

■ 論 文 ■

혼잡교통류 관리를 위한 동적 용량의 개념 및 산정방법

Dynamic Capacity Concept and its Determination for Managing Congested Flow

박 은 미

(목원대학교 건축도시공학부 부교수)

목 차

- | | |
|---------------------------------|---------------|
| I. 서론 | V. 예시 |
| II. 용량에 대한 최근 연구동향 및 평가 | VI. 결론 및 향후과제 |
| III. 혼잡교통류 관리를 위한 동적 용량의 정의 | 참고문헌 |
| IV. 혼잡교통류의 시공간적 전개에 따른 동적 용량 산정 | |

Key Words : 혼잡교통류 관리, 실시간 용량, 혼잡교통류 용량, 동적 용량, 충격파 모형

요 약

도로용량편람에서 정의하고 있는 용량은 하류부에 용량을 제한하는 요소가 없다는 것을 가정한 정상교통류에 대한 용량 개념으로서, 이는 전통적으로 계획, 설계, 현재 및 장래 도로시설의 운영상태 분석 등에 사용되어 왔다. 실시간 제어는, 용량을 초과하지 않는 교통류를 유지시켜 혼잡교통류로의 전이를 막고, 물리적 여건이나 제반 확률적 요인으로 혼잡이 발생하였을 경우 조속히 용량이하로 교통량을 떨어뜨려 정상교통류로 회복시키는 데 목표를 둔다. 이러한 맥락에서 용량은 실시간 제어의 효과를 좌우하는 중요한 입력변수이며, 정상교통류 상태라면 혼잡으로 전이 되지 않을 임계치로서의 용량 산정이 중요한 관건이다. 그러나 혼잡교통류 상태에서 정상교통류로 되도록 빨리 회복시켜 주기 위한 제어 기준으로서의 용량은, 하류부 혼잡의 시공간적 전개에 따라 변하는 값이어야 하며 이러한 동적 용량변화를 정확히 예측할 수 있는 방법론이 요구된다. 이에 본 연구에서는 기존의 용량 개념을 출력 개념의 용량으로 정의하고, 입력 개념의 용량을 최대가능처리량(Maximum Sustainable Throughput)으로 새롭게 정의하였다. 이 최대가능처리량은 혼잡의 시공간적 전개에 따라 결정되는 동적 용량이며, 이러한 혼잡의 시공간적 전개는 Newell의 단순화된 교통량-밀도 모형으로 예측할 것을 제안하였다.

I. 서론

도로용량편람에서 정의하고 있는 용량은, 전통적으로 계획, 설계, 현재 및 장래 도로시설의 운영상태 분석 등 다양하게 사용되어 왔다. 이러한 도로용량편람에서 제시하고 있는 용량 개념을 재조명하고 새롭게 정의한 제반 연구들도 발표되고 있다. 그러나 실시간 제어에서도 아직은, 전통적으로 계획 및 설계에 사용되던 도로용량편람의 용량을 그대로 사용하고 있다.

실시간 제어에서는 교통류 상태에 따라 그 제어목표를 달리 하며, 이때 용량은 실시간 제어의 효과를 좌우하는 중요한 입력변수이다. 정상교통류 상태에서는, 용량을 초과하지 않는 교통류를 유지시켜 혼잡교통류로의 전이를 방지하는데 제어목표를 둔다. 이러한 정상교통류 제어에서는, 혼잡으로 전이되지 않을 임계치로서의 용량 산정이 중요한 관건이다. 그러나 물리적 여건이나 제반 확률적 요인으로 혼잡이 발생하였을 경우에는, 조속히 용량이하로 교통량을 떨어뜨려 정상교통류로 회복시키는 데 제어목표를 둔다. 이때는 혼잡교통류 상태에서 정상교통류로 되도록 빨리 회복시켜 주기 위한 제어의 기준으로서 용량산정이 필요하다. 이러한 맥락에서, 혼잡류 제어를 위해서는 하류부 혼잡의 시공간적 전개에 따라 변하는 용량 값이 필요하며, 이러한 동적 용량 변화를 정확히 예측할 수 있는 방법론이 요구된다.

도로용량 편람에서 정의하고 있는 전통적 용량의 개념은, 주어진 도로, 교통, 제어 조건하에서 통과할 수 있는 최대 교통유율이며 이는 통상 15분간 통과 혹은 관측 가능 양에 기초한다. 이와 같은 도로용량편람의 용량 정의에 의하면, 용량은 구하는 해당 구간의 조건에만 국한되어 결정되어 진다. 정상교통류 상태에서는 해당구간의 조건에만 의존하여 용량을 구하는 것이 문제가 없을 수 있으나, 혼잡교통류 상태에 이르면 해당구간의 최대통과교통유율 즉 용량은 하류부의 교통상황에 따라 영향을 받게 된다. 전통적으로 용량을 지표로 사용하던 계획 및 설계 분야와 달리, 혼잡교통류 제어에서는 이러한 하류부 교통상황에 따른 영향, 즉 하류부 혼잡의 영향으로 인한 해당구간의 통과교통유율의 감소를 정확히 예측하고, 도로용량편람의 용량 대신 이 값을 용량으로 채택하여 적용하는 것이 필요하다.

