



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

기
상
및
교
통
조
건
이
고
속
도
로
교
통
사
고
심
각
도
에
미
치
는
영
향
분
석

석사학위논문

기상 및 교통조건이 고속도로 교통사고
심각도에 미치는 영향분석

Effects of Weather and Traffic Conditions
on Accident Severity on Freeways

최새로나

한양대학교 대학원

최
새
로
나

2011년 2월

석사학위논문

기상 및 교통조건이 고속도로 교통사고
심각도에 미치는 영향분석

Effects of Weather and Traffic Conditions
on Accident Severity on Freeways

지도교수 오 철

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출합니다.

2012년 2월


한양대학교 대학원


교통공학과

최 세 로 나

이 논문을 최세로나의 석사학위 논문으로 인준함.

2012年 2月

심사 위원장 김 성 호 

심 사 위 원 오 절 

심 사 위 원 오 성 호 

한 양 대 학 교 대 학 원

< 차례 >

1. 서론	1
1.1. 연구의 배경 및 목적	1
1.2. 연구의 내용 및 범위	4
1.3. 연구의 의의	5
1.4. 연구 수행 절차	5
2. 기존문헌고찰	6
2.1. 개요	6
2.2. 속도와 교통사고 관련 연구	6
2.3. 속도 분산과 교통사고 관련 연구	7
2.4. 기상상태와 교통사고 관련 연구	9
2.5. 속도관리와 도로·교통특성 관련 연구	14
2.6. 이상기후와 도로·교통특성 관련 연구	18
2.7. 이상기후와 교통류의 속도 관련 연구	22
2.8. Research Opportunity	27
3. Dataset 구축 및 변수 설정	29
3.1. 개요	29
3.2. 분석대상 노선선정	30
3.3. 이상치 및 결측치 보정	32
3.4. Data Description	33
3.5. 변수 설정	34

4. 분석방법론	39
4.1. 개요	39
4.2. 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistic Regression)	40
4.3. 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)	45
5. 분석결과	48
5.1. 개요	48
5.2. 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교분석	51
5.3. 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	79
5.4. 사고유형별 교통사고 심각도 영향요인 분석	100
5.5. 종합결과	123
6. 결론 및 향후연구과제	130
6.1. 결론	130
6.2. 향후연구과제	134
References	136

< 표 차 례 >

<표 1> 인명피해의 교통사고 등급분류 기준	3
<표 2> 속도와 교통사고 관련 연구	7
<표 3> 속도 분산과 교통사고 관련 연구	9
<표 4> 기상상태와 교통사고 관련 연구	12
<표 5> 제한속도 변경 후 주행속도의 변화	15
<표 6> 국내 제한속도 상향 사례 분석결과 (도로 종류별)	16
<표 7> 국내 제한속도 하향 사례 분석결과 (도로 종류별)	16
<표 8> 국외 제한속도 상향 및 하향에 대한 효과분석 연구	17
<표 9> 이상기후와 도로·교통특성 관련 연구	20
<표 10> 이상기후와 교통류의 속도 관련 연구	26
<표 11> Dataset 구성 자료 개요	29
<표 12> 고속도로 노선의 기상별 사고현황	30
<표 13> 노선선정기준에 따른 분석대상노선 선정과정	32
<표 14> 노선 및 심각도별 사고건수의 Data Description	33
<표 15> 변수명 설정 개요	36
<표 16> 로지스틱 모형의 사고발생 확률	42
<표 17> 분석별 Data 기술통계	49
<표 18> 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교 분석 시나리오	51
<표 19> 기상 및 심각도별 교통특성 분석을 위한 Data Description	53
<표 20> 기상별 속도의 기술통계량	54
<표 21> 기상별 속도평균에 대한 분포 및 분산분석 결과	55
<표 22> 기상별 속도표준편차의 기술통계량	56
<표 23> 기상별 속도표준편차 분포 및 분산분석 결과	57

