

■ 論 文 ■

기상조건에 따른 도시고속도로 교통류변화 분석

The Effect of Rain on Traffic Flows in Urban Freeway Basic Segments

최 정 순

(문화방송 기획조정실 차장)

손 봉 수

(서울시정개발연구원 부연구위원)

최 재 성

(서울시립대학교 도시공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구범위
 - 3. 연구 수행방법
 - II. 기존 연구의 검토
 - 1. Hurdle, Jones, Kleitsch 의 연구결과
 - 2. Hall 의 연구결과
 - III. 현장조사 및 자료분석
 - 1. 현장조사지점
 - 2. 자료의 분석
 - 3. 혼잡교통류의 구분
 - IV. 비에 의한 교통류 변화 분석
 - 1. 속도-교통량 관계
 - 2. 교통량-점유율 관계
 - V. 관측된 최대서비스 교통류율 분석
 - 1. 전체 차로 기준
 - 2. 각 차로별 기준
 - VI. 연구결과의 시사점
 - VII. 결론
 - 1. 분석결과 요약
 - 2. 향후 연구과제
- 참고문헌

요 약

본 연구는 우리 나라의 고속도로 기본구간에서 기상조건에 따른 도시고속도로 교통류의 특성을 분석한 것이다. 본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 비가 올 경우 속도-교통류율간의 관계는 길어깨쪽 차로를 제외하고 차로별로 큰 차이가 없이 유사한 패턴을 보이는 것으로 나타났다.

둘째, 교통류율-점유율간의 관계식은 비가 올 경우 그 관계성은 더 분명해지지만, 서비스교통류율이 약 200 대/시/차로 정도 감소하는 것으로 나타났다.

셋째, 비가 올 경우 도로의 관측된 서비스교통류율은 맑은 날에 비해 약 10-20% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 1998 HCM에서 제시한 결과 및 교통류율-점유율 관계식의 기울기 감소 패턴과 일치한다.

넷째, 비가 올 경우 전체 차로의 소통능력은 맑은 날에 비해 감소하고 전반적으로 중앙분리대쪽 차로의 소통능력이 길어깨쪽 차로에 비해 높은 것으로 나타났으나, 기상변화에 따른 차로별 임계속도와 임계점유율은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

본 연구는 도시고속도로 기본구간의 1개 지점에서 나타난 특성으로서 공간적 분포 특성을 고려하기 위해서는 향후 연구에서 다양한 조건을 갖는 도로지점에 대해 분석해야 할 것이다. 또한 비 뿐만 아니라 안개나 눈에 의한 영향을 고려한 상세한 분석이 필요하다. 본 연구의 결과는 그간 일반적으로 알려졌던 내용과 큰 차이는 없지만 실제로 고속도로를 설계하거나 운영하는데 근거자료로 활용할 수 있는 자료를 제공하는 측면에서 의미가 있다고 판단되며, 도로용량편람을 개정 및 수정하는 과정에서 명확히 명시해야할 기초자료를 제공하고 있다.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

일반적으로 고속도로의 차량 흐름을 지칭하는 연속 교통류(Continuous Traffic Flow)의 특성을 해석하기 위해서는 교통량(Flow), 속도(Space Mean Speed), 밀도(Density) 혹은 점유율(Occupancy) 등의 교통 변수간 상관관계를 심도있게 파악할 필요가 있다. 이러한 목적으로 교통변수간의 상관관계식은 이미 오래전부터 국내외 교통학자들에 의하여 많은 연구가 지속적으로 수행되어 오고 있으며 검증된 연구 결과와 상관식들은 고속도로의 설계 및 운영분석을 위한 편람(Highway Capacity Manual : HCM)에 기초 자료로 활용되고 있다.

그러나 기존에 연구되어 사용하고 있는 교통변수간의 상관관계식 및 자료들은 이상적인 기상조건에서 수집된 데이터를 이용, 분석한 것으로 기상변화에 따른 특성은 고려되지 않은 것이다. 특히, 고속도로 등 대규모 도로시설물인 경우 비가 왔을 때 나타나는 용량저하 현상을 고려하지 않았을 경우, 서비스 수준의 분석 결과가 부정확하게 되고, 특히 앞으로 첨단 교통정보전달체계를 구성할 때나 램프미터링 등의 교통 수요관리기법을 적용할 때 효과적인 교통관리기법을 제시하지 못하게 될 우려가 있다.

사계절이 뚜렷하고 많은 비와 눈이 오는 온난기후 지역에 위치한 우리 나라는 연간 강우일수와 강설일수가 비교적 긴 편이다. 따라서 이러한 기후조건 특성을 가진 지역에서는 이상적인 기상조건을 전제로 분석된 자료에 의하여 고속도로를 설계하고 운영하는 것보다 다양한 기상조건에 의한 연속류의 특성을 분석한 자료를 활용하여 설계하고 운영하는 것이 고속·고용량의 고속도로가 제 기능을 발휘하도록 하는 합리적인 방법이라고 판단된다. 이러한 관점에서, 기존에 제시된 기준과 결과를 실용적인 목적으로 고속도로 설계나 운영전략을 수립하는데 적용하기 위해서는 기상조건에 따른 고속도로 교통류변화에 대한 분석결과를 검토할 필요가 있다고 판단된다. 본 연구에서는 고속도로 교통류를 설명하는 기본적인 관계식이 비가 올 때 어떻게 변화하는지를 상세히 분석하고자 했다.

2. 연구 범위

본 연구는 공간적으로 서울의 올림픽대로를 주 대상으로 설정하였다. 내용적으로는 날씨에 따른 교통류 변화 특성을 분석했던 기존의 국내의 연구결과를 모두 검토했으며, 기상조건을 맑은 날과 비오는 날의 두 가지로 구분하여 조사했고, 교통용량을 기준으로 비혼잡교통류와 혼잡교통류로 나누어 분석했다. 분석 항목은 날씨별 속도, 교통류율, 점유율간의 관계가 주를 이루었고 그 외에도 교통용량, 임계속도 등의 변수가 포함되었다.

