

■ 論 文 ■

도시고속도로 반복정체 시점의 통계학적 분석방법

A Statistical Method for Predicting Recurrent Congestion Time in Urban Freeway

한 영 준

(연세대학교 도시공학과 석사과정)

손 봉 수

(연세대학교 도시공학과 교수)

김 원 길

((주)LG CNS u-전략기술부선팀 차장)

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법

II. 문헌고찰

1. 반복정체의 정의와 원인
2. 반복정체의 판단기준 및 절차

3. 통계적 분포의 특성

III. 반복정체 발생확률 추정

1. 반복정체 발생확률 추정방안
2. 데이터 적용 및 검증

IV. 결론 및 향후 연구과제

참고문헌

Key Words : 반복정체, 통계적 분포, 정체발생 확률, 패턴데이터, 반복정체발생시점

요 약

도시고속도로의 반복정체는 발생시점과 지점이 거의 일정하므로 정체발생 예상 및 사전대응을 통한 효과적인 관리가 가능하다. 기존의 교통관리시스템에서는 패턴데이터를 이용하여 반복정체를 관리하고자하였으나 다변하는 도시부교통에서는 적용하기 어려운 경우가 많았다. 본 논문에서는 반복정체 발생확률을 통계적 분포를 적용한 통행속도별 발생확률을 이용하여 구하고자 하였다. 반복정체 발생확률 추정을 통해 반복정체 발생시점 및 지속시간을 파악하고, 효과적인 사전대응 수립과 교통운영이 가능할 것으로 기대된다.

As a recurrent congestion of urban freeway occurs in almost same time and section, it is possible to manage the congestion effectively by the expectation and advance correspondence. In the existing traffic management system, we have used pattern data to manage a recurrent congestion. But it is not applicable to an urban freeway which has various traffic circumstance. In this study, the probability by travel speed using a statistical distribution method will be used to predict the probability of recurrent congestion. It is expected that we can get the point of time and the duration of recurrent congestion, and we can devise an effective advance correspondence and a transportation operation.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도시고속도로의 오전과 오후 첨두시간에 반복적으로 발생하는 교통혼잡은 교통량의 증가와 도로 기하구조 등으로 인해 교통량이 용량을 초과하여 발생한다. 이러한 반복정체는 발생 시점과 지점이 거의 동일하므로 정체 발생의 예상과 사전대응을 통한 관리가 가능하다.

기존의 도시고속도로 교통관리시스템에서는 구간별, 요일별 5분 단위 이력정보를 이용한 패턴데이터를 구축하여 반복정체의 발생여부를 판단하였다. 이러한 패턴데이터는 과거패턴데이터와 현재 소통상태의 가중평균으로 산정하기 때문에 시점과 지점의 다양한 교통특성을 반영하지 못하고, 반복정체의 사전관리를 위한 정보를 제시하는데 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 통계적 분포를 이용하여 반복정체의 발생확률을 추정하고자 하였으며, 실측 데이터를 이용하여 제시된 방안의 적용 및 검증을 실시하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 문헌고찰을 통해 기존의 반복정체 판단방법의 문제점을 도출하였고, 이산형 분포의 특성을 분석하여 이를 반복정체 발생확률 추정에 적용하였다. 제시된 방안을 서울시 내부순환로의 2005년 9월~12월 교통정보¹⁾를 이용하여 검증하였으며, 도출된 결과를 χ^2 -test를 통해 통계적 검증을 실시하였다.

II. 문헌고찰

1. 반복정체의 정의와 원인

반복정체란 교통사고 등으로 인해 사전예고 없이 불특정한 지점에서 돌발적으로 발생하는 정체와는 달리, 거의 동일한 시점과 지점에서 반복적으로 발생하는 교통정체를 의미한다. 반복정체는 교통량이 도로의 교통처리능력(용량)을 초과하여 발생하거나 병목지점의 교통량이 점진적으로 증가하여 발생하므로 속도 및 교통

〈표 1〉 반복정체의 원인 및 특성

유형	원인	특성
불합리한 기하구조	병목구간 (용량감소)	교통량 증가시 상습정체발생
	엇갈림구간 (용량감소)	교통량 변화에 따른 정체발생
	선형/시기불량	일시적 정체발생
진출부 혼잡	진출교통량집중	특정시간대 교통량 집중으로 발생
	인접교차로 혼잡의 본선역류	인접교차로 혼잡으로 진출용량의 감소
도시고속도로JC혼잡		불합리한 접속체계 및 차로변경 등으로 일시적 정체발생

량의 변화가 시간적, 공간적으로 일정한 패턴을 지니는 특성이 있다. 반복정체의 원인 및 특성을 정리하면 〈표 1〉과 같다.

