■ 論 文 ■

고속도로 합류부의 교통와해 원인 분석

An Analysis of Breakdown Cause at Freeway Merge Area

김 상 구
(한국도로공사 도로연구소 책임연구원)

박 창 호
(서울대학교 도시공학과 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법
Ⅱ. 기존이론의 고찰
1. 이중용량(Two Capacities) 현상
2. 교통와해(Breakdown) 현상
3. 합류부 용량
Ⅲ. 자료수집 및 방법
1. 조사구간 선정 및 현황
2. 자료수집 내용
3. 자료 분석방법
Ⅳ. 분석과정 및 결과
1. 연결로교통량의 비중 영향
2. 연결로 차량군 유입 영향
Ⅴ. 교통와해 원인 및 평가
Ⅵ. 결론
참고문헌

요 약

합류구간에 설치된 차량검지기에서 수집된 조사자료들을 이용하여 본 연구는 교통와해 발생원인과 용량감소 문제를 분석하였다. 본 연구에서는 거시적 및 미시적인 방법을 가지고 수행하였으며 거시적인 방법으로는 연결로 교통량의 상대적 비중차이를 분석하였고 미시적으로는 본선에 진입하는 차량들의 패턴을 분석하였다. 거시적인 측면에서 합류부의 교통와해는 같은 합류교통량에 대한 연결로교통량의 비중 차이에 의해 발생된다. 즉, 연결로교통량 비중이 높아질수록 교통와해 발생확률은 증가할 것이다. 또한 미시적인 측면에서는 연결로 교통량이 같을 때 본선에 진입하는 차량군의 크기 및 발생회수, 표준편차가 높아질수록 교통와해가 발생할 확률이 높아진다고 할 수 있다. 따라서 교통와해의 주요한 원인은 연결로교통량의 영향에 기인한다고 할 수 있고 이러한 영향을 감소시키기 위하여 램프미터링과 같은 고속도로 교통통제 기법이 요구된다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고속도로-연결로 합류부는 두 개의 교통흐름이 서로 상충되는 지점으로서 복잡한 교통행태를 나타내고 이로인하여 고속도로 구간 중 용량저하 및 교통와해 상태, 지체구간을 대표하는 구간으로서 가장 일반적으로 연구하여야 할 중점대상이라 할 수 있다.

이러한 고속도로 합류부의 상이한 통행특성은 고속도로 본선 및 유입연결로의 차로수, 도로의 구조적 형태 및 연결로 접속부의 시설물 설계등의 기하구조적 요인과 운전행태, 교통량등의 교통적 요인에 의해 발생된다고 할 수 있다.

합류부의 용량감소는 기본구간보다 낮은 교통량수준에서 교통와해가 발생되는 것에 기인하고 이러한 교통와해는 기본구간의 교통와해에서 나타나는 것과 같은 한 종류의 교통류 흐름내에서 차량간 마찰력의 평형상태가 이루어지지 못하는 현상에서 발생되는 것이 아니라 두 개의 교통흐름이 서로 상충하면서 발생되는 외부적인 영향에 더욱 크게 작용한다고 할 수 있다.

고속도로-연결로 접속부 부근에서의 교통행태는 본선 차량들의 가·감속행태와 직접적인 상충을 피하기위한 차로변경과 같은 두가지 교통행태가 발생되고 이러한 행태들은 본선 교통류에 난류현상을 일으키고 교통와해 발생으로 용량상태로의 운영을 불가능하게 한다. 따라서 합류부의 상·하류 용량은 기본구간에서 통과시킬 수 있는 최대 통과교통량 수준보다는 일정량만큼 감소한 교통량을 받아들이고 통과시키는 것으로 알려져 있다.

이러한 합류구간내에서의 용량평가는 본선교통량과 연결로교통량과의 상호 유기적인 관계에서 결정된다고 할 수 있고 본선교통량과 연결로교통량과의 다양한 조합에서 용량의 규모가 결정될 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 합류부에서 발생되는 교통와해 현상을 두 가지 관점에서 조사·분석하여 용량감소 원인을 평가하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 고속도로 합류부를 대상으로 고속도로 교통관리시스템(FTMS)의 차량검지기시스템(VDS)에서 측정되는 교통량, 속도자료를 가지고 교통와해 발생 전후의 교통자료를 분석하였다. 연구의 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 기존 문헌고찰
2) 자료수집 및 방법
3) 분석과정 및 결과
   (1) 연결로교통량의 비중 영향
   (2) 연결로 차량군 유입 영향
4) 교통와해 원인 및 평가
5) 결론

II. 기존 문헌고찰

1. 이중용량(Two Capacities) 현상

이중용량 현상은 두 개의 분리된 용량이 존재한다는 것으로서 이는 안정류 상태에서 존재하는 용량과 수요가 용량을 초과할 때 대기행렬 풀림 조건하에서 용량이 생성된다는 것이다. 이는 교통류가 안정류에서 불안정류로 전이될 때 각각의 자유교통류 용량과 대기행렬 풀림 용량 사이에 차이가 발생한다는 현상으로 아직까지 검증되어 정립된 이론은 아니고 계속적인 연구가 진행중에 있다.

이러한 현상은 교통와해가 최대 교통량을 통과하여 발생한 경우 대기행렬 풀림 교통량은 최대교통량보다 상대적으로 낮게 관측되고 외부요인에 의해 교통류가 최대교통량보다 낮은 상태에서 교통와해가 발생하면 상대적으로 대기행렬 풀림 교통량이 높게 관측된다.

Hall과 Agyemang-Duah(1991)는 대기행렬 풀림 조건하에서 용량이 2,200~2,300승용차/시/차로로 교통류율이 떨어지는 것으로 제시되고 이러한 이중용량간의 차이발생이 고속도로 교통통제 방법중의 하나인 연결로 미터링 기본개념의 핵심조건으로 작용한다. 즉, 대기행렬 풀림 조건하의 최대 교통류율이 자유교

통류 상태하의 최대 교통량보다 상대적으로 낮은 교통량 수준을 보이므로 연결로 미터링 기법을 활용하여 고속도로 교통류의 교통와해를 일으키기 전에 교통수요를 조절함으로써 자유 교통류하의 최대 교통량으로 운영될 수 있도록 하는 전략인 것이다.

2. 교통와해(Breakdown) 현상

교통와해 상태가 진행중이거나 발생후의 교통류 행태에 대한 해석은 아직까지 정립된 것이 없으나 이에 대한 중요한 문제는 연속류에서 대기행렬로 인해 정체된 교통류가 출발할 때 통과할 수 있는 교통류율이 관심사인데 이런 경우, 정상적인 교통류 흐름에서의 용량이 나타내는 수치만큼 통과시킬 수 없다.(HCM, 1994)

Edie와 몇몇 연구자들은(1967) 속도, 밀도, 교통량 사이의 관계가 용량근처에서 불연속적이고 대기행렬 상태에서 통과시킬 수 있는 최대 교통류율은 안정 교통류에서의 용량보다 적게 관찰되고 이러한 고속도로 대기행렬 출발교통류율의 다양한 관측에서 1,500~2,000승용차/시/차로 정도의 범위에 해당된다고 기술하고 있다.

이러한 용량감소에 미치는 주요한 원인으로는 운전특성이고 다른 요인에 의한 감소가 없는 경우에 있어서 용량과 비교하여 25% 범위까지 심각한 용량감소가 발생한다.