3. 연구 수행방법

본 연구를 수행하기 위하여 우선적으로 국내외 관련 연구결과를 검토했으며, 특히 캐나다의 Hall이 제시했던 날씨 변화에 따른 교통류율-점유율간의 연구결과를 중점적으로 검토했다¹⁾. 현장조사는 올림픽대로 교통관리시스템의 영상검지기를 통해 수집된 자료를 이용했으며, 속도-교통류율, 교통류율-점유율, 용량, 임계속도, 임계점유율 등의 변화를 분석했다.

II. 기존 연구의 검토

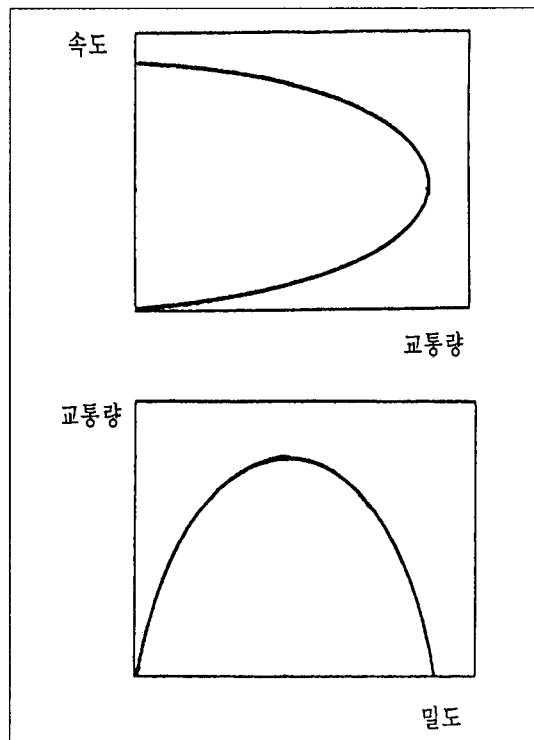
기상조건에 따른 고속도로 교통류변화 분석에 관한 연구실적은 국내외적으로 매우 미흡하여, 미국 HCM이나 우리 나라 도로용량편람에도 기상조건에 따른 고속도로 교통류변화에 대한 참고자료를 거의 제공하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 실정을 감안하여, 본 연구에서 다양한 기상조건 중에서 우천시의 교통류변화에 관한 수집이 가능한 연구결과만을 정리하였다.

1. Hurdle, Jones, Kleitsch 의 연구결과

〈그림 1〉은 잘 알려진 대로 교통량, 속도, 밀도간의 기본적인 관계이다. 밀도 대신에 점유율을 사용할 경우에도 세 교통변수간의 관계식은 거의 비슷한 형태를 나타낸다. 그러나, 〈그림 1〉에서 제시한 것도 지역적인 교통특성에 따라 다소의 차이가 발생할 수 있다. 특히, 비혼잡 교통류 상태의 속도-교통량 및 교통량-점유율간의 관계식에는 교통량의 수준에 따라

그 관계식이 상당한 차이를 보일 수 있는 것으로 알려진 바 있다²⁾. 1998년의 미국 HCM에서도 Hurdle의 연구결과에 따라 비혼잡교통류에서 교통량이 교통용량의 80% 정도 수준에 이를 때까지는 교통량 증가에 따른 속도변화가 그다지 심하지 않다는 것을 인정하여 반영한 바 있다³⁾. 또한 Jones 와 Goolsby의 연구결과에서도 고속도로의 용량은 비가 오는 경우 약 14~19% 정도 감소하는 것으로 나타났으며⁴⁾, HCM에서는 미네소타주 I-35W의 연구결과를 인용하여 비가 조금만 내려도 용량은 8%감소한다고 보고하고 있다^{5,6)}.

위의 연구 결과들을 요약해 볼 때 고속도로의 용량은 비가 왔을 때 약 10~20% 정도 감소하는 것으로 판단할 수 있다.



〈그림 1〉 교통량-속도-밀도간의 관계식

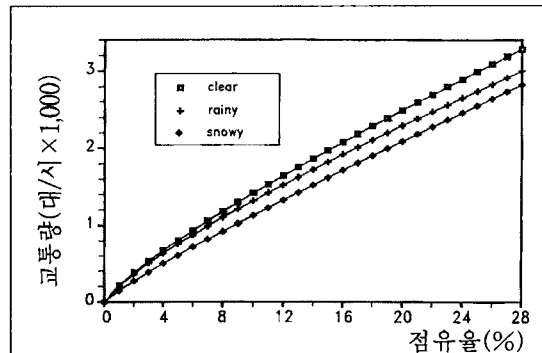
2. Hall의 연구결과

Hall과 Barrow는 비혼잡 상태의 교통량과 점유율 관계를 지수함수식으로 표현하여 기상변화에 의한 연속류의 변화를 통계학적 방법으로 분석하였다¹⁾. 분석데이터는 캐나다 온타리오주 Queen Elizabeth

Way 도로상의 Burlington Skyway 고속도로 교통 관제시스템 센터에서 수집하였으며 맑은 날 3일간과 비가 온 날 4일간에 대해 조사했다.

이 연구의 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같고, 분석결과는 〈그림 2〉에 도시적으로 제시하였다.

- 비가 올 경우 교통류율-점유율 관계식의 기울기가 맑은 날에 비해 감소한다.
- 최대서비스교통류율도 기상조건이 악화될수록 점점 감소한다.
- 임계점유율은 비가 오는 경우가 28%로 맑은 날의 30%에 비하여 다소 감소한다.



〈그림 2〉 비가 왔을 때의 교통류율-점유율 변화곡선

이와 같은 연구결과를 통해 볼 때, 비록 비가 왔을 때의 교통류가 정상 상태보다는 크게 변화하지 않는다 하더라도 그 영향을 교통류 분석에 반영시켜 줄 필요성은 충분히 있다고 보며, 만약 그 영향이 크다면 향후 고속도로의 용량 보정계수 산정시에도 보정계수 설정을 고려해야 할 것으로 생각된다.