이에 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 우선 현재 연구되고 있는 도로용량의 개념들에 대하여 살펴보고, 이들을 혼잡교통류 실시간 제어에 적용하는데 있어서의

적합성을 검토해 본다. 둘째로 하류부 혼잡상황에 따른 상류부의 용량감소 산정 방법을 제안하기 위해, 혼잡교통류 해석에 대한 기존 연구들을 고찰하여 보도록 한다. 다음으로 이러한 고찰을 바탕으로 실시간제어에 적용 가능한 새로운 용량의 개념과 이에 대한 산정방안을 제안한다. 마지막으로 제안한 방법에 의한 용량 감소 패턴을 현장데이터를 활용하여 검증하도록 한다.

II. 용량에 대한 최근 연구동향 및 평가

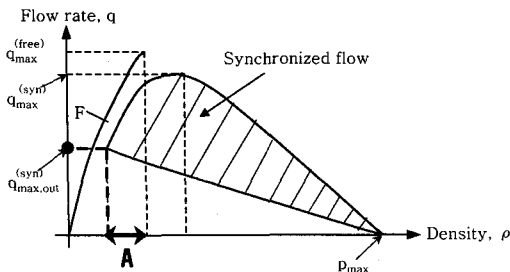
도로용량편람으로 대표되는 전통적 용량의 개념에는 용량과 외해는 결정적(Deterministic) 현상이라는 것이 내포되어 있다. 즉 교통량이 최대에 다다르는 점이 용량이고, 여기에 이르면 교통류는 와해된다는 것이다. 이에 대하여 Lorenz와 Elefteriadou (2000년)는 와해(Breakdown)는 최대교통량에서만 발생하는 것이 아닌 확률적 사건으로서, 모든 교통류에 와해의 확률이 존재한다고 주장하였다. 또한 이러한 맥락에서 도로용량편람의 용량 정의도 와해의 확률과 접목된 확률적 용량으로 바꿀 것을 제안하였다. Persaud 등(2001년)은 와해의 확률을 임계구간(Critical section)의 교통량의 함수로 정의하였고, 이를 램프 미터링에 적용하여 그 잠재적 편익을 보여주었다. 그러나 와해의 확률을 임계구간 그 자체만 가지고 정의하기 보다는, 상·하류부간 교통류의 상대적 교통상태에 따라서 정의하는 것이 필요하다고 판단된다.

Jia 등(2000년)은 구간의 물리적 특성에 기초하고 있는 도로용량편람의 용량 결정방식은 바람직하지 못하다고 지적하고, 실험적 용량 개념을 개발할 것을 제안하였다. 즉 실험적 개념의 효과용량(Effective capacity)을 최대관측가능처리교통량(Maximum observed sustainable throughput)으로 정의하고, 이는 해당구간의 물리적 특성뿐 아니라 연결된 구간의 교통패턴의 함수이다. 미국 고속도로에서의 광범위한 조사 및 분석을 통하여 이 효과용량이 안정된 특성을 나타낸다는 것을 입증하였으나, 이를 이론적으로 설명하는 것은 아직 과제로 남아있다.

도로용량편람은 정상상태(Steady state) 즉 평형상태(In equilibrium)의 교통류를 가정하고 있으며, 이때 각 구간은 유일한 용량 값을 갖는다는 가정을 내포하고 있다. 용량을 현장에서 관측하고자 할 때, 통상 대기행렬이 형성되었다가 소멸될 때의 관측교통량(Queue Discharge Rate)으로 한다. 이러한 Queue Discharge

Rate에 대한 실험적 연구들이 있다. Cassidy와 Bertini (1999년)는 대기행렬로부터 관측된 Queue Discharge Rate가 대기행렬 형성전의 교통량보다 10% 정도 낮다는 실험결과를 보여주었다. 이러한 사실은 혼잡의 형성을 막도록 미터링을 시행하는 것이 도로의 생산성을 극대화할 수 있다는 근거가 될 수 있다. Kerner (2000년)는 혼잡교통류에서 비교적 넓은 범위 (1600 - 2700 vphpl)의 Queue Discharge Rate를 관측하였다. 또한 Kerner는 <그림 1>과 같은 q-k 모델을 제안하였다. 이 모형에 의하면, 어느 밀도 값 범위 (<그림 1>의 A 구간)에서는 자유교통류와 혼잡교통류 두개의 상태가 공존한다. 즉 자유교통류의 최대교통량($q_{max}^{(free)}$) 상태에서는 혼잡교통류의 전이가 언제든 일어날 수 있다. 따라서 자유교통류에서 혼잡교통류로의 전이를 막으려면, 자유교통류상태의 최대교통량($q_{max}^{(free)}$)이나 혼잡류상태의 최대교통량($q_{max}^{(syn)}$)에서는 이 아니라, 그 이하인 혼잡류로의 전이가능성이 없는 교통량($q_{max.out}^{(syn)}$) 상태로 유지해야 한다(<그림 1> 참고).

