

신호교차로에서 혼잡도 증가에 따른 교통류 특성 분석

An Analysis on the Characteristic of Traffic Flow, Depending on increasing of V/C in the Signalized Intersection

박 현 준

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

Key Words : 신호교차로, v/c, 교통류

목 차

I. 서론	III. 교통류 특성 분석
1. 연구배경 및 목적	1. 교통류 조사 자료
2. 연구범위 및 방법	2. 교통류 특성 분석
II. 기존 문헌 고찰	3. 종합 분석
	IV. 결론 및 향후연구과제

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

교통량은 모든 교통변수 중에서도 가장 기본적인 것으로서 도로의 계획, 설계, 운영을 위한 핵심 자료일 뿐만 아니라 사고 및 안전 분석, 경제성 분석에서도 매우 중요한 역할을 한다. 교통량 중에서도 변수로서 의미가 있는 것은 통과교통량과 수요교통량이다. 통과교통량은 현재 통과하고 있는 차량대수를 말하며 교통수요는 어느 일정한 시간동안 또는 장래에 특정 도로구간을 통과하고자 하는 차량대수인데, 링크의 도착교통량을 의미한다고 볼 수 있다.

일반적으로 연속류에서 교통수요가 증가하면 링크의 용량 수준까지 통과교통량도 비례적으로 증가하다가, 과포화 상태에 이르면 링크의 혼잡도로 인해 통과교통량이 오히려 줄어드는 것으로 알려져 있다. 또한 최근의 연구에서는, 교통수요의 증가에 따른 혼잡도와 통과교통량 관계 그래프에서 링크 용량 이상의 수요부분의 통과교통량은 용량 이전과 불연속적으로 나타나면서 감소한다는 결과를 보여주고 있다.

그러나 신호교차로에서는 녹색시간이 주어졌을 때만 지나갈 수 있으므로 교통량조사가 복잡해진다. 특히 일정한 주기를 보이는 고정식 신호가 아닌, 소통상황에 따라 유동적인 감응식 신호기가 설치된 신호교차로에서는 녹색시간의 변화를 고려해주어야 한다. 신호교차로에서 통과교통량은 녹색시간동안 정지선을 지나는 교통량을 조사하면 되고, 수요교통량은 마찬가지로 녹색시간동안 링크에 유입되는 교통량을

조사해야 한다. 그러나 혼잡도가 높아져서 링크용량이 수요보다 적게 되면 대기행렬이 형성된다. 대기행렬이 계속 길어진다는 것은 수요교통량이 증가한다는 의미인데, 이 때, 수요교통량의 측정과 수요교통량의 증가에 따른 통과교통량의 변화를 신호교차로에서 조사한 자료나 연구는 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서 교통시스템의 종합체이자 단속류인 신호교차로에서, 통과교통량과 수요교통량 간의 상호관계를 현장조사를 통해 추정해 보고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

수요교통량에 따른 링크 통과교통량의 변화를 파악하기 위해서, 수요교통량이 시간대별로 변화가 있고 소통이 원활한 상태, 혼잡이 심한 상태를 모두 관찰할 수 있는 신호교차로 링크를 선정한다. 여기서는 남부순환로 서울대입구전철역→낙성대 구간(구간1)에서 오전, 오후 시간대별로 비디오촬영을 하여 차로별로 교통량조사를 시행하고, 수요가 폭증하여 혼잡도가 심한 구간의 자료를 보완하기 위해서 역삼로도곡1동사무소입구→뽕뽕사거리 구간(구간2)에서 오후 첨두시간대에 비디오 촬영을 하여 차로별 교통량 조사를 하였다.

우선 교통수요를 나타낼 수 있는 독립변수를 측정하기 위해 v/c값을 조사한다. 'c'는 링크용량으로 해당 링크에서 녹색시간에 빠져나갈 수 있는 이상적인 교통량으로 보되, 도로조건, 교통조건 및 신호조건을 고려한 기하구조적인 용량을 산정하는 것이 오히려 현실성이 떨어질 수 있기 때문에 직접 현장 조사한 데이터를 바탕으로 링크별 용량을 고정시킨다.