III. 현장조사 및 자료분석

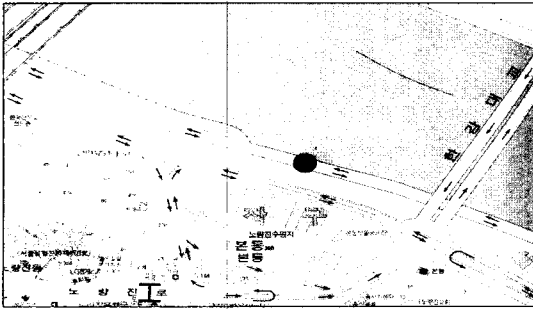
1. 현장조사 지점

본 연구를 위한 분석 대상지점은 다음과 같은 기준에 근거하여 선정하였다.

- 혼잡과 비혼잡 교통상황을 모두 관찰할 수 있는 교통량, 속도, 점유율 데이터 수집이 가능해야 한다.
- 도로용량편람에서 규정하고 있는 고속도로 기본구간으로 하류부의 램프접속부나 엇갈림구간에서 발생하는 교통혼잡의 영향을 직접적으로 받지 않는

지점이어야 한다.

본 연구에서는 이러한 조건들을 모두 만족시키는 지점으로 한강 남쪽을 동서방향으로 연결하는 올림픽대로 노량대교 구간에서 한강철교와 한강대교 사이의 영상검지기 4번 설치지점을 선정하였으며 교통류의 진행방향은 동쪽, 즉 종합운동장 방향이다. <그림 3>은 현장조사지점에 대한 요약도이다.



<그림 3> 현장조사 대상지점 요약도

2. 자료의 분석

1) 조사항목

고속도로 교통특성을 규명하기 위해서는 교통량, 속도, 밀도의 상호관계, 즉 교통류 모형을 구축하는 것이 최우선적이다. 그러나, 밀도는 대상으로 주변에 양호한 카메라 설치지점이 있어야 하기 때문에 수집하기가 현실적으로 곤란하다. 따라서, 이를 대신해서 밀도에 비해 수집이 용이한 점유율을 사용해서 분석했다. 점유율은 일정한 시간 동안 도로상의 일정한 지점을 통과하는 차량들이 검지기를 점유하는 시간과 조사시간 간의 비율을 의미하는데, 비혼잡교통류 상태에서는 점유율 값이 낮고 혼잡한 교통류 상태에서는 높게 나타난다. 이는 점유율이 높아질수록 차두간격이 짧아지기 때문이다. 따라서, 점유율을 잘 활용하면 도로상의 교통류 상태를 간접적으로 잘 파악할 수 있다. 본 연구에서는 교통량, 속도, 점유율을 영상검지기를 통해 추출하였다.

2) 조사 기간

현장조사는 1998년 3월 한달 동안 교통량 변화가 비교적 적은 화요일부터 목요일사이의 평일에 수집하였다. <표 1>은 조사일자와 조사당일의 기상상태를 나타낸 것이다.

<표 1> 현장조사 일시 및 기상상태

주	조사일자	기상상태	비온시간대	강우량 (mm)
1주	1998. 3. 4	맑음	-	-
2주	1998. 3. 11	비	02:15 ~ 24:00	30.1
	1998. 3. 12	맑음	-	-
3주	1998. 3. 17	맑음	-	-
	1998. 3. 19	비	05:50 ~ 17:35	38.7
4주	1998. 3. 24	맑음	-	-
	1998. 3. 25	맑음	-	-
	1998. 3. 26	맑음	-	-
5주	1998. 4. 1	비	01:20 ~ 24:00	31.8

영상검지기를 이용했을 때 맑은 날에는 햇빛의 영향을 최소화할 수 있는 시간대를 설정해야 하고, 교통량이 적을 때부터 아주 많아 혼잡교통류를 관측할 수 있는 시간대를 선택할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 이를 고려하여 새벽 5시부터 정오까지로 조사시간대를 설정하였다. 한편, 조사한 자료 중에서 속도 0~120km/h, 점유율 0~100%, 교통류율 범위 : 0~3,000 대/시/차로 범위에서 벗어나는 자료는 신뢰도가 낮다고 보아 분석 대상에서 제외시켰다.

3. 혼잡교통류의 구분

혼잡 및 비혼잡 교통류상태 구분은 교통용량 발생시점을 기준으로 하여 설정했다. 이를 위해 1차적으로는 속도-교통류율, 교통류율-점유율 관계도를 이용하여 교통용량에 도달하는 시점을 대략 파악한 뒤, 정확한 교통용량 발생시점을 time-trace 분석 기법을 이용하여 다음과 같이 결정했다.

- 시간에 따른 교통량과 속도변화추이를 분석하여 교통량이 가장 많고, 속도변화가 가장 큰 시간대를 파악한다. 예를 들어, 3월 17일 조사자료에서 해당 시간대는 <그림 4>에 제시된 바와 같이, 06:45~07:45이다. <그림 4>에서 제시한 자료를 통해 각각 교통류 분석의 시작시점(06:45), 교통용량에 도달한 시점(07:10), 혼잡교통류로의 전환 시점(07:13~07:14), 분석을 끝마친 시점(07:45)을 시간대별로 확인할 수 있다. 이 시간대의 교통량-속도 관계도와 교통량-점유율 관계도를 도시하여 교통량이 최대로 증가했다가 감소되기 시작하는 시점을 파악한다. 예를 들어,