2. 반복정체의 판단기준 및 절차

반복정체를 판단하는 기준은 도로의 유형, 기하구조, 교통류 특성에 의하여 달라질 수 있으나 일반적으로 해당구간의 교통소통수준, 혼잡지속시간, 혼잡발생빈도를 기준으로 판단한다.

〈표 2〉 서울시 도시고속도로 반복정체 판단기준

판단기준	내용
교통소통수준	통행속도 30km/h 이하
혼잡지속시간	정체상태 30분 이상

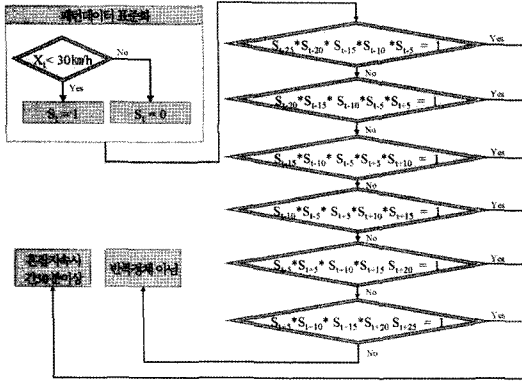
반복정체를 판단하기 위해서는 세가지 기준에 모두 해당되어야 하며, 이를 판단하기 위해 다음과 같이 통행속도의 패턴데이터를 구축한다.

$$X_t = (1-\alpha) \times X_{t-1} + \alpha \times x_t \tag{1}$$

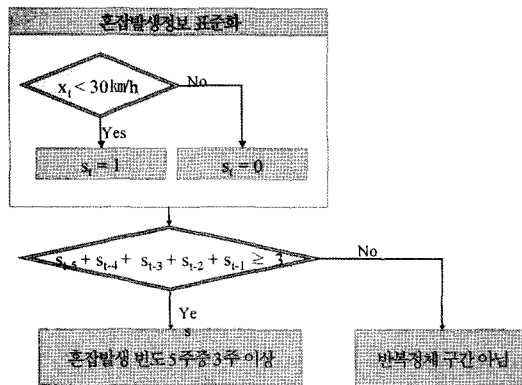
- 이때, X_t : t시간의 새로운 패턴
- X_{t-1} : t-1시간까지의 패턴
- x_t : t시간의 소통정보(구간통행속도)
- α : 가중치(0.2~0.3)

교통소통수준이 기준값 이하이면 구축된 패턴데이터를 이용하여 혼잡지속시간과 혼잡발생빈도를 판단하게

1) 자료 : 서울도시고속도로 교통관리센터



〈그림 1〉 서울시 도시고속도로의 혼잡지속시간 판단절차



〈그림 2〉 서울시 도시고속도로의 혼잡발생빈도 판단절차

된다. 현재 서울시 도시고속도로 교통관리시스템에서 적용되는 각각의 판단절차는 〈그림 1〉, 〈그림 2〉와 같다.

3. 통계적 분포의 특성

새로운 교통시설을 설치하거나 운영방안을 시행하기 위하여는 현재의 특성 분석 및 장래예측이 필요하다. 통계적 분포를 이용하면 제한된 데이터를 이용하여 장래를 예측하는 것이 가능하다. 일반적으로 일정시간동안 도착하는 차량대수와 같이 셀 수 있는 현상에는 포아송분포(Poisson Distribution), 이항분포(Binomial Distribution), 음이항분포(Negative-Binomial Distribution) 등 이산형 분포를 이용한다.

1) 포아송분포(Poisson Distribution)

포아송 분포는 교통량이 적은 상황에서 일정시간동안 도착하는 교통량과 같이 임의적인 특성이 강한 경우에 이용되며 산출식은 다음과 같다.

$$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

이때, $P(x)$: 사건 x 가 발생할 확률
 m : 사건의 평균

포아송 분포는 평균과 분산의 값이 같은 특성을 가지고 있다. 따라서 데이터의 분산/평균 값이 1과 같거나 비슷한 경우에는 포아송 분포를 사용하고 크게 다른 경우에는 다른 분포를 사용하여야 한다.