유고나 영구적인 병목으로 인한 대기행렬의 형성은 차로용량의 감소를 야기하고 대기행렬의 정도와 풀림은 용량감소에 중요한 요소이다.

따라서 고속도로에 대한 관리와 통제를 실시하게 되는데 이러한 관리와 통제의 목적은 교통와해를 피하거나(적절한 위치에서 진입교통량을 제한) 특정한 서비스 수준을 유지하기위함이다.

용량에 근접한 상태 또는 용량상태에서는 도로를 유·출입하는 차량이나 같은 교통류내 차량의 차로변경등에 의해 심각한 혼잡이 발생하고, 이렇게 발생한 혼잡은 쉽게 해소되지 않는다. 즉 용량상태 또는 용량에 근접한 상태로 운행되는 도로의 경우, 대부분 상류쪽에 대기행렬이 형성되며 불안정한 흐름 또는 교통와해 상태가 필연적으로 발생한다. 따라서 도로는 용량이하의 교통량으로 운행되도록 설계해야 한다.

J. Ringert와 T. Urbanik Ⅱ(1993)는 차로별 교통류 분석에서 차로간 상호작용(Lane Interaction)으로 자유교통류 상태에서 최대 교통류율의 도달없이 대기행렬 풀림 상태로 미리 전이된다고 해석하고 있는데 이는 차로별 용량이 존재하더라도 모든 차로에서 자유교통류율 상태의 최대 교통류율이 관측되는 것이 아니라는 것이다.

A. Elefteriadou(1994)는 고속도로-연결로 접속부에서의 용량과 교통와해에 관하여 조사자료를 바탕으로 다음과 같은 결론을 제시하였다.

- 고속도로-연결로 접속부에서의 교통와해 발생은 결정론적이 아니고 확률론적인 변수이다. 즉, 조사자료에 의하면 같은 교통량과 심지어 같은 장소에서도 교통와해는 항상 발생하지않는다는 것이다.
- 용량은 반드시 교통와해 이전에 발생되지않는다는 것이다. 즉, 용량이 교통와해의 전제조건이 아니고 교통와해 발생의 유일한 요인이 아니라는 것이 자료를 통하여 조사됐다.
- 교통와해의 원인은 연결로교통량에 의한 결과라기보다는 연결로 차량의 군집수(Cluster) 때문이다. 비록 군집수가 연결로교통량의 함수일지라도 고속도로-연결로 접속부의 운영에 영향을 미치는 것은 군집수이다.

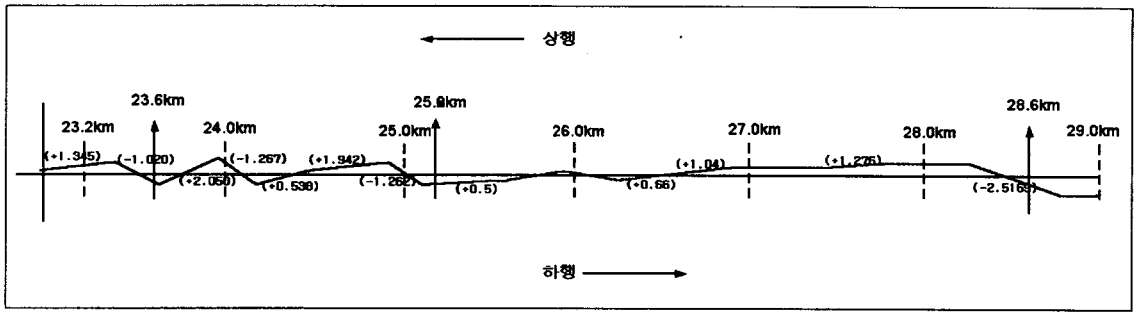
3. 합류부 용량

1994년판 미국 HCM(Highway Capacity Manual)에서 합류구간의 용량은 두 지점에서의 용량을 언급하고 있는데 첫 번째는 연결로 차량에 의한 영향권내에 포함된 합류하기 직전의 본선 두 개의 바깥차로 교통량(V_{12})과 연결로교통량(V_r)의 합으로 정의하여 4차로 고속도로의 경우 4,400승용차/시, 6차로이상 고속도로 4,600승용차/시로 제시되어 있고, 두 번째는 연결로차량이 본선에 합류한 직후 합류차로를 통과시킬 수 있는 교통량으로서 4차로 고속도로는 2,200승용차/시/차로, 6차로 이상의 고속도로 2,300승용차/시/차로로 제시되어 기본구간에서 정의하고 있는 용량과 동일하게 평가되고 있다.

Ⅲ. 자료수집 및 방법

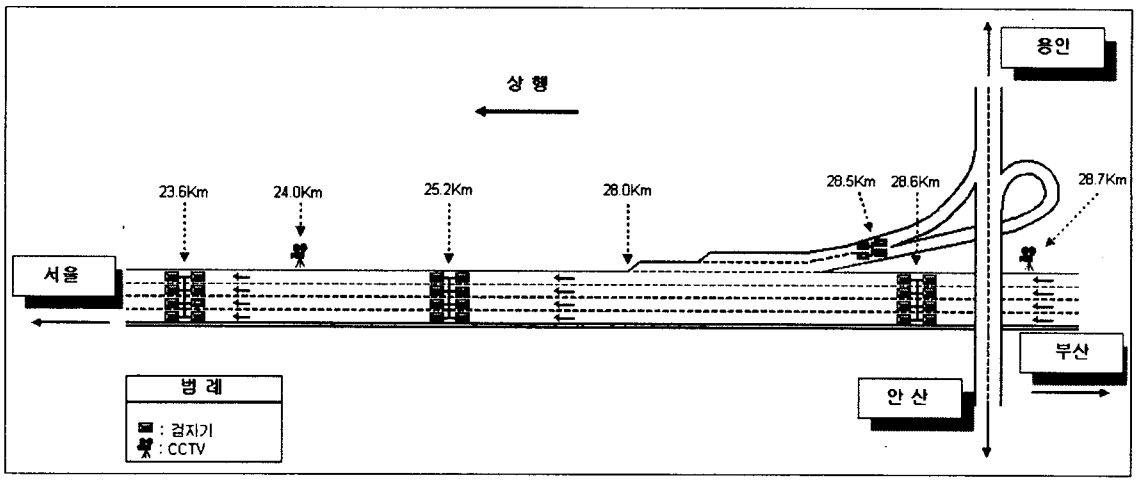
1. 조사구간 선정 및 현황

조사대상 구간의 합류부로 고속도로 경부선 상행선에 위치한 신갈 J.C의 합류구간을 선정하였다. 선정된 합류구간의 하류방향(downstream)에 병목구간이 없고 상류방향(upstream)에 먼저 분류부가 설치되어 있는 전형적인 형태로서 대상 구간에 있어 본선 자체의 용량 초과 가능성이 적은 구간이다. 대상 합류구간 내 약간의 오르막 구간(2%)이 있기는 하지만 전체적으로 평탄한 지형이고 도로 선형도 직선이다. 이 지점에는 본선과 연결로에 각각 차량검지기(VDS)가 위치하여 자료의 취득이 용이하며 자료 검토 결과 매일 오후 4시를 전후로 비교적 주기적인 교통와해가 발생되고 있다. 〈그림 1〉은 신갈 J.C를 전후한 조사구간의 구배 조건을 개략적으로 표시한 것이다.