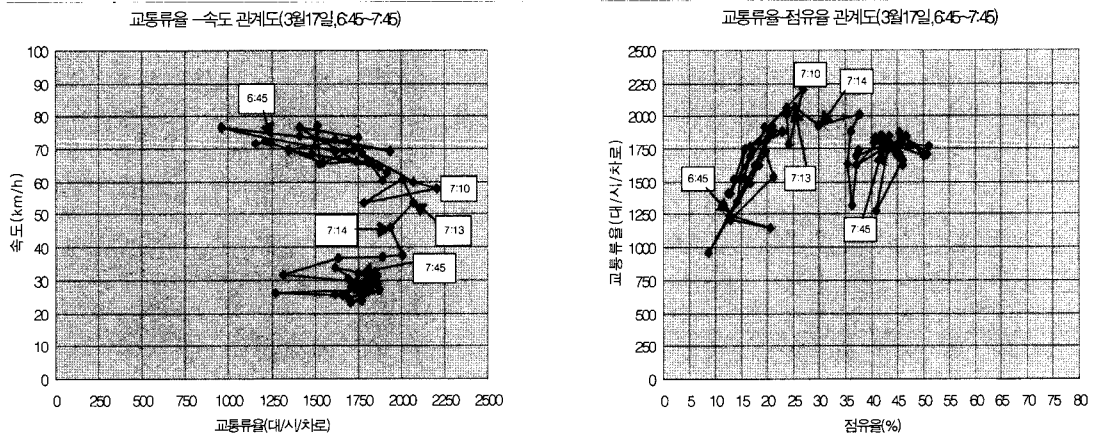
〈그림 4〉에서 제시한 바와 같이 07:10 이후에 몇 분 동안 교통량과 속도는 감소 및 증가를 반복하지만, 점유율은 최대교통량이 발생했던 시각보다 증가하지 않았다. 결국 07:13에서 07:14 사이에 교통량과 속도는 대폭 감소하고 점유율은 크게 증가하였다. 07:13에 교통류율 2,050(대/시/차로), 속도 52(km/h), 점유율 25(%)이던 교통류 상태가 07:14에는 교통류율 1,900(대/시/차로), 속도 46(km/h), 점유율 30(%)로 바뀌었다. 07:14 이후 30분 동안 07:14에 수집된 자료보다 높은 교통류율, 속도나 낮은 점유율을 기록하는 시각이 없었다. 따라서 3월 17일에 조사한 자료의 혼잡 교통류 전환시점은 07:10부터 교통류가 불안정한

상태이므로 전환시점을 07:11으로 추정할 수도 있으나, 본 연구에서는 혼잡 전환시점을 교통류가 완전히 혼잡한 상태에 접어들기 시작한 시점을 기준으로 07:13에서 07:14사이로 추정하였다.

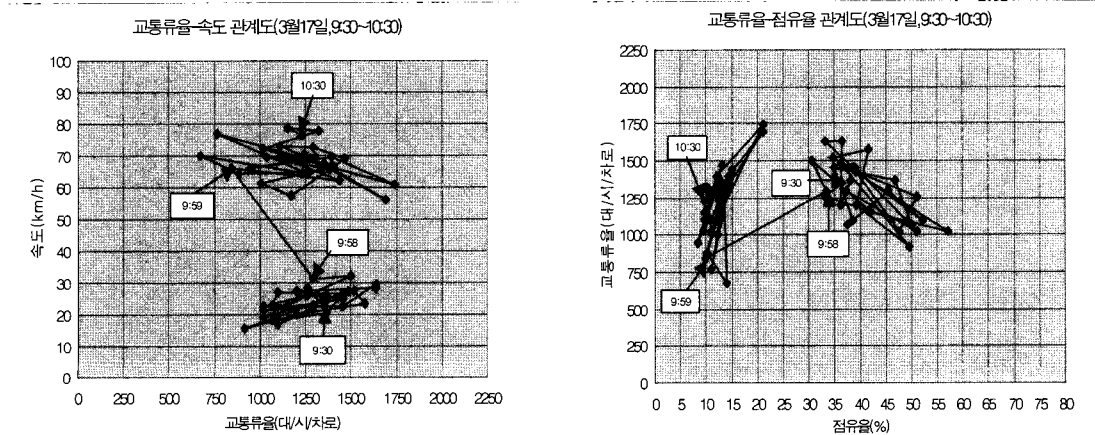
- 혼잡상태에서 비혼잡상태로 전이되는 시점도 〈그림 5〉에서 제시한 바와 같이 동일한 방법을 이용하여 확인할 수 있다.

IV. 비에 의한 교통류변화 분석

본 연구에서 수집한 데이터에 의하면 비가 온 3일간의 강우량은 30.1~38.7mm로 3일간 강우량 수준에 큰 차이가 없는 바, 본 연구에서는 강우량 수준에



〈그림 4〉 교통용량 도달지점 분석을 위한 Time-Trace도 (비혼잡→혼잡)



〈그림 5〉 교통용량 도달지점 분석을 위한 Time-Trace도 (혼잡→비혼잡)

다른 영향분석을 제외하였다. 그러나, 이 부분에 대한 추후 연구는 필요하다고 판단된다.

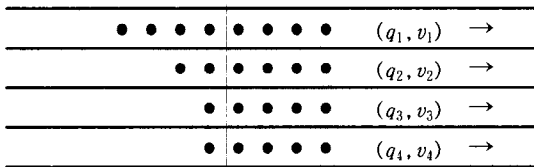
1. 속도-교통류율 관계

1) 전체 차로에 대한 분석

일반적으로 용량에 도달하는 시점을 확인하기 위해서는 전체 차로를 기준으로 분석함이 일반적이다. 본 연구에서도 우선 전체 차로를 대상으로 분석하였다. 전체 차로에 대한 평균속도-교통류율 관계를 표출하기 위해 아래에서 제시한 전체 차로의 평균속도 개념을 사용했다.

