

신호교차로에서의 우회전 차량의 도착분포 연구

A Study of Arrival Distribution for Right-Turning Vehicles at Signalized Intersection

최준서¹⁾, 손봉수²⁾, 김형진³⁾

1) 연세대학교 도시공학과, 석사과정, cjs800721@hanmail.net

2) 연세대학교 도시공학과, 교수, sbs@yonsei.ac.kr

3) 연세대학교 도시공학과, 교수, hyungkim@yonsei.ac.kr

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 방법

II. 문헌고찰

1. 교통변수의 통계적 특성
2. 추측통계학의 적합도 검정

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집
2. 분석지점 선정
3. 자료가공

IV. 우회전 차량의 도착분포 분석

V. 결론 및 향후 연구과제

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 서울시내 도심도로의 70% 이상이 우회전 차로에서 직진과 우회전을 모두 할 수 있는 것으로 나타났다. 또 대부분의 직진-우회전공용차로에서 직진 차량과 우회전 차량의 비율은 50 대 50으로 나타났다. 결국 직진 차량은 우회전 차량 때문에, 반대로 우회전 차량은 직진 차량 때문에 통행권이 주어쳐도 진행하지 못하는 경우가 발생한다. 이로 인해 같은 시간 내 교차로를 통과할 수 있는 차량의 수가 줄고 교통사고가 발생하기 쉽다.

본 연구에서는 교차로에서 적절한 우회전 대기차로 길이 산정을 위한 우회전 차량의 도착분포를 연구하였다. 제시된 확률분포는 실측데이터를 이용하여 분석하였고 통계적 검증을 실시하였다.

2. 연구의 방법

본 연구에서는 우회전 차량의 도착분포 연구를 위해 교차로 유형별로 데이터를 수집하여 적절한 확률분포를 추정하였다. 교차로는 편도 2차로 교차로, 편도 3차로 교차로, 편도 4차로 이상의 교차로에서 조사하였고 데이터는 비디오카메라를 통해 수집하였다.

본 연구는 다음과 같은 과정으로 구성되어 있다. 제2장 문헌고찰에서는 확률분포 추정을 위한 이산형 분포의 특성과 추측통계학인 적합도 검정의 특성을 분석하였다. 제3장에서는 우회전 차량의 도착분포를 추정하기 위한 자료수집 방법 및 분석지점을 제시하였고, 제4장에서는 교차로 유형별 도착분포를 분석하였다. 제5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 제시하였다.

II. 문헌고찰

1. 교통변수의 통계적 검정

새로운 교통시설을 설치하거나 운영방안을 시행하기 위해서는 현재의 특성 분석 및 장래예측이 필요하다. 통계적 분포를 이용하면 제한

된 데이터를 이용하여 장래를 예측하는 것이 가능하다. 일반적으로 일정시간동안 도착하는 차량대수와 같이 셀 수 있는 현상에는 포아송분포(Poisson Distribution), 이항분포(Binomial Distribution), 음이항분포(Negative-Binomial Distribution)등 이산형 분포를 이용한다.

이산형 분포의 특성을 분석하여 장래 추정 시 적절한 분포를 선택하여야 하며, 이때 분포의 선택은 데이터의 평균(m)과 분산(s^2)을 비교하여 결정할 수 있다. 이산형 분포의 특성을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 이산형 분포의 특성

분 포	s^2/m	산 출 식
포아송분포	= 1	$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!}$
이항 분포	< 1	$P(x) = C_x^m p^x (1-p)^{m-x}$
음이항 분포	> 1	$P(x) = C_{k-1}^{x+k-1} p^k (1-p)^x$

2. 추측통계학의 적합도 검정

적합도 검정(goodness of fit test)이란 어떤 확률변수가 가정한 분포를 따르는지의 여부를 표본자료를 이용하여 검정하는 것을 말한다. 1899년 피어슨(Karl Pearson)에 소개된 카이제곱(chi-square)검정과 Kolmogorov-Smirnov검정법이 있다.

본 연구에서는 카이제곱(chi-square)검정을 이용하여 적합도 검정을 실시하였다.

