

강우와 고속도로 통행특성의 관계



백승걸



김치훈

1. 서론

우리나라는 4계절의 기후 변화가 뚜렷하여 계절별로 다양한 기상 상황이 발생된다. 기상상황 중 폭우, 강설, 동결 및 안개 등은 운전자의 행동을 위축시키고, 도로조건을 열악하게 함으로써 교통사고와 정체 의 원인이 되고 있다. 이러한 교통조건의 변화 외에도 기상은 운전자의 통행선택에 영향을 미쳐 기중점통행특성도 변화된다.

기중점 통행량은 공간간의 활동을 대표하는 지표이며, 교통계획에 있어 네트워크의 교통수요를 파악하기 위해 필수적으로 요구되는 자료이다. 더욱이 주요 교통분야인 실시간 교통관리를 위해서는 시간대별 기중점통행특성 자료가 필요하다.

기중점통행특성 자료는 많은 요인에 의해 영향을 받는데, 네트워크 신설 등 장기적인 변화가 아닌 단기적인 실시간 교통상황의 경우에는 기상에 의한 영향이 가장 클 것으로 판단된다. 또한 출퇴근, 업무, 가족행사 등 필수적인 통행 보다는 여가, 방문, 관광 등 비필수적인 통행이 영향을 더 크게 받을 것이다.

이러한 중요성에도 불구하고 기상조건과 통행량과의 관련성을 검토한 연

백승걸 : 한국도로공사 도로교통기술원 교통연구그룹, bskytrans@freeway.co.kr, 직장전화:031-371-3311, 직장팩스:031-371-3319

김치훈 : 서울특별시 버스정책과, kimch@seoul.go.kr, 직장전화:02-3707-9525, 직장팩스:02-3707-8764

구는 거의 전무한 실정이다. 기존의 기상관련 교통분야의 연구는 기상조건과 도로의 구간성능이나 교통사고와의 관계에만 초점을 두어 왔다. 도로성능의 경우 기상상황에 따른 서비스교통량이나 속도의 변화가 주 분석대상이었으며, 교통사고의 경우 기상상황 변화에 따른 시거의 제약 등 운전자 판단성능의 변화가 주분석대상이었다.

강우시 차종별로, 주말/평일 등 요일특성에 따라 운전자의 통행선택이 달라질 것이다. 통행선택은 출발시각 선택, 목적지선택, 수단선택, 경로선택 등 다양한 선택이 있을 수 있으며, 이에 따라 최종적으로 구간교통특성이 영향을 받을 것이다. 기존 연구에서는 이러한 기상조건 변화시 통행특성 변화를 무시하고 최종결과인 구간교통특성만 분석한 것이라 할 수 있다.

본 연구는 기상조건이 교통량(traffic volume)에 주는 영향보다 통행량(trip)에 대한 영향에 초점을 둔 연구로서, 본 연구에서는 강우시와 맑은 날의 통행량, 총통행거리, 평균통행거리 등 통행특성의 변화를 차종별, 주말/평일로 구분하여 제시하였다.

II. 기존연구 고찰

장덕형(1998)은 열악한 도로기상조건이 교통안전사고 유발의 주요요인이라는 사실에 기인하여 악천후상황과 교통류의 상관관계를 분석하였다. 기상조건이 유발한 사고현황과 기존 도로기상관제시스템의 현황과 문제점을 분석하고, 우리나라여건에 적합한 시스템의 구성을 시도하였다. 또한 노면의 조건과 시거가 안전운전에 가장 영향을 주는 요소로 가정하고 악천후(안개, 눈 등)때의 운전중 시거와 노면조건을 따라서 안전한 주행속도를 추천하는 알고리즘 개발의 기초연구를 수행하였다.

박창수·장진환(2004)은 기상상황에 따른 교통보정계수의 변화를 분석하여 부득이하게 눈이 내리는 날에 조사된 교통량자료를 이용해 AADT를 추정할 경우 적용할 수 있는 날씨보정계수(Weather Adjustment Factor)를 산출하였다. 이를 위해 눈이 내린 날과 눈이 내리지 않았고, 교통량 패턴이 안전적이라고 판단되는 동월, 동요일의 평균 교통량을 이용하여 이들의 비율로서 보정계수를 산출하였고, 이러한 보정계수와 적설량과의 관계에 대

한 회귀식을 도출했다. 회귀계수는 k 값에 따라 주중은 0.04, 주말은 0.041-0.051로 비슷하게 나왔으나, R^2 은 k 값에 따라 주중은 0.53-0.75로 나왔고, 주말은 0.25-0.39로 나와 주중에는 강설량과 보정계수와의 상관관계가 양호한 값을 보이지만, 주말의 경우 다소 낮은 것으로 분석되었다.

