

〔논문〕

# 눈·비로 인한 도시부 교통망의 거시적 영향분석

## Macroscopic Impact of Snowing and Raining on Urban Transportation Network

이 청 원\* · 권 병 철\*\*

### 목 차

I. 서론

III. 사례 연구

II. 본론

IV. 결론

## ABSTRACT

Chungwon Lee · Byungchul Kwon

Two-fluid model was applied to investigate the impact of the rain and snow on the urban street network characteristics. In two different case networks, the probe vehicle data were collected and used to estimate the two parameters of the model. According to the statistical test of the structural change, the rain did not show any prominent parameter value change. On the other hand, the snow incurred considerable adverse change of the parameters. With additional before and after data set of the snowing, the parameter recovering trend to normal values was observed. The trend indicates it needs three to four days to recover the normal network performance after snowing. Although this result needs to be further investigated with richer data in future, this paper has two important meanings: the first study to utilize the two-fluid model in Korea and the first study to utilize the model to characterize the rain and snow impact on the network performance in this field.

키워드(Key Words): two-fluid 모형, 영향분석, 도시부 교통망, 거시적 교통망 평가,  
two-fluid model, impact analysis, urban street network, macroscopic network evaluation

\* 서울시정개발연구원 도시교통연구부 연구위원

\*\* 서울시정개발연구원 도시교통연구부 연구원

## I. 서론

신호화된 교차로와 다양한 교통운영체계 등을 포괄하여 거시적으로 도시부 네트워크 특성을 파악하려는 시도는 매우 어려운 작업으로 알려져 있다. 과거 수십년 동안 다양한 도시들을 대상으로 일반화된 교통특성을 개발하고자 노력해 왔다. 평균속도, 단위거리당 정지시간, 가속의 분산, 연료소모 등이 대표적인 사례들이라 할 수 있다(M. F. Chang & R. Herman, 1978; R. Herman et al, 1978). 이러한 많은 시도 중에서 교통류 이론으로 정립되어 교과서적으로 활용되는 것으로는 Herman과 Prigogine(1979)의 two-fluid model이 현재까지는 유일하다. 이 역시 적용하기 위해서는 전일에 걸쳐서 개별차량의 주행시간, 정지시간을 구분하여 수집해야 하기에 속도나 교통량만을 수집 분석하는 것보다는 자료수집이 까다로우며, 아직은 광범위한 활용이 안되고 있는 실정이다. 또한, 국내에서는 네트워크 평가에 심도 있게 활용된 연구논문이 없고, 남산권 교통정보시스템 평가에서 교통정보시스템의 영향분석시에 일부 활용된 바 있다(서울시정개발연구원, 2001).

국내 광역시들은 교통운영개선을 위하여 상당한 공적비용을 도시부 네트워크에 투입하고 있으며, 많은 성공사례를 갖고 있다. 또한, 최근에 발전된 시뮬레이션 툴에 의해 사전평가는 지난날의 주먹구구식 대안평가를 한층 개선시켰다. 그러나 사업 전후의 교통수요 변화를 평가에 감안하기 위하여 많은 조사비용과 논리적 분석이 요구되는 검증적 사후평가는 별반 사례를 찾기 어려우며, 심도 있는 연구 없이 그저 어려운 일로만 치부하고 있는 실정이다. 따라서 교통운영 개선효과를 입증하고, 사업을 연속적으로 끌어가는 데 있어서 사후

검증 미흡이라는 걸림돌이 놓여있다고 볼 수 있겠다. 이에 학문적 토대를 갖춘 검증적 사후평가방법을 갖추기 위한 노력이 절실한 실정이며, 본 논문에서 소개하는 two-fluid model은 이러한 연구에 상당한 잠재적 활용가치를 안고 있는 것이다.