- 전체 차로에 대한 평균속도 개념

전체 차로에 대한 평균속도는 한 방향에 대하여 각 차로별로 단위 수집주기 동안 관찰된 교통류율과 속도를 이용하여 평균속도를 구하는 방법이다⁷⁾. 이는 통과 교통량이 많은 차로의 속도에 비중을 더해 주는 방식으로서 <그림 6>에서와 같이 평균속도를 계산한다.



$$V = \frac{q_1v_1 + q_2v_2 + q_3v_3 + q_4v_4}{Q} \quad (1)$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \quad (2)$$

여기서, V : 단위시간(1분) 동안 검지기를 통과한 전체 차로의 가중평균속도

Q : 단위시간(1분) 동안 검지기를 통과한 전체 차로의 총 교통량

q_i : 단위시간(1분) 동안 검지기를 통과한 i차로 차량군의 교통량

v_i : 단위시간(1분) 동안 검지기를 통과한 i차로 차량군의 평균속도

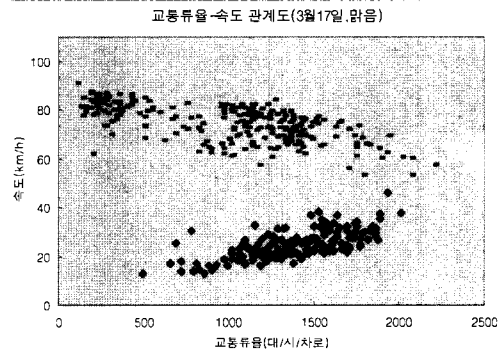
<그림 6> 전체 차로를 기준으로 한 평균속도 계산방법

전체 차로에 대해 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

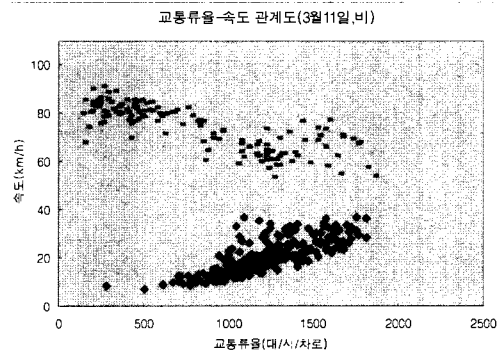
- <그림 7>과 <그림 8>은 맑은 날과 비가 온 날의 분석한 결과를 각각 나타내고 있다. 전반적으로 교통류율이 증가할수록 속도가 감소하며 이러한

패턴은 날씨 변화에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

- 맑은 날에는 관측된 서비스교통류율이 2,200대/시 수준에 도달할 때까지 차량들의 속도가 거의 일정한 수준을 유지하는 반면, 비가 올 경우 교통류율이 증가할수록 속도가 감소하는 양상을 보이고 있다.