Zhang (2001년)은 교통류 상태를 미시적 관점에서, 감속하고 있는 상태, 가속하고 있는 상태, 그리고 평형상태의 세 가지 상태로 구분하고, 각각에 대하여 세 가지 종류의 용량이 있다고 주장하였다. 통상 위의 세 가지 교통류를 구분하지 않고 교통류 모형을 세우고 분석을 수행하며, 이때 병목에서 용량이 감소된다는 결과가 나타난다. Zhang은 위의 세 가지 교통류를 구분하여 분석함으로써, 용량감소(Capacity Drop) 뿐 아니라 용량증가(Capacity Surge)도 나타난다는 것을 보여주었다. 그러나 이는 30초 간격 데이터 분석에 의하여 나타난 결과로, 실시간 제어에 적용하기 위한 용량으로서 의미를 갖기 어렵다고 판단된다.



출처: Kerner, B.S. (2000년), "Theory of Breakdown Phenomenon at Highway Bottlenecks", 79th TRB Annual Meeting

<그림 1> Kerner가 제안한 q-k 모형

이제까지 살펴본 바와 같이, 대체로 용량에 대한 기존 연구결과들은 정상류에서 혼잡류로 전이하는 임계치를 찾거나, 이러한 전이과정을 해석하는데 초점을 두고 있다. 앞서 서론에서 언급한 바와 같이, 정상교통류의 관리에 있어서는, 혼잡교통류로의 전이를 막기 위한 임계치로서의 용량이 중요한 의미를 가진다. 그러나 물리적 여건이나 기타 확률적 요인에 의해 혼잡이 발생했을 경우, 용량이하로 교통량을 떨어뜨려야 하는 제어가 필요하다. 이러한 혼잡교통류 관리에서는 하류부 혼잡의 시공간적 전개에 따른 용량변화를 정확히 산정하는 것이 필요하며, 이에 대한 연구가 필요한 시점이다.

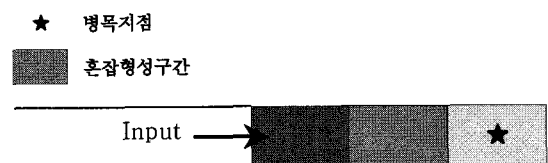
III. 혼잡교통류 관리를 위한 동적 용량의 정의

Newell(1963년)과 Zhang(2001년)은 감속상태의 교통류와 가속상태의 교통류는 서로 다른 특성을 가지고 있으므로 분리하여 분석하여야 한다고 주장하였다. 이는 교통류의 미시적 관점에서의 접근인데, 이와 같은 맥락이나 거시적 관점에서 접근하여, 용량도 입력(Input)과 출력(Output)의 두 측면으로 나누어 고려할 것을 본 논문에서 제안한다. 용량의 관측치로 쓰이는 Maximum Queue Discharge Rate나 도로용량편람의 용량은 출력 측면에서의 용량개념이다. 즉 하류부에 용량을 제한하는 요인이 없다고 가정하여 산정한 출력 개념의 용량이다. 반면에 하류부 혼잡의 영향을 반영한 용량은 입력 측면에서의 용량의 개념이다. 이 두 용량의 개념은 <그림 2>에 도식화되어 제시되어 있다.

혼잡교통류 관리에 요구되는 용량은 전통적으로 쓰이던 출력 개념의 용량이 아니라 입력 개념의 용량이다. 본 논문에서는, 입력 개념의 용량을 「최대가능치



(a) 출력(Output) 개념의 용량 개념



(b) 입력(Input) 개념의 용량 개념

<그림 2> 입력(Input)과 출력(Output) 측면의 용량개념

리량(Maximum Sustainable Throughput)」으로 정의하고, 혼잡의 시공간적 전개에 따라 변하는 이러한 동적 용량의 산정방법을 다음 장에서 제시하도록 한다.