'v'는 수요교통량으로, 녹색시간 주기동안 링크에 진입한

교통량을 비디오 분석을 통해 산출하되, 정체가 심해져 대기행렬이 길어졌을 때는, 녹색시간 주기동안 상류부에서 대기행렬 꼬리에 추가되는 교통량을 조사하였다. 다만, 후방의 링크를 넘어 대기행렬이 조성되어 카메라의 시야에 들어오지 않는 주기에 대해서는 수요교통량 측정이 불가능하므로 조사데이터에서 제외하였다.

다음으로 통과교통량은 신호교차로상 유출지점의 정지선 통과차량을 조사하여 산출한다. 수요교통량 및 통과교통량은 승용차, 버스, 트럭으로 구분하여 조사하고, 버스 및 트럭을 승용차로 환산(1.8배)한 값을 교통량으로 본다.

한편 감응식 신호기로 인해 주기 내 녹색시간이 다를 경우에는 가장 대표적인 값으로 고정하고 나머지 교통량은 녹색시간 비율로 보정하여 계산하였다.

II. 기존 문헌 고찰

교통류 특성을 나타내는 모형으로 대표적으로 속도-밀도 모형이 있고, 여기서 교통량-밀도모형, 속도-교통량모형이 도출된다.

먼저 Greenshield는 연속류인 한지점에서 조사한 밀도, 속도값을 직선으로 이어 Linear Model을 제시하였는데,

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right)$$

이때 교통량-밀도모형식은 포물선모형이다.(2.4)

다음으로 Greenberg는 역시 연속류에서 조사한 밀도-속도 자료를 바탕으로 Logarithmic Relationship인

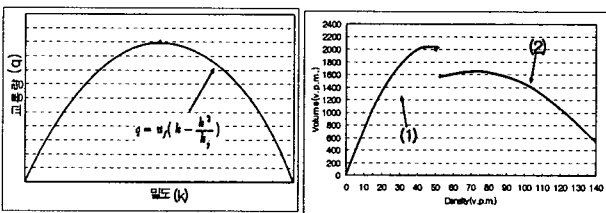
$$u = c \ln\left(\frac{k}{k_j}\right)$$

모형을 제시하였는데 그 역시 연속성(Continuous)을 전제로 하였다.(3)

Drake는 최초로 불연속적인 모형을 제시하는데, 속도-밀도 함수에서 저밀도, 고밀도에서 각각 다른 함수를 정의하고 두 개의 교통량-밀도 함수를 도출하였는데 저밀도①와 고밀도② 교통량-밀도모형식은 다음과 같다.(1)

$$\textcircled{1} F = 60.9D - 515D^2 \quad \textcircled{2} F = 40.0D - 0.265D^2$$

이 두 모형식 그래프와 Greenshield의 포물선 모형을 비교해서 그림으로 제시하면 다음과 같다.



<그림 1> 밀도-교통량 포물선모형(좌)과 Discontinuous모형(우)

이상의 기존 문헌을 살펴보면, 독립변수는 밀도이며 연속류(Freeway)에서 수집된 자료를 바탕으로 도출된 모형식임을 알 수 있었다. 본 연구에서는 연속류가 아닌, 신호교차로 즉

단속류 상에서 교통류의 변화를 분석해보고자 하였다. 단, 조사구간의 밀도를 구하는 것은 신호교차로 링크상에서 난해하므로 차로용량과 수요교통량을 조사, v/c를 구하여 혼잡도를 기준으로 자료를 분석하고자 한다.