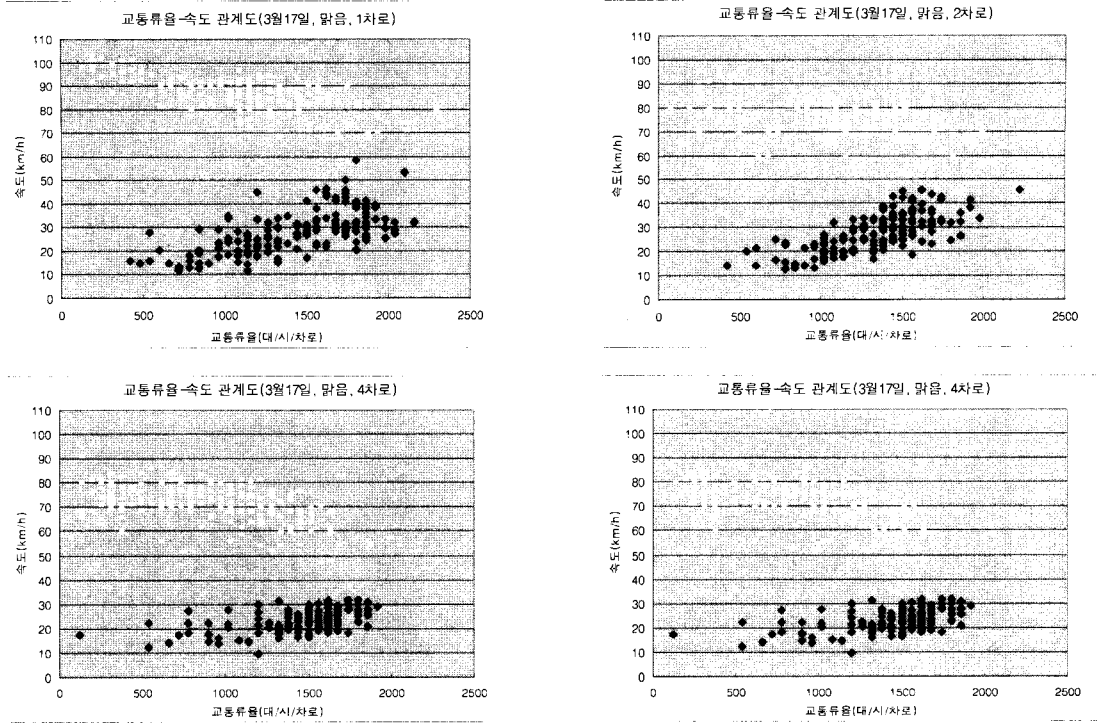
<그림 7> 맑은날의 속도-교통류율 관계



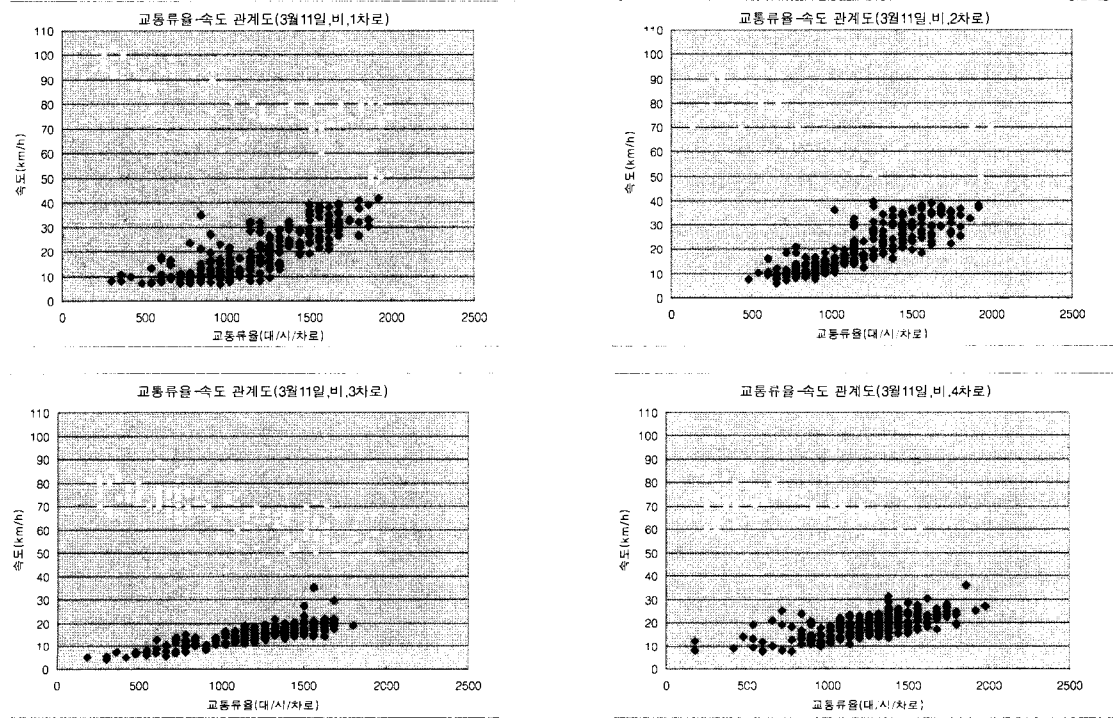
<그림 8> 비가 온 날의 속도-교통류율 관계

2) 각 차로별 분석

차로별 교통류에 대해 검토한 결과는 <그림 9>와 <그림 10>에 제시되어 있다. 대체로 차로별 차이는 없으나 1, 2차로의 속도분포가 3, 4차로에 비해 높게 나타났다. 한편 비가 올 때 속도-교통류율간의 관계에서는 교통류율이 증가하여도 차량들의 속도가 거의 변하지 않는 4차로를 제외하고는 차로별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 전반적으로 비오는 날의 속도분포는 맑은 날에 관측한 결과와 비슷하게 1, 2차로가 3, 4차로에 비해 높게 나타났다.



〈그림 9〉 맑을 때의 차로별 속도-교통류율 관계



〈그림 10〉 비올 때의 차로별 속도-교통류율 관계

2. 교통류율-점유율 분석

일반적으로 교통량-점유율 관계는 교통량이 증가할수록, 특히 용량수준에 근접할 경우 급격히 bending 하는 경향을 보임으로⁸⁾, linear function은 부적합하고 non-linear function 중에서 이차함수식과 지수함수식이 적합할 것으로 판단된다. 그러나, 이차함수식은 지수함수식에 비해 교통량이 많은 부분을 잘 표현하는 장점이 있지만, 교통량-점유율의 2차원 평면 좌표상에서 원점(교통량 0, 점유율 0)을 통과하지 않는 경우가 발생하는 문제점이 있다.

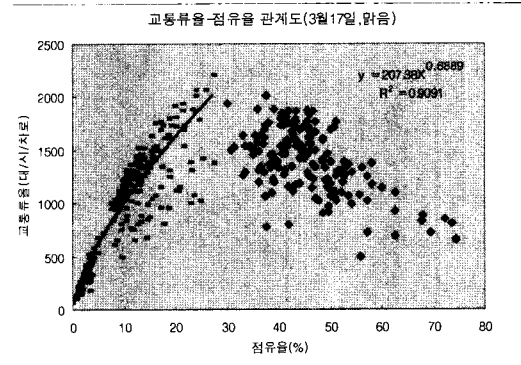
사실, 점유율이 0인 경우 실제 교통량은 0부터 3까지 해당이 되므로, 관계식이 반드시 원점을 통과할 필요는 없다⁹⁾. 또한, 관측데이터의 관계를 표현함에 있어서 관측데이터의 주류를 이루는 수준의 교통량을 잘 표현할 수 있는 함수를 선정함은 타당하다. 그러나, 본 연구에서는 각 기후조건하에서 관측된 데이터를 동일한 함수를 이용하여 회귀분석을 한 후, 각 기후조건하에서 함수식의 기울기 변화를 비교하여 기후변화로 인한 영향을 판단하고자 한다. 따라서, 이러한 기법을 적용하기 위해서 만약 좌표상에서 관계식의 절편이 교통량 0, 점유율 3인 점을 지난다면 다음과 같은 문제로 인해 관계식의 적합성이 문제될 수 있다. 즉, 이차함수식의 절편값이 각기 다를 경우, 단순히 기울기만을 비교하여 기후변화로 인한 영향을 판단하는데 한계가 있다. 또한, 동일한 절편값을 설정하여 이 값을 기준으로 이차함수식을 도출할 경우, 각 기후조건하에서 관측된 데이터를 신뢰성 있게 표현하는데 한계가 있을 수 있다. 특히, 비혼잡 교통류 상태에서는 교통량과 점유율간의 일정한 패턴을 관찰할 수 있으나, 혼잡한 상태에서는 데이터의 분산이 심하여 교통변수간의 관계를 규명함이 무의미한 것으로 판단된다. 이러한 관점에서, 본 연구에서는 비혼잡한 교통류를 대상으로 Hall이 적용한 지수함수식(power function)을 선정하여 분석하였다.