<표 24> 기상별 V/C의 기술통계량	58
<표 25> 기상별 V/C의 분포 및 분산분석 결과	59
<표 26> 정상기후시 심각도에 따른 V/C의 기술통계량	60
<표 27> 정상기후시 심각도에 따른 V/C 분포 및 t검정 결과	61
<표 28> 강설시 심각도에 따른 속도의 기술통계량	62
<표 29> 강설시 심각도에 따른 속도 분포 및 t검정 결과	63
<표 30> 화물차사고의 기상별 속도 기술통계량	64
<표 31> 화물차사고의 기상별 속도 분포 및 분산분석 결과	65
<표 32> 화물차사고의 기상별 속도표준편차 기술통계량	66
<표 33> 화물차사고의 기상별 속도표준편차 분포 및 분산분석 결과	67
<표 34> 화물차사고의 기상별 V/C 기술통계량	68
<표 35> 화물차사고의 기상별 V/C 분포 및 분산분석 결과	69
<표 36> 차-시설사고의 기상별 속도 기술통계량	70
<표 37> 차-시설사고의 기상별 속도 분포 및 분산분석 결과	71
<표 38> 차-시설사고의 기상별 V/C 기술통계량	72
<표 39> 차-시설사고의 기상별 V/C 평균에 대한 분산분석 결과	73
<표 40> 차-시설사고의 강설시 심각도별 속도 기술통계량	74
<표 41> 차-시설사고의 강설시 심각도별 속도 분포 및 t검정 결과	75
<표 42> 추돌사고의 기상별 속도 기술통계량	76
<표 43> 추돌사고의 기상별 속도 분포 및 분산분석 결과	77
<표 44> 독립변수간 상관관계	81
<표 45> 기상별 사고심각도 영향요인 분석 시나리오	82
<표 46> 기상별 사고심각도 영향요인 최종 분석 시나리오	85
<표 47> 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description	87
<표 48> 정상기후시 심각도 영향요인 분석	89

<표 49> 정상기후 모형의 Pseudo Elasticity와 Marginal effects 검토	90
<표 50> 이상기후시 심각도 영향요인 분석	93
<표 51> 이상기후 모형의 Pseudo Elasticity와 Marginal effects 검토	94
<표 52> 기상별 사고심각도 영향요인 모형비교	96
<표 53> 정상기후시 심각도 영향요인 분석 결과	98
<표 54> 이상기후시 심각도 영향요인 분석 결과	99
<표 55> 사고유형에 따른 사고심각도 영향요인 최종 분석 시나리오	100
<표 56> 화물차사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description ···	102
<표 57> 화물차사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석	104
<표 58> 화물차사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석	105
<표 59> 화물차사고의 기상별 모형비교	107
<표 60> 화물차사고의 기상별 심각도 영향요인 분석 결과	108
<표 61> 차-시설사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description ·	109
<표 62> 차-시설사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석	111
<표 63> 차-시설사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석	113
<표 64> 이상기후시 차-시설사고의 상·하류부 속도차 그룹별 속도 평균 비교 ···	114
<표 65> 차-시설사고의 기상별 모형비교	115
<표 66> 차-시설사고의 기상별 심각도 영향요인 분석 결과	117
<표 67> 추돌사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description	118
<표 68> 추돌사고의 기상별 심각도 영향요인 분석	120
<표 69> 추돌사고의 기상별 모형비교	121
<표 70> 추돌사고의 기상별 심각도 영향요인 분석 결과	122
<표 71> 종합결과표	127

< 그림 차례 >

<그림 1> 이상기후의 정의	1
<그림 2> 최근 5년간 기상별 고속도로 사고현황	2
<그림 3> 최근 5년간 심각도 A사고의 기상별 고속도로 사고현황	3
<그림 4> 차-시설사고 및 추돌사고의 비율	4
<그림 5> 연구 수행절차	5
<그림 6> 속도분포와 사고위험도	8
<그림 7> Dataset 구성형태	30
<그림 8> 변수설정 개요	34
<그림 9> 분석방법론별 종속변수 및 독립변수 설정 개요	39
<그림 10> 교통사고 발생확률 예시	41
<그림 11> 분석흐름도	48