Ⅲ. 자료수집 및 분석

1. 자료수집

본 논문에서 사용된 데이터는 서울시 도심지역의 각 유형별 교차로를 선택하여 평일 첨두시간(18:00~19:00)과 비첨두시간(14:00~15:00)에 수집된 데이터이다. 데이터는 금요일과 주말을 제외한 평일에 비디오 촬영을 통하여 수집하였고, 총 4개의 지점에서 8시간 동안 조사하였다.

2. 분석지점 선정

분석지점은 신뢰할만한 수준의 교통량이 있어야 하기 때문에 간선도로와 이어져 있거나 비교적 교통량이 많은 교차로를 선정하였다.

또한, 교차로의 각 방향 별 위계가 동일한 지점을 선택하여 편도 2차로, 편도 3차로, 편도 4차로 이상의 4지교차로에서 조사하였다.

조사차로는 횡단보도가 설치되어 있는 직진-우회전공용차로와 횡단보도가 설치되어 있지 않은 직진-우회전공용차로를 같이 조사하여 연구의 현실성과 신뢰성을 높였다.

본 연구에서 선택한 분석지점은 다음과 같다.

- 편도 4차로 이상 4지교차로
강남구 강남역사거리(횡단보도 無)
- 편도 4차로 이상 4지교차로
종로구 광화문사거리(횡단보도 有)
- 편도 3차로 4지교차로
중랑구 태릉입구역사거리
- 편도 2차로 4지교차로
서초구 서이초교사거리

3. 자료가공

본 연구에서는 우회전 차량의 도착 분포를 파악하기 위해 비디오 촬영을 통해 수집된 데이터를 10초, 20초, 30초 간격으로 통과한 차량대수를 counting하였다. 이를 통해 10초, 20초, 30초 단위로 통과한 차량대수에 대한 Observed Frequency를 산출하였다. 이렇게 산출된 Observed Frequency를 이용하여 포아송분포(Poisson Distribution), 이항분포(Binomial Distribution), 음이항분포(Negative-Binomial Distribution)에 따른 Theoretical Frequency를 다시 산출하였다.

산출된 Observed Frequency(관측 차량대수)와 Theoretical Frequency(이론차량대수)의 차이를 이용, 카이제곱검정을 통해 유의수준 5%에서 적정한 확률분포를 추정하였다.

또한, 교차로에서 유의수준 5%를 만족하는 확률분포를 통하여서 차량의 도착 확률분포

75%를 만족하는 통과차량대수를 산출하였다.

IV. 우회전 차량의 도착분포 분석

1. 강남역사거리

강남역사거리 침두 1시간 동안의 총 우회전 차량은 201대이고, Time Interval 이 10초, 20초, 30초인 경우 모두 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다.

강남역사거리 비침두 1시간 동안의 총 우회전 차량은 274대이고, Time Interval 이 10초, 20초, 30초인 경우 모두 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다.

<표 2> 강남역사거리 침두시간 음이항분포 분석결과 I (10초)

차량대수/ 10초당	관측빈도수	음이항분포	예측빈도수
0	218	0.612	220.4
1	102	0.265	95.6
2	26	0.087	31.4
3	11	0.026	9.2
4	1	0.007	2.5
5	2	0.002	0.7
>5	0	0.001	0.2
Total	360	1.00	360

강남역사거리 침두시간 우회전차량의 도착분포를 10초 간격으로 분석한 결과 검정통계량 피어슨 χ^2 값이 1.526로 임계값 $\chi^2_{0.05}(df=3)$ 7.81을 넘지 못하여 귀무가설을 채택한다. 즉 표본에 따르면 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다.

<표 3> 강남역사거리 침두시간 음이항분포 분석결과 II (20초)

차량대수/ 10초당	관측빈도수	음이항분포	예측빈도수
0	80	0.420	75.6
1	44	0.289	52.0
2	27	0.155	27.8
3	19	0.075	13.5
4	8	0.035	6.2
5	0	0.015	2.8
6	1	0.007	1.2
7	0	0.003	0.5
8	1	0.001	0.2
9	0	0.001	0.1
10	0	0.000	0.0
>10	0	0.000	0.0
Total	180	1.000	180.0

강남역사거리 침두시간 우회전차량의 도착분포를 20초 간격으로 분석한 결과 검정통계량 피어슨 χ^2 값이 3.829로 임계값 $\chi^2_{0.05}(df=4)$ 9.49를 넘지 못하여 귀무가설을 채택한다. 즉 표본에 따르면 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다.

