

로터리 위치별 사고모형 개발

Accident Models of Rotary by Location

나 희* · 박병호**

Na, Hee · Park, Byung Ho

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

회전교차로는 중앙에 원형교통섬을 두고 교차로를 통과하는 차량이 설치된 원형교통섬을 우회하도록 하는 교차로 형식이다. 회전교차로의 일종인 종래의 로터리(Rotary)는 직진차량보다 회전차량에 우선권을 주는 회전교차로와는 달리 회전교차로에 진입할 경우 끼어들기를 원칙으로 하는 운영방식이다.

전 세계적으로 로터리를 회전교차로로 전환하고 있는 실정임에도 불구하고, 아직 국내에서는 로터리 운영 방식의 교차로가 존재하며, 그에 따른 많은 문제점이 드러나고 있다. 로터리는 무신호 교차로이기 때문에 진입하는 차량 혹은 회전하는 차량은 적정시거가 확보되어야 하지만, 중앙교통섬에 도시미관을 고려한 조형물과 각종 조경수들의 설치로 인해 운전자의 시야 확보를 저해시킨다. 교통량이 적고 회전차로 내 차로폭이 충분히 확보가 되지 않은 교차로는 직진 차량이 차선을 무시하고 고속으로 통과하는 경우가 발생하게 되어 교통사고가 발생할 확률이 높아지고 있다.

지금까지의 국내 연구동향을 살펴보면, 신호교차로 사고에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나 로터리의 사고에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 도시부 및 지방부 로터리의 기하구조 특성 및 운전자 행태 실태를 조사하고, 이를 통하여 회전교차로에서의 위치별 사고특성을 파악하며, 이를 반영한 사고모형을 개발하는데 목적이 있다.

1.2 연구 범위 및 방법

이 연구는 도시 및 지방부 회전교차로에서 발생한 교통사고 현황 및 특성을 파악하고 모형을 개발하기 위해 교통량과 차로폭, 차로수, 회전차로수, 진출입구수 등과 같은 교통사고 관련 변수들을 현장조사를 통해 수집 및 정리하였고, 「도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)」을 활용하여 전국에 설치되어 있는 로터리 20곳의 사고자료 173건을 도출하였다. 수집된 사고자료를 사고위치에 따라 회전차로, 진출입구, 횡단보도, 기타로 구분하여 분석하였다. 정리된 자료의 통계적 분석을 위해 Limdep 3.0을 이용하여 음이항 및 포아송 회귀분석을 통해 사고모형을 개발하였다. 연구의 진행을 위한 절차는 다음과 같다.

첫 번째로 국내·외 문헌과 사례를 통하여 로터리의 일반적인 특징과 사고모형개발에 대한 내용을 살펴본다. 두 번째로 로터리의 2007~2009년도의 사고자료를 수집하고, 교통조건, 도로조건, 교통운영조건 등의 현장조사 자료를 정리한다. 세 번째로 수집한 자료를 토대로 음이항, 포아송 모형을 개발하여 로터리 사고를 예방하기위한 모형을 제시한다.

* 충북대학교 도시공학과 석사과정(E-mail : soulmate1009@naver.com) - 발표자
** 정희원 · 충북대학교 도시공학과 교수(E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr)

2. 기존문헌 고찰

2.1 국내 연구

하오근(2005)의 “국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형개발과 심각도 분석”에서는 포아송 회귀모형을 사용하여 ρ^2 (우도비), 상관계수, MAD, MPB를 알아보고 가장 적합한 결과가 도출된 모델을 주 모델로 선정하여 사고예측모형을 만들고, ρ^2 와 x^2 값으로 모형 설명력을 검증하여 사고 심각도를 분석하였다.

김숙희 등(2005)의 “사고다발지점의 안전성능 진단 및 위치별 사고요인분석(수원시를 중심으로)”에서는 수원시의 사고다발지점을 대상으로 로지스틱 판별분석을 이용하여 사고발생 주요 요인을 추출한 바 있다.