국 문 요 지

교통사고는 인적요인, 도로환경요인, 기상환경요인, 교통환경요인, 차량요인 중 하나의 요인이거나 안전하지 못할 때 발생하게 된다. 특히, 운전자의 시인성 및 노면마찰력을 저하시키는 이상기후는 사고발생 개연성 및 사고발생시 심각도를 증가시켜 도로의 안전성 및 이동성에 부정적인 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 운전자 시인성 및 노면마찰력을 저하시키는 이상기후 조건에서의 교통특성을 분석하고, 교통사고 발생시 심각도 증가에 유의한 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

본 연구에서는 최근 3년간(2008~2010년) 고속도로 사고자료, 검지기자료, 기상자료를 매칭하여 사고-기상-교통특성 Dataset을 구축하였다. 기상 및 교통조건과 교통사고 심각도와의 관계를 도출하기 위하여 인적특성, 기하구조특성, 차량특성, 교통특성, 환경특성에 대한 변수를 설정하였다. 기상별로 분석한 결과를 통계적으로 비교분석하여 기존연구와의 차별성을 부여하였다.

기상조건 및 심각도 따른 속도, 속도의 표준편차, V/C 등의 교통특성을 분석하였으며, 이항 로지스틱 회귀분석 및 순서형 프로빗 모형을 이용하여 사고 심각도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 독립변수를 도출하였다. 정상기후와 이상기후시 심각도 영향요인을 각각 도출하여 통계적인 차이가 있는지 비교하였다.

사고발생시 심각도가 타 차종에 비하여 높게 나타나는 화물차사고와 교통사고유형 중 발생비율이 높은 차-시설사고, 추돌사고의 세 가지 사고유형에서 사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 기상 및 교통조건 관련 변수를 도출하여 모형간 비교분석을 수행하였다.

분석 결과 기상조건 및 심각도에 따른 교통특성 분석에서는 이상기후시 속도 및 V/C는 감소하였으며, 속도의 표준편차는 증가하는 것으로 나타났다. 강설시에는 심각한 사고가 경미한 사고보다 평균속도가 높은 것으로 나타났으며, 기상의 영향을 배제한 상태에서 심각도에 따른 V/C를 비교한 결과, 심각한 사고에서 V/C가 낮은 것으로 나타났다.

기상별 사고심각도 영향요인 분석에서는 순서형 프로빗 모형을 이용하여 기상별 심각도 영향요인을 분석한 결과, 정상기후 모형에서 통계적으로 유의하게 도출된 요인은 주야, 차종, 속도의 변동계수로 나타났다. 이상기후 모형에서는 차종, 내리막여부, 사고위치, 상류부15분전속도, 속도의 변동계수가 사고심각도 증가에 유의한 변수로 도출되었다.

화물차사고의 경우 정상기후시 제한속도 초과값에 대한 변수가 유의하게 도출되었다. 이상기후 모형에서는 전체사고와 마찬가지로 내리막일 때, 사고위치가 교량 또는 터널일 때, 속도가 높을수록, 속도의 변동계수가 클수록 사고의 심각도는 증가하는 것으로 나타났다.

차-시설사고에서는 정상기후시 야간일 때, 중차량일 경우 사고 심각도는 증가하는 결과가 나타났으며, 이상기후시에는 중차량일 경우, 속도가 높을수록, 속도의 변동계수가 클수록 사고 심각도가 증가하는 결과가 나타났다.