<표 4> 강남역사거리 첨두시간 음이항분포 분석결과Ⅲ(30초)

차량대수/ 10초당	관측빈도수	음이항분포	예측빈도수
0	40	0.302	36.2
1	27	0.267	32.1
2	22	0.181	21.8
3	10	0.111	13.3
4	14	0.064	7.6
5	2	0.035	4.2
6	3	0.019	2.3
7	1	0.010	1.2
8	0	0.005	0.6
9	1	0.003	0.3
10	0	0.001	0.2
11	0	0.001	0.1
12	0	0.000	0.0
13	0	0.000	0.0
14	0	0.000	0.0
15	0	0.000	0.0
>15	0	0.000	0.0
Total	120	1.000	120.0

강남역사거리 첨두시간 우회전차량의 도착분포를 30초 간격으로 분석한 결과 검정통계량 피어슨 χ^2 값이 7.784로 임계값 $\chi_{0.05}^2(df=5)$ 11.1을 넘지 못하여 귀무가설을 채택한다. 즉 표본에 따르면 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다.

<표 5> 강남역사거리 비첨두시간 음이항분포 분석결과 I (10초)

차량대수/ 10초당	관측빈도수	음이항분포	예측빈도수
0	187	0.508	183.1
1	103	0.307	110.5
2	46	0.124	44.8
3	18	0.042	15.2
4	5	0.013	4.6
5	1	0.004	1.3
>5	0	0.001	0.5
Total	360	1.00	360

강남역사거리 비첨두시간 우회전차량의 도착분포를 10초 간격으로 분석한 결과 검정통계량 피어슨 χ^2 값이 1.75로 임계값 $\chi_{0.05}^2(df=4)$ 9.49를 넘지 못하여 귀무가설을 채택한다. 즉 표본에 따르면 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다. 2. 모형의 추정 결과

<표 6> 강남역사거리 비침두시간 음이항분포 분석결과Ⅱ(20초)

차량대수/ 10초당	관측빈도수	음이항분포	예측빈도수
0	61	0.317	57.0
1	47	0.282	50.7
2	29	0.184	33.1
3	20	0.105	19.0
4	13	0.056	10.1
5	6	0.029	5.2
6	2	0.014	2.6
7	1	0.007	1.2
8	1	0.003	0.6
9	0	0.002	0.3
10	0	0.001	0.1
>10	0	0.000	0.1
Total	180	1.000	180.0

강남역사거리 비침두시간 우회전차량의 도착 분포를 20초 간격으로 분석한 결과 검정통계량 피어슨 χ^2 값이 1.920로 임계값 $\chi_{0.05}^2(df=5)$ 11.1를 넘지 못하여 귀무가설을 채택한다. 즉 표본에 따르면 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다.

<표 7> 강남역사거리 비침두시간 음이항분포 분석결과Ⅲ(30초)

차량대수/ 10초당	관측빈도수	음이항분포	예측빈도수
0	28	0.204	24.4
1	25	0.235	28.2
2	23	0.194	23.2
3	15	0.138	16.6
4	7	0.091	10.9
5	12	0.057	6.9
6	5	0.035	4.1
7	2	0.020	2.4
8	1	0.012	1.4
9	2	0.007	0.8
10	0	0.004	0.4
11	0	0.002	0.2
12	0	0.001	0.1
13	0	0.001	0.1
14	0	0.000	0.0
15	0	0.000	0.0
>15	0	0.001	0.1
Total	120	1.000	120.0

강남역사거리 비침두시간 우회전차량의 도착 분포를 30초 간격으로 분석한 결과 검정통계량 피어슨 χ^2 값이 6.321로 임계값 $\chi_{0.05}^2(df=6)$ 12.6을 넘지 못하여 귀무가설을 채택한다. 즉 표본에 따르면 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 음이항분포를 따르는 것으로 나타났다.