2) 이항분포(Binomial Distribution)

혼잡상태에서는 차량의 운행이 거의 일정하게 나타나기 때문에 일정시간동안 도착하는 교통량의 분산은 아주 작아지게 된다. 이처럼 분산/평균이 1보다 작은 경우에는 이항분포를 이용하는 것이 타당하다. 이항분포의 산출식은 다음과 같다.

$$P(x) = C_x^n p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

이때, p : 사건이 발생할 확률

이항분포에서 평균(m)은 np , 분산(s^2)은 $np(1-p)$ 이다. 따라서, 실측데이터의 평균과 분산을 이용하여 이항분포 산출식에 적용되는 계수는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{p} = (m - s^2) / m \quad (4)$$

$$\hat{n} = m / p = m^2 / (m - s^2) \quad (5)$$

3) 음이항분포(Negative-Binomial Distribution)

교통류가 소통원활상태이거나 정체상태인 시점을 제외한 시간대에서는 교통류의 특성이 다양하게 나타날 수 있으며 이러한 시간대의 교통특성은 큰 분산 값을 갖게 된다. 이러한 경우에는 음이항 분포를 이용하여 분포를 추정하는 것이 타당하며, 음이항 분포의 산출식은 다음과 같다.

$$P(x) = C_{k-1}^{x+k-1} p^k (1-p)^x \quad (6)$$

실측데이터의 평균과 분산을 이용하여 음이항분포 산

출식에 적용되는 계수는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{p} = m/s^2 \tag{7}$$

$$\hat{k} = m^2/(s^2 - m) \tag{8}$$

4) 이산형 분포의 특성 정리

추정에 사용할 분포는 데이터의 평균(m)과 분산(s^2)을 비교하여 결정할 수 있으며, 분포의 특성을 정리하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 이산형 분포의 특성

분포	s^2/m	산출식
포아송 분포	=1	$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!}$
이항 분포	<1	$P(x) = C_x^m p^x (1-p)^{n-x}$
음이항 분포	>1	$P(x) = C_{k-1}^{x+k-1} p^k (1-p)^x$

III. 반복정체 발생확률 추정

1. 반복정체 발생확률 추정방안

기존의 교통관리시스템에서 이용되는 패턴값은 데이터의 평균만으로 교통특성을 나타내기 때문에 다양한 교통상황을 반영하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 방법은 특정시간대에 나타날 수 있는 다양한 통행속도의 분포를 고려하지 않아 이를 그대로 적용할 경우 반복정체를 판단함에 있어 오류가 발생할 수 있다. 또한, 반복정체 여부를 판단하기 위한 많은 과정과 DB구축을 요구하게 된다.

이를 개선하기 위해 기존의 교통공학에서 다양하게 이용되는 통계적 분포를 활용하여 특정시간대의 속도별 발생 확률을 구할 수 있으며, 현재의 패턴데이터보다 더욱 유용하고 세분화된 정보를 얻을 수 있다. 본 연구에서 제안하는 통계적 분포를 이용한 반복정체발생확률 추정방안은 다음과 같다.

(1단계) 돌발상황이 발생한 시간을 제외한 통행속도 데이터를 동일한 특성을 갖는 요일별로 구분한다.

(2단계) 해당지점, 시간의 과거통행속도 데이터의 평균(m)과 분산(s^2)을 이용하여 가장 적합한 통계적 분포를 결정한다.

(3단계) 결정된 통계적 분포를 이용하여 통행속도별 발생확률과 빈도를 산정한다.

(4단계) 통행속도를 10km/h 단위로 구분하여 구간별 관측빈도와 발생확률, 예측빈도를 구한다.

(5단계) χ^2 -test를 이용하여 (4단계)의 관측빈도와 예측빈도의 통계적 검정을 실시한다.

(6단계) 통계적으로 유의한 경우 소통상황 판단기준을 적용하여 정체발생확률을 산정한다.

2. 데이터 적용 및 검증

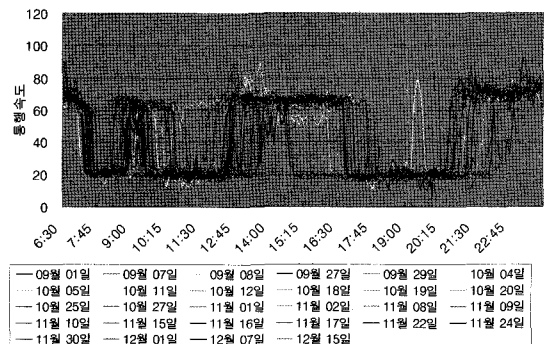
위에서 제시된 반복정체 발생확률 추정방안을 실측 데이터를 이용하여 적용하여 보았다. 분석 자료는 서울 도시고속도로 내부순환로의 5분데이터를 이용하였으며 분석의 시·공간적 범위는 <표 4>와 같다.

