■ 論 文 ■

고속도로 합류부 분석모형 개발 및 서비스수준 평가 기법 개선 연구

Development of Analysis Model and Improvement of Evaluation Method of LOS for Freeway Merging Areas

이 승 준
(한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원)

박 재 범
(한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련연구 검토
1. 회귀분석 모형
2. 확률 모형
3. KHCM 모형과 간격수락 모형의 비교
Ⅲ. 연구 방법론 수립
Ⅳ. 합류부 분석모형 개발 및 검증
1. 최대통과교통량 산정 모형수정
2. 합류부 분석모형 정산 및 검증
Ⅴ. 합류부 서비스수준 평가기법 수립
1. 합류부 최대통과가능교통량 산출
2. 합류부 서비스수준 구분
3. 서비스수준에 미치는 가속차로길이의 영향 예
Ⅵ. 결론
참고문헌

Key Words : 고속도로 합류부, 최대통과가능교통량, 최대통과교통량, 가변용량, 서비스수준 평가 기법
merging area, maximum possible throughput rate, maximum throughput rate, variable capacity, LOS

요 약

도로용량편람(2004)에 제시된 합류부 분석 방법론은 수요가 용량을 초과할 경우 정체가 발생한다는 가정을 전제로 하고 있다. 그러나 많은 경우, 본선과 연결로 수요의 합이 용량을 초과하지 않은 상태에서도 합류부에서는 정체가 발생하고 있는 실정이며, 현재의 분석방법으로는 본선 및 연결로가 정체발생과 관련하여 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 분석이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 합류부 본선 및 연결로 수요교통량의 조합에 따라 발생할 수 있는 합류부 교통상태를 추정할 수 있는 모형을 개발하였다. 본 연구에서 제시하는 모형의 가장 큰 특징은 가변용량 개념의 도입인데 즉, 합류부 본선 및 연결로 수요교통량의 조합에 따라 정체되지 않고 통과될 수 있는 최대통과가능교통량 및 정체발생시의 최대통과교통량 산정에 있다. 이를 통해 합류부의 교통상태가 정체될 것인지, 또한 정체시 최대통과교통량 및 정체규모는 얼마가 될 것인지 추정할 수 있었다.

한편, 현재 사용하고 있는 합류부 서비스수준 평가기법은 실제 교통상황을 반영하지 못함으로 인해 고속도로 현장에서는 정체상황이 발생되고 있으나 수요가 용량을 초과하지 않았다는 이유로 정상교통류 상태로 평가하는 단점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 현실적인 합류부 서비스수준 평가기법을 제시하기 위해 본 연구에서 개발한 합류부 분석방법론을 토대로 새로운 합류부 서비스수준 구분 기준을 제시하였다.

The analytic methodology of a merging area in KHCM(2004) supposes that congestion may occur when traffic demand is more than capacity. However, in many cases, congestion on merging area occurs when summation of traffic demand of main line and ramp is less than capacity, and in present methodology, analysis of how main line and ramp flow effect on congestion occurrence is difficult.

In this study, the model that is able to estimate traffic flow condition on merging area in accordance with the combination of main line and ramp demand flow is developed. Main characteristic of the model is estimation of maximum possible throughput rate and maximum throughput rate according to the combination of main line and ramp demand flow. Through the estimation of maximum possible throughput rate and maximum throughput rate, it was possible to predict whether congestion would occur or not and how much maximum throughput rate and congestion would be on merging area.

On one hand, in present LOS evaluation methodology on merging area, congestion state is determined as un-congested flow if demand flow is less than capacity. Therefore, to establish more reasonable LOS evaluation method, new criterion of LOS evaluation on merging area was searched based on the model of this study.

Ⅰ. 서론

도로용량편람(2004)에 제시된 합류부 분석모형은 정체가 발생하기 전의 정상류에 대한 분석모형으로 정체는 수요가 용량을 초과할 경우 발생한다는 가정을 전제로 하고 있다. 그러나 많은 경우, 본선과 연결로 수요의 합이 용량을 초과하지 않은 상태에서도 합류부에서는 정체가 발생하고 있는 실정이며, 현재의 분석방법으로는 본선 및 연결로가 정체발생과 관련하여 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 분석이 다소 어려운 실정이다. 또한 하류 합류부에서 발생된 정체로 인하여 상류부로 정체가 파급됨은 물론 상류 IC부 등에도 영향을 미쳐 고속도로 시스템 차원으로 정체가 확산될 소지가 있다. 정체구간은 도로조건 및 교통특성에 따라 단일 정체원인 또는 다 정체원인을 포함할 수 있는데, 이러한 경우 정체해소의 근본적인 대책은 정체원인의 파악 및 순차적 해결에 달려 있다. 즉, 정체원인의 잘못된 판단 및 정체원인 해결의 순서가 잘못될 경우, 정체해소에 드는 노력 및 비용이 과대해질 수 있고 심지어는 근본적인 정체해소책이 제시되지 못할 수도 있다. 이러한 이유 때문에 고속도로 분석이 시스템 차원으로 수행되어야 하며, 주요 정체원인 구간의 하나인 고속도로 합류부의 분석에 있어서도, 고속도로가 하나의 유기체라는 관점으로 본선 및 연결로 상호간의 영향을 파악할 수 있는 분석 기법 및 모형의 개발이 요구된다.

한편, 현재 사용하고 있는 합류부 서비스수준 평가기법은 이러한 실제 교통상황을 반영하지 못함으로 인해 고속도로 현장에서는 정체상황이 발생되고 있으나 수요가 용량을 초과하지 않았다는 이유로 정상교통류 상태로 평가하는 단점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 현실적인 합류부 서비스수준 평가기법을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 관련연구 검토

주요 합류부 분석 모형의 발전 역사를 살펴보면, 수학적 모형 기반의 간격수락 모형과 현장조사 자료를 이용한 회귀분석 모형으로 구분되어 진행되어 왔으며, 1990년대를 기점으로 지점분석에서 공간분석으로 주요한 접근개념이 전환되었다.

1. 회귀분석 모형

HCM(1965)에서는 접속부 형태를 18가지로 구분하여 각각의 노모그래프와 회귀식을 교통량 수준과 함께 제시하였으며, Roess(1980)의 연구에서는 엇갈림구간을 제외시켜 13개로 줄인 노모그래프와 회귀식을 제시함과 동시에 서비스수준별 2가지 분석 방법을 하나로 통합하였다. Polytechnic University(1991)의 연구에서는 교통량 예측 대상을 접속차로 1에서 접속차로 1,2로 전환하는 계기를 마련하였으며, 신치현(1993)의 연구에서는 접속부 속도측정모형 구축시 엇갈림구간의 속도측정모형과 회귀분석 식을 사용하여 두 가지 결과를 비교하였다. KHCM(2001)에서는 연결로 접속부의 용량을 크게 연결로 용량과 본선 용량으로 구분하였으며, 연결로 접속부의 용량은 분류부 상류지점과 합류부 하류지점의 최대통과교통량과 관계되는 것으로 즉, 합류부나 분류부의 용량은 결국 연결로 접속부의 분류 직전 또는 합류 직후 구간의 용량에 지배를 받는다고 가정하였다. 연결로 접속부의 서비스수준은 영향권의 밀도로 판단하는데, 운행특성상 연결로 접속부가 고속도로 기본구간보다 서비스수준이 떨어지는 점을 감안하여 연결로 접속부에서는 서비스수준 E를 22pcpkmpl로 기준하여 구분하였다. KHCM은 도로의 용량을 전통적인 불변의 값으로 정의하기 때문에 합류부에서의 용량 역시 조건에 따라 다소 차이가 있기는 하나 기본구간과 거의 동일한 값으로 정의되며, 따라서 합류부에서 정체발생에 의해 용량(최대통과교통량)저하 현상 및 정체발생 원인(교통류간 상충 및 합류부 도로기하구조 조건 등)에 대한 해석능력이 결여된다.