1) 전체 차로에 대한 분석

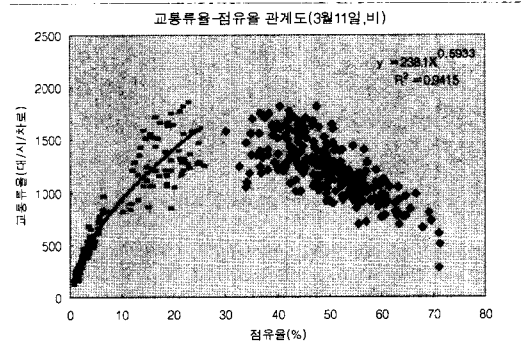
<그림 11>과 <그림 12>는 각각 맑은 날(3월 17일)과 비가 온 날(3월 11일)의 전체 차로에 대한 평균교통류율-점유율 관계도를 나타낸 것이고, 각 그림의 상단부에 지수함수식을 수록하였다. 비혼잡 교통류 상태에서, 교통류율이 낮을 경우 데이터들이 밀집되어

분포하는 반면, 교통류율이 용량수준에 접근할수록 데이터의 분산이 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다.

두 기상조건하에서의 선형함수식 기울기를 비교한 결과, 비가 올 경우 교통류율-점유율 관계식의 기울기가 맑은 날에 비해 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 다음과 같이 두 가지 측면에서 해석할 수 있다. 첫째, 기상조건이 나쁠 경우 맑은 날에 비해 같은 교통류율 수준에서 점유율이 높아지고, 이는 곧 차량들의 주행속도가 감소함으로 인해 점유율이 증가함을 의미한다. 둘째, 서비스용량이 감소하므로 도로의 소통능력이 저하된다는 의미이다.



<그림 11> 맑은 날(3월 17일)의 전체 차로 교통류율-점유율 관계 (1분 데이터)

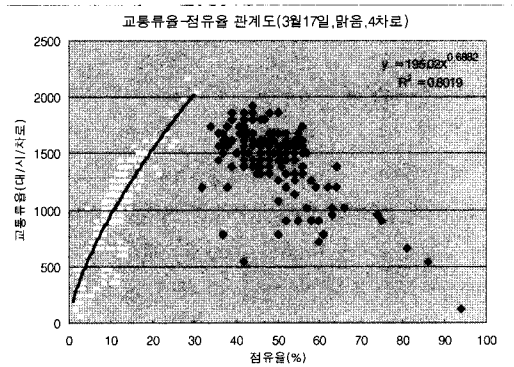


<그림 12> 비가 온 날(3월 11일)의 전체 차로 교통류율-점유율 관계 (1분 데이터)

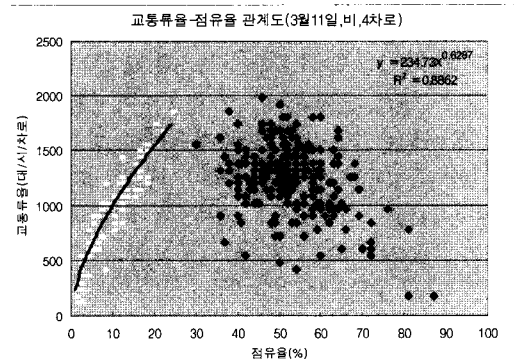
2) 각 차로별 기준

<그림 13>과 <그림 14>는 1분 데이터를 이용한 맑은 날(3월 17일)과 비가 온 날(3월 11일)의 1개 차로별 교통류율-점유율간의 관계를 나타낸 것이다. 분석에 사용된 차로는 길어깨 차로인 4차로이다. 4차로를 기

준으로 맑은 날과 비온 날의 교통류율-점유율 관계를 살펴 본 결과, 전차로 기준으로 비교한 것과 비슷한 패턴을 보이고 있다. 즉, 기상조건이 나쁠 경우 맑은 날에 비해 같은 교통류율 수준에서 점유율이 높아지고, 최대 서비스 교통류율이 감소하는 것으로 나타났다.



<그림 13> 맑은 날(3월 17일)의 4차로 교통류율-점유율 관계 (1분 데이터)



<그림 14> 비가 온 날(3월 11일)의 4차로 교통류율-점유율 관계 (1분 데이터)

V. 관측된 서비스교통류율의 분석

1. 전체 차로 기준

<표 2>는 기상변화에 의한 관측된 서비스교통류율, 임계속도, 임계점유율 변화를 1분 데이터를 이용하여 분석한 결과이다. 서비스교통류율은 현장조사지점에서 측정된 1분 교통류율 중에서 최대 관측치를 1시간 교통류율으로 환산한 값으로서, 도로용량편람에서 정의하고 있는 최대서비스교통류율을 실제조건에 따라

보정한 것으로 보면 된다. 맑은 날 서비스교통류율은 2,250대/시로 관측되었으나 비가 오면 1,900대/시로서 약 16 % 감소하는 것으로 나타났다.

<표 2> 관측된 날씨별 서비스교통류율(서비스용량), 임계속도, 임계점유율 (측정시간 1분)

맑음				비			
날 짜	서비스용량 (대/시/차로)	임계속도 (km/h)	임계 점유율	날 짜	서비스용량 (대/시/차로)	임계속도 (km/h)	임계 점유율
3. 4	> 2,000	53	26	3. 11	1,800	53	26
3. 12	> 2,150	52	28	3. 19	1,700	45	34
3. 17	2,250	53	27	4. 1	1,900	50	29
3. 24	2,200	55	29				
3. 25	2,150	56	23				
3. 26	2,100	50	29				

2. 각 차로별 기준

차로별로 서비스교통류율, 임계속도, 임계점유율을 분석하였다. <표 3>에서 보면, 비가 올 때 전체 차로의 소통능력은 맑은 날에 비해 감소하고, 전반적으로 중앙분리대쪽 차로의 소통능력이 길어깨쪽 차로에 비해 높은 것으로 나타났다. 그러나 기상변화에 따른 각 차로별 임계속도와 임계점유율은 뚜렷한 변화가 없는 것으로 나타났다. 또한 맑은 날 임계속도는 차로별로 차이가 심한 반면에, 비가 올 경우 차로별 임계속도는 거의 동일한 수준을 유지함을 파악하였다.