본 연구의 결과를 활용하여 향후 고속도로 안전성 증대를 위한 다양한 기상 대응 관련 운영정책의 제안, 분석 및 평가단계에 활용함으로써 효과적인 교통류 관리전략의 공학적인 근거자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 최근까지 사고심각도 예측 모형이 많이 개발되어 왔으나 본 연구의 결과를 활용하면 기상상태를 반영하여 차별화된 심각도 예측모형 개발이 가능할 것으로 판단된다. 향후 개별차량 경고정보 제공관련 교통류 관리전략 수립시 본 연구의 결과를 활용하여 실시간 기상상황을 고려한 경고정보 생성이 가능할 것으로 판단된다. 운전자에게 보다 신뢰성 있는 정보를 제공하고 도로·교통환경에 유연하게 대응하는 전략 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

교통사고는 인적요인, 도로환경요인, 기상환경요인, 교통환경요인, 차량요인 중 하나의 요인이라도 안전하지 못할 때 발생하게 된다. 기상상태는 운전자의 시인성과, 차량 및 도로 간 마찰력에 결정적 역할을 하므로 도로 이용시 안전성과 이동성에 큰 영향을 미치는 요인이라 할 수 있다.

특히, 이상기후 등의 불안정한 기상상태는 운전자의 시인성 및 노면마찰력을 저하시켜 교통조건을 불안정하게 하며, 사고발생 개연성을 증가시키는 등 안전성 및 이동성에 부정적인 영향을 미치게 된다. 따라서 기상에 따른 도로·교통조건 관련 교통사고 영향 요인을 분석하고 이를 비교하여 교통사고 예방 및 교통사고 심각도 감소를 위한 대책마련이 필요하다.

본 연구에서는 운전자의 시인성 또는 노면상태에 영향을 미치지 않는 양호한 기상상태를 ‘정상기후’로 정의하였으며, <그림 1>과 같이 강우 또는 강설로 인하여 시인성 저하 및 노면마찰력 저하를 유발하여 운전자가 고속도로 이용시 기상상황으로 인한 영향을 받을 수 있는 기상상태를 ‘이상기후’로 정의하였다. 이상기후시에는 운전자의 시인성 저하 및 노면마찰력 감소로 인하여 차-시설사고 및 추돌사고의 건수가 높고, 사고심각도 또한 높게 나타난다.



<그림 1> 이상기후의 정의

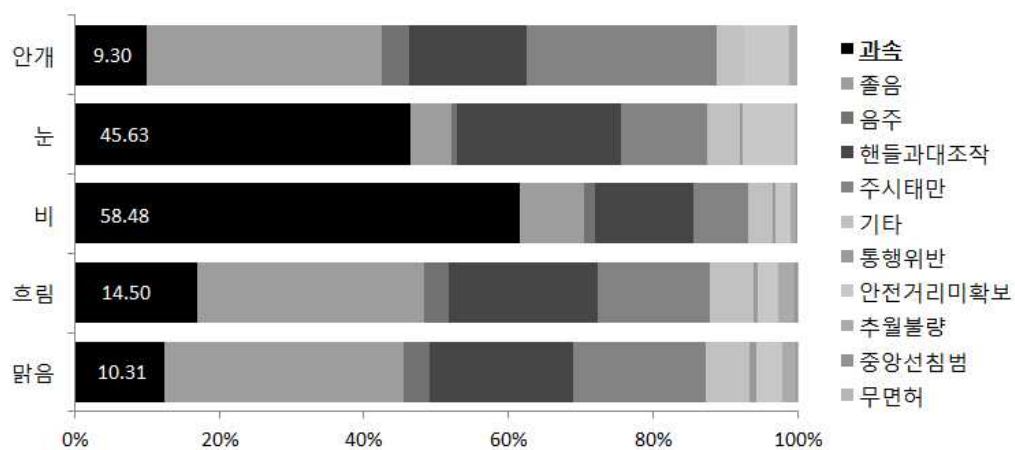
국내 「도로교통법 시행규칙 제 19조」는 다음과 같은 이상기후시 최고 제한속도의 20% 또는 50% 감속하여 운행하도록 제시하고 있다.