박병호 등(2008)은 “사고유형에 따른 청주시 4지 신호교차로 교통사고모형”에서 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 사고유형을 정면충돌, 후미추돌, 측면직각 및 접촉 등으로 분류하였으며, 5개의 음이항 모형을 개발하고 모형별 공통변수와 특정변수를 활용하여 모형의 차이를 비교·분석하였다.

박준태 등(2008)은 “도시부 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형 개발”에서 포아송 회귀모형을 이용하여 ρ^2 (우도비)와 MPB, MAD를 이용하여 모형을 검증하였고 또한, 한계효과를 분석하여 제시하였으며, ρ^2 와 x^2 값으로 모형 설명력을 검증하여 사고 심각도를 분석하였다.

2.2 국외 연구

Hoong Chor Chin(2003)은 “Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections”에서 기존의 포아송, 다중선형 회귀분석의 한계를 설명하고, 음이항 모형을 이용하여 싱가포르 신호교차로의 교통과 제어 특성들, 사고발생과 기하구조 사이의 관계를 분석하였다.

Donnell & Masin(2004)은 펜실베니아 주간선도(Interstate Highway)를 대상으로 도로기하구조와 사고자료를 이용하여 중앙분리대 관련사고의 심각도 예측모형을 구축하였다.

Yan 등(2005)은 “Characteristics of rear-end Accidents at Signalized Intersections Using Multiple Logistic Regression Model”에서 후미추돌사고와 운전자의 특성, 도로환경 및 차량 유형으로 구분된 일련의 잠재적인 사고요인과의 관계를 조사하여 설명하였으며, 분석방법에는 Quasi-induced exposure technique와 다중 로지스틱회귀모형을 사용하였다

2.3 연구 차별성

지금까지 국내 연구에서는 신호교차로에 한하여 사고심각도 분석 및 예측모형을 개발하였지만 로터리의 경우 도입효과 혹은 전체에 대한 연구가 대부분이었고, 사고모형에 대한 연구는 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 로터리의 사고를 분석하고 사고모형을 개발하였고, 로터리 사고에 영향을 주는 위치별 사고건수를 종속변수로 사용하였다.

3. 자료 수집 및 변수 선정

3.1 위치별 사고 현황

이 연구에서는 ① 회전차로 ② 진·출입구 ③ 횡단보도 ④ 기타로 사고위치를 구분한다. 분석결과, 20개 교차로의 회전차로 사고가 69건, 진·출입구 사고가 30건, 횡단보도 사고가 23건, 기타 사고가 51건을 차지하고 있다.

조사대상 로터리 20개소 별로 2007년에서 2009년 동안 3년간의 사고발생건수를 조사한 결과, 표 1과 같이 도시부 로터리 사고건수는 충남 논산시 동산교차로를 제외한 모든 교차로에서 10건 이상으로 나타나 평균 17건으로 분석되었다. 총 위치별 사고 현황을 보면, 회전차로 사고가 69건으로 가장 많이 발생하였으며, 횡단보도의 사고건수가 23건으로 낮게 나타났다.

표 1. 도시부 원형교차로 위치별 사고건수

(단위 : 건)

번호	교차로명	위치별 사고건수				계
		회전차로	진·출입구	횡단보도	기타	
1	동해시청로터리	19	0	5	6	30
2	산시1호광장로터리	5	3	1	9	18
3	논산시동산교차로	2	0	1	0	3
4	김제시청오거리	5	4	2	2	13
5	김제시경찰서오거리	5	2	2	1	10
6	영주시꽃동산로터리	6	12	1	10	29
7	진주시오죽광장사거리	4	2	3	5	14
8	진주시봉곡광장사거리	3	4	8	7	22
9	화천대교오거리	2	0	0	0	2
10	청원군오산원형교차로	0	1	0	2	3
11	청원군서평원형교차로	1	0	0	0	1
12	진천군원동교차로	1	0	0	0	1
13	무주군적상삼거리	0	0	0	0	0
14	무주군라제통문삼거리	0	0	0	0	0
15	고창군월곡원형교차로	3	1	0	2	6
16	진안군남광교차로	0	0	0	0	0
17	구례군청앞오거리	4	0	0	3	7
18	화순군교리교차로	5	1	0	1	7
19	제주시금악교차로	1	0	0	3	4
20	서귀포시서광서리교차로	3	0	0	0	3
계		69	30	23	51	173