본 연구에서는 국내에서는 생소한 two-fluid model을 간략하게 소개하고 적용사례로 비나 눈이 오는 경우에 서울시 도시부 네트워크의 기능이 저하된다는 사실을 이 이론에 기초해 입증해보고자 한다. 비나 눈이 온 특정일을 전후하여 two-fluid model에서 네트워크 기능을 나타내는 두 모수에 어떤 변화가 있는지를 통계적으로 비교 검증하는 과정을 제시하였다. 학문적으로도 이 이론을 날씨의 영향에 적용한 것은 최초의 연구결과라고 볼 수 있겠다. 한편 분석된 결과를 실제 교통운영상에서 어떻게 활용하고 대처해야 하는가는 다양한 정책적 논의가 있을 수 있기 때문에 본 논문작업과는 별도로 논의되는 것이 바람직하다고 보고 본 논문에서는 구체적으로 다루지 않았으며, 향후 별도의 연구에서 다루도록 할 예정이다.

two-fluid model은 교통류의 상태를 정지와 이동으로 이분화하여 네트워크의 특성을 모형화한 것으로 다양한 네트워크의 교통서비스 수준을 거시적으로 비교·평가하는 데 유용한 방법이다. 본 연구에서는 서울시 강북 및 강남 사례 네트워크의 프로브차량 교통자료를 이용하여 눈·비가 도시부 교통망에 미치는 영향을 분석해 보았다.

## II. 본론

### 1. Two-Fluid 이론

Monograph on Traffic Flow Theory(TRB,

1997)는 도시부 교통망의 거시적인 효과평가를 위해서 세계 주요도시를 대상으로 two-fluid 모형의 적용사례를 소개하고 있다. 하지만, 현재 국내에는 아직 two-fluid 이론이 적용된 사례연구가 없는 실정이다. 본 연구에서는 먼저 모형에 대한 이해를 돕기 위해 Monograph on Traffic Flow Theory(TRB, 1997)에 설명된 내용을 토대로 간략하게 이론을 설명하도록 한다.

Two-fluid 이론은 다차로로 구성된 도시부 교통류를 대상으로 네트워크에 존재하는 모든 교통류를 거시적으로 분석하기 위해 1979년 Herman과 Prigogine에 의해 제안되었다(R. Herman & I. Prigogine, 1979).

Two-fluid 이론에서 네트워크 내의 모든 차량은 움직이는 차량과 정지해 있는 차량의 두 종류로 구분되어 네트워크 내 교통류 상태를 표현한다.

Two-fluid 모형은 다음 <식 1>과 같이 표현된다. 이 식은 대상 네트워크 내에 존재하는 모든 차량들의 단위거리를 이동하는 데 걸리는 총통행시간( $T$ )과 총통행시간 중 주행시간( $T_r$ )의 관계를 나타낸다.

$$\ln T_r = \frac{1}{n+1} \ln T_m + \frac{n}{n+1} \ln T \dots\dots <식 1>$$

여기서,

- $T$  : 총통행시간
- $T_r$  : 총통행시간 중 주행시간
- $T_m$  : 단위거리당 평균최소통행시간
- $n$  : 교통서비스수준 파라미터

이 모형은 다음과 같은 두 가지 이론적인 가정을 바탕으로 구성된 것이다.  
(가정 1) 네트워크에서 평균주행속도(average

running speed)는 움직이는 차량 비율과 비례한다.

$$V_r = V_m f_r^n \dots\dots\dots <식 2>$$

여기서,

- $V_r$  : 평균주행속도
- $V_m$  : 평균최대통행속도
- $f_r$  : 주행차량의 비율
- $n$  : 교통서비스수준 파라미터

평균통행속도  $v$ 는  $V = V_r / f_r$ 와 같이 표현할 수 있으므로 이를 <식 2>에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$V = V_m f_r^{n+1} \dots\dots\dots <식 3>$$

(가정 2) 네트워크를 순환하는 프로브 차량의 정지시간비는 같은 시간에 네트워크 내에 정지해 있는 차량의 비율과 같다.

$$f_s = \frac{T_s}{T} \dots\dots\dots <식 4>$$

여기서,

- $f_s$  : 정지해 있는 차량의 비율
- $T_s$  : 총통행시간 중 정지시간

이러한 가정들은 여러 도시들을 대상으로 한 사례연구를 통해 경험적(empirically)으로 증명된 사실이다(R. Herman & S. Ardekani, 1984).