기상악화가 교통량 변화에 미치는 영향에 대해서는 다양한 주장이 있다. 최정순 등(1999)은 고속국도에서 비가 올 경우 맑은 날에 비해 서비스 교통량이 약 16% 정도 감소한다고 했다. TRRL(Transportation Road Research Laboratory)(1998)은 비가 내리는 날에는 교통량이 2% 정도, 눈이 오거나 얼음이 있는 조건에서는 16% 정도, 안개가 있는 조건에서는 20% 정도 교통량이 감소하였다고 하였다. 그리고 Nietal과 Edwards(1992)는 교통량의 경우 비 내리는 날씨는 대략 3% 정도 감소하고, 안개는 9% 정도 교통량을 감소시킨다고 했다. Sheppard(1975)는 기상악화가 통행패턴에 미치는 영향은 없다고 주장했다. 또한 Hassan & Barker(1988)은 이상기온이나 폭우시 교통량이 평일에는 3%, 주말에는 4% 감소한다고 하였고, 강설시 평일에는 10%, 주말에는 15% 감소한다고 하였다.

이와 반대로 Brodsky & Hakkert(1998)는 비가 내릴 경우 도로나 대중교통을 이용하는 통행자들이 승용차로 교통수단을 바꾸기 때문에 교통량이 늘어난다고 주장했다. Smith(1982)는 기상악화에 의해 통행을 포기하는 통행자들이 많다고 하였고, 이와 비슷하게 Khattack(1991)는 눈보라 등과 같은 악천후 기상은 통행시간을 증가시키고, 출발시간과 목적지를 변화시키며 상당한 통행 수단의 변경이 일어난다고 하였다.

기존 연구는 기상조건과 도로의 구간성능, 즉 서비스교통량이나 속도 등과의 관계에 주로 초점을 두어왔다. 국내의 경우 기상조건과 통행량과의 관련성을 검토한 연구는 거의 전무한 실정이다. 또한 국내외 전체적으로 보았을 때도 차종별로 통행량뿐만 아니라 총통행거리, 평균통행거리 등의 통행 특성을 분석한 연구는 아직 제시되지 않은 실정이다.

기상정보를 산업분야에 이용하는 사례는 날이 갈수록 증가하고 있다. 기상청(2005)에 따르면 많은 국가에서 농업 및 수자원 확보와 홍수예방, 항공기 운항비용 절약, 재해 경감, 위험관리 등 다양한 산업분야별로 기상정보를 활용하고 있으며, 우리나라의 사례로는 한국도로공사 사례 등을 들고 있다.

한국도로공사는 2004년 6월부터 인터넷 기상정보서비스를 함으로써 고속도로 이용객의 편의를 높이고 있다. 또한 기상정보를 파악해 고속도로 유지보수에 적합한 시점을 파악함으로써 업무효율성을 높이고 있다. 한국도로공사에서는 공사 홈페이지를 통해 경부고속도로 등 9개 노선, 서울-천안 등 26개 구간별로 3일간의 날씨, 최저최고기온, 강수확률, 주간별 날씨예보를 매일 한번 씩 갱신한다. 또한 기상예보실황을 9개 노선, 36개 지점별로 단기예보, 주간예보 등을 인터넷을 통해 제공한다. 고속도로 날씨, 강우강설량, 교통소통 정보 등을 집계하고 있다. 고속도로 상황일지도 자동으로 생성할 수 있는 시스템을 갖추고 있어 전자상황판으로 기상정보를 집계한다.

Ⅲ. 기상조건별 통행 사례분석

1. 분석방법

본 연구에서는 기상자료를 검토한 후 강우일을 선정한 후 해당 선정일과 인접한 동일 요일 맑은 날의 차종별 통행량, 통행거리 등의 통행특성을 파악하였다. 본 연구에서는 우리나라 고속도로의 폐쇄식 영업소간 통행량만을 대상으로 자료를 정리하였다.