첫째, 비가 내려 노면이 젖어있는 경우와 눈이 20밀리미터 미만 쌓인 경우 최고속도의 20%를 줄인 속도로 운행함

둘째, 폭우·폭설·안개 등으로 가시거리가 100미터 이내인 경우, 노면이 얼어붙은 경우, 눈이 20밀리미터 이상 쌓인 경우 최고속도의 50%를 줄인 속도로 운행함

그러나 운전자의 자의적인 판단으로 기상상황에 맞는 적정속도로 운행하는 것은 현실적으로 어려운 문제이며, 기상상황에 맞는 속도단속 또한 이루어지지 않고 있다.

최근 5년간(2006~2010년) 기상상황별 고속도로 사고현황¹⁾을 살펴보면, <그림 2>와 같이 강우시 과속사고는 총 사고의 58.48%로 맑음일 때 10.31%에 비하여 약 5.7배 높으며, 강설시 과속사고는 45.63%로 맑음일 때 보다 약 4.4배 높은 것으로 나타났다. 강우 및 강설과 같은 이상기후시 과속으로 인한 사고가 정상기후보다 높은 비율로 발생하고 있음을 확인하였다.



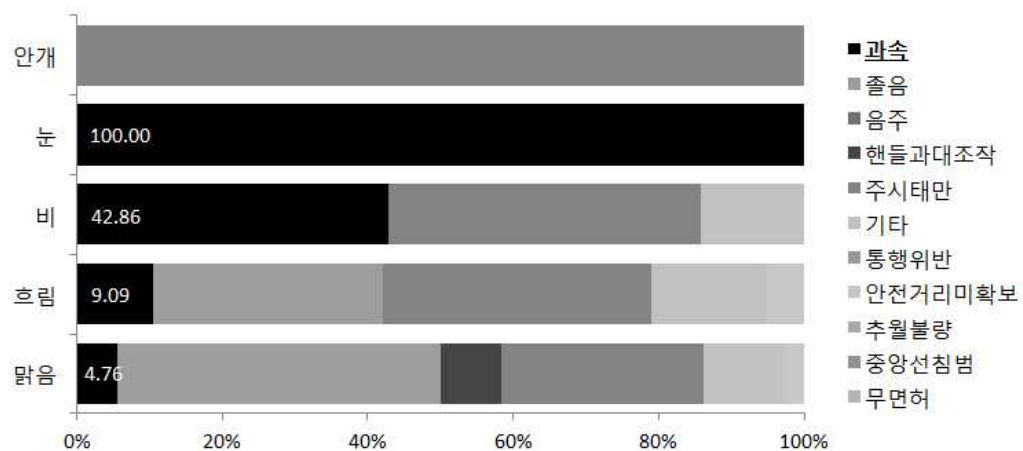
<그림 2> 최근 5년간 기상별 고속도로 사고현황

1) 고속도로 사고자료(2006~2010년)

<그림 3>은 심각도 A사고의 기상상황별 고속도로 사고현황을 나타내고 있다. 심각도 A사고 현황을 살펴보면, 이상기후시 정상기후보다 과속사고 비율이 매우 높게 나타났다.

심각도 A사고란 인명피해 기준으로 사망 3명 이상, 사상 10명 이상, 부상 20명 이상 중 하나를 만족하는 사고를 의미한다. 인명피해의 교통사고 등급분류 기준²⁾은 <표 1>에 자세히 나타나 있다. 본 연구에서는 인명피해도가 높은 심각도 A사고 및 심각도 B사고를 ‘심각한 사고’로 정의하고, 상대적으로 인명피해도가 낮은 심각도 C사고를 ‘경미한 사고’로 정의하였다.

본 연구에서는 이상기후시 교통안전성 증진을 위한 교통류 관리전략 수립시 유용하게 사용될 수 있도록 기후조건과 속도, 교통량, V/C³⁾와 같은 교통조건이 교통사고 심각도에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구를 수행하였다.