IV. 혼잡교통류의 시공간적 전개에 따른 동적 용량 산정

「최대가능처리량(Max. Sustainable Throughput)」으로 정의된 입력개념의 동적용량을 산정하기 위하여 우선 혼잡교통류의 시공간적 전개 패턴에 대한 정확한 해석이 필요하다. 이러한 혼잡교통류의 현상을 다룬 많은 선행연구들이 있으며, 이들 중 Kerner (2000년)는 혼잡교통류의 비선형 전개과정은 예측가능하지 않으며, 따라서 이러한 영향을 반영한 용량 또한 예측가능하지 않다고 주장하였다. 물론, 복잡하고 복합적인 혼잡교통류의 특성을 하나의 단순한 모형으로 완벽하게 설명하는 것은 가능하지 않을 것이다. 그러나 분석 목적이 정해져 있고 그 목적상 해석되어야 할 특성이 특정 모형에 의해 설명될 수 있다면, 모든 특성이 완벽하게 설명되지 않는 다 해도 그 모형을 활용하여 필요한 분석목적을 달성할 수 있다. 용량 산정의 개념과 연결시키지는 못했지만, Cassidy 와 Mauch(2001년), Castillo(2001년), 그리고 Lin과 Lo(2003년)는, L-W-R 모형이나 Newell의 단순화된 선형모형에 의해 혼잡교통류의 시공간적 전개과정을 설명할 수 있다고 제시한 바 있다. 이러한 맥락에서 본 논문에서는, 혼잡교통류의 시공간적 전개패턴을 잘 설명함과 동시에 해석이 용이한 Newell의 단순화된 q-k 모형에 의해 혼잡교통류의 시공간적 전개 패턴을 예측하도록 한다. 또한 이러한 예측에 입각하여 동적용량을 산정하는 방안을 제시하도록 한다.

불필요한 복잡성을 피하고 제안하는 방법을 명확히 보여주기 위해, <그림 3>(a)와 같이 유출입이 없는 가상적인 고속도로 구간을 가정한다. 이 구간의 병목지점은 하류부 끝에 위치하며, 이 병목에서 혼잡이 발생하여 상류부로 긴 대기행렬이 파급되어 가고 있는 상황을 가정한다. 이때 혼잡의 시공간적 전개패턴의 함수로 동적 용량, 즉 최대가능처리량을 예측하는 것이 본 연구의 목적이다.

<그림 3>(b)는 Newell의 단순화된 q-k 모형을 나타낸 그림이다. 통상 u-k의 관계를 직선으로 가정할 때, q-k 관계식은 2차 포물선 형태가 된다. 그러나 Newell의 단순화된 q-k 모형은, 비 혼잡영역은 기울

기가 자유속도인 직선과, 그리고 혼잡영역은 기울기가 충격파속도인 직선으로 구성된 삼각형 모양의 관계를 가정한다. <그림 3>(b)에서 원점을 지나 그은 직선들은 그 기울기를 속도로 가진 교통류 상태를 나타낸다. 이 직선들과 q-k 관계식과의 교점들은 해당 속도를 가진 교통류 상태에서 관측되는 교통량 상태를 나타낸다. 혼잡이 발생하여 속도가 감소하게 될 때 관측되는 교통량 감소 패턴을 이 모형으로 예측할 수 있다. <그림 3>(c)는, 병목지점에서 혼잡이 발생하여 상류부로 대기행렬이 파급되어 가는 혼잡의 시공간적 전개와 이에 따른 최대가능처리량 $TH_i(t_i)$ 의 감소를 도식화하여 나타낸 것이다. 본 연구에서는, <그림 3>(b)의 관계를 이용하여 혼잡의 상류부로 갈수록 최대가능처리량, $TH_i(t_i)$ 가 감소하는 패턴을 예측하도록 한다. <그림 3>(b)에 의하면 다음의 관계가 성립한다.