본 연구에서는 2006년도 상반기 강우일을 검토하여 강우일을 6건 선정하였으며, 인접 동일요일의 맑은 날을 비교대상 일로 선정하였다. 맑은 날과의 비교 및 분석의 적정성을 확보하기 위해 방학, 장마철 등은 제외하였다. 본 연구에서 선정한 맑은 날과 강우일은 <표 1>과 같다.

<표 1> 분석대상일 특성

맑은 날	강우일	
	일자	일강우량(mm)
4월 8일(토)	4월 1일(토)	16.5
4월 3일(월)	4월 10일(월)	11.5
5월 13일(토)	5월 6일(토)	93.0
5월 15일(월)	5월 22일(월)	30.5
6월 7일(수)	6월 14일(수)	63.0
6월 17일(토)	6월 10일(토)	39.5

본 연구에서는 고속도로 TCS자료를 이용하였으며, TCS에서의 차종 구분은 1종부터 5종까지 있으며, <표 2>와 같다.

<표 2> 고속도로 TCS차종 구분

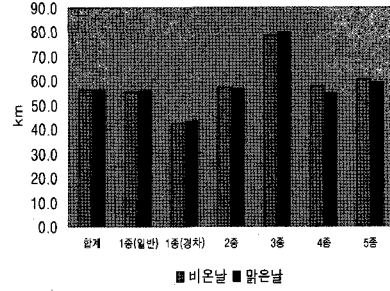
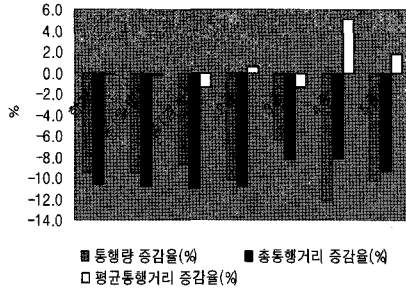
차종	구분	변경
1종		○ 2축, 율폭 279.4mm 이하 - 승용차, 소형승합차, 소형화물차
2종		○ 2축, 율폭 279.4mm초과, 율거 1,800mm이하 - 중형승합차, 중형화물차
3종		○ 2축, 율폭 279.4mm초과, 율거 1,800mm초과 - 대형승합차, 2축대형화물차
4종		○ 3축 대형화물차
5종		○ 4축이상 특수화물차

2. 맑은 날과 강우일의 통행특성 비교

맑은 날과 비교하여 비가 온 날 총통행량은 총 9.5% 감소하였다. 차종별 감소율은 거의 유사하였으며, 2,4,5종의 통행량 감소율이 다소 작았다. 통행은 필수 통행(mandatory trip)과 비필수통행이 있다. 필수통행은 출퇴근, 업무, 가족행사 등이 포함되며, 비필수통행은 여가, 위락 등이 포함된다. 기상상황에 따라 영향을 더 크게 받는 통행은 비필수통행일 것으로 판단된다.

대부분 승용차로 구성된 1종 차량이 여가, 관광 등의 통행목적을 가지므로 강우시 통행선택을 변경할 가능성이 가장 높을 것으로 예상한 결과와 다른데, 승용차의 경우 출퇴근 및 업무통행 등 필수적인 통행으로 강우시 통행량 감소폭이 화물차량보다 적은 것으로 판단된다. 3종의 경우 가장 작은 변화율을 나타내, 필수통행 구성비가 높은 것으로 판단된다.

주행거리는 10.6% 감소하여 통행량보다 감소폭이 컸으며, 1종(경차)의 경우 -11.0% 감소하여 전체 차종중 감소폭이 가장 컸다. 이는 1종(경차)의 경우 강우시 다른 차종에 비해 소형이므로 차량의 안전성을 고려하여 통행선택을 변경한 것에 따른 영향으로 판단된다. 2, 4, 5종의 경우 강우시 평균통행거리가 오히려 증가하였는데, 강우시 단거리 화물통행이 장거리 화물통행보다 감소폭이 더 크기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 1> 맑은 날 대비 강우일의 통행 특성