도시고속도로는 요일별 특성이 상이하므로 주말과 공휴일, 월요일, 금요일을 제외한 화, 수, 목요일의 데이터를 분석하였으며, 돌발관리데이터를 이용하여 돌발상황이 발생한 시기의 데이터는 분석에서 제외하였다.

반복정체는 발생시점과 지점이 거의 동일하므로 과거데이터 분석을 통해 정체발생패턴을 파악할 수 있다. <그림 3>은 2005년 9월부터 12월까지 돌발상황이 발생하지 않은 화, 수, 목요일의 내부순환로(내선) 홍은램프~홍지문터널입구 구간의 오전 6시 30분부터 자정까지의 시간대별 통행속도 그래프이다. 오전첨두시에는 오전 7시부터 속도가 감소하며 오전 8시에는 대부분

<표 4> 분석의 시간적·공간적 범위

구분	내용
분석 축	내부순환로(내선)
분석구간	홍은램프~홍지문터널입구
분석기간	2005년 09월~12월



<그림 3> 통행속도(홍은램프~홍지문터널입구)

〈표 5〉 분석시간 및 상세제시시간

구분	오전첨두시	오후첨두시
분석시간	06:30~08:00	17:00~21:30
상세 제시시간	소통원활시 - 06:50 혼잡전이시 - 07:20 정체시 - 07:50	

〈표 6〉 서울시도시고속도로의 소통상황 판단기준

구분	판단기준
소통원활	50km/h 이상
지체	30km/h 이상~50km/h 미만

정체가 발생하는 것을 알 수 있다. 오후첨두시에는 오후 5시부터 속도가 감소하여 오후 9시 30분까지 정체가 지속되는 것을 확인 할 수 있다.

오전첨두시에는 정체의 해소시간대가 광범위하게 분포하므로 정체가 발생한 시간까지인 오전 6시30분부터 오전8시까지를 분석하였으며, 오후첨두시에는 오후 5시부터 오후 9시30분까지를 분석하였다. 교통특성을 고려하여 소통원활시간, 혼잡전이시간, 정체발생시간의 대표적인 시간대를 1시간대씩 상세히 제시하였다.

본 연구에서 적용한 서울 도시고속도로의 소통상황 판단기준은 〈표 6〉과 같다.

1) 오전첨두시간대 분석(오전 6:30-오전 8:00)

(1) 소통원활시간 (오전 6시50분)

오전 6시50분의 통행속도 평균은 66.2km/h, 분산은 12.4이며, 통계적 분포를 결정하기 위한 분산/평균의 값은 0.19(Binomial Distribution)이다. 제한속도인 80km/h 까지 10km/h 단위로 발생빈도를 추정하며 구간별 확률 및 예측빈도는 〈표 7〉과 같다.

〈표 7〉 오전 6시50분의 속도구간별 확률 및 예측빈도

구분(km/h)	관측빈도	Binomial	
		확률	예측빈도
0~10	0	0.0%	0.0
10~20	0	0.0%	0.0
20~30	0	0.0%	0.0
30~40	0	0.0%	0.0
40~50	0	0.0%	0.0
50~60	1	3.9%	1.3
60~70	28	81.0%	28.4
70~80	6	15.1%	5.3
80 이상	0	0.0%	0.0
계	35	100.0%	35.0

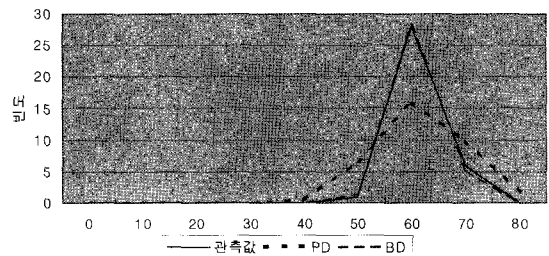
추정된 통행속도 범주별 분포의 유의여부를 판단하기 위하여 χ^2 -test를 이용한 적합성 검정을 실시한다. 귀무가설(H_0)은 "Binomial Distribution이 오전 6시 50분 통행속도의 분포를 가장 잘 설명한다(각 범주별 관측빈도와 예측빈도가 통계적 유의성이 있다)."이며, 유의수준 0.05(신뢰도 95%)에서 검정을 실시한다.

Binomial Distribution의 검정통계량의 값 χ^2 이 〈표 8〉과 같이 0.20으로 기준값 $\chi^2_{0.05}(df=8)$ 15.50 보다 작으므로 귀무가설을 채택한다. 즉, 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

분석결과를 통해 내부순환로(내선) 홍은램프~홍지문터널입구 구간의 오전 6시50분의 정체발생확률은 0.0% 임을 알 수 있다.