$$TH_{i+1}(t_{i+1}) = TH_i(t_i) + \Delta TH \quad (1)$$

$$\Delta TH = \Delta k \times w \quad (2)$$

where, w : 충격파 속도

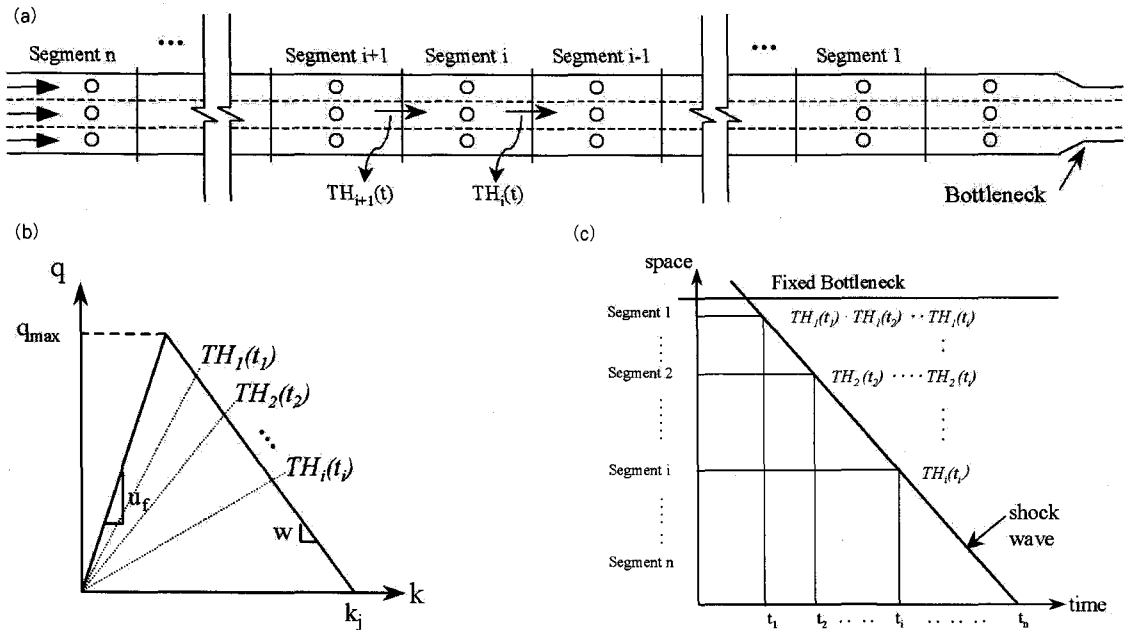
t_i : 충격파가 Segment i 에 도달하는 시간

Δk : 밀도 변화량

문제는, 실시간 모니터링 시스템으로부터 수집된 자료들을 활용하여, 최대가능처리량, $TH_i(t_i)$ 를 실시간으로 예측하는 것이다. 우선 Hydrodynamic Theory에 기반을 둔 u-q-k 모형들은 공간평균속도, 밀도, 그리고 이 둘의 곱인 교통량의 관계를 나타낸다. 그러나 실시간 모니터링 시스템의 지점점지에서 수집되는 자료는 시간평균속도와, 공간개념의 밀도대신 시간개념의 점유율이다. 시간평균속도는 그 통계학적 특성에 의해 공간평균속도로 바꿀 수 있는 교통공학의 식이 존재하나, 밀도와 점유율의 경우 일치성이나 일관된 관계가 존재치 않는다는 연구결과들이 제시되고 있다.

그런데 한가지 유념할 것은, 위의 공간평균속도-밀도-교통량 모형 관계식 자체는 이론적 의미를 갖지 않으며, 다만 수집된 자료들을 플로팅(Plotting)해 보았을 때 나타나는 '형태'에 가장 적합한 식을 찾은 것이다.

한편, 공간평균속도와 밀도 대신, 시간평균속도와 점유율 관측 자료들을 플로팅(Plotting)해 보았을 때, 모양이 정확하게 일치하지는 않겠지만 같은 종류의 '형태'가 나타난다. 이는 실제로 시간평균속도와 점유율 자료를 가지고 수행된 제반 거시교통류 관련 논문들을 참고



t_i : 충격파가 Segment i 에 도달하는 시간
 $q(t)$: Segment i 의 검지기에서 수집된 교통량
 $TH_i(t)$: Segment i 하류부 끝의 최대가능처리량(Maximum Sustainable Throughput)

〈그림 3〉 혼잡교통류의 동적용량 변화

하면 쉽게 확인할 수 있다. 밀도-공간평균속도 관계와 점유율-시간평균속도 관계가 '형태'는 같으나 정확히 일치하지 않는 문제는, 속도와 밀도의 절대적 크기가 아닌 이들의 증감 패턴을 찾는 데 모형을 적용하는 목적이 있다면 영향을 주지 않는다. 그렇다면 점유율을 밀도로 그리고 시간평균속도를 공간평균속도로 환산하는 과정 없이, 식(1)과 식(2)에서 공간평균속도 대신 지점평균속도로, 밀도 대신 점유율로 바꾸어 적용할 수 있다.

이러한 맥락에서 최대가능처리량의 변화량 $\Delta TH_i(t)$ 는, 전시간대에 모니터링한 하류부의 점유율 변화율 (gradient)와 교통량 변화율 (gradient)에 의해 식(3)과 같이 결정하도록 한다.

$$\Delta TH_i(t_i) = \Delta occ_i(t_{i-1}) \cdot \hat{w} \quad (3)$$

$$\Delta occ_i(t_{i-1}) = occ_i(t_{i-1}) - occ_{i-1}(t_{i-2}) \quad (4)$$

$$\hat{w} = \frac{q_{i-1}(t_{i-1}) - q_{i-2}(t_{i-2})}{occ_{i-1}(t_{i-1}) - occ_{i-2}(t_{i-2})} \quad (5)$$

이처럼 $\Delta TH_i(t)$ 가 산정되면, 최대가능처리량, $TH_i(t)$ 는 검지기로부터 수집된 교통량을 예측된 $\Delta TH_i(t)$ 보정하여 식(6)과 같이 결정한다.