2. 확률모형

Drew(1967)의 연구에서는 주어진 교통조건 하에서 연결로 최대허용교통량 예측 및 관련된 연결로 차량의 지체시간 및 길이 산정모형을 개발하였으나, 확률 모형의 한계로 인해 복잡한 합류행태 및 본선 교통류 상태 변화를 설명하지는 못하였다. 한편, Polus(1985)는 합류과정이 연결로 차량의 가속행태가 아닌 간격수락 행태에 의해 영향을 받는다는 연구결과를 제시하였다. Fazio(1989)의 연구에서는 합류시 운전자의 행태를 반영하는 모형을 정립하였는데, 합류시 운전자 행태를

연결로 주행, 가속차로 진입, 가속, 간격탐색, 본선으로의 진입 또는 실패의 5단계로 구분하였다. Randy (1996)의 연구에서는 Fazio의 연구에 운전자의 감·가속 행태를 모형으로 정립하였으며, 연결로에서 본선으로 합류하는 지점을 4가지 경우에서 밝혀냈다. 김상구(1997)의 연구에서는 합류구간의 교통류 특성과 합류 행태를 분석하여 합류용량을 산출하였으며, Erlang 계수에 따른 합류용량 산출 모형식을 제시하였다. 이승준(2006)의 연구에서는 전통적 불변의 용량 값 대신 가변적 용량 개념을 도입하였으며, 고속도로 전체구간을 평가함에 있어서, 시간대별로 다양하게 변화하는 교통상태 예측(정체류 상태 포함)을 시도하였다.

3. KHCM 모형과 간격수락 모형의 비교

회귀모형과 확률모형의 대표적 모형이라 할 수 있는 KHCM 모형과 간격수락 모형의 내용 및 특징을 간략히 살펴보면 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 KHCM 모형과 간격수락모형의 비교

	KHCM 모형	간격수락모형
주요내용	접속차로 교통량 산정 합류부 밀도 산정 연결로 및 접속부 서비스수준 판정	임계차두간격 추정 차두간격분포 결정 합류용량 산정 합류용량에 대한 기하구조의 영향 분석
특징	계획 차원의 운영상태 분석에 치중	용량산정에 의의 부여

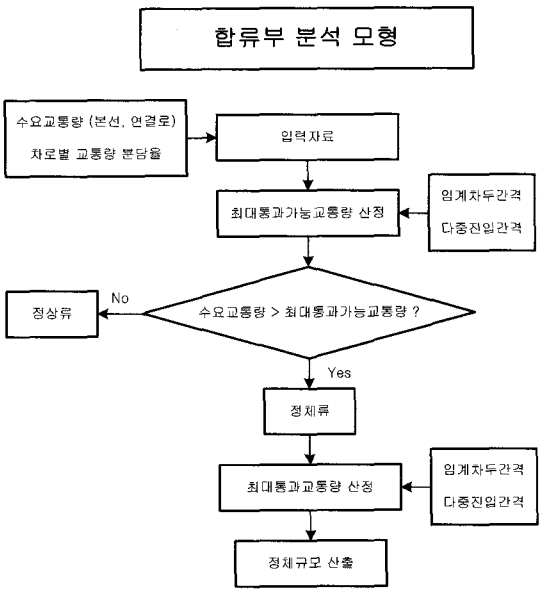
Ⅲ. 연구 방법론 수립

기존의 합류부 분석모형들은 모두 정상교통류만을 대상으로 합류부의 운행상태 평가 및 합류용량 산정에 주안점을 두는 바, 도시부 합류부와 같이 상시적으로 지정체가 발생되는 구간의 분석에는 적용 곤란한 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 정상교통류 뿐만 아니라 정체류도 함께 고려한 합류부 분석모형을 개발하여 보다 현실적인 합류부 서비스수준 평가기법을 제시하고자 한다.

본 연구에서 적용하는 합류부 분석모형은 이승준(2006. 6)에 의해 제시된 모형으로서, 본 연구에서는 기존 모형을 고속도로 교통특성을 반영한 현실적인 모형으로 수정함과 동시에 현장조사를 통한 검증을 수행하여 최종적으로 새로운 합류부 서비스수준 구분 기준을 제시하였다.

기존 연구와 비교해 본 연구의 새로운 방법론 및 내용은 다음과 같다.

- 강제진입 로직 추가 및 정체규모 산정 방식 수정
- 현장조사를 통한 고속도로 합류부 임계차두간격 및 다중진입간격 결정
- FTMS 데이터를 이용한 고속도로 차로별 교통량 분담률 결정
- 합류부 서비스수준 구분 기준 제시



〈그림 1〉 합류부 분석모형 개념도

Ⅳ. 합류부 분석모형 개발 및 검증

본 연구에서 제시하는 합류부 분석모형의 특징은 합류부 도착 수요를 통해 합류부 통과교통량을 예측한다는 것이다. 이는 기존의 교통류이론에서 용량은 주어진 값으로 하고 수요를 알 때 고속도로 각 구간에서 발생되는 교통류 상태를 예측하는 것과는 개념적으로 차이가 있다. 즉, 본 연구의 합류부 분석모형은 수요를 알 때, 가변적으로 변하는 통과교통량(용량)을 추정해 내고 이를 통해 상·하류부에서 발생될 교통상태를 예측하게 된다. 본 연구에서 정의하는 합류부 도착수요는 〈그림 2〉의 경우를 예로 들면, 본선 4개 차로 교통량 Q_{m1}, Q_{m2}, Q_{m3}, Q_{m4}와 연결로 교통량 Q_r이 되며

〈그림 3〉 및 〈그림 4〉의 경우를 예로 들면, cam8과 cam10의 본선 및 연결로 관측교통량이 된다. 한편, 통과교통량은 〈그림 2〉의 최대통과교통량($D-Q_j$)가 되며, 〈그림 3〉 및 〈그림 4〉의 경우 각각 cam1의 관측교통량이 된다.

1. 최대통과교통량 산정 모형 수정(편도4차로 고속도로 기준)

정체류 최대통과교통량 산정은 정체시 발생되는 연결로 진입차량의 강제진입과 적용 파라미터(T_c및 t^*) 값의 변화를 반영하여 정상류의 최대통과가능교통량 산정 방식과 동일하게 산정된다. 이는 병목구간에서 통과교통량 및 통행속도의 차이가 있을지라도 정체류의 차량 거동(합류 및 차로변경)이 정상류와 동일한 메커니즘에 의해 이루어진다고 보기 때문이다. 이때, 한 가지 중요한 점은 고속도로의 경우, 최소 설계기준 이상의 평행식 가속차로부 길이의 확보(공급)로 정체시 연결로 교통류의 강제진입에 의한 전량진입이 가능하다는 것이며(이러한 특성은 고속도로 합류부 상시정체구간에서 일이반적인 현상으로 관찰됨), 이러한 강제진입 logic의 추가를 통해 기존의 최대통과교통량 산정모형의 수정이 이루어졌다.

1) 최대진입가능교통량 산정

■ 강제진입

Q_r (전량진입)

여기서, Q_r : 연결로 진입 교통량(대/시)

2) 최대차로변경요구량(교통량) 산정(4차로→3차로 예)

$$f(t)= \lambda_{m4}^2 \cdot (t-0.5) \cdot e^{-\lambda_{m4} \cdot (t-0.5)}$$

$$\lambda_{m4}= \frac{2}{\frac{3600}{(Q_{m4}- Q_{lc(4)}) + W \cdot Q_r} - 0.5}$$

$$W= \frac{Q_{m4}- Q_{lc(4)}}{3600}$$

$$Q_{\max}(=Q_r)= (Q_{m4}- Q_{lc(4)}) \cdot \left[\frac{\lambda_{m4}(T_c- 0.5+ \frac{1}{\lambda_{m4}}) \cdot e^{-\lambda_{m4}(T_c- 0.5)}}{1-e^{-\lambda_{m4} \cdot t^*}} + \frac{\lambda_{m4} \cdot t^* \cdot e^{-\lambda_{m4}(T_c+t^*-0.5)}}{[1-e^{-\lambda_{m4} \cdot t^*}]^2} \right]$$

의 관계가 성립하는 $Q_{lc(4)}$ 산정 (1)

여기서, $f(t)$: 차량도착분포 확률밀도함수

Q_{m4} : 본선 4차로 수요교통량(대/시)

$Q_{lc(4)}$: 4차로에서 3차로로의 차로변경요구량(대/시)

$Q_{\max}$: 최대진입가능교통량(대/시)

T_c : 임계차두간격(초)