〈표 8〉 오전 6시50분의 χ^2 통계량

구분(km/h)	χ^2 통계량	
	Poisson	Binomial
0~10	0.00	0.00
10~20	0.00	0.00
20~30	0.00	0.00
30~40	0.01	0.00
40~50	0.57	0.00
50~60	4.78	0.09
60~70	9.05	0.01
70~80	1.54	0.10
80 이상	1.92	0.00
계	17.87	0.20



〈그림 4〉 오전 6시50분의 관측값과 추정값

(2) 혼잡전이시간(오전 7시20분)

오전 7시20분의 통행속도 평균은 43.8km/h, 분산은 372.8이며, 통계적 분포를 결정하기 위한 분산/평균의 값은 8.51(Negative-Binomial Distribution)이다. 10km/h 단위로 구분한 구간별 확률 및 예측빈도는 〈표 9〉와 같다.

추정된 통행속도 범주별 분포의 유의여부를 판단하기 위하여 χ^2 -test를 이용한 적합성 검정을 실시한다. 귀무

〈표 9〉 오전 7시20분의 속도구간별 확률 및 예측빈도

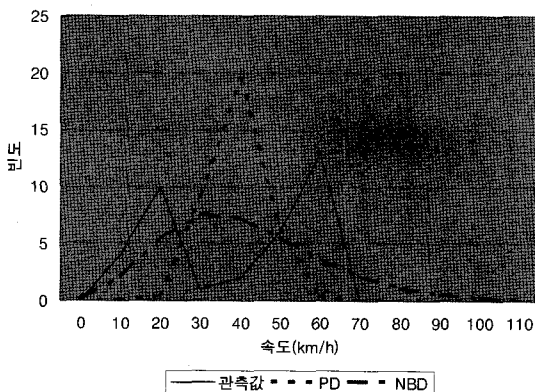
구분(km/h)	관측빈도	Negative-Binomial	
		확률	예측빈도
0~10	0	0.5%	0.2
10~20	4	6.0%	2.1
20~30	9	15.8%	5.7
30~40	2	21.4%	7.7
40~50	2	20.2%	7.3
50~60	6	15.1%	5.5
60~70	13	9.7%	3.5
70~80	0	5.6%	2.0
80 이상	0	5.7%	2.0
계	36	100%	36.0

가설(H_0)은 "Negative - Binomial Distribution이 오전 7시20분의 통행속도분포를 가장 잘 설명한다."이며, 유의수준 0.05(신뢰도 95%)에서 검정을 실시한다.

〈표 10〉 오전 7시20분의 χ^2 통계량

구분(km/h)	χ^2 통계량	
	Poisson	Negative-Binomial
0~10	0.00	0.18
10~20	21180.5	1.57
20~30	175.60	1.93
30~40	5.52	4.22
40~50	15.81	3.81
50~60	0.04	0.06
60~70	390.87	25.68
70~80	0.01	2.02
80 이상	0.00	1.95
계	21768.35	41.42

Negative-Binomial Distribution의 검정통계량의 값 χ^2 이 41.42로 기준값 $\chi_{0.05}^2$ (df=8) 15.50보다 크므로 귀무가설을 기각한다.



〈그림 5〉 오전 7시20분의 관측값과 추정값

위의 결과가 통계적 유의성을 갖지 못하는 이유는 통행속도의 분포가 〈그림 5〉와 같이 지체와 소통원활 부분을 설명할 수 없기 때문이다. 본 연구의 목적은 정체발생확률을 산정하는 것이므로 소통원활과 지체상황 부분은 분석대상에 포함시킬 필요성이 없다고 판단된다. 따라서 통행속도의 구간을 40km/h까지 다시 구분한다.

〈표 11〉 오전 7시 20분의 속도구간별 확률 및 예측빈도(2)

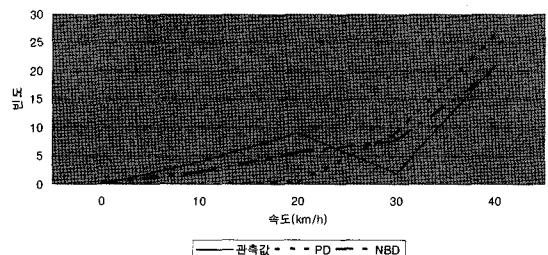
구분(km/h)	관측빈도	Negative-Binomial	
		확률	예측빈도
0~10	0	0.5%	0.2
10~20	4	6.0%	2.2
20~30	9	15.8%	5.7
30~40	2	21.4%	7.7
40 이상	21	56.3%	20.2
계	36	100%	36.0

재추정된 통행속도 범주별 분포의 유의여부를 같은 방법으로 적합성 검정을 실시하며 이때의 자유도는 4가 된다.