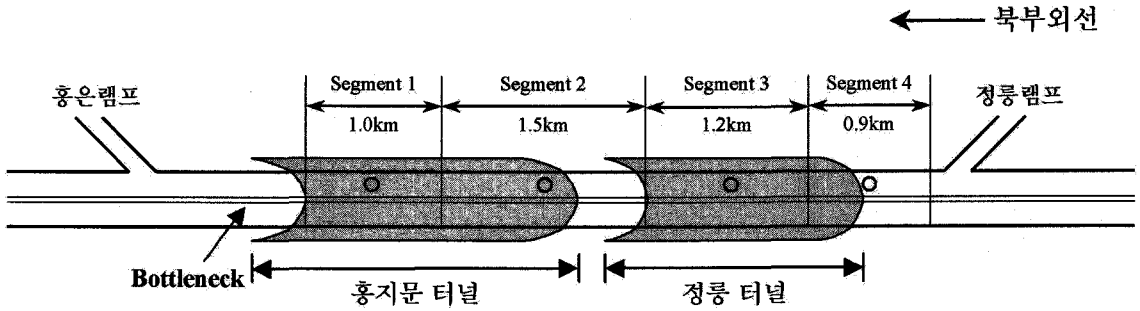
$$TH_i(t_i) = q_{i-1}(t_{i-1}) + \Delta TH_i(t_i) \quad (6)$$

where, $q_{i-1}(t_{i-1})$: 시간 t_{i-1} 에 Segment i 의 검지기에서 수집된 교통량 자료

V. 예시

본 장에서는 앞서 제시한 최대가능처리량을, 서울 내부순환로 외선 정릉램프에서 홍은 램프 사이의 4.6km 구간에서 2003년 9월1일에 수집된 5분 단위 자료를 가지고 산정해보도록 하겠다. 편도 3차로인 분석대상 구간에는 시점부에 진입램프가 종점부에 진출램프가 각 한 개씩 위치하고 있으며, 중간에는 진출입 램프가 없고 정릉터널과 홍지문터널이 있다. 즉 혼잡의 시공간적 전개에 따른 용량의 변화를 관측할 수 있는 조건을 갖추고 있는 구간이다.

이 구간에는 총 18개의 검지기가 존재하는데, 오류 데이터를 가진 검지기를 제외하고 거의 동일한 교통패턴을 나타내는 인접 검지기를 중 대표검지기 4개를 선정하여 분석하도록 한다. 이러한 과정은 임재혁과 박은미(2003)의 연구에 제시되어 있다. 실험대상 구간의