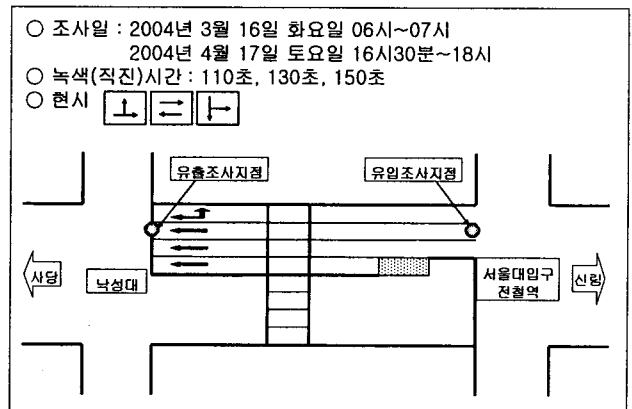
III. 교통류 특성 분석

1. 교통류 조사 자료

1) 분석 대상 Network

(1) 남부순환로(구간1)

서울대입구전철역을 링크의 진입교통량 유입조사지점으로 삼고, 낙성대입구 사거리에 있는 신호교차로상 정지선을 유출조사지점으로 정하고 비디오 조사를 통해 통과교통량 및 진입(수요)교통량을 주기별로 조사한다. 조사지점도를 제시하면 다음 그림과 같다.



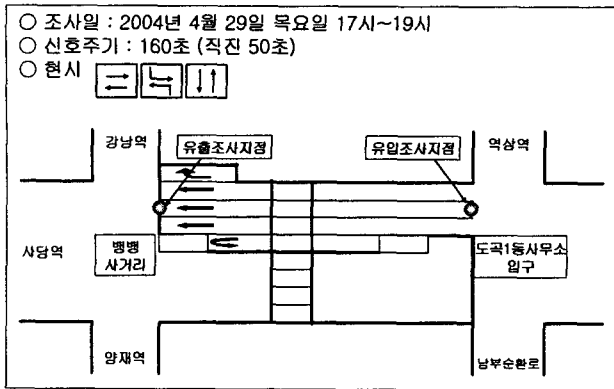
<그림 2> 구간 1 조사지점도

저수준의 혼잡도를 보이는 시간대를 조사하기 위해 평일 오전시간(화요일 06시~07시)에, 혼잡상태의 링크 교통류를 조사하기 위해 주말 오후 첨두시(토요일 16시30분~18시)에 비디오 촬영을 하였다. 신호주기는 주기별로 다양하였으며 조사차로에 직진 녹색 신호는 조금의 차이는 있으나 크게 110초, 130초, 150초로 주어졌다.

(2) 역삼로(구간2)

이번 연구에는 정체가 심각한 상태의 데이터가 많이 필요하기 때문에, 오후 첨두시간에 정체가 상습적으로 발생하는 역삼로 구간을 추가로 비디오조사 하였다.

도곡1동사무소입구를 링크의 진입교통량 유입조사지점으로 삼고, 뱅뱅사거리에 있는 신호교차로상 정지선을 유출조사지점으로 정하고 비디오 분석을 통해 통과교통량 및 진입(수요)교통량을 주기별로 조사한다. 구간 2의 조사지점도를 제시하면 다음 그림과 같다.



<그림 3> 구간 2 조사지점도

구간2는 신호주기가 160초로 비디오 조사 시간동안 일정하게 유지되었고, 조사 차량의 녹색 직진 신호 역시 50초로 일정하게 유지되었다.

2) 남부순환로(구간1) 교통류 조사

녹색신호의 길이가 주기별로, 110초, 130초, 150초로 다양했기 때문에 130초로 고정시키고 나머지 값들은 시간 비율에 따라 환산하여 교통량 비교가 가능하게 하였다.

먼저 혼잡도 저수준의 링크상황에서 수요교통량 및 이에 따른 통과교통량을 조사하기 위해 아침 6시부터 7시까지 교통량을 조사한 값을 정리하면 다음 표와 같다.

<표 1> 구간 1 오전 새벽(06:00~07:00) 교통량 조사

주기	통과교통량	수요교통량
1	17	18
2	13	13
3	24	22
4	20	19
5	22	21
6	32	30
7	18	19
8	23	23
9	18	18
10	19	18
11	11	11
12	20	21
13	13	12
14	18	19
15	18	19
16	22	21

다음으로, 같은 구간에서 오후시간 혼잡도 중,고수준의 링크에서 수요교통량 및 통과교통량을 조사한 값은 다음 표와 같다.