〈표 12〉 오전 7시20분의 χ^2 통계량(2)

구분(km/h)	χ^2 통계량	
	Poisson	Negative-Binomial
0~10	0.00	0.18
10~20	21180.50	1.57
20~30	175.60	1.93
30~40	5.52	4.22
40 이상	1.14	0.03
계	21362.76	7.94

Negative-Binomial Distribution의 검정통계량의 값 χ^2 이 7.94로 기준값 $\chi_{0.05}^2$ (df=4) 9.49보다 작으므로 귀무가설을 채택한다. 이와 같이 구간의 수를 조정하여 통행속도를 추정하는 경우 40km/h 이하의 속도분포만을 예측할 수 있다. 소통상황 판단기준을 적용하면 오전 7시20분의 정체발생확률은 22.3%라고 할 수 있다.



〈그림 6〉 오전 7시20분의 관측값과 추정값(2)

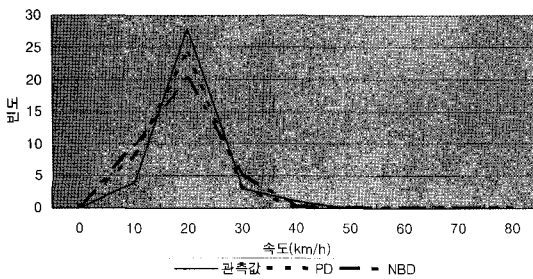
(3) 정체시간(오전 7시50분)

오전 7시50분의 통행속도 평균은 23.1km/h, 분산은 37.6이며, 통계적 분포를 결정하기 위한 분산/평균의 값은 1.63(Negative-Binomial Distribution)이다. 추정된 통행속도를 10km/h 단위로 구분한 구간의 분포 확률 및 예측빈도는 <표 13>과 같다.

<표 13> 오전 7시50분의 속도구간별 확률 및 예측빈도

구분(km/h)	관측값	Negative-Binomial	
		확률	예측빈도
0~10	0	0.5%	0.2
10~20	4	27.5%	9.9
20~30	28	56.3%	20.3
30~40	3	14.8%	5.3
40~50	1	0.9%	0.3
50~60	0	0.0%	0.0
60~70	0	0.0%	0.0
70~80	0	0.0%	0.0
80 이상	0	0.0%	0.0
계	36	100%	36.0

추정된 통행속도 범주별 분포의 유의여부를 판단하기 위하여 χ^2 -test를 이용한 적합성 검정을 실시한다. 귀무가설(H_0)은 "Negative-Binomial Distribution이 오전 7시50분의 통행속도 분포를 가장 잘 설명한다."이며,



<그림 7> 오전 7시50분의 관측값과 추정값

<표 14> 오전 7시50분의 χ^2 통계량

구분(km/h)	χ^2 값	
	Poisson	Negative -Binomial
0~10	0.03	0.16
10~20	2.31	3.51
20~30	0.60	2.95
30~40	0.03	1.02
40~50	30.62	1.37
50~60	0.00	0.01
60~70	0.00	0.00
70~80	0.00	0.00
80~90	0.00	0.00
계	33.59	9.02

유의수준 0.05(신뢰도 95%)에서 검정을 실시한다.

Negative-Binomial Distribution의 검정통계량의 값 χ^2 이 9.02로 기준값 $\chi_{0.05}^2$ (df=8) 15.50보다 작으므로 귀무가설을 채택한다. 즉, 통계적으로 유의함을 알 수 있다. 추정결과를 통해 오전 7시50분의 정체발생확률은 84.2%임을 알 수 있다.

(4) 오전첨두시간대 분석결과 종합

내부순환로(내선) 홍은램프~홍지문터널입구 구간의 오전첨두시간(오전 6시30분~오전 8시00분)의 분석결과를 종합하면 <표 15>와 같다.