<그림 2> 맑은 날과 강우일의 총통행 거리

<표 3> 맑은 날과 강우일의 통행특성 비교

일차	구분	합계	1종(일반)	1종(경차)	2종	3종	4종	5종
맑은날	통행량(대)	2,167,220	1,777,442	70,424	138,305	80,731	31,544	68,774
	총주행거리(km)	121,701,682	98,607,541	3,034,692	7,817,792	6,431,017	1,721,664	4,088,975
	평균통행거리(km)	56.2	55.5	43.1	56.5	79.7	54.6	59.5
	차량구성비(%)	100	82.0	3.2	6.4	3.7	1.5	3.2
비온날	통행량(대)	1,962,346	1,608,823	64,353	124,179	75,575	27,704	61,712
	총주행거리(km)	110,051,261	88,989,335	2,734,520	7,056,565	5,940,353	1,592,568	3,737,920
	평균통행거리(km)	56.1	55.3	42.5	56.8	78.6	57.5	60.6
	차량구성비(%)	100	82.0	3.3	6.3	3.9	1.4	3.1
비교	통행량 증감(대)	-204,874	-168,619	-6,071	-14,125	-5,156	-3,840	-7,062
	증감율(%)	-9.5	-9.5	-8.6	-10.2	-6.4	-12.2	-10.3
	총주행거리 증감(km)	-11,650,420	-9,618,206	-300,172	-761,227	-490,664	-129,097	-351,055
	증감율(%)	-10.6	-10.8	-11.0	-10.8	-8.3	-8.1	-9.4
	평균통행거리 증감(km)	-0.1	-0.2	-0.6	0.3	-1.1	2.9	1.1
증감율(%)	-0.1	-0.3	-1.4	0.5	-1.3	5.1	1.8	

3. 평일과 토요일의 맑은 날/강우일 통행특성 비교

평일의 경우 1종 차량들은 강우시 통행량 감소율에 비해 총통행거리의 감소율이 더 컸다. 이는 통행거리가 긴 1종 차량들이 통행거리가 짧은 1종

〈표 4〉 맑은 날과 강우일의 통행특성 비교(평일)

구분	합계	1종(일반)	1종(경차)	2종	3종	4종	5종
통행량 증감(대)	-172,379	-151,111	-5,677	-9,199	-549	-1,576	-4,268
증감율 (%)	-8.5	-9.4	-8.5	-5.8	-0.7	-4.3	-5.3
총통행 거리 증감 (km)	-11,677,753	-10,673,253	-346,772	-366,022	-20,263	-44,351	-227,093
증감율 (%)	-12.3	-14.9	-15.4	-4.3	-0.3	-2.2	-5.0
평균통행 거리 증감 (km)	-1.4	-2.0	-2.1	1.0	0.3	1.3	0.4
증감율 (%)	-2.8	-4.1	-5.6	1.7	0.4	2.2	0.6

〈표 5〉 맑은 날과 강우일의 통행특성 비교(토요일)

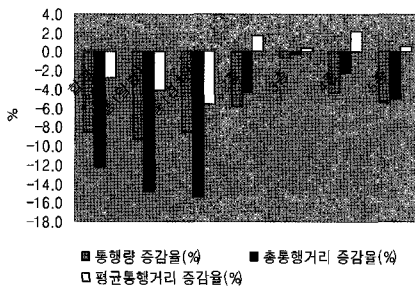
구분	합계	1종(일반)	1종(경차)	2종	3종	4종	5종
통행량 증감(대)	-221,121	-177,373	-6,268	-16,588	-7,460	-4,972	-8,459
증감율 (%)	-9.9	-9.5	-8.7	-12.9	-9.2	-17.0	-13.4
총통행 거리 증감 (km)	-11,636,754	-9,090,683	-276,871	-958,830	-725,865	-171,470	-413,036
증감율 (%)	-9.9	-9.3	-9.3	-15.1	-12.4	-12.4	-12.4
평균통행 거리 증감 (km)	0.6	0.6	0.1	-0.1	-1.6	3.8	1.6
증감율 (%)	1.0	1.1	0.2	-0.2	-2.0	6.7	2.7

차량보다 통행을 하지 않았다는 것으로, 평일의 경우 여가통행, 관광통행을 계획한 운전자들이 통행을 하지 않거나 단거리 통행으로 통행선택을 변경한 결과로 판단된다. 화물차량들의 경우 1종 차량 통행보다 통행량 감소나 총 통행거리의 감소폭이 작았는데, 화물의 경우 통행특성상 기상변화에 1종 차량보다 선택이 자유롭지 못한 결과로 추정된다.