2. 분석결과 종합

교차로 유형별 우회전 차량의 도착분포 연구 결과 Time Interval에 관계없이 대체적으로 첨두시간과 비첨두시간 모두 음이항분포 (Negative Binomial Distribution)를 따르는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 각 교차로에서 Time Interval에 따른 우회전차량의 75% 도착확률 차량대수 및 평균, 분산 등을 종합해 보면 다음과 같다.

<표 8> 우회전 차량의 도착분포 분석결과 종합 I (10초)

지 점		χ^2 통계량	분포	우회전 차량 (75%)
강남역	첨두	1.526	Negative	1대
	사거리	비첨두	1.183	Negative
광화문	첨두	5.677	Binomial	2대
	사거리	비첨두	8.693	Negative
태릉입구역	첨두	0.466	Negative	1대
	사거리	비첨두	0.606	Negative
서이초교	첨두	6.508	Negative	0대
	사거리	비첨두	6.116	Negative

Time Interval을 10초로 하여 분석한 결과 광화문사거리 첨두시간을 제외한 모든 교차로에서 음이항분포를 만족하였다. 또, 75%를 만족하는 10초당 평균 우회전차량 대수는 0대에서 2대 사이로 나타났다. 우회전전용차로가 설치된 광화문사거리에서 평균 10초당 2대의 우회전차량이 통과하였고, 편도 2차로 교차로인 서이초교사거리에서는 평균 10초당 0대의 우회전차량이 통과하였다.

<표 9> 우회전 차량의 도착분포 분석결과 종합 II (20초)

지 점		χ^2 통계량	분포	우회전 차량 (75%)
강남역	첨두	3.829	Negative	2대
	사거리	비첨두	1.920	Negative
광화문	첨두	9.226	Negative	4대
	사거리	비첨두	4.360	Negative
태릉입구역	첨두	3.752	Negative	1대
	사거리	비첨두	3.409	Negative
서이초교	첨두	13.180	없음	
	사거리	비첨두	6.433	Negative

Time Interval을 20초로 하여 분석한 결과 서이초교사거리 첨두시간을 제외한 모든 교차로에서 음이항분포를 만족하였다. 또, 75%를 만족하는 20초당 평균 우회전차량 대수는 1대에서 5대 사이로 나타났다. 우회전전용차로가 설치된 광화문사거리에서 평균 20초당 4~5대의 우회전차량이 통과하였고, 편도 2차로 교차로인 서이초교사거리에서는 평균 20초당 1대의 우회전차량이 통과하였다.

같은 4차로이상의 교차로지만 우회전전용차로가 설치된 광화문사거리가 우회전전용차로가 없는 강남역사거리보다 2배 이상 우회전차량이 통과하는 것을 알 수 있고, 차로수가 적을수록 우회전 통과차량이 적음을 알 수 있다.

<표 10> 우회전 차량의 도착분포 분석결과
종합III(30초)

지 점		χ^2 통계량	분포	우회전 차량 (75%)
강남역	첨두	7.784	Negative	2대
	사거리	비첨두	6.321	Negative
광화문	첨두	12.044	Negative	7대
	사거리	비첨두	3.712	Negative
태릉입구역	첨두	6.979	Negative	2대
	사거리	비첨두	2.578	Negative
서이초교	첨두	10.754	없음	1대
	사거리	비첨두	11.856	없음

Time Interval을 30초로 하여 분석한 결과 서이초교사거리를 제외한 모든 교차로에서 음이항분포를 만족하였다. 또, 75%를 만족하는 30초당 평균 우회전차량 대수는 1대에서 7대 사이로 나타났다. 우회전전용차로가 설치된 광화문사거리에서 평균 30초당 7대의 우회전차량이 통과하였고, 편도 2차로 교차로인 서이초교사거리에서는 평균 30초당 1대의 우회전차량이 통과하였다.