3) 정체규모 산정

$$f(t)= \lambda_{m1}^2 \cdot (t-0.5) \cdot e^{-\lambda_{m1} \cdot (t-0.5)}$$

$$\lambda_{m1}= \frac{2}{\frac{3600}{(Q_{m1}- Q_j) + W \cdot Q_{lc(2)}} - 0.5}$$

$$W= \frac{Q_{m1}- Q_j}{3600}$$

$$Q_{lc(2)}= (Q_{m1}- Q_j) \cdot \left[\frac{\lambda_{m1}(T_c- 0.5+ \frac{1}{\lambda_{m1}}) \cdot e^{-\lambda_{m1}(T_c- 0.5)}}{1-e^{-\lambda_{m1} \cdot t^*}} + \frac{\lambda_{m1} \cdot t^* \cdot e^{-\lambda_{m1}(T_c+t^*-0.5)}}{[1-e^{-\lambda_{m1} \cdot t^*}]^2} \right]$$

의 관계가 성립하는 Q_j 산정 (2)

여기서, Q_{m1} : 본선 1차로 수요교통량(대/시)

$Q_{lc(2)}$: 2차로에서 1차로로의 차로변경요구량(대/시)

Q_j : 정체규모(대/시)

4) 최대통과교통량 산정

(1) 수요교통량(D)

$= Q_r + Q_{m4} + Q_{m3} + Q_{m2} + Q_{m1}$

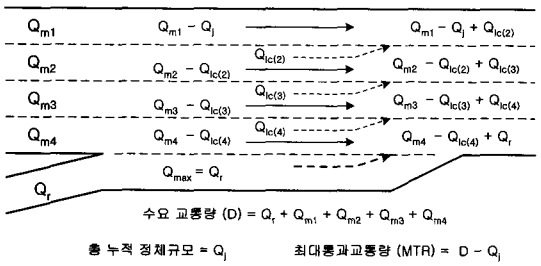
(2) 정체규모 = Q_j

본선 차로 당 누적 정체규모(q_j) = $\frac{Q_j}{N}$

여기서, N : 본선 차로수

(3) 최대통과교통량(MTR)

$$= D - Q_j$$
$$= Q_r + Q_{m4} + Q_{m3} + Q_{m2} + (Q_{m1} - Q_j) \quad (3)$$



〈그림 2〉 최대통과교통량 산출 개념도

2. 합류부 분석모형 정산 및 검증

1) 혼잡발생시점 확인

합류부 분석모형의 정산은 우선적으로 혼잡발생시점의 확인(time slice 5분주기)으로부터 출발한다.

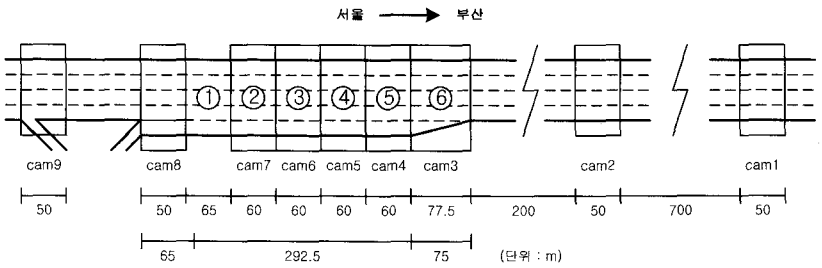
최대통과가능교통량 산정의 정확도는 혼잡발생시점의 추정으로부터 확인될 수 있으며, 정확한 최대통과가능교통량의 추정을 통해 혼잡발생 이후의 최대통과교통량이 추정된다. 혼잡발생시점의 추정을 위해 조사 자료의 속도 및 밀도 변화를 관찰하였으며, 속도의 급격한 저하 또는 밀도의 급격한 증가 시점을 확인함으로써 혼잡발생시점을 파악하였다. 합류부 분석모형의 정산 및 검증을 위해 사용된 자료는 〈그림 3〉 및 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 경부고속도로 수원IC(부산방향) 및 신갈JC(서울방향) 합류부 현장조사 자료이다(이승준 등 (2005) 참조).

(1) 수원IC 합류부 혼잡발생시점

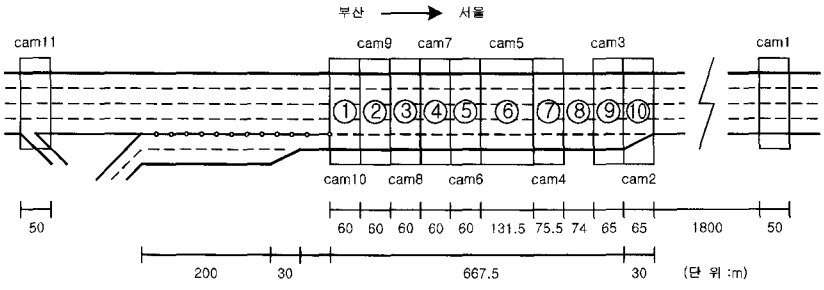
〈그림 5〉 및 〈그림 6〉에서 보는 바와 같이, 수원IC 합류부 본선 4개차로의 속도 및 밀도 변화를 5분 단위 time slice별로 각 조사지점에 대해 분석한 결과, 4개차로 공히 9번째 time slice에서 급격한 속도저하 및 밀도증가 현상이 발생함을 확인할 수 있으며, 이를 통해 9번째 time slice에서 혼잡이 발생한 것으로 판단하였다.

(2) 신갈JC 합류부 혼잡발생시점

〈그림 7〉 및 〈그림 8〉에서 보는 바와 같이, 수원IC 합류부와 마찬가지로 신갈JC 합류부 본선 4개차로의 속도 및 밀도 변화를 5분 단위 time slice별로 각 조사지점에 대해 분석한 결과, 4개차로 공히 9번째 time slice에서 급격한 속도저하 및 밀도증가 현상이 발생함을 확인할 수 있으며, 이를 통해 9번째 time slice에서 혼잡이 발생한 것으로 판단하였다.