<그림 3> 최근 5년간 심각도 A사고의 기상별 고속도로 사고현황

<표 1> 인명피해의 교통사고 등급분류 기준

구분	심각도 A	심각도 B	심각도 C
인명피해	사망 3명 이상 사상 10명 이상 부상 20명 이상	사망 1명 이상 부상 5명 이상	부상 1명 이상

2) 한국도로공사의 교통사고 등급분류기준

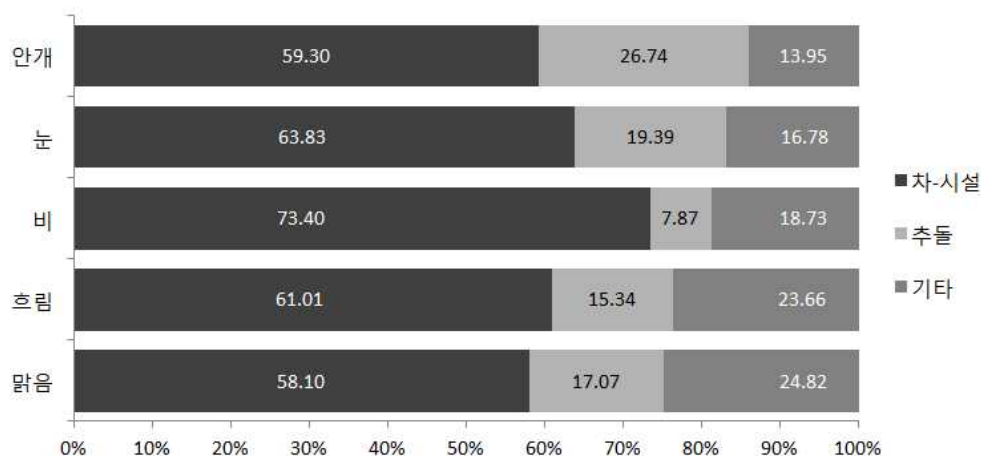
3) Volume/Capacity

1.2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 최근 3년간의 고속도로 사고자료, 검지기자료, 기상자료를 매칭하여 교통사고-속도-기상 Dataset을 구축하였다. 인적요인, 기하구조특성, 차량특성, 교통특성, 환경특성에 관련된 변수를 독립변수로 설정하고 이 중 교통사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

본 연구의 분석내용은 크게 세 가지 내용으로 구성되어 있다. 첫째, 기상조건 및 심각도에 따른 속도, 속도의 표준편차 및 V/C의 분포를 분석하여 기상별 교통특성의 패턴을 분석하였다. 둘째, 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model: OPM)을 이용하여 정상기후와 이상기후시 사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 변수를 각각 도출하고, 비교 분석하였다. 셋째, 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistic Regression: BLR)을 이용하여 화물차사고, 차-시설사고, 추돌사고 등의 사고유형에 대하여 정상기후 및 이상기후시 사고심각도 영향요인을 도출하여 비교 분석하였다.

화물차사고의 경우 사고발생빈도는 타 차종에 비하여 적으나 사고발생시 심각도가 높고, 차-시설사고와 추돌사고는 교통사고유형 중 발생비율이 <그림 4>와 같이 높게 나타나므로 교통사고 심각도에 영향을 미치는 기상 및 교통조건과 관련된 요인에 대한 분석을 수행하였다.



<그림 4> 차-시설사고 및 추돌사고의 비율

1.3. 연구의 의의

본 연구는 기존 연구에서 고려하지 않았던 강우량 및 강설량을 고려하였으며, 기상에 따른 교통사고 심각도 모형을 비교분석한 결과를 제시하여 기존 연구와 차별성을 부여하였다.

본 연구에서는 국내 고속도로 안전성 향상을 위한 정책마련에 근거자료로 활용될 수 있도록 고속도로 사고자료, 검지기자료, 기상자료로 구성된 Dataset을 이용한 분석을 통하여 사고심각도 영향요인을 제시하였다는데 그 의의가 있다.

1.4. 연구 수행 절차

본 연구는 <그림 5>에 제시된 연구 수행절차에 따라 진행하였다.