<표 2> 구간 1 오후(16:30~18:00) 교통량 조사

주기	통과교통량	수요교통량
1	27	29
2	23	19
3	30	31

4	25	24
5	25	25
6	27	29
7	31	30
8	34	31
9	26	27
10	36	38
11	40	40
12	29	32
13	32	33
14	27	28
15	29	26
16	37	35
17	24	25
18	31	30
19	31	27
20	28	28
21	32	32
22	21	24
23	23	20
24	33	32
25	22	20

3) 역삼로(구간2) 교통류 조사

구간2는 신호주기가 일정하였기 때문에 주기별로 차로 통과차량수와 녹색시간동안 진입한 차량을 조사하여 제시하면 다음 표와 같다.

<표 3> 구간 2 오후첨두시(17:00~19:00) 교통량 조사

주기	통과교통량	수요교통량
1	19	27
2	20	20
3	20	32
4	17	31
5	21	28
6	19	24
7	16	27
8	21	27
9	16	25
10	17	25
11	19	26
12	18	29
13	18	33
14	20	26
15	21	27
16	20	24
17	20	27
18	20	29
19	19	29
20	19	23
21	20	26
22	20	27
23	18	25
24	20	30
25	19	26
26	21	29
27	19	23
28	19	27
29	18	25
30	19	24
31	17	29
32	19	24

33	18	22
34	20	26
35	20	26
36	21	26
37	20	27
38	21	25
39	17	28
40	20	28

2. 교통류 특성 분석

1) 남부순환로(구간1) 교통류 특성 분석

(1) 용량산정

링크 교통수요가 증가하면 혼잡도가 높아지는데 이에 따른 통과교통량의 변화를 조사하는 것이 본 연구의 목적이기 때문에 독립변수로 v/c를 산출해야 한다. 이를 위해 주기별 통과교통량 및 수요교통량 자료를 바탕으로 현장 차로의 용량을 산정해내야 한다. 한 차로에서 이상적으로 빠져나갈 수 있는 교통량은 수요교통량이 통과교통량을 넘어선 주기들을 추려내고, 이 때의 통과교통량을 평균낸 값으로 본다. 막연히 데이터 중에서 최대 통과한 교통량을 용량으로 잡는 것은 끼어들기 등 당시 교통상황에 따른 특이값일 수 있으므로 차로용량으로서의 대표성을 띄기는 어렵기 때문에 부적합하다고 여겨지기 때문이다.

구간1에서 조사한 데이터에는 혼잡도가 저수준인 이른 아침 교통량 자료가 포함되어 있기 때문에, 이 때 수요교통량이 통과교통량보다 조금 많았던 주기가 있었다고 해도, 신호 등의 영향을 받은 값으로 추정되므로 용량 산정에 포함시켜서는 안될 것이다. 따라서 오후 정체시간대에 조사된 데이터 중에서 주기 내에 수요교통량이 통과교통량보다 많은 주기를 뽑아내어 각 통과교통량을 산술평균하여 용량으로 산정한다. 그 값은 차로당 c=31 이다.

(2) 결과분석

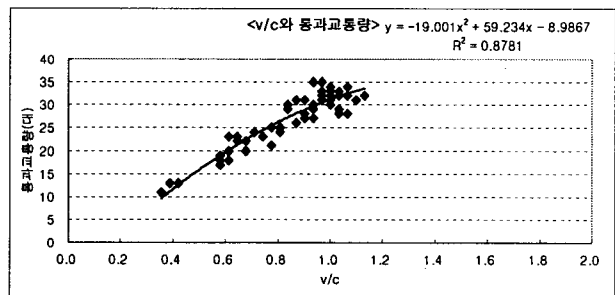
구간1에서 130초 녹색시간동안 조사된 통과교통량과, 진입한 수요 교통량(v) 자료에 산정된 31대의 용량(c)을 이용하여 혼잡도를 분석하면 다음 표와 같다.