<표 3> 관측된 차로별 서비스교통류율, 임계속도, 임계점유율 분석결과 (측정시간 1분)

맑음 (3월 17일)				비 (3월 11일)			
차로	서비스용량 (대/시/차로)	임계속도 (km/h)	임계 점유율	차로	서비스용량 (대/시/차로)	임계속도 (km/h)	임계 점유율
1	> 2,350	63	22	1	2,000	48	24
2	> 2,200	57	29	2	> 2,000	46	27
3	> 2,150	47	30	3	2,000	47	31
4	2,150	47	30	4	1,900	50	28

VI. 연구결과의 시사점

본 연구에서 파악한 결과에 근거하여, 고속도로 설계 및 운영과정에서 검토해야할 주요 사항을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 기상변화가 심한 지역의 (도시)고속도로를 설계하는 과정에서는 반드시 기상변화

로 인한 도로용량의 감소를 설계에 반영해야 한다. 즉, 연간 降雨빈도가 높은 지역에 위치한 고속도로의 차로수를 기존 도로용량편람에서 제시하고 있는 방식에 따라 단순히 교통수요와 목표 서비스수준(LOS)만을 기준으로 결정하면, 실제 교통상황에 적합하지 못한 도로구조로 설계될 우려가 있다. 이러한 문제발생을 방지하기 위해서는, 降雨로 인한 도로용량의 감소를 고려하여 차로수를 결정하여야 한다.

둘째, (도시)고속도로의 운영전략은 기상변화로 인한 교통상황의 변화를 파악하여 이에 적절히 대처할 수 있도록 수립해야 한다. 고속도로상에서 발생하는 유고상황을 감지하기 위해서는 정상적인 교통상황과 비정상적인 교통상황을 합리적으로 구분할 수 있어야 한다. 특히 강우로 인한 교통상황과 유고로 인한 교통상황변화를 신뢰성 있게 구분할 수 있어야 한다. 또한, 아직 우리 나라에서는 적극적으로 적용되고 있지는 않지만 고속도로 교통류제어의 주요기법인 램프 미터링을 현장 교통상황에 적합한 방식으로 운영하기 위해서는 서비스교통류율의 변화를 반드시 고려해야 한다. 이를 실현하기 위해서는 기상변화에 따른 도로용량의 감소에 대한 검토가 필요하다. 이외에도, 차량의 운행속도가 높은 고속도로의 교통안전을 향상시키기 위해서도 기상변화로 인한 교통상황변화를 파악하여 시스템운영자 뿐만 아니라 운전자에게 정보를 제공해야 한다.

요약하면, 사계절이 뚜렷하고 강우빈도가 높은 우리나라의 제반 고속도로 교통류관리를 위해서는 다양한 기상변화로에 대한 교통류변화를 분석함은 반드시 필요하다고 판단된다.

Ⅷ. 결론

1. 분석결과 요약

본 연구에서는 비가 왔을 때의 교통류 변화특성을 교통류율, 속도, 점유율, 서비스교통류율 측면에서 검토했다. 본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 속도-교통류율 관계는 우천시에도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 임계점유율은 우천시에도 크게 변하지 않음을 확인할 수 있었으며 이 결과는 Hall 과 Barrow의 연구결과와 일치한다. 한편 비가 올 경우 교통류

율-점유율 관계식의 기울기는 맑은 날에 비해 감소하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 Hall 과 Barrow가 제시한 결과와 일치한다.

- 고속도로의 서비스교통류율은 비가 올 경우 맑은 날에 비해 약 16% 정도 감소하는 것을 확인되었으며, 이러한 결과는 1998 HCM에서 제시한 결과와 비슷함을 확인하였다.

2. 향후 연구과제

- 본 연구에서는 도시내 평면상에 위치한 도시고속도로를 대상으로 연구를 수행하였다. 그러나 고가차로, 터널 등의 다양한 기하구조로 구성된 도시고속도로 및 도시 외곽지역에 위치한 일반고속도로에 대한 연구가 필요하다. 또한 2, 3차로 고속도로구간에 대한 연구도 필요하다고 판단된다.
- 본 연구에서는 다양한 기상조건 중에서 비가 왔을 때의 교통류 변화만을 검토했으나 그 밖의 기상조건인 눈, 안개 등에 따른 교통류 변화도 본 연구에서 제시한 비로 인한 영향과 비슷한 수준으로 나타날 것으로 예상된다. 그러나, 실제상황에 대한 연구가 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다.
- 본 연구에서는 데이터의 한계로 강우량 수준에 대한 용량분석과 다양한 통계학적 분석을 수행하지 못한 아쉬움이 남는 바, 이 부분에 대한 추후 연구를 기대하는 바이다.

참고문헌

1. F. L. Hall, D. Barrow, "The Effect of Weather on the Relationship Between Flow and Occupancy on Freeways," Presented at the 67th Annual Meeting, Transportation Research Board, 1988.
2. Fred L. Hall, Brian L. Allen and Margot A. Gunter, "Empirical Analysis of Freeway Flow-Occupancy Relationship," Transportation Research A, Vol. 20A, No. 3, 1986.
3. V. F. Hurdle and P. K. Datta, "Speeds and Flows on an Urban Freeway: Some Measurements and a Hypothesis," Transportation

- Research Record 905, 1983.
4. E. Jones, M. Goolsby, K. Brewer, The Environmental Influence of Rain on Freeway Capacity, Highway Research Record 321, 1970.
 5. G. Ries, Impact of Weather on Freeway Capacity, Minnesota Department of Transportation, 1981.
 6. Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, Special Report 209, 1998.
 7. 손봉수의, 도시고속도로 교통관리시스템 소프트웨어 요구사항 분석, 서울시정개발연구원, 1997.
 8. F. L. Hall, V. F. Hurdle and J. H. Banks, "Synthesis of Recent Work on the Nature of Speed-Flow and Flow-Occupancy (or Density) Relationships on Freeways," Transportation Research Record 1365, 1992.
 9. Bongsoo Son, A Comparison of Incident Detection Performance of the Left-most Lane and the Adjacent Lane of a Freeway, Master Thesis, McMaster University, Canada, 1990.