〈그림 1〉 조사구간 전후의 종단선형도

분석 대상 합류부로 선정된 신갈 J.C는 본선 4차로와 연결로 2차로로 구성된, 비교적 규모가 큰 고속도로 유출입시설이다. 검지기는 본선의 합류완료지점에 설치되어 있는 것이 이상적이지만 분석 대상지점으로 선정한 신갈 J.C의 본선에는 검지기가 합류완료지점으로부터 상류 방향으로 약 600m정도 떨어진 28.6km 지점에 설치되어 있는 관계로 두 교통류의 정확한 상충 시점 자료를 추정하기 위하여 경부선 상행 25.2km 지점에서 얻어진 본선 구간 자료를 보충적으로 사용하였다. 연결로의 경우 28.5km 지점에 검지기가 설치되어 있다. 〈그림 2〉는 신갈 J.C 전후 조사구간의 검지기 위치 및 이정을 간략히 표시한 것이다.



〈그림 2〉 조사구간의 차량검지기(VDS) 위치도

2. 자료수집 내용

교통자료는 루프 형식인 차량검지기(VDS)에서 수집하였고 위치는 본선자료가 28.6Km, 연결로 자료가 28.5Km이고 수집기간은 약 70일 정도이다. 루프검지기에서 생성되는 교통자료 항목은 30초당 차로별 교통량, 평균속도, %점유율, 평균 차량길이이고 본 연구에서는 교통량과 평균속도만을 이용하여 분석하였다. 본 연구에서 사용된 분석시간 단위는 30초와 15분 단위이고 30초 단위는 루프검지기에서 생성되는 30초 단위를 가공없이 직접 사용하였고 15분 단위는 30초 단위의 교통자료를 15분 단위로 합산한 후 1시간 교통류율로 환산하여 사용하였다.

3. 자료 분석방법

본 연구에서는 두 가지 방법을 가지고 분석을 수행하였는데 첫 번째는 15분 단위로 환산된 교통류율의 본선과 연결로 교통자료를 가지고 같은 합류교통량에 대한 교통와해 발생전후의 상호 비중을 비교하면서 차이를 분석하였다. 이때 교통류 상태는 교통와해 발생 전인 안정류 상태와 발생 후인 불안정류 상태로 구분하였다. 두 번째는 같은 합류 및 연결로교통량을 대상으로 30초 단위의 연결로교통량 패턴을 비교·분석하였고 이때도 안정류와 불안정류를 기준으로 하였다.

또한 본선차로 중에서 교통량 수준이 다른 차로보다 낮게 통행하는 패턴을 보이는 4차로는 여유용량 관계로 연결로 차량에 의해 직접적으로 교통와해가 발생되지 않으므로 본선 전체차로를 기준으로 연결로 교통량과 비교·분석하였다.

분석방법으로는 전체차로 교통량과 연결로교통량(1차로+2차로) 자료를 대상으로 교통와해가 발생되기전인 안정교통류 상태에 있는 자료와 불안정류가 시작되는 시점의 자료를 사용하였다. 합류부에서 교통와해가 발생되는 지점은 가속차로길이가 끝나는 지점과 일치되는 본선구간의 하류부라고 생각할 때 이 지점을 〈그림 2〉에서 표시하면 28.0km 지점에 해당된다. 따라서 교통자료를 수집한 조사지점(28.6km)은 합류부의 교통와해가 발생되는 정확한 지점(28.0km)이 아니고 이로인한 교통와해가 발생되는 정확한 시점을 찾아내는 것은 중요하다.

본 연구에서는 차량검지기(VDS) 설치위치(28.6km)가 합류부의 정확한 교통와해 발생지점이 아니고 일정거리 정도 떨어진 상류부에 위치해 있는 관계로 정확한 교통와해 발생시점을 찾기 위해서 교통량누적감산법(Background Flow Count Reduction Method)을 선정하여 사용하였고 이 방법에 의한 분석결과는 〈표 1〉에 제시하였다.(김상구외, 1997)

조사지점의 하류부(25.2km)에 설치된 루프검지기를 이용하여 하류부에 병목현상이 발생되는 지에 대하여 조사하였다. 조사지점(28.6km)과 하류부 지점(25.2km)의 교통자료를 시간대별로 동시에 비교한 결과, 하류부(25.2km)로 인한 조사지점(합류부, 28.6km)의 교통와해는 발생하지 않았기 때문에 하류부에 병목현상이 없는 것으로 확인하였다.

교통류상태(안정류, 불안정류)를 구분하는 본선 속도자료들은 25.2km 지점에서 교통와해가 발생되는 시점의 자료를 기준으로 결정하였다. 교통와해 발생여부는 본선 28.6km 지점의 연속적인 교통자료 중에서 전후 속도차이가 갑작스럽게 15km/시 내외로 차이가 발생되는 시점을 교통와해 시점으로 결정하였다.(〈표 2〉 참조)

이 시점을 교통량누적감산법에 의해 산출된 충격파의 정체전파시간을 감안하여 교통와해가 발생된 시

〈표 1〉 교통량누적감산법에 의한 교통와해 발생 시점 결과

조사일자	28.6km정체	정체전파시간	28.0km정체	조사일자	28.6km정체	정체전파시간	28.0km정체
8월07일	17:30:00	50분	16:40:00	9월10일	17:05:00	30분	16:35:00
8월08일	17:25:00	35분	16:50:00	9월11일	17:10:00	30분	16:40:00
8월12일	17:40:00	45분	16:55:00	9월12일	16:40:00	45분	15:55:00
8월19일	18:15:00	100분	16:35:00	9월13일	16:10:00	20분	15:50:00
8월21일	17:10:00	45분	16:25:00	9월18일	17:35:00	65분	16:30:00
8월23일	17:15:00	45분	16:30:00	9월30일	19:10:00	55분	18:15:00
9월 9일	17:35:00	30분	17:05:00	10월02일	17:10:00	15분	16:55:00

점의 교통량 자료를 구하면 〈표 3〉과 같고 여기서 사용된 자료들은 같은 합류교통량 수준에서 안정상태에 있는 15분 교통류율 자료를 가지고 안정시 연결로비중을 산출하였고 불안정상태가 시작되는 시점의 15분 교통류율 자료를 가지고 불안정시 연결로비중을 계산하였다.

〈표 2〉 교통와해 발생 전후의 교통자료 (28.6Km 지점) (단위 : 대/시, km/시)