〈그림 3〉 수원IC 현장조사 개요도



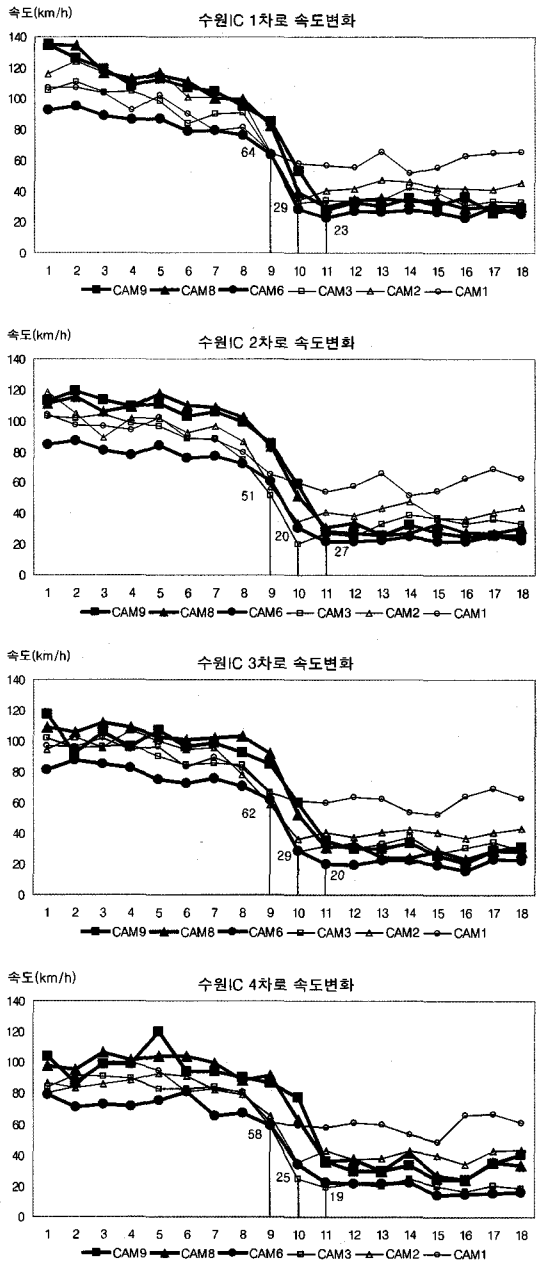
〈그림 4〉 신갈JC 현장조사 개요도

2) 매개변수 정산 및 검증

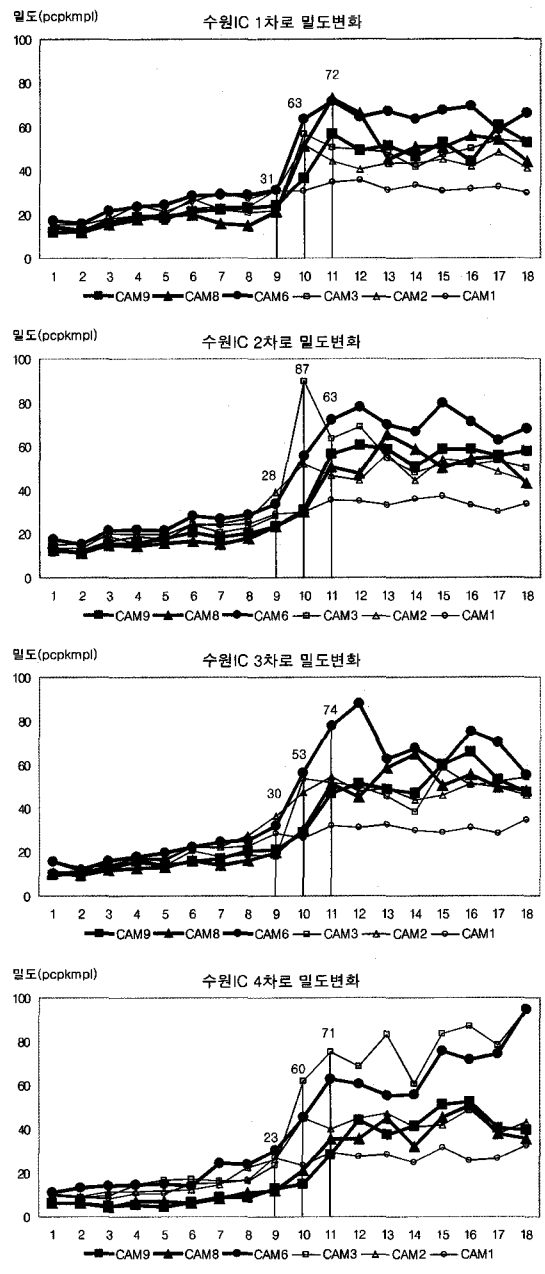
합류부 분석모형의 적용을 위하여 도로 및 교통여건 특성을 반영한 매개변수 정산 및 현장조사 자료와의 비교 검증을 수행하였다. 매개변수(T_c 및 t^*)의 정산에 있어서는 0.1초 단위로 변화시켜가며 최대통과가능교통량 및 최대통과교통량의 추정에 대한 가장 설명력이 높은 값을 찾았으며, 〈표 2〉~〈표 5〉에서 보는 바와 같이 현장조사 자료와의 비교를 수행하였다.

(1) 최대통과가능교통량 추정모형 정산 및 검증

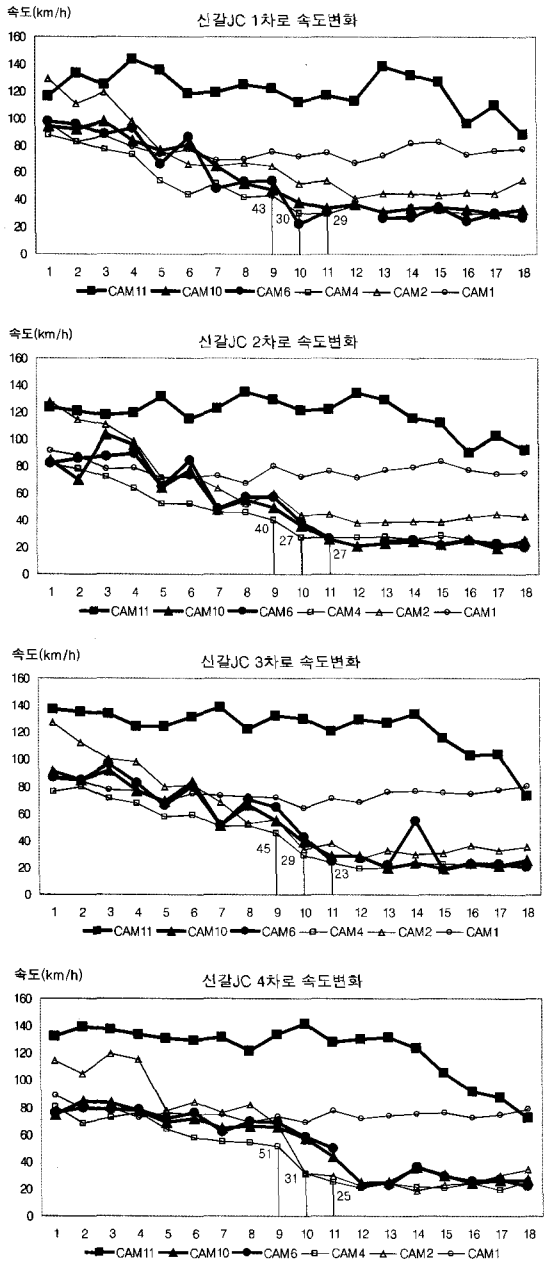
수원IC 본선 및 연결로 수요는 수원IC 합류부 진입수요로서 〈그림 3〉의 현장조사 cam8 자료이며, 추정된 최대통과가능교통량은 cam8의 합류부 도착수요 자료를 입력자료로 사용하여 추정되었다. 추정된 최대통과가능교통량의 정확성을 검토하기 위해 〈표 2〉에서 보는 바와 같이, 총수요가 최대통과가능교통량을 초과하는 시점의



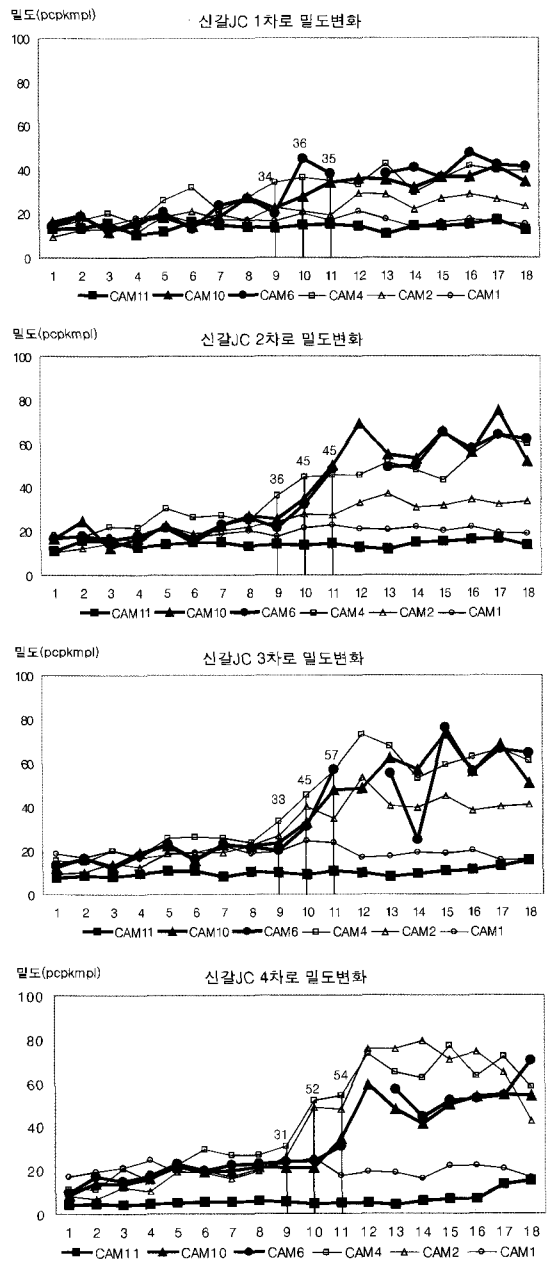
〈그림 5〉 수원IC 합류부 속도변화를 통한 혼잡시점 파악



〈그림 6〉 수원IC 합류부 밀도변화를 통한 혼잡시점 파악



〈그림 7〉 신갈JC 합류부 속도변화를 통한 혼잡시점 파악



〈그림 8〉 신갈JC 합류부 속도변화를 통한 혼잡시점 파악

교통류상태를 〈그림 5〉 및 〈그림 6〉의 현장조사 자료와 비교한 결과 혼잡시점이 일치하였다. 수원IC 합류부에 사용된 매개변수 T_c 및 t^*는 각각 2.9초 및 1.3초 이다.