<표 4> 남부순환로(구간1) 교통류 분석

주기(오전)	통과교통량	수요교통량	용량c	v/c
1	17	18	31	0.6
2	13	13	31	0.4
3	24	22	31	0.7
4	20	19	31	0.6
5	22	21	31	0.7
6	32	30	31	0.9
7	18	19	31	0.6
8	23	23	31	0.7
9	18	18	31	0.6
10	19	18	31	0.6
11	11	11	31	0.3
12	20	21	31	0.7

13	13	12	31	0.4
14	18	19	31	0.6
15	18	19	31	0.6
16	22	21	31	0.7
주기(오후)	통과교통량	수요교통량	용량c	v/c
1	27	29	31	0.9
2	23	19	31	0.6
3	30	31	31	1.0
4	25	24	31	0.8
5	25	25	31	0.8
6	27	29	31	0.9
7	31	30	31	1.0
8	34	31	31	1.0
9	26	27	31	0.9
10	36	38	31	1.2
11	40	40	31	1.3
12	29	32	31	1.0
13	32	33	31	1.1
14	27	28	31	0.9
15	29	26	31	0.8
16	37	35	31	1.1
17	24	25	31	0.8
18	31	30	31	1.0
19	31	27	31	0.9
20	28	28	31	0.9
21	32	32	31	1.0
22	21	24	31	0.8
23	23	20	31	0.6
24	33	32	31	1.0
25	22	20	31	0.6

이상의 결과를 바탕으로 혼잡도에 따른 교통류 변화를 판단하기 위하여 v/c와 통과교통량의 관계그래프를 나타내고, 회귀식 및 상관계수를 추정해보면 다음 그림과 같다.



<그림 4> 구간 1 v/c와 통과교통량 그래프

그래프를 살펴보면 혼잡도가 1.0보다 낮은 경우에는 수요교통량이 증가할수록, 즉 혼잡도가 높을수록 링크에 통과하는 교통량이 비례적으로 증가한다는 것을 볼 수 있다. 그러나 혼잡도가 차로 용량 수준에 이르러 v/c=1.0 이상의 자료를 살펴보면 통과교통량이 더 이상 증가하지 않고, 불규칙성이 높아진다는 것을 알 수 있다. 단, v/c=1.2가 넘는 데이터는 보이지 않기 때문에 분석의 의미를 찾기 위해서는 정체가 더욱 심각한 상태의 조사자료를 필요로 하게 된다.

2) 역삼로 구간2 교통류 특성 분석

(1) 용량산정

구간2에서 조사한 데이터는 정체시간대의 교통류 조사 자료이므로, 전술했던 방법과 같이 수요교통량이 통과교통량보다 많은 주기를 추출하여 각 통과교통량을 산술평균 낸 값을 구간2의 차로 용량으로 간주한다. 그 값은 차로당 c=19대이다.

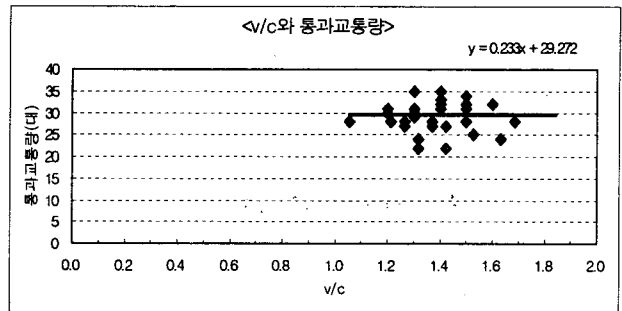
(2) 결과분석

앞서 산출한 구간2의 차로용량(c=19)은 남부순환로(c=31)보다 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 남부순환로 구간자료와 비교하기 위해서는 용량을 같게 환산해 주어야 한다. 따라서 용량 c=31을 기준으로 하고, 구간2의 통과교통량 및 수요교통량을 아래 표와 같이 같은 비율로 환산하였다. 이를 통해 v/c 값은 일정하게 유지되고, 주기별 통과교통량을 구간1,2에서 통합적으로 비교분석할 수 있게 된다. 구간2의 교통량을 환산하여 교통류를 분석하면 다음 표와 같다.