조사일자	시 간	1 차 로		2 차 로		3 차 로		4 차 로		전 체	
		교통량	속도	교통량	속도	교통량	속도	교통량	속도	교통량	속도
96/08/07	17:25:00	1764	87.7	1632	89.2	1344	86.7	684	87	5424	87.8
96/08/07	17:30:00	1872	65.2	1500	77.3	1188	77.9	708	82.7	5268	73.9
96/08/07	17:35:00	1476	26.4	1524	43.5	1380	65.7	1164	70.7	5544	50.2
96/08/08	17:20:00	1572	80.9	1476	81.1	1284	82.3	792	88.3	5124	82.5
96/08/08	17:25:00	1572	66.2	1428	74.1	1284	78.8	720	78.7	5004	73.5
96/08/08	17:30:00	1632	69.8	1524	73.9	1320	81.2	1044	82.1	5520	76.0
96/08/12	17:35:00	1704	72.3	1632	75.5	1308	77.3	936	80.7	5580	75.8
96/08/12	17:40:00	1545	35	1560	48	1332	67.5	1152	78.5	5589	55.3
96/08/12	17:45:00	1356	19.5	1368	22.6	1308	38.1	1236	58.5	5268	34.1
96/08/19	18:10:00	1908	81	1656	80.6	1368	81.1	948	85.3	5880	81.6
96/08/19	18:15:00	1860	46.4	1596	61.1	1452	72.8	900	81.4	5808	62.5
96/08/19	18:20:00	1572	27.6	1560	46.6	1540	62.9	1224	74.2	5896	51.5
96/08/21	17:05:00	1836	83.4	1656	83.1	1488	80.1	792	83.8	5772	82.5
96/08/21	17:10:00	1813	51.5	1632	62.3	1368	75.4	876	82.6	5689	65.1
96/08/21	17:15:00	1787	39.5	1452	48.4	1476	62.9	996	77.1	5711	54.4
96/08/23	17:10:00	1740	86.9	1692	84.9	1356	84.7	732	88.6	5520	86.0
96/08/23	17:15:00	1827	45.4	1608	63.8	1428	72.5	948	76.3	5811	62.2
96/08/23	17:20:00	1440	19.2	1404	24.4	1452	54.1	1416	66.2	5712	41.0
96/09/09	17:30:00	1728	72.4	1656	68.4	1524	82.2	1056	85.4	5964	76.1
96/09/09	17:35:00	1728	40.8	1872	50.5	1548	66.8	1152	76.2	6300	56.5
96/09/09	17:40:00	1500	24.8	1427	26.9	1476	44.1	1308	65.1	5711	39.5
96/09/10	17:00:00	1932	79	1608	83.2	1560	83.5	828	81.9	5928	81.7
96/09/10	17:05:00	1640	43.6	1573	58.3	1453	70.6	933	74	5599	59.8
96/09/10	17:10:00	1488	24.9	1333	25.9	1452	37.9	1236	60	5509	36.4
96/09/11	17:05:00	1944	78.7	1680	74.7	1428	80.4	876	85.1	5928	78.9
96/09/11	17:10:00	1440	34.8	1453	40.6	1573	58.4	987	71.7	5453	49.8
96/09/11	17:15:00	1512	23.3	1368	29.6	1356	44.3	1416	61.1	5652	39.3
96/09/12	16:35:00	908	6.3	692	8.2	1380	76.4	708	81.3	5688	77.5
96/09/12	16:40:00	1560	33.2	1627	50.3	1284	63.5	907	74.2	5378	52.5
96/09/12	16:45:00	1728	41.7	1572	56.8	1416	66.9	792	75.7	5508	57.4
96/09/13	16:05:00	1956	78.4	1584	77.5	1410	81.6	636	80.8	5586	79.2
96/09/13	16:10:00	1572	50.3	1548	57.8	1413	73.5	864	80.3	5397	63.3
96/09/13	16:15:00	1596	31.9	1512	53.4	1536	72.7	816	82	5460	56.8
96/09/18	17:30:00	2052	90.1	1680	89.1	1368	84.3	756	88.3	5856	88.2
96/09/18	17:35:00	1770	51.6	1620	67.3	1455	74.9	1050	84.3	5895	67.5
96/09/18	17:40:00	1520	32.5	1520	34.4	1320	46	1307	60.9	5667	42.7
96/09/30	19:05:00	1572	75.1	1356	77	1248	75.8	828	81.1	5004	76.8
96/09/30	19:10:00	1584	69.1	1404	69.2	1224	70.6	624	80.2	4836	70.9
96/09/30	19:15:00	1428	26.3	1404	43.2	1272	61.6	1068	70.4	5172	48.7
96/10/02	17:05:00	1608	66.7	1428	68	1320	70.7	792	72.8	5148	69.0
96/10/02	17:10:00	1500	31	1416	43.8	1368	57.7	1140	63	5424	47.8
96/10/02	17:15:00	1140	18.7	1212	20.1	1260	34.3	1224	45.5	4836	29.9

〈표 3〉 보정된 교통와해 전후 교통류자료 (28.6km 지점) (단위 : 대/시)

조사일자	시 간	본선교통량	연결로교통량	합류교통량	연결로비중	교통류상태
08월05일	15:35:00	5012	1732	6744	25.68%	안 정
08월05일	17:05:00	5348	1720	7068	24.34%	안 정
08월07일	15:50:00	5112	1632	6744	24.20%	안 정
08월07일	16:05:00	5424	1528	6952	21.98%	안 정
08월07일	16:20:00	5404	1812	7216	25.11%	안 정
08월07일	16:35:00	5372	1648	7020	23.48%	안 정

08월08일	16:15:00	4976	1744	6720	25.95%	안 정
08월08일	16:45:00	5264	1824	7088	25.73%	안 정
08월08일	17:00:00	5540	1732	7272	23.82%	불안정
08월12일	16:35:00	5492	1684	7176	23.47%	안 정
08월12일	16:50:00	5568	1672	7240	23.09%	안 정
08월12일	17:05:00	5152	1904	7056	26.98%	불안정
08월19일	16:15:00	5160	1528	6688	22.85%	안 정
08월19일	16:30:00	5428	1724	7152	24.11%	안 정
08월20일	16:35:00	5260	1692	6952	24.34%	안 정
08월20일	16:50:00	5296	1720	7016	24.52%	안 정
08월20일	17:05:00	5604	1796	7400	24.27%	안 정
08월20일	17:35:00	5824	1968	7792	25.26%	안 정
08월20일	17:50:00	5848	1988	7836	25.37%	불안정
08월21일	16:25:00	5256	1828	7084	25.80%	안 정
08월21일	16:40:00	5104	1944	7048	27.58%	불안정
08월23일	15:40:00	5428	1688	7116	23.72%	안 정
08월23일	15:55:00	5520	1540	7060	21.81%	안 정
08월23일	16:10:00	5576	1648	7224	22.81%	안 정
08월23일	16:25:00	5536	1648	7184	22.94%	안 정
08월23일	16:40:00	5512	1884	7396	25.47%	불안정
09월09일	16:00:00	5492	1716	7208	23.81%	안 정
09월10일	16:30:00	5380	1356	6736	20.13%	안 정
09월11일	15:50:00	5464	1816	7280	24.95%	안 정
09월11일	16:05:00	5336	1792	7128	25.14%	안 정
09월11일	16:20:00	5204	1776	6980	25.44%	안 정
09월11일	16:35:00	5648	1776	7424	23.92%	안 정
09월13일	15:00:00	5140	1608	6748	23.83%	안 정
09월13일	15:30:00	5128	1568	6696	23.42%	안 정
09월13일	15:30:00	5128	1568	6696	23.42%	안 정
09월13일	15:45:00	5332	2004	7336	27.32%	불안정
09월18일	16:10:00	5276	1720	6996	24.59%	안 정
09월18일	16:10:00	5276	1720	6996	24.59%	안 정
09월18일	16:25:00	5400	1916	7316	26.19%	불안정
09월30일	16:10:00	5140	1536	6676	23.01%	안 정
09월30일	16:40:00	5372	1716	7088	24.21%	안 정
09월30일	18:10:00	5220	1500	6720	22.32%	안 정
09월30일	18:25:00	5436	1800	7236	24.88%	불안정
10월02일	17:05:00	5084	1648	6732	24.48%	불안정

주 : 1. 교통량은 15분교통량을 1시간으로 환산한 교통류율임.