신갈JC 본선 및 연결로 수요는 신갈JC 합류부 진입 수요로서 〈그림 4〉의 현장조사 cam10 자료이며, 추정된 최대통과가능교통량은 cam10의 합류부 도차수요 자료를 입력자료로 사용하여 추정되었다. 수원IC의 경우와 마찬가지로, 추정된 최대통과가능교통량의 정확성을 검토하기 위해 〈표 3〉에서 보는 바와 같이, 총수요가 최대통과가능교통량을 초과하는 시점의 교통류상태를 〈그림 7〉 및 〈그림 8〉의 현장조사 자료와 비교한 결과 혼잡시점이 일치하였다. 단, 5번째 time slice에서 정체징후가 발생하였는데, 〈그림 7〉의 신갈JC 차로별 속도변화 자료에서도 5번째 time slice에서 일부

〈표 2〉 수원IC 합류부 최대통과가능교통량 추정 결과

		본선					연결로	총 수요 (본선 + 연결로)	최대 통과가능 교통량	현장조사 결과
		1차로	2차로	3차로	4차로	계				
06시	00~05분	1,956	1,392	1,128	594	5,070	594	5,664	7,653	
	05~10분	1,548	1,272	1,002	576	4,398	780	5,178	7,027	
	10~15분	1,764	1,578	1,302	486	5,130	714	5,844	7,594	
	15~20분	1,986	1,590	1,368	702	5,646	840	6,486	7,724	
	20~25분	2,208	1,830	1,338	762	6,138	846	6,984	7,992	
	25~30분	2,196	1,806	1,614	642	6,258	846	7,104	8,021	
	30~35분	1,584	1,638	1,410	864	5,496	972	6,468	7,406	
	35~40분	1,464	1,824	1,674	966	5,928	1,314	7,242	7,370	
	40~45분	1,728	1,938	1,812	1,098	6,576	1,248	7,824	7,683	정체발생
	45~50분	1,998	1,548	1,584	1,332	6,462	1,338	7,800	7,592	정체
	50~55분	2,142	1,560	1,566	1,284	6,552	1,242	7,794	7,718	정체
	55~60분	2,268	1,620	1,494	1,344	6,726	1,506	8,232	7,844	정체

〈표 3〉 신갈JC 합류부 최대통과가능교통량 추정 결과

		본선					연결로	총 수요 (본선 + 연결로)	최대 통과가능 교통량	현장조사 결과
		1차로	2차로	3차로	4차로	계				
06시	00~05분	1,500	1,404	1,140	636	4,680	240	4,920	6,331	
	05~10분	1,764	1,722	1,386	1,164	6,036	660	6,696	6,778	
	10~15분	1,158	1,224	1,176	1,104	4,662	360	5,022	5,979	
	15~20분	1,368	1,596	1,464	1,266	5,694	402	6,096	6,378	
	20~25분	1,416	1,434	1,530	1,476	5,856	972	6,828	6,392	정체징후
	25~30분	1,140	1,290	1,296	1,386	5,112	366	5,478	5,975	
	30~35분	1,194	1,098	1,170	1,260	4,722	684	5,406	5,967	
	35~40분	1,416	1,470	1,446	1,416	5,748	582	6,330	6,355	
	40~45분	1,068	1,254	1,296	1,380	4,998	1,056	6,054	5,919	정체발생
	45~50분	1,056	1,260	1,302	1,194	4,812	1,038	5,850	5,917	정체
	50~55분	1,164	1,284	1,368	1,494	5,310	1,560	6,870	6,022	정체
	55~60분	1,320	1,422	1,380	1,440	5,562	1,368	6,930	6,215	정체

〈표 4〉 수원IC 합류부 최대통과교통량 추정 결과

		차로				총 통과 교통량	최대 통과 교통량
		1	2	3	4		
06시	40-45분	1,992	1,896	1,884	1,662	7,434	6,966
	45-50분	1,776	1,806	1,614	1,392	6,588	6,922
	50-55분	1,956	1,902	1,920	1,710	7,488	7,079
	55-60분	1,980	2,016	1,980	1,692	7,668	6,899
07시 이후	00-05분	2,058	2,184	2,022	1,698	7,962	6,909
	05-10분	1,716	1,848	1,602	1,332	6,498	6,892
	10-15분	1,686	2,028	1,524	1,536	6,774	7,012
	15-20분	1,980	2,064	1,998	1,698	7,740	7,173
	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·
평균		-				7,100	7,034

〈표 5〉 신갈JC 합류부 최대통과교통량 추정 결과

		차로				총 통과 교통량	최대 통과 교통량
		1	2	3	4		
06시	40-45분	1,254	1,404	1,404	1,680	5,742	5,269
	45-50분	1,440	1,548	1,554	1,764	6,306	5,130
	50-55분	1,284	1,734	1,662	1,338	6,018	5,859
	55-60분	1,410	1,494	1,158	1,380	5,442	5,707
07시 이후	00-05분	1,254	1,566	1,338	1,404	5,562	5,523
	05-10분	1,140	1,734	1,458	1,224	5,556	5,750
	10-15분	1,326	1,668	1,410	1,662	6,066	5,672
	15-20분	1,272	1,680	1,512	1,596	6,060	5,588
	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·	·
평균		-				5,596	5,656

속도저하가 발생함을 확인할 수 있으므로, 이 역시 현장조사 자료와 일치된 결과를 보인 것으로 판단된다. 신갈JC 합류부에 사용된 매개변수 T_c 및 t^*는 각각 3.5초 및 1.7초 이다.

(2) 최대통과교통량 추정모형 정산 및 검증

수원IC 합류부 본선 4개 차로 총 통과교통량은 〈그림 3〉의 현장조사 cam1 자료이며, 최대통과교통량은 cam8 자료를 입력자료로 사용하여 추정되었다. 관측된 통과교통량 대비 최대통과교통량추정의 정확도는 99.1%이며, 수원IC 최대통과교통량 추정에 사용된 매개변수 T_c 및 t^*는 각각 3.0초 및 1.3초 이다.

신갈JC 합류부 본선 4개 차로 총 통과교통량은 〈그림 4〉의 현장조사 cam1 자료이며, 최대통과교통량은 cam10 자료를 입력자료로 사용하여 추정되었다. 관측된 통과교통량 대비 최대통과교통량추정의 정확도는 98.9%이며, 신갈JC 최대통과교통량 추정에 사용된 매개변수 T_c 및 t^*는 각각 4.9초 및 1.7초 이다.

3) 결과

합류부 분석모형의 매개변수 정산 및 검증 결과를 살펴보면, 최대통과가능교통량 및 최대통과교통량의 추정이 혼잡 발생시점의 파악 및 최대통과교통량 추정의 정확도 측면에서 적절한 것으로 판단된다.

V. 합류부 서비스수준 평가기법 수립(편도4차로 고속도로 기준)

1. 합류부 최대통과가능교통량 산출

1) 차로별 교통량 분담률

합류부 최대통과가능교통량의 산정을 위해서는 합류부 도착수요(본선 및 연결로)를 알아야 함은 물론 본선 교통수요 중 차로별 교통량을 알아야 한다. 특정 조사지점의 경우는 합류부 도착수요 및 차로별 교통량 조사치를 활용하여 최대통과가능교통량을 산출하나, 합류부 서비스수준의 평가를 위해서는 특정수요가 아닌 모든 가능한 교통수요범위(예로 0~2,400대/시)에 대해 최대통과가능교통량 곡선을 산출하여야 하며, 이 때문에 차로별 교통량 분담률의 결정이 필요하게 된다. 본 연구에서는 일반적인 차로별 교통량 분담률을 결정하기 위해 한국도로공사 FTMS 자료를 활용하여 편도 2, 3, 4차로 구간에 대해 평균 차로별 교통량 분담률을 산출하였으며, 편도 4차로 구간의 평균 차로별 교통량 분담률을 이용하여 분석에 적용하였다. 본 연구에 적용된 편도 4차로 구간의 차로별 교통량 분담률은 경부고속도로, 중부고속도로, 영동고속도로, 서해안고속도로의 총 24개 지점을 대상으로 2005년 11월 28일 FTMS Data(24시간자료)를 활용하여 도출하였다.

