D., and Point-Du-Jour, J. Y., Performance Evaluation of CHART-An Incident Management Program in 1997. Final Report for the State Highway Administration of Maryland, Hanover.
4. Dowling R., Skabardonis, A., Carroll, M., and Wang, Z, Methodology for Measuring Recurrent and Nonrecurrent Traffic Congestion, In Transportation Research Record 1867, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2004, pp.60~68.
5. ITT Industries, Inc.(2003), Systems Division, ATMS R&D and Systems Engineering Program

- Team, CORSIM (CORridor SIMulation) User's Guide, FHWA.
6. Lomax, T. J., Turner, S., and Shunk, G. (1997), NCHRP Report 398: Quantifying Congestion. TRB, National Research Council, Washington, D. C.
 7. Lyles, R. W., Taylor, W.C., Lavansiri, D., and Grossklaus, J.(2004), A Field Test and Evaluation of Variable Speed Limits in Work Zones, Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM), Washington, D.C.
 8. New York State Department of Transportation (2001), Congestion Needs Analysis Manual's (CNAM's) Incident Delay Submodel Manual., Albany.
 9. Qi, Y. and Teng, H(2004), Integrated Modeling Approach to Total Incident Delay. In Transportation Research Record 1895, TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp.46~54.
 10. Skabardonis, A., Varaiya, P., and Petty, K. F.(2003), Measuring Recurrent and Nonrecurrent Traffic Congestion, In Transportation Research Record 1856, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.118~124.
 11. Sullivan, E. C.(1997), New Model for Predicting Freeway Incidents and Incident Delays, Journal of Transportation Engineering, Vol. 123, No. 4., pp.267~275.
 12. Taavola, D., Jackels, J., and Swenson, T. (2004), Dynamic Late Merge System Evaluation: Initial Deployment on US-10, Summer 2003, Minnesota Department of Transportation.
 13. Ullman, G. L.(1996), Queuing and Natural Diversion at Short-Term Freeway Work Zone Lane Closures, In Transportation Research Record 1529, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.19~26.

✉ 주 작성자 : 강경표
 ✉ 교신저자 : 강경표
 ✉ 논문투고일 : 2007. 5. 19
 ✉ 논문심사일 : 2007. 9. 5 (1차)
 2007. 10. 10 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2007. 10. 10
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 4. 30