$f_r + f_s = 1$ 이고, <식 3>에서 속도  $v$ 를 단위거리를 이동하는 시간으로 대체하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 T &= T_m \cdot f_r^{-(n+1)} \\
 &= T_m \cdot \left(\frac{T_r}{T}\right)^{-(n+1)} \\
 &= T_m \cdot \frac{T^{n+1}}{T_r^{n+1}}
 \end{aligned}$$

$T_r$ 에 대해서 다시 정리하면 <식 5>가 된다.

$$T_r^{n+1} = T_m \cdot T^n \dots\dots\dots <식 5>$$

이를 양변에 로그를 취해서 정리하면 <식 1>을 얻을 수 있다.

<식 1>의 회귀분석 파라미터 추정은 네트워크 내 차량들의 통행시간과 정지시간의 자료를 이용하게 되는데, 실제 네트워크 내에 존재하는 모든 차량의 통행자료를 수집하는 것은 불가능하기 때문에 프로브 차량에 의해 수집되는 자료들을 이용하게 된다.

Two-fluid 이론의 두 파라미터  $T_m, n$ 은 네트워크의 교통서비스에 대한 지표로 설명하는 데 사용된다. 여기서는 두 파라미터의 의미를 살펴보고록 한다.

1)  $T_m$  (단위거리당 평균최소통행시간)

이 값은 이론적으로는 정지해 있는 시간이 없이 네트워크 내에서 단위거리만큼 이동하는 데 소요되는 최소통행시간의 평균값을 의미한다. 그러나 실제로 차량들이 네트워크를 이동할 경우에는 정체에 의한 정지가 없다고 해도 교통신호와 같은 교통운영요소들에 의한 방해가 받게 된다. 따라서 이 값은 네트워크의 운영상태(operating

condition)를 나타낸다.

실제 사례 연구에 의하면 일반적으로  $T_m$ 의 추정치는 0.9~1.8(분/km) 수준으로 나타나며, 단위에서 보는 바와 같이  $T_m$ 값이 작을수록 네트워크의 운영상황이 좋다는 것을 의미한다.

2)  $n$  (교통서비스수준 파라미터)

정지시간  $T_s$ 가 커지면 총통행시간  $T$ 도 커지게 되는데, 이때  $T_s$ 의 증가에 따른  $T$ 변화를 나타내는 값이  $n$ 이다.

이 값은 교통수요가 늘어날 때 운영상태가 얼마나 악화되는지를 나타내는데,  $n=0$ 이면, <식 5>에서  $T_r = T_m$ 으로 일정하므로 총통행시간  $T$ 는 정지시간  $T_s$ 의 증가량만큼만 늘어난다.  $n>0$ 이면,  $T_r$ 도 정지가 늘어남에 따라 증가하게 되므로 총통행시간  $T$ 는 정지시간  $T_s$ 의 증가량보다 많이 늘어나게 된다. 사례 연구에 따르면, 일반적으로  $n$ 값은 0.8~3.0의 값으로 나타나며,  $n$ 값이 작을수록 교통수요가 늘어나도 네트워크의 악화가 상대적으로 적다는 것을 의미한다.

2. 통계적 검정방법

본 연구의 목적은 눈과 비와 같은 기후변화에 의해 도시부 네트워크 특성에도 변화가 오는지를 거시적으로 분석해 보는 것이다. 따라서 맑은 날과 눈 혹은 비가 오는 날을 구분하여 자료를 정리하고 각각에 의해 도출된 모형의 결과들은 통계검정을 통해 그 차이를 설명해 보았다.

Two-fluid 모형의 파라미터를 정산하기 위해서는 <식 1>에서 보는 바와 같이 로그 변환된 자료

를 회귀분석을 통해 절편과 기울기를 구해야 한다. 만약 기후변화에 의한 영향이 없다면 맑은 날의 자료와 눈, 비가 온 날의 자료를 구분하여 모형식을 만든다는 것은 유의하지 않을 것이며, 그 반대라면 두 자료를 구분하여 모형식을 구성하는 것이 옳을 것이다. 따라서 자료를 구분한 비제약(unrestricted) 모형과 자료를 구분하지 않은 제약(restricted) 모형을 설정하여 모형식의 구조적 변화를 통계적으로 검정할 수 있다. 이러한 검정방법을 일반적으로 구조변동검정(test of structural change)이라 한다.