2. 본선교통량은 4차로 전체를 합한 교통량이고 연결로교통량은 2차로를 합친 교통량임.

Ⅳ. 분석과정 및 결과

1. 연결로교통량의 비중 영향

앞에서 언급한 바와 같이 합류부의 교통류는 본선교통량과 연결로교통량이 서로 합류하여 결정되는 특성을 가지므로 기본구간과는 다르게 연결로교통량의 영향이 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 절에서는 본선교통량과 연결로교통량과의 상호관계에 대한 분석과 연결로교통량이 전체 합류교통량에 미치는 영향을 양적 측면에서 분석하여 교통와해 발생원인과 용량감소에 관하여 살펴보고자 한다.

이를 위한 분석과정으로서는 우선 자료수집된 결과를 중심으로 합류교통량에 대한 연결로교통량의 비중을 계산하는 과정이 필요하여 〈표 3〉의 교통자료를 가지고 합류교통량 수준을 100대 단위로 정리한 후 안정상태와 불안정상태가 둘 다 관측되는 합류교통량 단위만을 가지고 정리하였다.

다음의 〈표 4〉는 〈표 3〉을 이용하여 얻은 결과로 비슷한 합류교통량 수준(100대 단위)일 때 연결로교통량이 전체 합류교통량에서 차지하는 비중을 교통류가 교통와해상태 전(안정시)에서 후(불안정시)로 변화하는 두가지 상태로 구분하여 표시한 것이다.

연결로교통량의 비중을 합류교통량 수준별로 나누어 표시하였고 각각에 대하여 안정시와 불안정시간의 연결로 비중 차이도 나타내었는데 불안정시 연결로

비중이 항상 안정시 연결로 비중보다 크게 나타나는 것으로 분석된다.

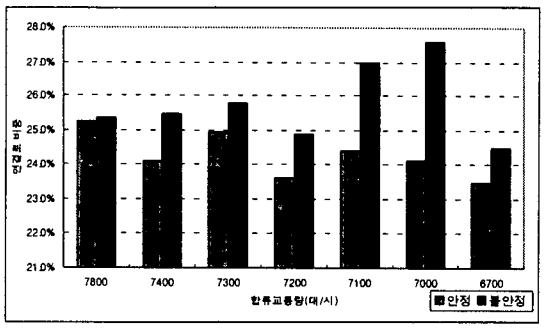
〈표 4〉 교통와해(breakdown) 전후의 연결로교통량 비중 비교

합류교통량 (대/시)	연결로비중		연결로 비중차이 (불안정-안정)
	안정 상태	불안정 상태	
7800	25.26%	25.37%	0.11%
7400	24.10%	25.47%	1.38%
7300	24.95%	25.78%	0.83%
7200	23.62%	24.88%	1.26%
7100	24.40%	26.98%	2.59%
7000	24.13%	27.58%	3.45%
6700	23.48%	24.48%	1.00%

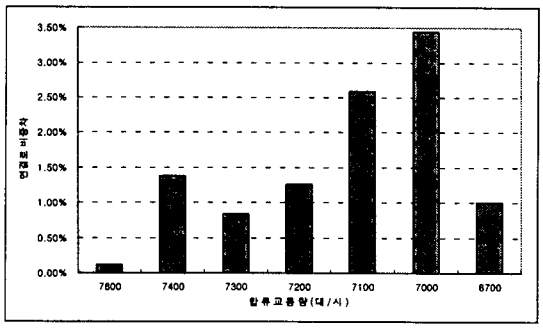
본선 전체차로 교통량과 연결로교통량을 합친 합류교통량을 기준으로 안정시와 불안정시의 연결로교통량 비중과 불안정시에서 안정시의 연결로 비중차이를 그림으로 나타내면 〈그림 3〉과 같다. 대체적으로 합류교통량 6,700대/시를 제외하고는 낮은 합류교통량일수록 상대적인 연결로 비중이 높은 것으로 분석되나 합류교통량 수준에 따른 연결로 비중차이의 상관관계가 함수형태를 나타낼 정도로 분명하지않고 이를 분석하기에는 자료의 수가 적은 관계로 신뢰성이 확보되지 않아 수행하지 못하였다.

또한 합류교통량에 대한 연결로 비중차이가 선형함수로 높은 상관관계를 보이지 않는 이유는 조사지점의 자료가 정확한 교통와해 지점이 아닌 관계로 교통와해 시점의 보정에 대한 오차와 사용한 자료들이 전체차로를 대상으로 분석한 결과이므로 본선차로간의 상호작용 역할 규명 등 다양한 원인 파악을 분석하지 못한 결과로 판단된다.

이러한 불안정상태에서의 연결로교통량의 상대적 비중 강화는 합류부의 교통와해에 대한 설명을 가능케하고 합류부의 와해상태 발생은 본선 및 연결로교통량을 합한 합류교통량의 크기에 의해 절대적으로 발생하는 것이 아니라 지금까지의 결과에서 본 바와 같이 연결로교통량의 상대적 비중강화가 그 확률을 높인다고 할 수 있다.



a. 비중



b. 비중차이

〈그림 3〉 합류교통량에 대한 연결로 교통량비중 및 차이

합류구간내에서 용량감소 결과는 본선교통량과 연결로교통량과의 상호유기적인 관계에서 결정되고 본선교통량과 연결로교통량과의 조합에 따른 최대 합류교통량의 규모 변화가 발생된다고 할 수 있다. 만약에 합류부 용량을 본선교통량이 2,200대이고 연결로교통량이 0대의 교통량을 합친 2,200승용차/시/차로라 할 때, 연결로교통량이 100대로 증가하였다면 본선교통량은 2,200대에서 100대가 감소된 2,100대를 교통와해 발생없이 통과시키지는 못할 것으로 예상된다. 즉 본선교통량과 연결로교통량간의 환산계수(Equivalent Factor)가 1.0대보다 크기 때문에 최소한 100대이상 감소하게 되고 이러한 결과가 합류부용량인 2,200대가 되지 못하고 용량감소의 결과로 이어진다고 생각된다. 최대 합류교통량의 수준은 용량근처의 본선교통량 수준에서 연결로교통량의 증가량에 대한 본선교통량의 감소량이 더욱 크게 발생되어 합류용량 감소가 발생된다고 할 수 있다. 이러한 경향은 본선에 합류하려고 하는 연결로교통량의 수준이 높아지면서 본선에 미치는 영향은 더욱 크게 나타나므로 본선의 최대 통과교통량 수준에 도달되기전 교통와해상태로 전환되어 용량감소가 발생된다고 할 수 있다.

교통와해를 발생시키는 합류교통량 수준은 조건에

따라 다양하게 나타날 수 있으며 낮은 합류교통량 수준에서도 교통와해상태를 나타내는 것은 상대적으로 높은 연결로 교통량의 비중때문인 것으로 분석된다.

2. 연결로 차량군 유입 영향

합류부의 교통와해 발생원인의 규명을 위하여 앞에서는 거시적 접근방법으로 합류교통량 수준별 연결로 교통량의 상대적 비중에 따른 교통와해 발생 유무를 분석하였고 본 절에서는 미시적 방법으로 같은 본선 교통량과 연결로교통량에 대한 30초 단위의 차량군 규모 크기 정도에 따른 본선 교통류의 영향을 파악해 보고자 한다.