Time Interval이 20초인 경우와 마찬가지로 같은 4차로이상의 교차로지만 우회전전용차로가 설치된 광화문사거리가 우회전전용차로가 없는 강남역사거리보다 2~3배 이상 우회전차량이 통과하는 것을 알 수 있다. 또한 10초, 20초, 30초일때를 비교 분석해보면 우회전전용차로가 설치되어 있지 않은 교차로에서는 Time Interval이 증가하여도 평균 우회전차량 대수가 크게 변하지 않는걸 알 수 있다. 이에 반해 우회전전용차로가 설치된 광화문사거리는 Time Interval이 증가할수록 우회전통과차량 대수가 꾸준히 증가함을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구에서는 신호교차로에서 우회전 차량의 적정한 대기차로 길이 산정을 위해 우회전 차량의 도착분포를 연구하였다. 이를 위해 각 교차로 유형별로 4개의 지점을 선정하여 첨두시간과 비첨두시간, 총 8시간을 조사, 분석하였다. 또한, 적정한 도착분포 확률을 추정하기 위해, 일정시간동안 도착하는 차량대수와 같이 셀 수 있는 현상에 쓰이는 포아송분포(Poisson Distribution), 이항분포(Binomial Distribution), 음이항분포(Negative-Binomial Distribution)를 적용하였고, 카이제곱검정을 통하여 통계적 검증을 실시하였다.

우회전차량의 도착분포를 분석한 결과 Time Interval에 관계없이 대부분의 교차로에서 음이항분포(Negative Binomial Distribution)를 따르는 것으로 나타났다. 이는 분산정도에 따른 통계적 분포의 특성을 반영한 것으로 판단된다. 통계적 분포를 이용한 우회전차량의 도착분포를 추정하는 방법은 주어진 시간당, 주기당 우회전 통과차량을 예측할 수 있기 때문에 적정한 우회전대기차로 및 전용차로 길이 산정에 중요한 역할을 할 수 있다.

분석한 4개 지점의 교차로의 확률분포를 분석하고, 이를 통하여 평균 시간당 우회전차량의 도착 대수를 분석하였다. 그 결과 교차로의 크기, 지역특성, 교통량등 유사한 성격을 가지고 있는 강남역사거리와 광화문사거리에서 분명한 차이를 볼 수 있었다. 우회전전용차로가 설치되지 않은 강남역사거리는 평균 우회전 통과차량이 Time Interval에 따라 큰 변화가 없었지만, 우회전전용차로가 설치된 광화문사거리에서는 Time Interval에 따라 우회전 통과차량이 약 2배~3배정도씩 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 강남역사거리는 보행자 횡단보도가 없고, 광화문사거리는 보행자 횡단보도가 있다는 점을 감안한다면, 더욱더 분명한 차이가 있다고 판단되어 진다. 뿐만 아니라 우회전전용차가 설치되어 있지 않은, 다른 편도 2차로, 3차로 교차로에서도 Time Interval에 관

계없이 우회전 통과차량수가 큰 변화가 없음을 알 수 있었다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서는 신호교차로에서 우회전 차량의 도착분포를 추정, 제시하였다. 하지만 우회전 차량을 위한 적절한 전용차로 및 대기차로길이 산정을 위한 모델을 제시하지는 않았다.

우회전전용차로 및 대기차로가 설치되어지는 차로는 버스 및 대형화물차량과 같은 중차량들이 많이 운행하고 있다. 따라서 향후 적절한 우회전차로길이를 산정하기 위해서 교차로의 기하구조, 신호주기, 버스 및 중차량의 혼입률 등을 고려한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Traffic Flow Theory.
2. 청문각(1998), 교통공학원론.
3. 법문사(2005), 통계학의 이해.
4. 한영준(2006), 도시고속도로 반복정체의 시공간적 패턴 분석
5. Andrzej P. Tarko(2001), Predicting Right Turns On Red
6. 김일도, 공창환(1999), 교차점 우회전 능률차로 도입에 따른 효율성 분석
7. 오윤표, 이환진(2005), 좌회전 차량의 교통특성과 적정길이 산정에 관한 연구
8. 김정래, 김기혁(2002), Bay길이에 따른 좌회전 용량산정에 관한 연구
9. 김치환(2000), 적색 신호시 우회전 교통량 추정 모형식 개발에 관한 연구
10. 김경환(1998), 비보호 좌회전 포화유율 추정