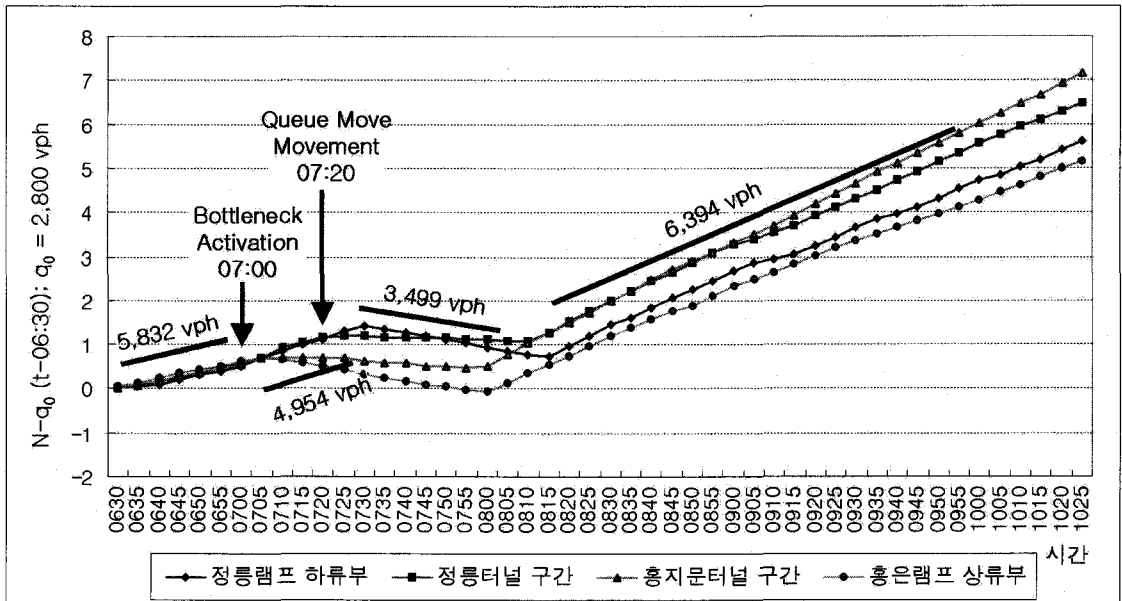
〈그림 4〉 분석대상구간

Segment 구분, 분석대상 검지기 위치, 간격 등은 〈그림 4〉에 제시되어 있다. 임재혁과 박은미(2003년)는 본 구간의 자료 분석을 통하여 Segment 1에서 병목이 나타남을 밝힌 바 있다. 〈그림 5〉는 홍은램프상류부와 홍지문터널 사이 (즉 Segment 1)에서 병목이 발생함을 보여주고 있다. 이에 대한 구체적인 분석방법이나 설명은 임재혁과 박은미(2003년) 연구를 참고하도록 하고 본고에서는 생략한다. 〈그림 6〉는 각 검지기별 수집 자료를 가지고 만든 기본적인 교통량 점유율 산포도이다. 각 그림에서 꼭지점에 해당하는 최대교통량 값이 일반적으로 해당구간의 용량으로 인식하고 있는 값이다. 본 연구에서 실시간제어에 적용할 동적용량으로 제안하는 최대가능처리량, $TH(t)$ 값을 구한 후, 이

그래프상의 최대교통량 값과 비교하도록 하겠다.

우선 t_1 값을 구하기 위하여 각 검지기별 5분 단위 자료를 분석한 결과 〈표 1〉과 같은 결과를 얻었다. 혼잡은 병목, 즉 Segment 1에서 17:05분에 시작되었고, Segment 2, 3, 4에 충격파가 도달한 시간대는 각각 17:35, 17:50, 18:05였다. 또한 〈표 1〉을 보면, 혼잡은 상류부로 성장해가고 있고, 상류부로 갈수록 교통량은 줄어드는 것을 알 수 있다. 이처럼 현장의 상황이, 본 연구에서 혼잡교통류 시공간전개패턴 예측해 사용하고 있는 Newell의 교통류모형으로 얻을 수 있는 결과와 일치한다.

이제 시간 t_2 에서 $TH_3(t_2)$ 를 앞장에서 제안한 식에 의해 예측해 보고, 이것이 t_3 가 되었을 때 관측한 교통



출처 : 임재혁 · 박은미 (2003년), 검지기데이터를 활용한 연속교통류 특성분석, 건축도시환경연구 제11집, 목원대학교, p.141.

〈그림 5〉 분석대상구간의 병목지점 분석

〈표 1〉 최대가능처리량 $TH(t)$ 의 산정

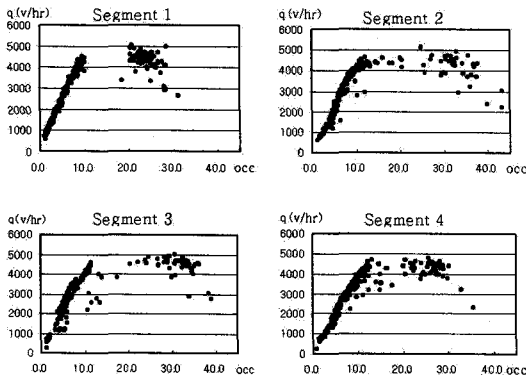
		Segment 4			Segment 3			Segment 2			Segment 1		
		q4	u4	occ4	q3	u3	occ3	q2	u2	occ2	q1	u1	occ1
t1	17:05	4212	25.0	25.7	4532	25.1	30.5	4320	58.5	13.0	4420	58.5	24.9
t2	17:35	4084	61.1	11.4	4040	72.5	10.3	4080	21.9	29.8	4040	21.9	26.0
t3	17:50	3676	54.1	13.2	3884	30.5	26.3	4072	17.4	31.9	4068	17.4	26.8
t4	18:05	3896	22.5	24.3	4380	19.0	34.4	4300	19.1	32.8	4160	19.1	24.4

$TH_1(t_1) = q_1(t_1) = 4420$

$TH_2(t_2) = q_2(t_2) = 4080$

$TH_3(t_3) = q_2(t_3) + (occ_3(t_3) - occ_2(t_3)) \cdot q_2(t_3) - q_1(t_3) / (occ_3(t_3) - occ_2(t_3)) = 3574$

$TH_4(t_4) = q_3(t_4) + (occ_4(t_4) - occ_3(t_4)) \cdot q_3(t_4) - q_2(t_4) / (occ_4(t_4) - occ_3(t_4)) = 4046$



〈그림 6〉 분석대상구간의 자료분포

량과 일치하는 가를 보도록 하겠다. 또한 시간 t_3 에서 $TH_3(t_3)$ 를 앞장에서 제안한 식에 의해 예측해 보고, 이것이 t_4 가 되었을 때 관측한 교통량과 일치하는 가를 보도록 하겠다. 〈표 1〉 하단에 계산된 결과가 제시되어 있으며, 이는 상단의 관측한 값과 비교적 잘 합치하는 것으로 나타났다. 그러나 통상 용량으로 쓰고 있는 〈그림 6〉의 최대교통량과는 거리가 있음을 알 수 있다.