분석과정으로는 연결로교통량이 유입되는 형태에 관한 분석을 수행하였는데 이는 연결로교통량 유입시, 차량군(Platoon)의 발생이 합류부 교통와해에 큰 영향을 미칠 것이라는 가정하에 같은 교통량 수준을 보이는 자료들을 대상으로 안정시와 불안정시간의 차량군 발생 및 유입 양상의 차이를 비교 분석하였다. 사용한 차량군 발생 영향에 대한 변수로서는 연결로 차량군의 크기(30초에 연결로교통량 18대 및 20대 이상), 차량군의 발생횟수, 연속적으로 차량군(18대/30초)이 발생한 시간의 크기(지속시간), 그리고 30초당 통과한 연결로교통량 평균에 대한 표준편차등을 사용하였다.

그러나 본 연구에서 사용하고 있는 차량검지기(VDS) 자료는 개별차량에 대한 자료가 아니라 30초를 최소 수집단위로 하여 교통량과 그 기간 동안의 평균속도를 제공하는 자료들이기 때문에 원칙적으로 차량군을 규정할 수 있는 차두간격 분포에 관한 자료를 얻을 수 없다.

따라서 본 연구에서는 차두간격을 직접 산정하기보다는 30초단위 교통량을 최소 단위로 하여 이 단위시간 동안 지나간 교통량의 역수를 평균 시간차두간격으로 사용하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 이상적인 고속도로의 한 차로 용량 수치인 2,200승용차/시/차로를 분석 단위시간인 30초로 환산한 18대/30초 이상의 경우(차두간격 1.67초)를 합류부의 교통상태에 영향을 줄 수 있는 차량군으로 규정하여 다음의 분석을 수행하였다.

수집된 자료 중에서 두가지 경우에 대해서 연결로 교통량의 진입패턴을 분석하였는데 교통량 수준은 본선교통량이 5,330대/시와 연결로교통량 2,000대/시인 Case 1과 본선교통량 5,400대/시와 연결로교통량 1,800대/시인 Case 2를 대상으로 30초 연결로교통량을 분석하였다.

〈표 5〉는 본선과 연결로교통량이 각각 5,330대/시와 2,000대/시인 경우와 〈표 6〉은 본선교통량 5,400대/시와 연결로교통량 1,800대/시인 경우의 안정상태와 불안정상태에 대해 15분동안의 30초단위 교통량을 표시한 것이다. 또한 〈표 5〉와 〈표 6〉을 가지고 연결로 차량들의 진입패턴을 분석하고자 차량군 발생 빈도수(18대와 20대 이상), 지속시간, 그리고 표준편차와 같은 효과척도에 대하여 〈표 7〉에 정리하였다.

〈표 5〉 15분간 연결로교통량 자료 (Case 1)

a. 안정상태(8월20일)

안정교통류 상태 30초자료 : 08월 20일 16:10:00~16:24:30			
본선교통량 : 5328대/시, 연결로교통량 : 1992대/시			
시각	연결로교통량	시각	연결로교통량
16:10:00	22	16:17:30	19
16:10:30	19	16:18:00	13
16:11:00	24	16:18:30	15
16:11:30	13	16:19:00	21
16:12:00	17	16:19:30	18
16:12:30	17	16:20:00	18
16:13:00	18	16:20:30	13
16:13:30	16	16:21:00	11
16:14:00	11	16:21:30	16
16:14:30	20	16:22:00	17
16:15:00	14	16:22:30	22
16:15:30	17	16:23:00	19
16:16:00	12	16:23:30	19
16:16:30	16	16:24:00	12
16:17:00	13	16:24:30	16

b. 불안정상태(9월13일)

교통와해 발생시 30초자료 : 09월 13일 15:35:00~15:49:30			
본선교통량 : 5332대/시, 연결로교통량 : 2004대/시			
시각	연결로교통량	시각	연결로교통량
15:35:00	18	15:42:30	20
15:35:30	19	15:43:00	21
15:36:00	20	15:43:30	21
15:36:30	14	15:44:00	20
15:37:00	15	15:44:30	18
15:37:30	17	15:45:00	16
15:38:00	18	15:45:30	13
15:38:30	18	15:46:00	10
15:39:00	16	15:46:30	12
15:39:30	20	15:47:00	15
15:40:00	22	15:47:30	14
15:40:30	14	15:48:00	12
15:41:00	22	15:48:30	20
15:41:30	20	15:49:00	10
15:42:00	16	15:49:30	10

〈표 6〉 15분간 연결로교통량 자료 (Case 2)

a. 안정상태(8월07일)

안정교통류 상태 30초자료 : 08월 07일 16:10:00~16:24:30			
본선교통량 : 5404대/시, 연결로교통량 : 1812대/시			
시각	연결로교통량	시각	연결로교통량
16:10:00	17	16:17:30	16
16:10:30	19	16:18:00	12
16:11:00	16	16:18:30	13
16:11:30	13	16:19:00	16
16:12:00	16	16:19:30	17
16:12:30	18	16:20:00	17
16:13:00	17	16:20:30	13
16:13:30	17	16:21:00	11
16:14:00	14	16:21:30	8
16:14:30	15	16:22:00	10
16:15:00	17	16:22:30	12
16:15:30	17	16:23:00	19
16:16:00	16	16:23:30	12
16:16:30	17	16:24:00	14
16:17:00	17	16:24:30	17

b. 불안정상태(9월30일)

교통와해 발생시 30초자료 : 09월 30일 18:15:00~18:29:30			
본선교통량 : 5436대/시, 연결로교통량 : 1800대/시			
시각	연결로교통량	시각	연결로교통량
15:35:00	20	15:42:30	11
15:35:30	20	15:43:00	19
15:36:00	9	15:43:30	19
15:36:30	9	15:44:00	15
15:37:00	16	15:44:30	13
15:37:30	12	15:45:00	20
15:38:00	18	15:45:30	14
15:38:30	11	15:46:00	15
15:39:00	13	15:46:30	15
15:39:30	18	15:47:00	16
15:40:00	9	15:47:30	13
15:40:30	13	15:48:00	11
15:41:00	16	15:48:30	14
15:41:30	15	15:49:00	24
15:42:00	14	15:49:30	18

〈표 7〉 연결로교통량 진입패턴 비교

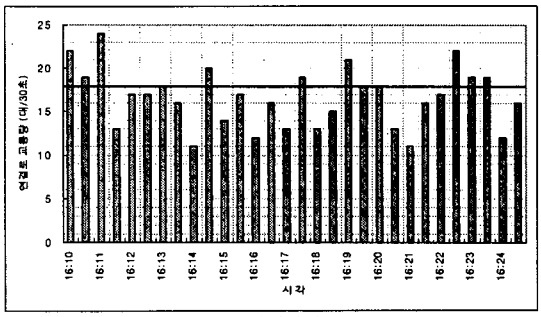
구 분	Case 1		Case 2	
	안정상태	불안정상태	안정상태	불안정상태
빈도수(18대이상)	12	15	3	9
빈도수(20대이상)	5	10	0	4
지속시간(초)	90	150	30	60
표준편차(대)	3.43	3.68	2.73	3.72

주 : Case 1은 본선교통량 5,330대/시, 연결로교통량 2,000대/시
Case 2는 본선교통량 5,400대/시, 연결로교통량 1,800대/시