본 연구와 관련된 국내·외의 기존 연구들을 종합적으로 검토하여 관련문헌 검토에 제시하였다. Dataset 구축 및 변수설정 방법에 대하여 제시하였으며, 분석방법론에서는 본 연구에서 분석시 활용한 이항 로지스틱 회귀분석과 순서형 프로빗 모형에 대한 이론적 배경을 제시하였다. 분석결과에서는 1.2. 연구의 내용에서 제시한 세 가지 분석에 대한 결과를 제시하였다. 마지막으로 본 연구의 결론 및 활용방안과 향후 수행되어야 할 연구과제를 제시하였다.

서론	연구 배경 및 목적
	관련문헌 검토
Dataset 및 변수설정	Dataset 구축 방법
	종속변수 및 독립변수 설정
분석방법론	이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistic Regression: BLR)
	순서형 로짓 모형(Ordered Logit Model: OPM)
분석결과	기상에 따른 속도 및 V/C 분포 비교분석
	기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석
	사고유형별 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석
결론	결론 도출
	활용방안 및 향후 연구과제 제시

<그림 5> 연구 수행절차

2. 기존문헌고찰

2.1. 개요

차량의 주행속도가 교통사고에 미치는 영향은 속도가 높을수록 증가하며, 속도의 분산이 커질수록 사고발생 개연성은 증가하게 된다. 특히 비 또는 눈과 같은 이상기후 발생 시 운전자의 시인성 및 노면마찰력이 저하되어 교통사고 발생시 그 심각도는 정상기후보다 더욱 증가하게 된다.

본 연구에서는 이상기후 시 발생하는 교통사고의 특성을 분석하고, 사고와 차량의 주행속도, 속도분산과의 연관성을 규명하기 위하여 연구된 기존 문헌에 대한 종합적인 검토를 실시하였다.

또한 속도와 교통사고, 속도분산과 교통사고, 기상상태와 교통사고, 속도관리와 도로·교통 특성, 이상기후와 도로·교통 특성, 이상기후와 교통류의 속도에 대한 기존문헌 검토를 통하여 이상기후시 교통특성이 도로안전에 미치는 영향에 대한 기존 연구결과를 제시하였다. 기존문헌고찰 결과를 통하여 본 연구와의 차이점을 제시하였다.

2.2. 속도와 교통사고 관련 연구

ETSC(유럽교통안전연합, 1995)³¹⁾의 연구결과에 따르면 차량의 속도가 30~50km/h 사이에서 사망사고로 발전할 가능성이 결정되고, 충돌 당시 속도가 20km/h일 경우 10%의 사망 확률이 있으나 60km/h일 경우 85%로 증가한다고 제시하였다. 보행자 사고와 관련된 연구에서 자동차 속도가 32km/h일 때 사망자가 5% 이내였으나 48km/h일 때 45%로, 64km/h일 때 80%로 증가한 결과를 얻어 주행속도가 증가함에 따라 보행자의 사망자 비율이 기하급수적으로 증가한다는 결론을 얻었다.

U.S. DOT(2008)⁶⁰⁾는 교통안전과 관련된 보고서에서 2007년 미국 내 사망과 관련된 교통사고 중 31% 정도가 과속으로 발생하였다고 보고한 바 있다.

차량의 속도와 교통사고와의 관계는 일반적으로 운전자의 돌발상황 발생시 회피가능시간과 교통사고 발생 시 충격량의 두 가지 관점에서 설명된다.

차량의 속도가 높아지면 운전자가 돌발상황을 회피할 수 있는 시간이 짧아 지므로 급선회, 급정지 등의 운전행동으로 이어질 수 있으며, 사고 발생 확률 또한 증가한다. 물리적으로 질량과 속도에 관련되는 충격량이 속도의 제곱에 비례하기 때문에 속도가 높아질수록 충격량이 증가하여 사고발생시 그 심각도가 증가하게 된다.

속도와 교통사고 관련 연구의 종합적인 내용을 <표 2>에 제시하였다.