2) 매개변수 결정

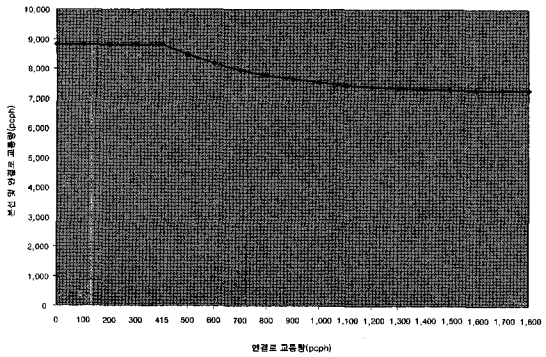
수원IC 합류부는 본선 설계속도 100km/h와 연결로 설계속도 50km/h로서, 고속도로 합류부 형상과 가속차로 길이(약 300m) 등 도로기하구조 조건이 대표성을 띠는 일반적인 구간이기 때문에 합류부 최대통과가능교통량 산정시 요구되는 매개변수 값의 결정시 기준으로 적용하였으며, 적용된 매개변수 T_c 및 t^*는 각각 2.9초 및 1.3초 이다.

3) 최대통과가능교통량 곡선 산출

〈표 6〉 차로별 교통량 분담률 (단위:%)

노선	이정	방향	1차로	2차로	3차로	4차로
경부	391.84	상행	29.55	30.13	24.42	15.90
		하행	28.36	28.82	25.11	17.70
	393.31	상행	27.05	28.13	25.47	19.35
		하행	26.85	28.34	24.83	19.98
	394.46	상행	26.47	28.31	25.78	19.44
		하행	26.58	26.88	24.00	22.55
중부	360.1	상행	31.50	28.17	24.82	15.50
		하행	28.36	28.01	25.33	18.30
	362.3	상행	25.06	29.82	24.19	20.93
		하행	37.50	28.38	21.99	12.13
	363.6	상행	30.21	29.92	22.32	17.56
		하행	26.56	26.16	23.24	24.04
영동	38.2	상행	29.17	26.02	21.19	23.62
		하행	32.76	30.87	24.11	12.26
	39.6	상행	30.74	27.95	23.06	18.25
		하행	29.74	28.09	24.22	17.95
	41.4	상행	30.92	29.82	26.00	13.26
		하행	26.39	23.10	22.89	27.62
서해안	328.1	상행	20.24	25.48	27.20	27.09
		하행	25.35	23.16	19.44	32.05
	333.1	상행	20.30	25.65	27.14	26.91
		하행	24.37	23.00	19.76	32.88
	334.1	상행	20.06	25.39	27.39	27.17
		하행	24.89	22.94	19.93	32.24
평균 (%)		-	27.22	27.11	23.96	21.71

최대통과가능교통량 산출 결과에 의하면, 합류부의 용량이 전통적인 불변의 값(설계속도 100km/h, 편도 4차로기준 : 8,800pcph)이 아니라 본선과 연결로 교통수요 조합에 의해 결정되는 가변적인 값임을 알 수 있으며, 연결로 진입교통량이 증가할수록 본선 및 연결로 진입교통량의 합인 최대통과가능교통량이 감소하는 것을 볼 수 있다.



〈그림 9〉 합류부 최대통과가능교통량 곡선(편도4차로)

2. 합류부 서비스수준 구분

KHCM에서는 합류영향권의 서비스수준 평가 MOE인 밀도 값을 기본구간 보다 약간씩 높게 설정하여 제시하고 있다. 이러한 이유는, 일반적으로 합류부에서 내재된 차량 상충의 영향으로 동일한 교통량수준에서 기본구간과 동질의 서비스수준을 기대할 수 없기 때문이다. 따라서 기본구간과 동질의 서비스수준을 유지하기 위해서는 서비스수준별 최대 밀도 값을 기본구간보다 낮게 설정하여야 하나, 2차로도로 또는 신호교차로의 경우와 같이 합류부를 기본구간과 교통특성이 다른 도로시설물로 간주하여 서비스수준 평가 기준을 달리 설정한 것이다.

본 연구에서는 새로운 합류부 서비스수준 평가기준을 수립함에 있어서, 합류부에서 본선 및 연결로 교통량의 조합이 합류부의 운영상태를 결정짓는 주요 요소라는 점에 착안하여, 교통량을 MOE로 한 서비스수준 평가기법을 수립하였다. 이를 위해, KHCM에 제시된 합류부 서비스수준 구분 기준인 밀도 값을 교통량으로 환산하였으며, 이때 기본구간의 서비스수준 기준에 제시되어 있는 밀도와 교통량의 관계를 적용하였다. 본 방법의 가장 큰 특징은, 혼잡교통류 상태 즉, 서비스수준 F 상태를 평가하는 방법이다. 즉, 기존에는 합류부의 수요가 기본구간과 마찬가지로 불변의 용량 값(합류영향권 접속부 2개차로 4,400pcph 또는 4,600pcph)을 초과하여야 정체가 발생한다고 보았으나, 본 연구에서는 본선 및 연결로 수요교통량과 최대통과가능교통량의 비교를 통해 정체류 상태를 판정한다.

1) 서비스수준 기준 교통량 환산

KHCM에서 제시된 기본구간 서비스수준 기준 및 합류부 서비스수준 기준은 〈표 7〉 및 〈표 8〉과 같다.

이에 대하여, 설계속도 100km/h인 편도4차로 고속도로 합류부의 서비스수준을 구분하기 위하여 합류부 접속부 2개 차로와 나머지 2개 차로에 대하여 각각 합류부 및 기본구간의 서비스수준별 교통량을 적용하여 새로운 합류부의 서비스수준 구분 기준을 〈표 9〉와 같이 설정하였다.

〈표 7〉 고속도로 기본구간 서비스수준

서비스수준	밀도 (pcpkmpl)	설계 속도 100 kph	
		교통량(pcphpl)	v/c비
A	≤ 6	≤ 600	≤ 0.27
B	≤ 10	≤ 1,000	≤ 0.45
C	≤ 14	≤ 1,350	≤ 0.61
D	≤ 19	≤ 1,750	≤ 0.8
E	≤ 28	≤ 2,200	≤ 1.00
F	> 28	-	-

〈표 8〉 고속도로 합류부 서비스수준 및 서비스수준별 환산 교통량

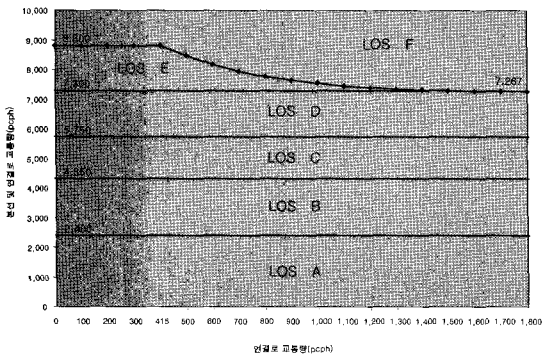
서비스수준	밀도(pcpkmpl)	환산교통량(pcphpl)
A	≤ 6	≤ 600
B	≤ 12	≤ 1,175
C	≤ 17	≤ 1,510
D	≤ 22	≤ 1,900
E	〉22	≤ 2,200
F	용량 초과	-

〈표 9〉 새로운 고속도로 합류부 서비스수준 구분 기준

서비스수준	밀도(pcpkmpl)	4개차로 환산교통량(pcphpl)
A	≤ 6	≤ 2,400
B	≤ 12	≤ 4,350
C	≤ 17	≤ 5,720
D	≤ 22	≤ 7,300
E	〉22	≤ 8,800
F	용량 초과	-

2) 서비스수준 구분

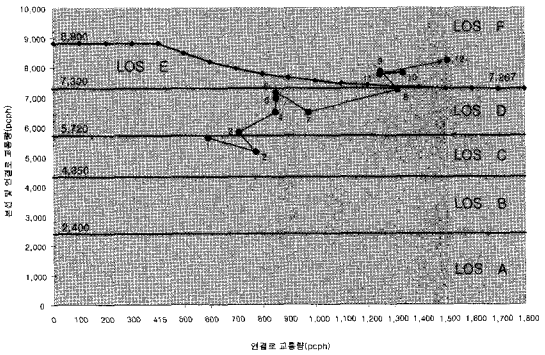
상기에 제시된 교통량 기준에 의해, 본 연구에서 제시하는 합류부 서비스수준 구분은 〈그림 10〉과 같이 제시될 수 있다.