표 2. 위치별 정의

위치	정의
회전차로	회전차로 내에서 발생한 사고
진·출입구	교차로의 진·출입구에서 발생한 사고
횡단보도	교차로 내 횡단보도에서 발생한 사고
기타	세가지 위치를 제외한 위치에서 발생한 사고

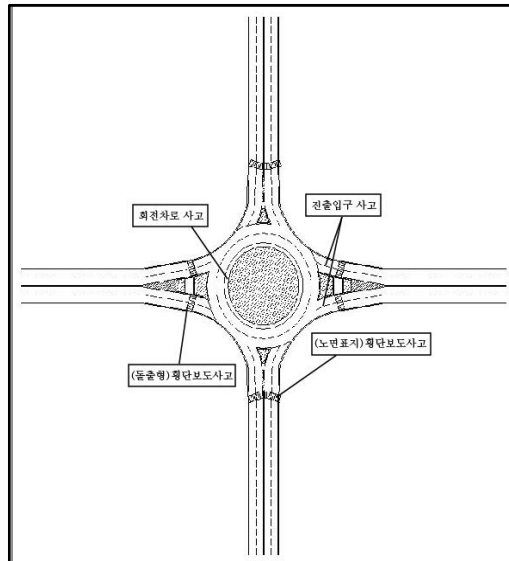


그림 1. 연구교차로의 위치별 정의

3.2 변수 선정

독립변수는 현장조사를 통해 수집된 사고관련요소들 중 로터리에서 발생한 사고와 관련성이 있을 것으로 판단되는 교통량, 교차로 기하구조, 운전 행태 등을 검토한 후, 표 3과 같이 14개의 변수를 선정하였다.

종속변수는 교차로의 사고 위치별 분석을 위해 회전차로 사고(Y_1), 진·출입구 사고(Y_2), 횡단보도 사고(Y_3), 기타 사고(Y_4) 4가지로 선정하였다.

회전차로 사고의 경우 회전부 내부에서 발생한 사고를 의미하고 진·출입구 사고의 경우 회전부와 진출입부 부근에서 발생한 사고를 의미하며 횡단보도 사고는 교차로의 돌출형 혹은 노면표지로 되어 있는 횡단보도 상에서 발생한 사고를 의미하며, 기타사고는 위에서 나타낸 위치를 제외한 교차로 사고를 의미한다. 무주군 적상삼거리, 무주군 라제통문삼거리, 진안군 남광교차로의 경우 사고 미발생 교차로이므로 본 연구에서 제외시켰다.

표 3. 독립변수선정

변수 명(단위)	기호	범위	평균
1. 교통량(대/시)	X_1	77-1,993	842.80
2. 진입차로 수(개)	X_2	1-3	1.60
3. 회전차로 수(개)	X_3	3-7	4.25
4. 진·출입구 수(개)	X_4	2-7	3.95
5. 과속방지턱 수(개)	X_5	0-3	0.60
6. 분리교통섬 수(개)	X_6	2-5	3.95
7. 내접원 직경(m)	X_7	29-69	41.75
8. 중앙교통섬 직경(m)	X_8	11-38	23.35
9. 진입부확 폭(m)	X_9	0-3	0.40
10. 회전차로 폭(m)	X_{10}	4-15	8.13
11. 상충회수(회)	X_{11}	2-210	60.15
12. 진입차로우선(건)	X_{12}	1-58	25.55
13. 회전차로우선(건)	X_{13}	1-468	50.95
14. 횡단보도 수(개)	X_{14}	1-7	3.45