<표 15> 홍은램프~홍지문터널입구 (오전 6시30분~오전 8시00분) 분석결과

시간	표본수	평균(km/h)	분산	분포	χ^2 통계량	정체확률(%)
06:30	32	70.0	59.6	Poisson	13.15	0.0
06:35	35	68.5	26.0	Binomial	1.51	0.0
06:40	35	67.5	29.0	Binomial	1.48	0.0
06:45	35	67.5	17.4	Binomial	1.18	0.0
06:50	35	66.2	12.4	Binomial	0.20	0.0
06:55	35	66.5	18.8	Binomial	3.01	0.0
07:00	36	64.4	16.1	Binomial	1.26	0.0
07:05	36	62.2	32.4	Binomial	8.83	0.0
07:10	36	61.4	36.5	Binomial	6.66	0.0
07:15	36	52.6	216.8	Negative	8.46	3.7
07:20	36	43.8	372.7	Negative	7.94	22.3
07:25	36	37.5	395.6	Negative	10.20	38.3
07:30	36	32.1	308.4	Negative	11.31	47.9
07:35	36	29.7	218.4	Negative	11.65	49.9
07:40	36	26.4	181.4	Negative	10.23	56.5
07:45	36	24.9	104.1	Negative	17.25	69.1
07:50	36	23.1	37.6	Negative	8.95	84.2
07:55	36	20.8	3.2	Binomial	0.05	100.0
08:00	36	20.3	3.1	Binomial	2.22	100.0

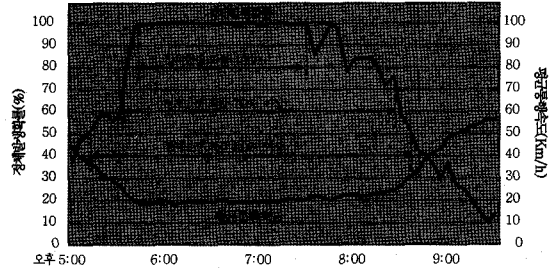
2) 오후첨두시간대 분석

분석방법은 오전첨두시와 같으며, 오후첨두시(오후 5시00분~오후 9시30분)의 분석결과는 <표 16>과 같다.

<그림 8>은 오후첨두시 정체발생확률과 평균통행속도를 나타낸 것이다. 정체발생확률이 50%가 넘는 시간대는 오후 5시10분~오후 8시35분이며, 70%가 넘는 시간대는 오후 5시35분~오후 8시25분임을 알 수 있다. 오후 5시45분에서 오후 7시30분까지는 정체발생확률이 100%에 가까운 것으로 나타났다. 또한 과거 데이터의 평균통행속도가 같은 시간에서도 정체발생확률은 달라질 수 있다는 것을 알 수 있다.

〈표 16〉 홍은램프~홍지문터널입구 (오후 5시00분~오후 9시30분) 분석결과

시간	표본수	평균(km/h)	분산	분포	χ^2 통계량	정체확률(%)
17:00	49	43.8	471.6	Negative	8.21	36.7
17:05	49	40.1	507.9	Negative	25.45	46.9
17:10	49	37.4	450.2	Negative	11.35	50.3
17:15	49	35.0	390.4	Negative	18.92	55.6
17:20	49	31.0	325.2	Negative	22.87	60.0
17:25	49	29.6	326.7	Negative	35.49	56.3
17:30	49	26.5	289.4	Negative	48.58	57.2
17:35	49	23.0	141.5	Negative	12.91	80.7
17:40	47	19.5	19.3	Poisson	9.65	98.4
17:45	48	18.5	4.1	Binomial	0.32	99.2
17:50	49	19.0	2.1	Binomial	1.54	100.0
17:55	49	19.3	4.9	Binomial	1.34	100.0
18:00	49	19.9	13.6	Binomial	2.36	99.4
18:05	49	18.6	1.8	Binomial	0.89	100.0
18:10	49	18.9	3.1	Binomial	0.52	100.0
18:15	49	19.3	2.8	Binomial	0.42	100.0
18:20	49	18.9	5.4	Binomial	3.81	100.0
18:25	49	19.4	4.5	Binomial	0.02	99.9
18:30	49	19.6	9.3	Binomial	0.55	100.0
18:35	49	19.8	6.9	Binomial	0.72	100.0
18:40	49	19.6	7.9	Binomial	0.01	100.0
18:45	49	19.4	19.0	Binomial	1.64	98.6
18:50	49	19.2	11.3	Binomial	0.24	99.9
18:55	49	19.5	8.5	Binomial	0.71	100.0
19:00	49	20.2	9.9	Binomial	0.58	99.8
19:05	49	19.9	6.5	Binomial	0.97	100.0
19:10	49	19.7	6.3	Binomial	4.05	100.0
19:15	48	19.8	4.8	Binomial	0.01	100.0
19:20	48	20.3	10.4	Binomial	8.70	99.8
19:25	48	20.2	3.0	Binomial	4.09	100.0
19:30	49	20.3	3.0	Binomial	7.77	100.0
19:35	49	22.3	54.6	Negative	14.91	85.7
19:40	49	21.3	29.2	Negative	17.40	93.0
19:45	49	20.0	2.9	Binomial	0.34	100.0
19:50	49	21.5	16.3	Binomial	0.54	97.5
19:55	49	22.2	73.7	Negative	11.93	77.9
20:00	49	22.0	56.6	Negative	9.37	84.2
20:05	49	21.9	50.7	Negative	7.28	83.7
20:10	49	22.1	45.8	Negative	16.41	84.5
20:15	49	23.1	95.7	Negative	20.36	80.0
20:20	49	24.1	121.2	Negative	12.71	72.4
20:25	49	24.7	163.9	Negative	32.21	75.4
20:30	49	27.5	226.0	Negative	26.86	58.3
20:35	49	30.4	353.9	Negative	28.29	52.7
20:40	49	32.3	434.9	Negative	17.53	42.8
20:45	49	38.1	529.1	Negative	9.86	40.7
20:50	49	41.0	606.4	Negative	14.26	36.9
20:55	49	43.4	723.8	Negative	11.07	30.0
21:00	49	48.4	718.0	Negative	7.86	36.7
21:05	49	50.3	632.3	Negative	10.47	26.5
21:10	49	50.9	654.9	Negative	14.94	25.2
21:15	49	53.4	586.2	Negative	7.40	19.3
21:20	49	54.5	523.0	Negative	10.38	15.1
21:25	49	56.5	504.6	Negative	19.00	10.1
21:30	49	56.5	556.3	Negative	18.30	13.9