VI. 결론 및 향후과제

본 논문에서는, 도로용량편람으로 대표되는 전통적 개념의 용량이 실시간 제어에 적용하기에는 부적합함을 제시하였다. 또한 이제까지의 연구가 정상교통류에서 혼잡교통류로의 전이를 가져오는 임계치로서의 용량 산정에 국한되어 있다는 것을 지적하였다. 따라서

혼잡교통류 상태에서의 교통관리에 적용하기 위한 입력측면의 새로운 동적 용량 개념 도입을 제안하였다. 이 새로운 개념의 용량을 「최대가능처리량 (Max. Sustainable Throughput)」으로 정의하고, 하류부 혼잡의 시공간적 전개에 따른 동적 산정방식을 제시하였다.

본 논문에서는 진출입이 없는 구간의 병목에서 발생하는 대기행렬이 상류로 파급되는 상황에 대하여 최대 가능처리량을 구하는 방식을 제시하였고, 현장자료를 가지고 제한적인 검증을 수행하였다. 본 연구에서 수행된 검증은 본 연구에서 제안한 방법의 가능성만을 보여준 것으로서, 향후 보다 광범위한 데이터에 의한 실험과 본 연구에서 제안한 방법론의 정확성을 검증할 수 있는 통계적 분석이 수행되어야 할 것이다. 또한 본 연구는, 진출입이 있는 구간을 대상으로 보다 다양한 혼잡 상황에 적용할 수 있는 방법론으로 발전시켜야 할 것이며 이를 위한 지속적 연구가 필요하다. 본 논문에서 제안한 용량을 실시간 제어에 기존의 용량대신 사용할 경우 보다 효과적인 제어전략을 수립할 수 있을 것으로 기대되며, 실제 제어알고리즘에 접목한 평가도 향후과제로 남겨두었다.

참고문헌

1. Cassidy, M.J. and Bertini, B.L., (1999), "Some Traffic Features at Freeway Bottlenecks, Transportation Research 33B, pp.25~42.
2. Cassidy, M.J. and Mauch, M. (2001), "An Observed Traffic Pattern in Long Freeway Queues", Transportation Research 35A, pp.143~ 156.
3. Castillo, J.M. (2001), "Propagation of Perturbations in Dense Traffic Flow: a Model and its Implications", Transportation Research 35B, pp.367~389.
4. Jia, Z., Varaiya, P., Chen, C., Petty, K., and Skabardonis, A., (2000), "Congestion, excess demand, and effective capacity in California

- freeways”, PeMS Development Group, UC Berkeley(Downloadable from website <http://pems.eecs.berkeley.edu/resource/papers>)
5. Kerner, B.S. (2000), “Theory of Breakdown Phenomenon at Highway Bottlenecks”, 79th TRB Annual Meeting, Paper No. 00-1573.
 6. Lin, W. and Lo, H.K. (2003), “A theoretical probe of a German experiment on stationary moving traffic jams”, Transportation Research 37B, pp.251~261, Pergamon Press.
 7. Lorenz, M. and Elefteriadou, L. (2000), “A probabilistic Approach to Defining Freeway Capacity and Breakdown”, TR Circular 4th International Symposium on Highway Capacity.
 8. Newell, G.F., (1963), “Instability in dense highway traffic, a review”, Proceeding of the 2nd International Symposium on the theory of Road traffic flow, pp.73~83, London.
 9. Persaud, B., Yagar, S., Tsui, D., and Look, H. (2001), “Study of Breakdown-Related Capacity for a Freeway with Ramp Metering”, 80th TRB Annual Meeting, TRB, Washington D.C..
 10. Zhang, H.M. (2001), “A note on Highway Capacity”, Transportation Research 35B, pp.929 ~937.
 11. Transportation Research Board (2000), Highway Capacity Manual, Special Report 209, National Research Council.
 12. 건설교통부 (2001), 도로용량편람.
 13. 임재혁·박은미 (2003), 검지기데이터를 활용한 연속교통류 특성분석, 건축도시환경연구 제11집, 목원대학교 건축도시연구센터.

✉ 주 작 성 자 : 박은미

✉ 논문투고일 : 2004. 2. 11

논문심사일 : 2004. 4. 7 (1차)

2004. 4. 27 (2차)

2004. 5. 12 (3차)

심사판정일 : 2004. 5. 12

✉ 반론접수기한 : 2004. 10. 31