3.5 상관관계 분석

변수들 간의 독립성을 파악하기 위해 상관관계 분석을 수행하였다. 신뢰수준을 95%($\alpha = 0.05$)로 하며, Pearson 상관계수를 통해 변수들 간의 상관성을 분석하였다. 회전차로 사고의 경우 진입차로수와 상충회수, 회전차로우선차량에 유의확률이 높은 것으로 분석되었으며, 횡단보도 사고의 경우 교통량과 진입차로수에 유의확률이 높은 것으로 분석되었고, 기타 사고는 교통량과 횡단보도 수에 유의확률이 높은 것으로 분석되었다.

표 4. 변수간 상관관계

구분	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
Y_1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_2	0.19	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_3	0.51*	0.27	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_4	0.49*	0.72**	0.53*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_1	0.45*	0.54*	0.67**	0.70**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_2	0.64**	0.08	0.75**	0.45*	0.55*	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_3	0.29	0.49*	0.07	0.49*	0.56**	0.14	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_4	0.34	0.49*	0.18	0.47*	0.67**	0.19	0.96**	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_5	-0.05	-0.08	0.16	-0.36	-0.17	0.10	0.15	0.14	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_6	0.34	0.39	0.16	0.32	0.43	0.30	0.86**	0.82**	0.21	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X_7	0.43	0.10	0.50*	0.35	0.37	0.31	0.19	0.22	-0.02	0.28	1	-	-	-	-	-	-	-
X_8	0.17	0.02	0.46*	0.19	0.16	0.13	-0.06	-0.62	-0.00	0.10	0.86**	1	-	-	-	-	-	-
X_9	0.14	-0.16	-0.04	0.03	-0.17	0.1	0.05	-0.07	-0.19	0.10	0.10	0.07	1	-	-	-	-	-
X_{10}	0.53*	0.18	0.30	0.41	0.50*	0.43	0.51*	0.52*	-0.12	0.49*	0.71**	0.27	0.11	1	-	-	-	-
X_{11}	0.79**	0.23	0.52*	0.39	0.70**	0.54*	0.36	0.46*	-0.03	0.41	0.49*	0.21	0.00	0.61**	1	-	-	-
X_{12}	0.41	0.40	0.12	0.28	0.48*	0.11	0.33	0.41	-0.12	0.35	0.31	0.07	-0.17	0.50*	0.72**	1	-	-
X_{13}	0.92**	0.12	0.54*	0.35	0.42	0.57**	0.12	0.19	-0.10	0.18	0.46*	0.23	0.14	0.46*	0.82**	0.34	1	-
X_{14}	0.43	0.55*	0.33	0.64**	0.71**	0.31	0.90**	0.87**	0.09	0.75**	0.29	0.09	0.17	0.46*	0.52*	0.42	0.27	1

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함
* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의함

4. 사고모형 개발

4.1 회전차로 사고모형(Y_1)

회전차로 사고건수를 종속변수로 모형을 구축한 결과, 표 5와 같이 진입차로 수(X_2), 회전차로 폭(X_{10})이 채택되었고, 이 변수들의 p값은 신뢰수준 90%($\alpha = 0.10$) 기준에 유의하다. 과분산 계수(Φ)값이 0.143이므로 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났다. 우도비(ρ^2)는 0.569로 모형의 설명력이 높은 것으로 분석되었다.

채택된 변수인 진입차로수와 회전차로 폭이 양의 관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 즉, 진입차로수와 회전차로 폭이 증가할수록 사고에 큰 영향력을 갖는 것으로 분석되었다.