〈그림 8〉 오후첨두시 정체발생확률과 평균통행속도

N. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 동일시점의 통행속도 데이터를 통계적으로 분석하여 반복정체의 발생확률을 추정하고자 하였고, 실측데이터를 이용하여 제안된 방안의 적용 및 검증 을 실시하였다. 데이터 분석결과 소통원활과 정체시간대 에서는 이항분포(Binomial Distribution)가 통행속도 의 분포를 가장 잘 설명하고, 혼잡이 전이되는 시간대 에서는 음이항분포 (Negative-binomial Distribution) 가 통행속도의 분포를 가장 잘 설명하는 것으로 나타났 다. 이는 분산정도에 따른 통계적 분포의 특성을 반영한 것으로 판단된다.

통계적 분포를 이용한 방법은 속도별 발생확률을 알 수 있기 때문에 반복정체의 판단기준이 변화하거나 보 다 세분화된 정보가 필요할 때에도 유용하게 이용될 수 있다. 분석범위의 시간적 확장을 통해 정체발생 및 해 소 시간대, 정체지속시간의 파악이 가능하고, 공간적 확장을 통해 노선 및 네트워크의 광역적인 반복정체 관 리가 가능하다. 또한, 시간대별 정체발생확률을 알 수 있기 때문에 발생한 정체의 반복정체여부를 판단하는 절차도 간소화 할 수 있다.

본 연구에서 추정된 정체발생확률은 소통원활 및 정 체시에는 통계적 유의성이 높게 나타나지만, 혼잡이 전 이되는 시간대에서는 상대적으로 유의성이 낮게 나타났 다. 이는 본 연구에서 지점데이터를 평균한 구간의 5분 데이터를 이용하여 교통류의 상태변화를 민감하게 반영 하지 못한 것으로 판단된다. 교통특성과 도로의 기하구 조분석을 통해 정체발생지점을 선정하고 보다 상세한 데이터를 이용하여 분석을 수행한다면 보다 정확한 추 정이 가능할 것이다. 또한, 본 연구에서 제시한 통계적 확률추정방법은 실시간 교통상황을 반영하는데 한계가 있기 때문에, 현재의 소통정보를 반영한 추정방안의 연 구도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. TRB(1975), Traffic Flow Theory.
2. 서울특별시(2004), 고속도로 교통관리시스템(3단계).
3. Xiaotian Sun, Highway Traffic State Estimation
Using Improved Mixture Kalman Filters for
Effective Ramp Metering Control, University
of California at Berkeley.
4. 법문사(2005), 통계학의 이해.

✉ 주 작 성 자 : 한영준

✉ 교 신 저 자 : 한영준

✉ 논문투고일 : 2006. 2. 25

✉ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)

2006. 4. 24 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 4. 24

✉ 반론접수기한 : 2006. 9. 30