$$Y_1 = \alpha_1 + \beta_1 X_1 + u \quad \dots\dots\dots \langle \text{식 6} \rangle$$

$$Y_2 = \alpha_2 + \beta_2 X_2 + u \quad \dots\dots\dots \langle \text{식 7} \rangle$$

$$Y = \alpha + \beta X + u \quad \dots\dots\dots \langle \text{식 8} \rangle$$

여기서,

- $Y_1$ : 맑은 날의 two-fluid 모형 회귀식의 종속변수
- $Y_2$ : 비 혹은 눈 온 날의 two-fluid 모형 회귀식의 종속변수
- $Y$ : 모든 날씨의 two-fluid 모형 회귀식의 종속변수
- $X_1$ : 맑은 날의 two-fluid 모형 회귀식의 독립변수
- $X_2$ : 비 혹은 눈 온 날의 two-fluid 모형 회귀식의 독립변수
- $X$ : 모든 날씨의 two-fluid 모형 회귀식의 독립변수

위의 모형식에서  $Y_1$ 과  $Y_2$ 는 비제약(unrestricted) 모형이며,  $Y$ 는 제약(restricted) 모형이다. 모형의 구조변화에 대한 통계적 검정을 위해서 다음과 같은 가설검정을 실시한다.

- 귀무가설( $H_0$ ):  $\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$
- 검정통계량 :  $F = \frac{(e_*^2 - e^2)/q}{e^2/(n-k)}$

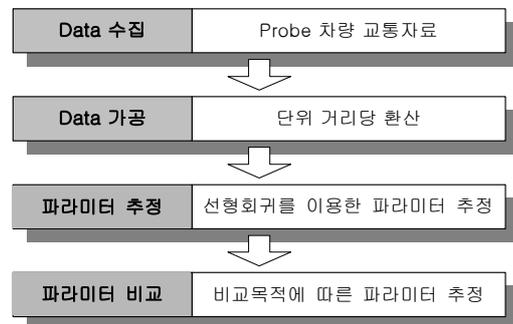
여기서,

- $e_*^2$ : 제약(restricted) 모형의 잔차제곱합
- $e^2$ : 비제약(unrestricted) 모형의 잔차제곱합
- $q$ :  $H_0$ 에 포함된 제약(restriction) 수
- $n$ : 총 샘플수
- $k$ : 비제약(unrestricted) 모형의 파라미터 수

자료분석을 통해 산출된 검정통계량이 어떤 유의수준  $\alpha\%$ 에서 기각역에 속한다면 귀무가설이 기각되므로 비제약(unrestricted) 모형으로 구성하는 것이 통계적으로 합당하다. 즉, 기후변화가 도시부 교통망에 영향을 주어 거시적인 분석지표에 변화를 준다는 것이다.

### 3. 분석 방법

Two-fluid 이론을 적용한 전체 분석과정에 대해 간략하게 설명하면 다음과 같다.



〈그림 2〉 분석 과정

1) Data 수집

일반적으로 two-fluid 모델 적용을 위한 자료수집방법으로 'chase car 방법'이 주로 이용되는데, 수집자료량이 적기 때문에 시뮬레이터를 활용하여 네트워크를 모형화한 후 그 결과를 활용하기도 한다.

본 연구에서는 서울시 강남과 강북의 ROTIS 프로브 차량자료가 활용되었다. 프로브 차량의 자료는 차량 ID, 링크시작점, 링크종점, 링크번호, 유입 및 유출 시간, 이동거리, 이동시간 등의 정보로 구성되어 있다.

2) Data 가공

프로브 차량의 원시자료에서 분석하고자 하는 링크별로 '총통행시간'과 '총통행시간 중 정지시간' 자료를 정리한다. '총통행시간'과 '총통행시간 중 정지시간'의 차를 이용해 분석 링크의 이동시간을 계산하고, 단위거리당 통행시간( $T_c$ )으로 환산한다. 또한, two-fluid 파라미터 추정과정의 회귀분석 입력자료로 활용하기 위해서 정리된 자료들을 log 계산한다.