표 5. 회전차로 사고모형 분석결과

변수		모형	
		포아송 회귀모형	음이항 회귀모형
X_2	Coefficient	1.132(2.204)	1.122(2.189)
	p-value	0.028	0.029
X_{10}	Coefficient	0.887(1.671)	0.885(1.675)
	p-value	0.095	0.094
Chi-squared		3.601	-
Alpha(Φ)		-	0.143
ρ^2		0.569	-

주 : ()는 t-ratio를 나타냄

4.2 진·출입구 사고모형(Y_2)

진·출입구 사고건수를 종속변수로 모형을 구축한 결과, 모형은 표 6과 같이 교통량(X_1)과 횡단보도 수(X_{14})

가 채택되었으며 변수들의 p값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의한 것으로 나타났다. 과분산 계수(Φ) 값이 0.970로 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났고, 우도비(ρ^2)는 0.439로 통계적으로 설명력이 있는 모형이 개발되었다.

채택된 변수인 교통량과 횡단보도 수 모두 양의 관계를 나타내고 있는데, 이는 교통량이 많아지고 횡단보도 수가 많아질수록 사고의 심각도가 높아지는 것으로 분석된다.

표 6. 진·출입구 사고모형 분석결과

변수		모형	
		포아송 회귀모형	음이항 회귀모형
X_1	Coefficient	0.003(3.451)	0.003(2.596)
	p-value	0.001	0.009
X_{14}	Coefficient	0.658(4.249)	0.630(2.763)
	p-value	0.00002	0.006
Chi-squared		41.594	2.623
Alpha(Φ)		-	0.970
ρ^2		0.439	0.048

주 : ()는 t-ratio를 나타냄

4.3 횡단보도 사고모형(Y_3)

횡단보도 사고건수를 종속변수로 모형을 구축한 결과, 표 7과 같이 교통량(X_1), 상충횡수(X_{11}), 회전차로우선(X_{13})이 채택되었다. 변수들의 p값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의한 것으로 나타났으며 과분산 계수(Φ) 값이 0.212로 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났으며, 우도비(ρ^2)는 0.499로 설명력 있는 모형이 개발되었다.

채택된 변수인 교통량, 상충횡수가 양의 관계를 보이고 있으며, 회전차로우선권은 음의 관계를 나타내고 있다. 즉, 교통량과 상충횡수가 많을수록 사고에 영향을 나타내고 회전차로우선권이 적을수록 사고에 영향을 주고 있는 것으로 분석된다.

표 7. 접근로-횡단보도 사고모형 분석결과

변수		모형	
		포아송 회귀모형	음이항 회귀모형
X_1	Coefficient	0.003(2.596)	0.002(2.378)
	p-value	0.009	0.017
X_{11}	Coefficient	0.037(2.567)	0.040(1.979)
	p-value	0.010	0.048
X_{13}	Coefficient	-0.071(-2.807)	0.009(2.118)
	p-value	0.002	0.034
Chi-squared		6.551	-
Alpha(Φ)		-	0.212
ρ^2		0.499	0.038

주 : ()는 t-ratio를 나타냄

4.4 기타 사고모형(Y_4)

기타 사고건수를 종속변수로 모형을 구축한 결과, 표 8과 같이 교통량(X_1), 과속방지턱개수(X_5), 횡단보도 수(X_{14})가 채택되었다. 수들의 p값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의하며 과분산 계수(Φ) 값이 0.754로 포아송 모형이 적합한 것으로 나타났고, 우도비(ρ^2)는 0.336로 설명력 있는 모형이 개발되었다.