〈그림 10〉 새로운 합류부 서비스수준 구분

3) 새로운 서비스수준 구분 방법의 특징

새로운 합류부 서비스수준 구분 방법은 기존 KHCM 방법과 큰 차이점이 존재하는데, 예로 기존의 KHCM 방법에 의해 서비스수준이 E 또는 D로 판정되는 경우가 본 연구의 방법에 의해서는 LOS F로 판정될 수도 있다는 것이다. 수원IC 합류부를 대상으로 KHCM방법, 본 연구방법 및 현장조사 결과를 비교한 구체적 사례가 〈그림 11〉 및 〈표 10〉에 제시되어 있는데, 본 연구방법이 KHCM방법과 비교해 보다 정확한 결과를 도출하는 것을 볼 수 있다.



〈그림 11〉 새로운 합류부 서비스수준 구분 기준의 적용

3. 서비스수준에 미치는 가속차로길이의 영향 예

가속차로의 길이가 합류부 교통운영상태에 미치는 영향을 비교하기 위해 일반적인 고속도로 합류부 가속차로의 길이(약 300m) 보다 긴 신갈JC 합류부(가속차로길이 약 800m)의 서비스수준 평가를 수행하였다.

신갈JC 합류부의 차로별 교통량 분담률은 수원IC와 동일하게 〈표 6〉을 적용하였으며, 앞서 살펴본 바와 같이 〈표 3〉의 결과로 도출된 신갈JC 합류부에 사용된 매개변수 T_c 및 t^*는 각각 3.5초 및 1.7초 이다.

차로별 교통량 분담률과 매개변수 T_c 및 t^*를 적용하여 산출된 신갈JC 합류부 최대통과가능교통량은, 〈그림 12〉에서 보는 바와 같이, 수원IC와 비교해 상대적으로 적은 최대통과가능교통량을 나타내고 있다.

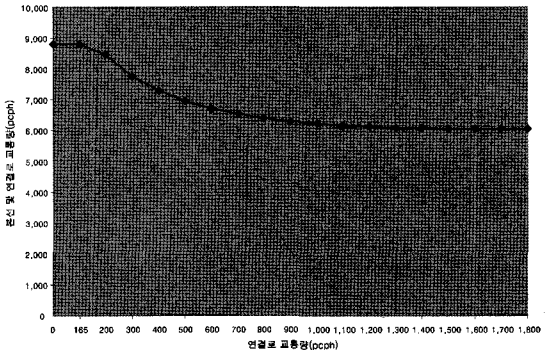
앞서 "2. 합류부 서비스수준 구분"에서 도출된 기준을 신갈JC 합류부에 적용한 서비스수준 구분은 〈그림

〈표 10〉 새로운 합류부 서비스수준 적용 결과 비교

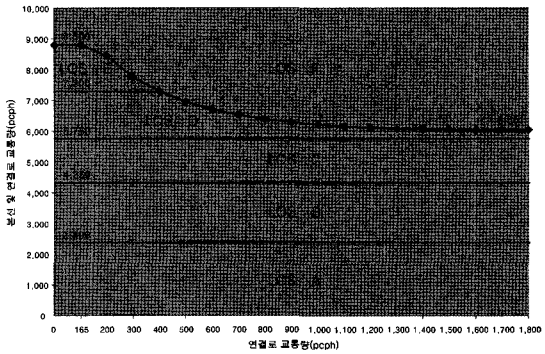
구분	06시	차로별 교통량 (pcph)					본선 및 연결로 수요 (pcph)	KHCM					본 연구 제시 LOS	현장 조사 결과
		1	2	3	4	연결로		VR (pcph)	V12 (pcph)	LA (m)	DMR (pcpkmpl)	LOS		
1	00-05분	1,956	1,392	1,128	594	594	5,664	594	1,722	300	12	B	C	
2	05-10분	1,548	1,272	1,002	576	780	5,178	780	1,578	300	12	B	C	
3	10-15분	1,764	1,578	1,302	486	714	5,844	714	1,788	300	13	C	D	
4	15-20분	1,986	1,590	1,368	702	840	6,486	840	2,070	300	15	C	D	
5	20-25분	2,208	1,830	1,338	762	846	6,984	846	2,100	300	15	C	D	
6	25-30분	2,196	1,806	1,614	642	846	7,104	846	2,256	300	16	C	D	
7	30-35분	1,584	1,638	1,410	864	972	6,468	972	2,274	300	17	C	D	
8	35-40분	1,464	1,824	1,674	966	1,314	7,242	1,314	2,640	300	20	D	D	
9	40-45분	1,728	1,938	1,812	1,098	1,248	7,824	1,248	2,910	300	21	D	F	정체
10	45-50분	1,998	1,548	1,584	1,332	1,338	7,800	1,338	2,916	300	22	D	F	정체
11	50-55분	2,142	1,560	1,566	1,284	1,242	7,794	1,242	2,850	300	21	D	F	정체
12	55-60분	2,268	1,620	1,494	1,344	1,506	8,232	1,506	2,838	300	22	D	F	정체

13)과 같다. 신갈JC 합류부를 대상으로 KHCM방법, 본 연구방법 및 현장조사 결과를 비교한 결과가 〈그림 14〉 및 〈표 11〉에 제시되어 있다.

본 연구 방법론에 의한 신갈JC 합류부 서비스수준

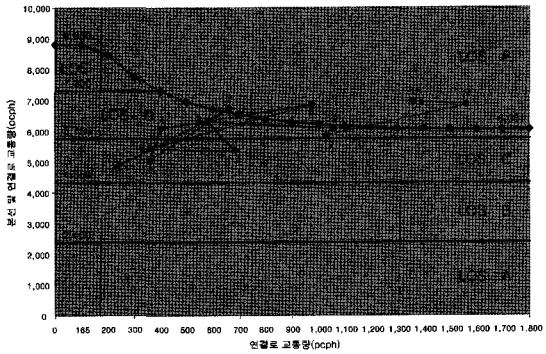


〈그림 12〉 신갈JC 합류부 최대통과가능교통량 곡선



〈그림 13〉 신갈JC 합류부 서비스수준 구분

평가에서 일부 time slice는 현장상황을 제대로 반영하지 못하였는데, 그러한 이유는 모형에 적용된 평균 차로별 교통량 분담률이 수원IC에 비해 신갈JC의 차로별 교통량 분담률과 더 큰 차이가 발생하기 때문으로 판단된다. 참고로, 수원IC 및 신갈JC의 차로별 교통량 분담률과 합류부 서비스수준 구분시 최대통과가능교통량 산출 모형에 적용된 차로별 교통량 분담률을 비교하면 〈표 12〉와 같다.