<표 5> 구간 2 오후첨두시(17:00~19:00) 교통류 분석

주기	원본 용량	원본통과 교통량	원본수요 교통량	환산 용량	환산통과 교통량	환산수요 교통량	v/c
1	19	19	27	31	27	47	1.5
2	19	20	20	31	28	40	1.3
3	19	20	32	31	28	52	1.7
4	19	17	31	31	24	51	1.6
5	19	21	28	31	29	48	1.5
6	19	19	24	31	27	44	1.4
7	19	16	27	31	22	47	1.5
8	19	21	27	31	29	47	1.5
9	19	16	25	31	28	43	1.4
10	19	17	25	31	24	45	1.5
11	19	19	26	31	27	46	1.5
12	19	18	29	31	25	49	1.6
13	19	18	33	31	25	53	1.7
14	19	20	26	31	28	46	1.5
15	19	21	27	31	29	47	1.5
16	19	20	24	31	28	44	1.4
17	19	20	27	31	33	44	1.4
18	19	20	29	31	32	47	1.5
19	19	19	29	31	31	48	1.5
20	19	19	23	31	31	38	1.2
21	19	20	26	31	32	45	1.5
22	19	20	27	31	33	44	1.4
23	19	18	25	31	30	41	1.3
24	19	20	30	31	32	49	1.6
25	19	19	26	31	31	42	1.4
26	19	21	29	31	34	47	1.5
27	19	19	23	31	31	38	1.2
28	19	19	27	31	31	44	1.4
29	19	18	25	31	29	41	1.3
30	19	19	24	31	31	39	1.3
31	19	17	29	31	28	47	1.5
32	19	19	24	31	31	39	1.3
33	19	18	22	31	30	37	1.2
34	19	20	26	31	33	42	1.4
35	19	20	26	31	32	42	1.4
36	19	21	26	31	35	42	1.4
37	19	20	27	31	32	44	1.4
38	19	21	25	31	35	41	1.3
39	19	17	28	31	28	45	1.5
40	19	20	28	31	32	45	1.5

구간2의 조사 결과를 환산하여 v/c와 통과교통량의 관계그 래프로 나타내고, 회귀식을 추정해보면 다음 그림과 같다.

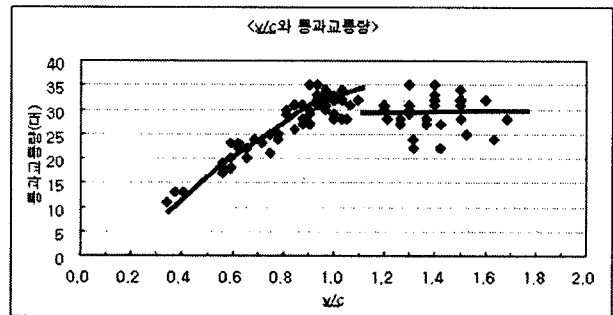


<그림 5> 구간 2 v/c와 통과교통량 그래프

자료를 분석해 보면, 규칙성이 눈에 띄게 줄어들었고, 혼잡도가 어느 정도 증가한다 하여도 통과교통량이 22대 이상으로 는 유지되는 것을 확인할 수 있다. v/c와 통과교통량 그래프는 거의 수평의 직선으로 나타내어 진다.

3. 종합 분석

구간 1,2에서 조사된 교통량 자료의 분석 통해 v/c에 따른 링크 교통류 변화를 알아볼 수 있다. 구간2의 용량을 구간1과 같게 환산하여 양 구간데이터를 합성하여 그래프로 나타내면 다음 그림과 같다.