3) 파라미터 추정

단위거리당 통행시간으로 환산하여 log 계산된 총통행시간( $\ln T$ )과 이동시간( $\ln T_c$ )을 이용해서 회귀분석을 수행하여 two-fluid 모델의 파라미터  $n$ ,  $T_m$ 을 추정한다.

4) 파라미터 비교

분석목적에 따라 추정된  $n$ ,  $T_m$ 을 정리하여 파라미터를 비교 분석한다.

III. 사례 연구

1. 사례 연구의 개요

사례연구의 대상지역은 <그림 2>와 <그림 3>에서 보는 바와 같이 강북 네트워크는 서울시청을 중심으로 종로, 을지로, 퇴계로 등의 주요 가로망을 포함하도록 설정하였으며, 강남은 강남구 일대의 강남대로, 삼성로, 도산대로, 테헤란로 등의 주요 도로망을 포함하도록 설정하였다.



<그림 7> 분석 네트워크 (강북)



<그림 8> 분석 네트워크 (강남)

분석자료는 (주)ROTIS에서 제공받은 프로브차량의 교통자료를 활용하였으며, 기상청의 과거 날씨자료를 바탕으로 눈, 비가 온 날을 선정하여 자료를 추출하였다. 비고 날씨는 유사한 교통수요를 확보할 수 있도록 같은 달의 같은 요일로 선정하였다. 자료에 대한 보다 상세한 설명은 다음과 같다.

- 분석자료 : (주)ROTIS 프로브 차량 원자료
- 분석시간대 : 오전 6:00 - 오후 10:00
- 분석일자 선정 : <표 1>, <표 2> 참조

<표 1> 날씨자료 (비의 영향분석)

연-월-일(요일)	날씨	최고기온(℃)	강우량(mm)
2001-8-6(월)	맑음	32.6	-
<b>2001-8-13(월)</b>	<b>비</b>	<b>23.6</b>	<b>84.5</b>

<표 2> 날씨자료 (눈의 영향분석)

연-월-일(요일)	날씨	최저기온(℃)	강설량(mm)
2001-2-13(화)	맑음	-6.4	-
2001-2-14(수)	맑음	-6.4	-
2001-2-15(목)	눈	-5.2	23.2
<b>2001-2-16(금)</b>	<b>맑음</b>	<b>-8.6</b>	<b>-</b>
2001-2-17(토)	구름약간	-7.0	-
2001-2-18(일)	구름약간	-0.5	-
2001-2-19(월)	맑음	1.3	-
2001-2-20(화)	맑음	-0.7	-
2001-2-22(목)	맑음	1.7	-

눈의 영향분석을 위해서 눈이 온 날을 기준으로 전 2일, 후 6일의 자료를 추가적으로 분석하였다. 이는 눈의 경우에 도로변에 쌓이거나, 결빙 등과도 이어져 눈이 온 이후에 교통망이 평상시로 회복하기까지의 변화를 분석하기 위해서다.

## 2. 비의 영향분석

비가 온 날, 맑은 날 및 두 자료를 모두 활용하여 산정한 각각의 two-fluid 파라미터 분석결과를 <표 3>, <표 4>와 같다.

<표 3> 비의 영향분석 결과 (강북)

연-월-일(요일)	표본수	$T_m$ (분/mile)	$n$	$R^2$	잔차 제곱합
2001-8-6(월)	34769	2.26	1.079	0.77	1236.2
<b>2001-8-13(월)</b>	<b>30367</b>	<b>2.35</b>	<b>1.059</b>	<b>0.76</b>	<b>1095.2</b>
제약 (Restricted)	65136	2.29	1.071	0.77	2334

<표 4> 비의 영향분석 결과 (강남)

연-월-일(요일)	표본수	$T_m$ (분/mile)	$n$	$R^2$	잔차 제곱합
2001-8-6(월)	39520	2.22	0.878	0.68	1162
<b>2001-8-13(월)</b>	<b>35150</b>	<b>2.28</b>	<b>0.843</b>	<b>0.67</b>	<b>1031</b>
제약 (Restricted)	74670	2.24	0.862	0.68	2195

<표 5> 통계적 검정 (비의 영향)