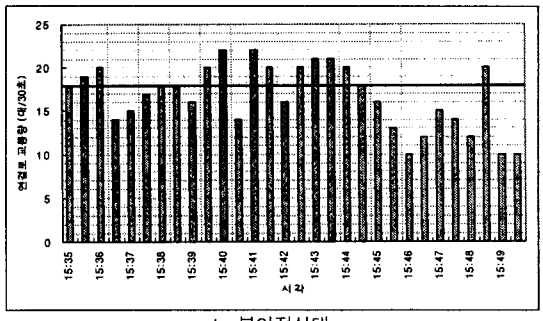
Case 1을 살펴보면, 교통와해가 발생한 불안정상태의 경우 30초 동안 18대 이상의 차량군이 유입된 횟수는 15회로서 안정교통류 상태의 12회보다 많았다. 또한 20대/30초(평균차두간격 1.5초, 1시간환산 2,400대/시) 이상의 매우 큰 규모의 차량군이 유입된 횟수는 교통와해가 발생했던 9월 13일의 경우 10회로서 안정된 상태를 유지한 8월 20일의 5회에 비하여 상대적으로 많았다. 그리고 불안정 상태의 경우 18대 이상의 차량군이 15:42:00부터 15:44:30까지 150초로서 집중적으로 발생하고 있고 교통량의 표준편차도 3.7대로서 안정상태의 3.4대보다 높았다.

또 다른 경우의 Case 2는 앞에서 조사된 바와 같은 연결로 차량군 발생 양상의 차이를 보다 뚜렷하게 나타내 주고 있다. 분석시간인 30초를 기준으로 연결로 교통량 20대 이상의 빈도수를 살펴보면 불안정상태가 4회, 안정상태가 0회로서 극명하게 차이가 발생되고 표준편차도 각각 3.72, 2.73대로서 불안정 교통류상태에서의 연결로교통량 표준편차가 더 큰 것으로 나타났다.

〈그림 4〉와 〈그림 5〉는 시각적으로 표현하기위하여 〈표 5〉와 〈표 6〉을 가지고 시계열 막대그래프로 표시하였고 그림안의 수평으로 그려진 굵은 실선은 30초당 18대의 연결로교통량을 의미하고 그림에서 나타난 바와 같이 불안정상태의 교통자료(막대그래프)들이 굵은 실선위로 많이 초과하는 것을 알 수 있다.

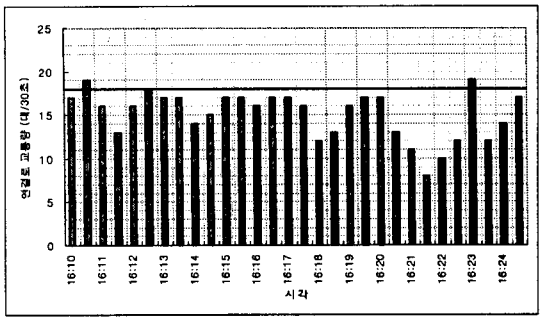


a. 안정상태

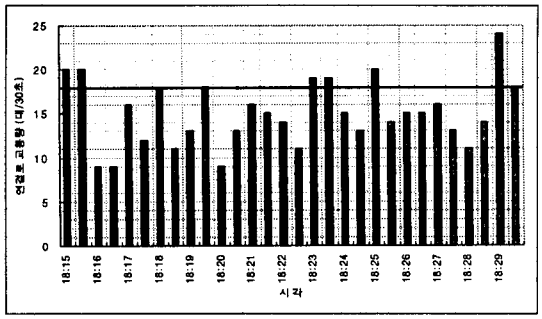


b. 불안정상태

〈그림 4〉 15분간 연결로교통량 자료 (Case 1)



a. 안정상태



b. 불안정상태

〈그림 5〉 15분간 연결로교통량 자료 (Case 2)

짧은 시간간격 동안 연결로 차량 도착패턴이 용량감소에 미치는 영향을 살펴보면 도착패턴 변화율이 높을수록 본선의 교통와해 발생확률이 높은 것으로 관측되어 짧은 시간동안 많은 연결로 차량이 합류하려고 시도할수록 본선의 교통류에 많은 영향을 나타낸다고 할 수 있다.

분석된 결과를 정리해 보면, 고속도로 합류부의 교통와해 발생은 차량군의 유입이 중요한 요인임을 알 수 있고 교통운영적 측면에서 차량군의 크기, 발생횟수, 연속적으로 차량군이 발생한 기간의 크기, 그리고 연결로교통량의 표준편차등의 변수들 살릴것이 중요한 것으로 분석되었다.

V. 교통와해 원인 및 평가

두가지 분석결과에서 살펴본 바에 의하면 합류부의 교통와해는 다음과 같이 설명할 수 있다. 첫 번째는 같은 합류교통량에 대한 연결로 교통량의 비중차이이고 두 번째는 연결로 교통량의 차량군 유입패턴 차이에 의해 발생된다고 할 수 있다.

다양한 합류교통량 수준에서 교통와해가 발생되는 것을 볼 때, 같은 합류교통량 수준을 나타내는 경우일지라도 본선과 연결로교통량의 각각 비중에 의해 교통와해 발생여부가 결정된다고 할 수 있고 이중에서도 연결로교통량의 도착패턴이 교통와해상태의 직접적인 원인으로 작용하는 것을 알 수 있다. 이러한 교통와해 발생은 합류부의 용량감소와 직접적으로 관련이 있고 교통운영의 질을 결정하는데 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

본 연구의 결과에 의하면 합류용량과 용량변화는 합류교통량에 대한 상대적 연결로교통량 비중차이와 같은 연결로교통량 비중일 때라도 고속도로 본선에 진입하는 차량들의 패턴에 의해 좌우된다는 것이다.

따라서 고속도로-연결로 접속구간의 운영상태 평가는 향후 본선 및 연결로교통량을 합친 합류교통량에 초점을 맞출게 아니라 연결로교통량의 비중 규모와 진입패턴을 조절하여 합류부의 본선 교통류에 미치는 영향을 최소화시키는 방향으로 나아가야 한다.

또한 본선 및 연결로교통량의 비중에 의하여 최대 합류교통량이 결정되므로 합류부의 용량산정을 새로운 시각으로 접근하여 결정하여야하고 이러한 방법론으로는 연결로교통량과 본선교통량을 상호 결합시켜 각 범주별 용량수준을 결정하는 것이 바람직하다.

본선 및 연결로교통량의 조합에 의해 교통와해상태의 발생 확률은 다르게 나타나게 되며 이러한 결과로 합류교통량의 감소가 발생한다. 이는 상대적으로 연결로교통량의 증가량에 비례하여 본선 교통류가 최대 합류교통량을 수용하지 못하므로 용량은 감소하게 되는 것으로 생각된다. 따라서 이러한 용량감소 영향을 본선 교통량과 연결로교통량 조합에 의해 적절하게 용량을 산출하는 방법론 및 모형식의 개발이 필요할 것으로 판단된다. 또한 같은 교통류 상태, 즉 같은 본선 및 연결로교통량이라 할지라도 짧은 시간간격에 높은 차량군 유입, 편차, 횟수에 따른 진입형태에 따라 교통와해 상태의 발생확률을 증가시키므로 램프미터링과 같은 교통제어 기법들이 많이 활용되어야 한다.

고속도로 합류부 운영효율을 증대시키는 방안은 본 연구결과에서 분석된 바와 같이 연결로 유입교통량의 규모와 차량군(platoon 또는 cluster) 패턴을 고려한 제어기법의 활용이고 이로인한 교통와해 발생감소 및 합류부 용량증대가 달성될 수 있다.