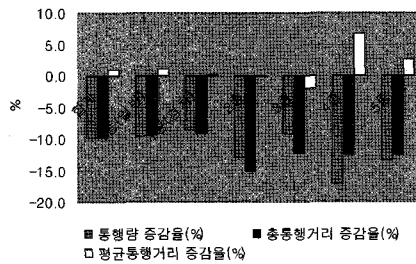
이에 비해 화물차량들은 강우시 평균통행거리가 맑은 날에 비해 증가하였다. 이는 단거리 화물통행은 기상악화시 다른 날에 통행을 할 수 있는 선택의 폭이 장거리 화물통행보다 자유로우므로 기상변화에 민감하게 반응하여, 강우시 통행이 감소된 것으로 추정된다.

토요일의 경우 강우시 1종보다 다른 차종의 통행량 및 총통행거리의 감소폭이 더 컸다. 이에 따라 화물차량의 경우 토요일에는 강우시 통행을 하지 않는 경향이 크다는 것으로 추정할 수 있다. 평균통행거리의 경우 강우시가 맑은 날보다 오히려 더 컸는데, 이는 승용차는 토요일에 일반적으로 여가나 관광, 친지방문 등으로 인해 평소의 통행거리보다 긴 장거리 통행을 하기 때문인 것으로 판단된다.

화물차량의 경우 강우시 2,3종은 평균통행거리가 감소했는데 반해 4,5종은 오히려 증가하였다. 이는 2,3종의 경우 장거리통행량 등이 감소하였지만 4,5종의 경우 단거리 통행량들이 감소한 결과로 추정된다. 따라서 평일과 토요일의 통행특성 비교결과를 종합해서 볼 때 4,5종과 같은 대형화물차들은 단거리 통행과 장거리 통행화물에 따라 강우에 대한 통행선택이 서로 크게 다르다는 것을 알 수 있다.



〈그림 3〉 맑은날 대비 강우일의 통행특성(평일)

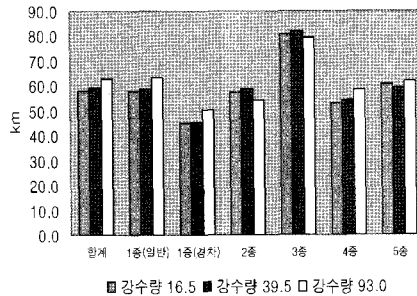


〈그림 4〉 맑은날 대비 강우일의 통행특성(토요일)

4. 강우량에 따른 통행특성 변화

앞에서 평일과 토요일의 특성차이가 큰 것으로 파악되었으므로 강우량에 따른 통행특성 변화는 토요일만 비교대상으로 설정하였다.

통행량 및 총통행거리의 경우, 1종은 강우량에 상관성을 보이지 않으나, 2-5종은 감소경향을 보인다. 반면 평균통행거리는 강우량 증가에 따라 1종은 증가추세를 보이거나, 2-5종은 상관성을 보이지 않는다. 따라서 강우량 증



〈그림 5〉 강우량에 따른 평균통행거리(토요일)

〈표 6〉 강우량에 따른 통행특성 변화(토요일)

일자	구분	합계	1종(일반)	1종(경차)	2종	3종	4종	5종
06. 4. 1(토) 강우량 16.5	통행량 (대)	2,110,354	1,767,377	68,589	116,561	74,193	25,883	57,751
	총통행 거리(km)	122,641,416	102,004,248	3,098,549	6,686,399	5,977,244	1,376,568	3,498,408
	평균통행 거리(km)	58.1	57.7	45.2	57.4	80.6	53.2	60.6
06. 6. 10(토) 강우량 39.5	통행량 (대)	2,127,696	1,777,905	67,585	118,634	78,017	26,575	58,980
	총통행 거리(km)	125,982,531	104,599,821	3,082,104	6,973,810	6,390,514	1,447,142	3,489,140
	평균통행 거리(km)	59.2	58.8	45.6	58.8	81.9	54.5	59.2
06. 5. 6(토) 강우량 93.0	통행량 (대)	1,945,735	1,686,670	63,587	80,389	61,192	15,400	38,497
	총통행 거리(km)	122,118,373	106,399,756	3,201,562	4,386,236	4,843,149	902,243	2,385,427
	평균통행 거리(km)	62.8	63.1	50.3	54.6	79.1	58.6	62.0

가에 따라 1종은 단거리 통행이 더 민감하게 반응하여 단거리 차량의 통행량이 줄며, 2-5종은 전체적으로 통행량이 감소하는 것으로 판단할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

우리나라는 4계절의 기후 변화가 뚜렷하여 계절별로 다양한 기상 상황이 발생된다. 이러한 기상조건은 운전자의 통행선택에 영향을 미쳐 기종점통행 특성도 변화될 것이다. 그러나 기상조건과 통행량과의 관련성을 검토한 연구는 거의 전무한 실정이다. 기존의 기상관련 교통분야의 연구는 기상조건과 도로의 구간성능이나 교통사고와의 관계에만 초점을 두어 왔다.