항 목	강 북	강 남
귀무가설( $H_0$ )	$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$
유의수준( $\alpha$ )	0.01	0.01
$F_{0.01}(2, \infty)$	4.61	4.61
검정통계량	$F_{cal} = 36.32$	$F_{cal} = 34.05$
검정결과	$H_0$ 기각	$H_0$ 기각

비로 인한 변화요인이 네트워크에 실제 영향을 미치는지 알아보기 위해서 통계적인 검정을

실시하였다. 검정 결과, 모형의 구조는 비제약 (unrestricted) 형태를 취하는 것이 유의한 것으로 나타났다. 즉, 강북과 강남 네트워크 모두 비가 온 날과 맑은 날의 자료는 구분하여 파라미터를 산정하는 것이 합당한 것으로 나타났다.

그러나, 파라미터값 자체를 살펴보면, 그 차이가 소수 둘째자리 수준에 머물러 문헌상의 파라미터 민감도(sensitivity)와 비교할 때 매우 미미한 수준으로 나타났다. 문헌을 살펴보면, 신호운영개편 전후 파라미터값의 변화나, 도시간 파라미터의 비교 시에 1.0 이상의 차이를 나타내는 경우가 많이 관측된다. 결국 사용된 자료는 비로 인한 영향이 통계적 유의성은 있지만 미미한 수준인 것으로 나타났다. 추가적인 자료수집에 의한 분석이 요청되며, 자료수집의 고비용으로 본 연구에서는 실천하지 못하였으며, 일단은 분석의 틀을 제시한 데 의의를 두고, 향후 추가 연구를 수행하고자 한다.

### 3. 눈의 영향분석

눈이 온 날, 맑은 날 및 두 자료를 모두 활용하여 산정한 각각의 two-fluid 파라미터 분석결과는 <표 6>, <표 7>과 같다.

<표 6> 눈의 영향분석 결과 (강북)

연-월-일(요일)	표본수	$T_m$ (분/mile)	$n$	$R^2$	잔차 제곱합
2001-2-13(화)	47335	2.28	1.190	0.79	-
2001-2-14(수)	44089	2.29	1.153	0.78	-
<b>2001-2-15(목)</b>	<b>17888</b>	<b>3.08</b>	<b>1.518</b>	<b>0.78</b>	<b>710.6</b>
2001-2-16(금)	23259	3.32	1.383	0.80	-
2001-2-17(토)	24334	2.76	1.410	0.82	-
2001-2-18(일)	28729	2.27	1.082	0.77	-
2001-2-19(월)	35442	2.25	1.284	0.81	-
2001-2-20(화)	43003	2.39	1.193	0.78	-
2001-2-22(목)	45093	2.29	1.182	0.79	1661.3
제약 (Restricted)	62981	2.43	1.358	0.78	2755

<표 7> 눈의 영향분석 결과 (강남)

연-월-일(요일)	표본수	$T_m$ (분/mile)	$n$	$R^2$	잔차 제곱합
2001-2-13(화)	59412	2.16	1.026	0.72	-
2001-2-14(수)	54798	2.16	1.052	0.74	-
<b>2001-2-15(목)</b>	<b>22814</b>	<b>2.41</b>	<b>1.647</b>	<b>0.74</b>	<b>906.8</b>
2001-2-16(금)	37760	3.28	1.184	0.73	-
2001-2-17(토)	42287	2.76	1.124	0.74	-
2001-2-18(일)	43058	2.31	0.875	0.63	-
2001-2-19(월)	50613	2.29	1.016	0.71	-
2001-2-20(화)	56987	2.23	1.029	0.72	-
2001-2-22(목)	57043	2.18	1.011	0.71	1729.6
제약 (Restricted)	79857	2.20	1.207	0.70	3047

눈으로 인한 변화요인이 네트워크에 실제 영향을 미치는지 알아보기 위해서 통계적 검정을 실시하였다.