<그림 6> 구간 1,2 v/c와 통과교통량 분석 그래프

수요교통량이 링크용량 이상으로 증가하면 혼잡도가 1.0을 넘게 되고, 이는 곧 링크가 정체상태임을 의미한다. 정상상태에서는 교통수요의 증가에 따라 링크를 통과하는 교통량도 증가하는 경향을 보인다. 하지만 정체상태에 이르게 되면 진출교통의 소통이 원활하지 못하게 되어 통과교통량이 더 이상 증가하지 않고, 전체적으로 조금 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 신호차로에서는 통과가능 시간이 녹색신호로 정해져 있고, 일반적으로 녹색시간보다 긴 정지신호시간, 즉 대기시간이 주어지기 때문에 통과교통량이 어느 정도까지는 유지되는 것을 볼 수 있다. 실제로 고수준의 혼잡시 모든 주기를 살펴보더라도 통과교통량은 22대 이상의 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 상관도가 낮아 일정한 패턴을 가

진다고 보기에는 힘들며, 비디오 조사로 진입하는 수요교통량 확인이 불가능했던 극심한 정체시의 교통류 자료에 대한 분석은 유보되어 있다고 할 수 있다.

한편, 고수준의 혼잡도를 보이는 데이터는 저수준, 중수준의 데이터와 연속성이 없는 것으로 판단할 수 있다. 혼잡도가 높을 때의 통과교통량은 차로 용량에 도달했을 때인 최대교통류를 값보다 대체적으로 낮은 값을 가진다.

IV. 결론 및 향후연구과제

먼저 기존 문헌에서 제시된 밀도 증가에 따른 교통량 변화의 불연속성은 본 연구에서도 확인되었다.

또한 혼잡도가 증가하면, 신호교차로에서 통과교통량의 통행행태는 연속류의 그것과는 다르게 나타난다는 것을 현장 분석을 통해 확인해 보았다. 교통 수요가 꾸준히 증가하여 차로의 용량을 넘어서게 되면 v/c 가 높아지고 정체상태의 교통류가 형성되는데, 단속류인 신호교차로에서는 정지신호와 녹색신호가 번갈아가면서 교통류를 제어하기 때문에 정체가 심각한 상태에서도 정지신호에 대기하고 있던 차량들 중 녹색 시간 동안에는 어느 정도의 교통량은 통과하게 되므로, 앞서 제시된 바와 같이 고수준의 혼잡도에서 통과교통의 감소량이 크지 않고, 어느 정도의 수준에서 통과교통량이 유지된다는 것을 알 수 있다.

그러나 그래프에서 보듯이, v/c 가 높은 부분에서 상관계수가 낮아 정확히 어떤 통행행태를 보인다고 선불리 단정짓기는 어렵다. 이를 보완하기 위해서는 요일별, 구간별, 시간대별로 보다 많은 양의 현장자료를 수집, 분석하여 결과의 완성도를 높여야 할 것이다. 그리고 자료수집과정에서 정확도를 높여 신뢰성 있는 데이터를 구축해야 함은 물론이다.

또한 정체가 극심해져 대기행렬의 길이가 수개의 링크에 걸쳐 길어진 경우에는, 대기행렬 끝에 추가되는 교통량이 모두 조사하는 링크의 수요라 볼 수 없고 조사 링크에 진입하지 않고 중간에 우회전, 좌회전 및 유턴으로 빠져나가는 차량은 빼줘야 하므로 보다 정확한 조사를 요한다. 본 연구는 유입조사지점에 설치된 카메라 시야에서, 확인 가능한 수준의 정체 내의 조사라는 제약조건하에서 자료를 수집하고 결과를 분석하였으므로 혼잡도 혹은 밀도가 매우 높은 상황에서의 교통량 조사는 추후에 방법론을 강구해 보아야 할 것이다.

참고문헌

1. Traffic Engineering(Second Edition), Prentice Hall, William R. McShane, Roger P. Roess and Elena S. Prassas
2. 교통공학원론(제2개정판), 청문각, 도철웅
3. Traffic Flow Theory(Revised Edition), Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC 1997, C. J. Messer et al
4. 도시교통론(제2진정판), 박영사, 원제무