채택된 변수 중 교통량과 횡단보도 수는 양의관계를 가지고 있으며, 과속방지턱 개수는 음의 관계를 나타



내고 있다. 즉, 교통량과 횡단보도수가 많을수록 사고에 심각한 영향을 미치고 과속방지턱 개수가 적을수록 사고에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

표 8. 기타 사고모형 분석결과

변수		모형	
		포아송 회귀모형	음이항 회귀모형
X_1	Coefficient	0.002(2.714)	0.002(2.227)
	p-value	0.007	0.026
X_5	Coefficient	-0.667(-2.283)	-0.589(-1.803)
	p-value	0.022	0.071
X_{14}	Coefficient	0.006(2.268)	0.528(2.396)
	p-value	0.023	0.017
Chi-squared		25.870	1.111
Alpha(ϕ)		-	0.754
ρ^2		0.336	0.046

주 : ()는 t-ratio를 나타냄

표 9. 사고위치별 포아송 모형

모형	모형식
교차로-교차로안	$Y_1 = \exp(1.132 \times x_2 + 0.887 \times x_2)$
교차로-교차로부근	$Y_2 = \exp(0.003 \times x_1 + 0.658x_2)$
접근로-횡단보도	$Y_3 = \exp(0.003 \times x_1 + 0.037 \times x_{11} - 0.071 \times x_{13})$
기타	$Y_4 = \exp(0.002 \times x_1 - 0.667 \times x_5 + 0.006 \times x_{14})$

5. 결 론

이 연구는 국내 원형교차로 20개소의 위치에 따른 교통사고를 다루고 있다. 이를 위해 본 연구는 2007년부터 2009년까지의 국내 원형교차로에서 발생한 사고 자료를 바탕으로 회전차로, 진·출입구, 횡단보도, 기타 사고 건수를 종속변수로 하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 통해 모형을 구축 하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 사고발생위치 중 회전차로 사고건수는 39.88%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 진·출입구 사고건수는 17.34%를 차지하고 있고, 횡단보도 사고건수는 13.2%를 차지하고 있으며 기타 사고건수는 29.48%를 차지하고 있다.

둘째, 4가지 위치별 사고건수를 종속변수로 모형을 구축한 결과, 통계적으로 의미 있는 4개의 모형이 개발되었다. 4가지 위치별 사고건수 모두 alpha값이 1.96보다 작으므로 포아송 회귀모형이 채택되었다. 우도비는 포아송 모형 모두 0.569, 0.439, 0.499, 0.336으로 모형이 매우 유의한 것으로 분석되었다.

셋째, 위치별 사고건수의 공통변수는 선정되지 않았으며, 특정변수로는 진입차로 수, 회전차로 폭, 과속방지턱 개수, 상충횡수가 채택되었다.

본 연구에서는 국내 원형교차로의 위치별 사고모형의 구축을 위해 교통량, 기하구조, 운전행태 등의 요인을 고려하였으나, 향후 법적요인 및 기상상태 요인, 사고유형 등에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년 첨단도시개발사업(과제번호 : 07도시재생/B01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 국토해양부, 2004. “평면교차로 설계지침”.
- [2] 김숙희, 장정아, 최기주, 2005. “사고다발지점의 안전성능 진단 및 위치별 사고요인분석(수원시를 중심으로)”. 대한교통학회지, 대한교통학회. 제23권 제1호. pp. 9~20.
- [3] 박병호, 류승욱, 2008. “회전교차로의 계획과 설계”, 예원사.
- [4] 박준태, 김장욱, 이수범, 이동민, 2008. “도시부 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형 개발”. 대한교통학회지. 대한교통학회. 제26권. 제4호. pp. 99~110.
- [5] 하오근, 2005. “국도변 신호교차로 안전성 향상을 위한 사고예측모형개발과 심각도 분석”, 한양대학교 대학원 석사학위 논문.
- [6] Hoong Chor Chin·ohammed Abdul Quddus (2003). Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. Accident Analysis & Prevention 35, pp. 253~259.
- [7] J. M Pardillo Mayora, R. Bojorquez., A. Camarero Orive., (2006). “Refinement of Accident Prediction Models for the Spanish National Network,” TRB.
- [8] Xuedong Yan·Essam Radwan·Mohamed Abdel-Aty(2005). Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections Using multiple logistic regression model, Accident Analysis & Prevention 37. pp. 35~4.