<표 8> 통계적 검정 (눈의 영향)

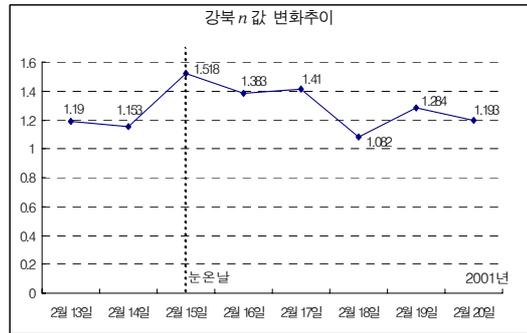
항 목	강 북	강 남
귀무가설 ( $H_0$ )	$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{pmatrix}$
유의수준 ( $\alpha$ )	0.01	0.01
$F_{0.01}(2, \infty)$	4.61	4.61
검정통계량	$F_{cal} = 5085.9$	$F_{cal} = 6218.3$
검정결과	$H_0$ 기각	$H_0$ 기각

검정 결과, 앞서 비의 영향과 동일하게 눈이 온 날과 맑은 날을 구분하여 비제약(unrestricted) 모형구조를 가지는 것이 합당한 것으로 나타났다. 특히, 검정통계량인  $F$ 값이 매우 높아 제1종 오류 (type I error)의 가능성이 낮은 것으로 판단된다. 파라미터의 비교에서도 눈이 온 날의  $n$ ,  $T_m$ 값이 높게 나타나 눈에 의해서 교통망 운영여건이 매우

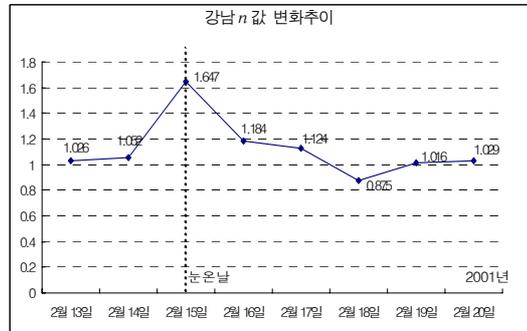
악화되는 것을 확인할 수 있었다.

눈은 비에 비해서 상대적으로 그 영향이 크기 때문에 눈이 내린 이후에 네트워크가 정상화되기 까지 상당기간이 소요될 것으로 예상된다. 따라서 눈이 온 날을 기준으로 전후 자료를 추가적으로 분석하여 two-fluid 파라미터의 변화추이를 분석하였다(<그림 4>~<그림 7> 참조).

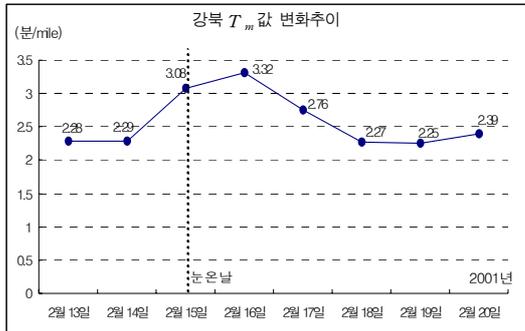
<그림 4>~<그림 7>에서 보는 바와 같이 눈이 온 날(2001년 2월 15일)을 기준으로 파라미터  $n$ ,  $T_m$  값이 커졌다가 즉, 네트워크의 상황이 악화되었다가 시일이 지남에 따라 차이는 있지만 점진적으로 낮아지는 경향을 확인할 수 있다. 본 자료에서는 3~4일이 지난 이후에 교통망이 정상수준으로 회복되는 것으로 나타났다.



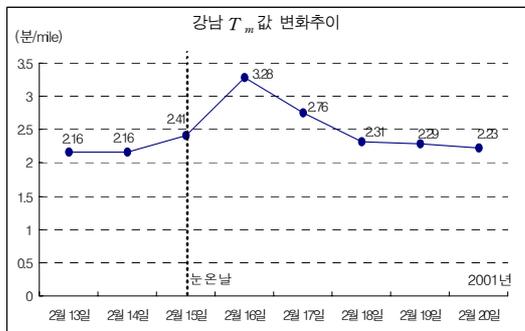
<그림 14> 강북 n 값 변화추이



<그림 16> 강남 n 값 변화추이



<그림 10> 강북  $T_m$  값 변화추이



<그림 12> 강남  $T_m$  값 변화추이

#### IV. 결론

본 논문에서는 도시부 교통망의 기능수준을 교통류적으로 분석하는 two-fluid model을 소개하고, 이를 서울시 강남과 강북의 네트워크에 적용하여 눈과 비가 교통망에 끼치는 영향을 분석해 보았다. 눈비로 인하여 네트워크의 효율이 떨어지는 것을 교통류적으로 검증해 본 것으로, 비의 경우는 명확하지 않았으나, 눈의 영향은 매우 큰 것이 확인되었다. 또한 눈의 경우는 눈이 온 후에 네트워크의 기능이 정상수준으로 회복되는 과정을 two-fluid model의 두 파라미터를 추적함으로써 확인해 보았다. 눈의 경우는 비정체시의 네트워크 효율을 나타내는 단위거리당 통행시간인