VI. 결론

본 연구는 합류구간에 설치된 차량검지기에서 수집된 조사자료들을 이용하여 교통와해 발생원인과 용량감소 문제를 조사·분석하였다. 이를 위해서 본 연구에서는 두 가지 측면에서의 방법을 수행하였으며 첫 번째 방법으로는 같은 합류교통량에 대한 연결로교통량의 상대적 비중차이를 분석하는 방법이고 두 번째 방법은 본선에 진입하는 연결로교통량의 진입패턴을 분석하는 것이었다.

이러한 두 가지 방법에서 도출된 결과를 중심으로 정리하면 다음과 같다.

- 합류부의 교통와해는 같은 합류교통량에 대한 연결로교통량의 비중 차이에 의해 발생된다. 즉, 연결로교통량 비중이 높아질수록 교통와해 발생확률은 증가할 것이다.
- 또한 교통와해 발생은 고속도로 본선에 진입하는 연결로교통량의 진입패턴에 의해 결정되는데 이는 연결로교통량의 차량군 발생회수, 표준편차, 그리고 지속시간등의 변수들이 높아지거나 길어질수록 교통와해가 발생할 확률이 높아진다고 할 수 있다.

이러한 기본구간보다 낮은 교통량 수준에서 교통와해가 발생되는 것은 합류부의 용량감소와 관련이 있다.

- 본선 교통류에 대한 연결로교통량의 영향을 감소시키기 위한 방법으로는 램프미터링과 같은 교통제어 기법이고 본 연구의 결과는 램프미터링의 효과를 증명하는 결과이다.
- 연결로교통량의 차량군 형성을 방지하는 램프미터링을 통하여 합류부의 교통운영을 개선할 수 있다. 이는 램프미터링이 연결로교통량의 양적 규모를 감소시키기는 효과도 있지만 더 큰 효과는 본선으로 진입하는 연결로 차량들의 차량군 형성을 깨뜨리기 때문에 더욱 효과가 발생되는 것이다.

본 연구는 이상과 같은 결과를 도출하면서 자료의 한계(1개의 기하구조, 유입교통량의 작은 변화폭(20%~27%)) 및 가정을 전제로 한 결과로서 이에 대한 부가적인 내용은 다음과 같다.

- 본 연구에서 교통와해 현상의 관찰은 Loop 검지기를 이용하여 조사하였고 교통량과 속도변수를 가지고 교통와해를 결정하였다. 연속적인 시계열 자료 중에서 속도변화량이 15Km/Hr 정도 차이가 발생했을 때를 교통와해 발생으로 결정하였고 이 중 교통량 수준이 매우 낮은 경우에 교통와해가 발생된 자료들은 비반복적 정체(non-recurrent congestion) 자료로 가정하고 본 분석에서는 모두 제외하였다. 또한 교통와해를 관찰하는데 있어 교통와해 발생시점을 정확히 예측하는 것은 불가능하기 때문에 Loop 검지기를 제외한 다른 방법(CCTV 및 인력에 의한 직접 관측)들을 사용할 수는 없었다.
- 본 연구에서 수집된 자료는 '96년 8월초부터 10월 중순까지 조사된 자료로서 이 기간 중에는 여름휴가철과 추석연휴가 포함되어 있었으나 다양한 교통자료(본선과 연결로교통량 비중의 다양한 조합)를 관측하지 못하였다. 그 이유는 본선과 연결로를 통과하는 교통량의 목적지가 서울로서 같기 때문에 본선교통량이 많아지면 연결로교통량도 많아지기 때문에 연결로교통량의 비중 변화폭은 어느 정도 일정한 비율(범위)을 보이고 단지 본선교통량과 연결로교통량을 합친 전체 교통량 수준만 높아질 뿐 다양한 연결로교통량의 비중 변화폭은 관측할 수 없었다.
- 본 연구의 결과는 1개의 조사지점에 대한 결과이므로 자료의 다양성을 위하여 여러 지점에 대한 자료를 수집하려고 노력하였으나 조사지점의 선정기준이 우선 인터체인지 부근으로서 본선과 연결로 두 곳에 검지기가 동시에 설치된 지점이어야 하는 등 매우 제한된 기준이고 현재의 검지기 설치현황과 비교해 볼 때 이러한 지점선정은 여러

가지로 한계가 있었다.

본 연구는 다음과 같은 향후 연구수행이 필요하다고 생각된다.

- 자료수집의 한계성으로 인해 본 연구는 본선 4차로와 연결로 2차로를 가진 1개 지점만을 대상으로 분석한 결과이므로 결과에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 다양한 교통류 조건과 기하구조 조건을 가진 지점들을 추가하여 분석할 필요가 있다.
- 차량검지기(VDS)에서 수집된 교통자료들의 교통량 단위가 혼합교통량으로서 중차량에 관한 영향을 고려하지 못한 한계가 있다.
- 합류구간 용량감소 원인규명에 대한 좀 더 미시적인 접근 방법(개별차량, 차두간격 등)을 이용하여 분석할 필요가 있고 합류로 인한 차로별 상호작용에 대한 연구가 요구된다.

또한 본 연구가 가지고 있는 의의는 다음과 같다.

- 기존의 연구결과들은 합류부의 용량분석에서 본선 교통량과 연결로교통량을 합친 합류교통량 측면에서 분석결과를 제시하고 있으나 본 연구의 결과에서 알 수 있듯이 합류부의 교통류 특성은 두 가지 교통량(본선, 연결로)을 모두 고려하여 접근해야 한다.
- 고속도로 기본구간의 교통와해(Breakdown)에 대해서는 많은 연구가 되었으나 고속도로-연결로 합류부의 교통류 특성(Breakdown)에 대한 연구는 그 동안 부족하였고 많지 않았다.
- 합류부 교통와해 원인을 평가하는데 있어서 새로운 시각으로 자료를 분석하여 결과를 도출하였다.

참고문헌

1. 건설부(1992), 도로용량편람, pp.197~235.
2. 김상구(1997), "고속도로 합류구간 교통특성 및 용량모형식 개발 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp.110~123.
3. 김상구, 김유진, 전경수(1997), "고속도로 합류부의 합류교통량 평가에 관한 연구", 대한교통학회지 제15권 제1호, pp.105~127.
4. 한국도로공사(1996), 고속도로 유출입 교통행태 분석 및 가감속차로 설계운영 기준 연구, pp.7~46.
5. Banks, J.H.(1990), "Flow Processes at a Freeway Bottleneck" Transportation Research Record 1287, TRB, pp.20~28.
6. Elefteriadou, A.(1994), "A Probabilistic Model of Breakdown at Freeway - Merge Junctions," Ph.D. Dissertation, Polytechnic University.
7. Hall, F.L., and Agyemang-Duah, K.(1991), "Freeway Capacity Drop and the Definition of Capacity," Transportation Research Record 1320, TRB, pp.91~98.
8. TRB(1994), Highway Capacity Manual Special Report 209. Third Edition.
9. Navin, F., and Hall, F.(1989), "Understanding Traffic Flow at and Near Capacity," ITE Journal, ITE, pp.31~35.
10. Ringert, J., and Urbanik Ⅱ, T.(1993), "Study of Freeway Bottlenecks in Texas," Transportation Reasearch Record 1398, TRB, pp.31~41.
11. FHWA(1996), Traffic Control Systems Handbook.