강우시 차종별로, 주말/평일 등 요일특성에 따라 운전자들은 출발시각 선택, 목적지선택, 수단선택, 경로선택 등 다양한 선택을 할 것이다. 기존 연구에서는 이러한 기상조건 변화시 통행특성 변화를 무시하고 최종결과인 구간교통특성만 분석하였다. 본 연구에서는 강우시와 맑은 날의 통행량, 총통행거리, 평균통행거리 등 통행특성의 변화를 차종별, 주말/평일로 구분하여 제시하였다.

본 연구에서는 기상자료를 검토한 후 일정 강우일을 선정한 후 해당 선정일과 인접한 동일 요일 맑은 날의 차종별 통행량, 통행거리 등의 통행특성을 파악하였다.

분석결과 우선 맑은 날과 비교하여 강우시 총통행량은 대부분 감소하였다. 주행거리는 1종의 경우 통행량보다 감소폭이 컸으나, 2, 4, 5종의 경우 강우시 평균통행거리가 오히려 증가하였는데, 강우시 단거리 화물통행이 장거리 화물통행보다 감소폭이 더 크기 때문인 것으로 판단된다.

평일과 토요일의 맑은 날/강우일 통행특성을 비교한 결과, 평일의 경우 1종 차량들은 강우시 통행량 감소율에 비해 총통행거리의 감소율이 더 컸다. 화물차량들의 경우 1종 차량 통행보다 통행량 감소나 총통행거리 감소폭이 작았는데, 화물의 경우 통행특성상 기상변화에 1종 차량보다 선택이 자유롭지 못한 결과로 추정된다.

토요일의 경우 강우시 1종보다 다른 차종의 통행량 및 총통행거리의 감소폭이 더 컸다. 평균통행거리의 경우 강우시가 맑은 날보다 오히려 더 큰

데, 이는 승용차는 토요일에 일반적으로 여가나 관광, 친지방문 등으로 인해 평소의 통행거리보다 긴 장거리 통행을 하기 때문인 것으로 판단된다. 화물차량의 경우 강우시 2,3종은 평균통행거리가 감소했는데 반해 4,5종은 오히려 증가하여 4,5종과 같은 대형화물차들은 단거리 통행과 장거리 통행 화물에 따라 강우에 대한 통행선택이 서로 크게 다르다는 것을 알 수 있다.

강우량에 따른 통행특성을 분석한 결과, 강우량 증가에 따라 1종은 단거리 통행이 더 민감하게 반응하여 단거리 차량의 통행량이 줄며, 2-5종은 전체적으로 통행량이 감소하는 것으로 판단되었다.

향후연구로 강우뿐만 아니라 강설, 안개 등으로 기상조건을 다양화하고, 분석대상 일도 확대하여 통행특성의 변화를 통계적으로 파악하여야 할 것이다. 또한 출퇴근시간과 비침두시 시간대로 구분하여 기상조건이 통행선택에 미치는 영향을 좀 더 명확히 파악하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 기상청(2005), 날씨 활용 사례집(1)-기상은 경제다-
2. 박창수, 장진환(2004), AADT 추정시 강설량에 따른 날씨보정계수 개발에 관한 연구, 서울도시연구 제5권 제2호.
3. 장덕형(1998), 도로기상여건과 교통류 상관관계에 관한 기초연구, 대한교통학회지.
4. 최정순·손봉수·최재성(1999), 기상조건에 따른 도시고속도로 교통류 변화 분석, 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회, pp.29~39.
5. 한국도로공사, 2006년 상반기 고속도로 TCS 자료.
6. Brodsjy, Veinoglou and Bernard Hakkert,(1988), The Effect of weather on the relationship between flow and Occupancy on freeways.
7. TRRL(1998), The Environmental Influence of rain on Roadway capacity.
8. <http://www.kma.go.kr>.