$T_m$  값이 커진 후에 점차 낮아져 갔으며, 정체시 네트워크의 특성을 나타내는  $n$  값 역시 증가한 후에 감소해가는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 눈이 비정체시와 정체시 모두 네트워크 기능을 저하시키고, 회복하는 데도 수일이 걸리는 것으로 해석할 수 있다. 장차 자료수집의 고비용 문제를 해결함으로써 보다 많은 사례를 수집·분석하여 네트워크 기능저하와 회복에 관한 추가연구가 필요하겠다.

한편, 이러한 결과를 실용적 측면에서 어떻게 정책에 반영할지를 논하기 위해서는 대안별 비용 구조를 포함한 주변여건 분석이 수반되어야 하기에 본 연구에서는 다루지 않고 향후 프로젝트성 연구과제로 남겨두었다. 연구결과에 따라서는 제설장비의 대폭적인 확보, 혹은 강우시 신호기 고장률을 줄이기 위한 과감한 투자필요 등과 같이 구체적인 정책적 결론을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

대규모 공사, 교통신호시스템의 교체, 대규모 TSM사업의 추진, 대규모 시위의 영향, 광범위한 불법주차 단속, 명절을 전후한 임시교통체계의 운영 등에 대한 사후평가에 있어서 교통량과 패턴이 전후로 일치하지 않음으로 인하여 명쾌한 결론을 내지 못하고, 또한 대안의 평가를 실증적으로 수행하기가 어려운 경우가 많다. 본 연구에서 제시한 two-fluid model은 실제로 미국에서 새로운 신호시스템의 영향을 평가할 때 적용한 바 있는 것으로, 많은 도시에 적용해서 교통망을 비교분석한 사례가 있다. 국내에서도 이를 활용하여 정책을 다양하게 평가하고, 보다 교통류적으로 분석해 내어, 확신 있는 대안을 찾는 데 본 연구결과가 일조했으면 한다.

## 참고문헌

- 서울시정개발연구원, 2001, 『남산1호터널 교통정보시스템 모니터링』
- E.G. Jones and C.A. Jankowski, 2002, "Scalability of the Two-Fluid Model of Urban Traffic: The Other End of the Scale Signalized Intersections", *Proceeding of the 81st TRB Annual Meeting*
- J. Johnston, 1991, *Econometric Methods - third edition*, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, pp.204-225
- M. F. Chang and R. Herman, 1970, "An Attempt to Characterize Traffic in Metropolitan Areas", *Transportation Science*, 12, pp.58-79
- Monograph on Traffic Flow Theory*, TRB, 1997
- R. Herman and I. Prigogine, 1979, "A Two-Fluid Approach to Town Traffic", *Science*, 204, pp.148-151
- R. Herman and S. Ardekani, 1984, "Characterizing Traffic Conditions in Urban Areas", *Transportation Science*, Vol.18, No.2, pp.101-140
- R. Herman, R. G. Rule and M. W. Jackson, 1978, "Fuel Economy and Exhaust Emissions Under Two Conditions of Traffic Smoothness", *SAE Paper 780614, Passenger Car Meeting*, Troy Hilton, Troy, Mich., June 5-9
- R. Jayakrishna, Stephen P. Mattingly and Michael G. McNally, 2000, *Performance Study of SCOOT Traffic Control System with Non-Ideal Detectorization: Field Operational Test in the City of Anaheim(UCI-ITS-WP-00-27)*, Institute of Transportation Studies University of California, Irvine
- Williams, Mahmassani and Herman, 1995, "Sampling Strategies for two-fluid model parameter estimation in urban networks", *TR*, Vol.29A