〈그림 14〉 신갈JC 합류부 서비스수준 구분 기준의 적용

〈표 12〉 신갈JC 평균 차로별 교통량 분담률

	차로별 교통량 분담률 (%)			
	1차로	2차로	3차로	4차로
수원IC 평균 값	28.5	27.0	24.1	20.4
신갈JC 평균 값	23.8	25.7	25.6	25.0
모형적용 값	27.2	27.1	24.0	21.7

〈표 11〉 신갈JC 합류부 서비스수준 적용 결과 비교

구분	06시	차로별 교통량 (pcph)					본선 및 연결로 수요 (pcph)	KHCM					본 연구 제시 LOS	현장 조사 결과
		1	2	3	4	연결로		VR (pcph)	V12 (pcph)	LA (m)	DMR (pcpkmpl)	LOS		
1	00-05분	1,500	1,404	1,140	636	240	4,920	240	1,776	800	11	B	C	
2	05-10분	1,764	1,722	1,386	1,164	660	6,696	660	2,550	800	17	C	F	
3	10-15분	1,158	1,224	1,176	1,104	360	5,022	360	2,280	800	14	C	C	
4	15-20분	1,368	1,596	1,464	1,266	402	6,096	402	2,730	800	17	C	D	
5	20-25분	1,416	1,434	1,530	1,476	972	6,828	972	3,006	800	20	D	F	정체징후
6	25-30분	1,140	1,290	1,296	1,386	366	5,478	366	2,682	800	17	C	C	
7	30-35분	1,194	1,098	1,170	1,260	684	5,406	684	2,430	800	16	C	C	
8	35-40분	1,416	1,470	1,446	1,416	582	6,330	582	2,862	800	18	D	D	
9	40-45분	1,068	1,254	1,296	1,380	1,056	6,054	1,056	2,676	800	19	D	D	정체
10	45-50분	1,056	1,260	1,302	1,194	1,038	5,850	1,038	2,496	800	18	D	D	정체
11	50-55분	1,164	1,284	1,368	1,494	1,560	6,870	1,560	2,862	800	22	D	F	정체
12	55-60분	1,320	1,422	1,380	1,440	1,368	6,930	1,368	2,820	800	21	D	F	정체

Ⅵ. 결론

본 연구를 통해 도출된 주요 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 실제 고속도로 교통류 특성을 반영한 합류부 분석모형을 개발(수정 및 검증)하여 고속도로 본선 및 연결로 수요교통량의 조합에 따라 발생 가능한 가변용량 개념의 최대통과가능교통량 및 최대통과교통량의 추정이 가능하였다. 둘째, 기존 도로용량편람의 문제점을 개선한 합류부 서비스수준 평가기법을 제시한 바, 최대통과가능교통량 추정을 통한 서비스수준 구분 기준을 설정하였고 본선 및 연결로 수요교통량의 조합에 따른 정체류 판정(LOS F) 및 실제현상에 대한 설명력을 강화하였다.

이상과 같이 본 연구를 통해 도출된 합류부 분석모형 및 서비스수준 평가기법은 향후 고속도로 지정체구간의 개선 대책 수립 시 활용도 및 효과가 높을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구결과의 즉시적인 현장적용 및 적용범위의 확대를 위해서는 다음과 같은 풀어야 할 세 가지 주요사항이 있으며, 향후 이에 대한 추가연구가 필요하다.

첫째, 다양한 도로 및 교통조건에서의 매개변수 값 결정이 요구되는데, 이는 적용성 및 일반화를 위한 매개변수 값의 카테고리 화를 의미한다. 구체적으로는 차로수의 영향을 반영하기 위해 편도 2, 3, 4차로 각각의 고속도로에서 설계속도, 가속차로 길이, 중차량 혼입율 등을 고려한 다수의 현장조사 수행 및 매개변수 값의 결정·제시가 요구된다. 그러나 전국적으로 고속도로 상에 존재하는 지정체구간이 약 10개 구간을 상회하는 수준에 불과하기 때문에, 다양한 도로 및 교통조건을 반영한 매개변수 값의 결정이 쉽지 않을 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구를 통해 제시된 합류부 서비스수준 구분 기준의 개선 및 보완이다. 본 연구에서는 서비스수준 구분 기준의 설정 시 동일한 매개변수(T_c 및 t^*) 값을 적용하였으나, 서비스수준별로 다른 값을 적용하는 것이 필요하다. 즉 합류부의 서비스수준을 단순히 교통량 범위에 따른 구분이 아니라, 밀도의 개념이 지니고 있는 의미와 같이 운전자의 주행편의성이 고려되기 위해 각 서비스수준에 부합한 T_c 및 t^* 값의 결정이 요구된다.

셋째, 본 연구에서 제시한 합류부 분석모형은 KHCM에 제시된 분석 방법론에 비해 상당히 복잡한 계산과정을 포함하고 있어 분석과정의 단순화 및 편의성을 위한 프로그램의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. 대한교통학회(2001), 도로용량편람.
2. 이승준(2002), 고속도로 전체 구간의 용량 산정 방법론 정립, 서울시립대학교, 박사논문.
3. 이승준(2006), 고속도로 최대통과교통량 산정 및 서비스수준 평가 기법 개발, 대한교통학회지, 제24권 제4호, 대한교통학회, pp.129~148.
4. 이승준·박재범·강정규(2005), 가속차로 길이에 따른 합류행태 및 합류부 교통특성 분석, 대한교통학회지, 제23권 제8호, 대한교통학회, pp.53~66.
5. 이승준, 이정도, 최재성(1999), 확률모형을 이용한 엇갈림구간의 교통류분석, 대한교통학회지, 제17권 제5호, 대한교통학회, pp.159~166.
6. 최재성, 이승준(2000), 도시고속도로 엇갈림구간의 합리적 설계를 위한 교통특성분석(I), 대한교통학회지, 제18권 제5호, 대한교통학회, pp.33~42.
7. 최재성·이승준(2001), 고속도로 합류부 임계차두간격 및 용량 산정에 관한 연구, 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.195~205.
8. 한국도로공사(2005), 고속도로 분합류부 설계기준 수립에 관한 연구.
9. Adolf D. May(1990), Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall.
10. Donald R. Drew(1968), Traffic Flow Theory and Control, McGRAW-HILL.
11. Edited by C.J. Messer et al(1975), Traffic Flow Theory - A Monograph, Special Report 165, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
12. Edited by C.J. Messer et al(1997), Traffic Flow Theory - A Monograph (Revised Edition), Special Report 165, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
13. Transportation Research Board(2000), Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

〔부록〕 주요용어 개념 정리

1. 최대통과가능교통량

본 논문에서 이론적으로 정의하는 최대통과가능교통량은 정체가 발생되지 않은 상황에서 합류부를 통과 할 수 있는 최대교통량으로서, 본선 교통수요와 최대진입가능교통량의 합으로 산출된다. 이는 교통수요와 관련된 공급측면의 가변용량 개념으로 볼 수 있으며, 실제 통과교통량을 의미하는 것은 아니다.

2. 최대통과교통량

본 논문에서 이론적으로 정의하는 최대통과교통량은 정체 상황시 합류부를 통과한 최대교통량을 의미한다.

3. 최대차로변경요구량

본 논문과 관련하여 이론적으로 정의하는 최대차로변경가능교통량은 최대진입가능교통량 및 최대통과가능교통량의 산정 시 고려되는 요소이다. 즉, 합류 영향권(합류부 및 차로감소 구간 등)에서 본선 교통류가 정상류를 유지하며 합류 교통류를 최대로 수용할 수 있는 값(최대진입가능교통량)을 산정하기 위해 고려되는 값으로 한 차로에서 인근차로로 차로변경 할 수 있는(또는 인근차로에서 받아줄 수 있는) 최대교통량을 의미한다. 최대차로변경가능교통량은 차로별로 산출되며, (차로수 - 1)만큼 산정하게 된다.

한편, 본 논문에서 이론적으로 정의하는 최대차로변경요구량은 최대통과교통량 산정시 고려되는 요소이다. 합류부에서 연결로 진입교통류에 의해 접속차로가 혼잡하게 되면, 일반적으로 접속차로에서 본선 인근차로로 차로변경이 일어나고 또 다시 인근차로에서 본선 중앙분리대 쪽 차로로 계속 차로변경이 일어난다. 이때 최대차로변경요구량은 인근차로에서 정체가 발생하지 않을 정도의 수준에서 받아줄 수 있는 최대차로변경가능교통량과는 달리 연결로 진입교통류의 강제진입 경우처럼 인근차로에서 받아줄 수 있는 교통량과 무관하게 이론적으로 최대통과교통량 산출을 위해 요구되는 차로변경교통량이다.

4. 정체규모

본 논문에서 이론적으로 정의하는 정체규모는 본선 및 연결로 수요와 산출된 최대통과교통량의 차이가 된다.

♧ 주 작 성 자 : 이승준
♧ 교 신 저 자 : 이승준
♧ 논문투고일 : 2006. 7. 18
♧ 논문심사일 : 2006. 8. 24 (1차)
2006. 10. 2 (2차)
2006. 10. 19 (3차)
2006. 10. 24 (4차)
♧ 심사판정일 : 2006. 10. 24
♧ 반론접수기한 : 2007. 4. 30