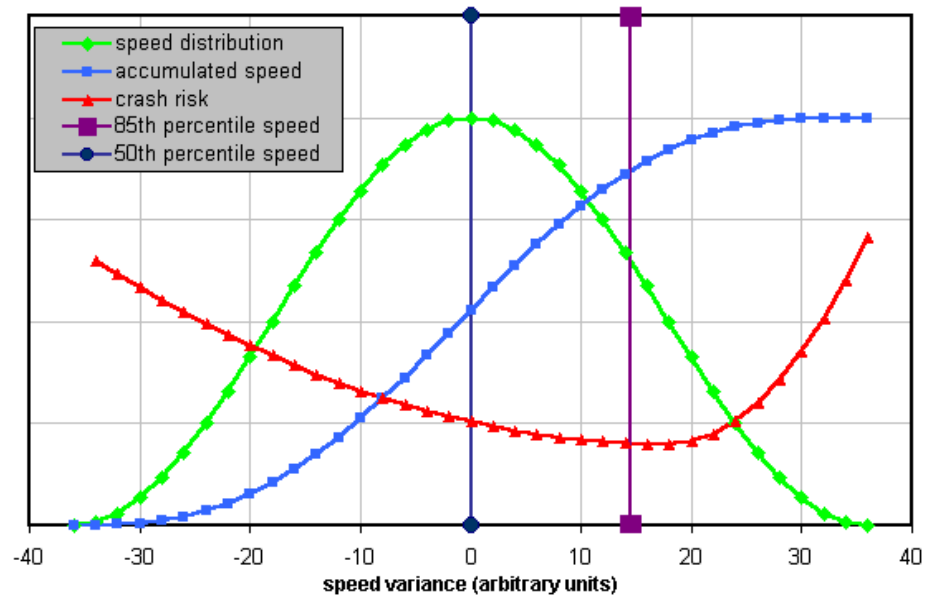
<표 2> 속도와 교통사고 관련 연구

연구자	연도	연구내용
ETSC	1995	• 차량의 주행속도가 증가할수록 보행자의 사망자 비율이 증가함
U.S. DOT	2008	• 사망사고중 31%가 과속으로 인하여 발생한다고 제시함

2.3. 속도 분산과 교통사고 관련 연구

Solomon(1964)⁵⁵⁾은 속도와 사고율간의 관계분석에서 사고율은 차량 평균속도와 근접한 속도로 주행할 경우 가장 낮고, 평균속도 보다 크거나 낮아져도 사고율이 증가한다는 결과를 얻었다. 특히 평균 속도보다 낮은 속도로 주행할 경우 높은 속도로 주행하는 경우보다 사고율은 증가하는 것으로 나타났다. 사고기록을 통하여 각 사고차량들의 속도와, 사고와 유사한 상태에서 측정한 평균 속도를 비교한 결과 사고와 관련된 차량들이 사고와 유사한 상태에서 측정한 상태에서 측정한 속도 분포 범위보다 높거나 낮은 결과를 얻었다. 속도 분포와 사고위험도의 관계를 <그림 6>과 같이 제시하였다.

Cirillo(1968)²⁷⁾는 주간 및 야간에 주행속도와 교통사고와의 관계 분석에서 속도의 편차가 0에 가까울 때 사고발생률이 가장 낮으며, 편차의 절대값이 클수록 사고발생률은 증가한다고 제시하였다.



자료 : http://www.abd.org.uk/speed_limits_85th.htm

<그림 6> 속도분포와 사고위험도

Garber와 Gadiraju(1989)³⁴⁾는 도로 위계별 자료를 이용하여 속도분산과 교통사고의 관계를 분석한 결과 속도의 분산이 증가함에 따라 교통사고율이 증가하는 결과를 얻었다. 속도편차에 비례하며 제한속도가 설계속도보다 8~16km/h 정도 낮은 경우 속도편차가 가장 적은 것으로 나타났다. 평균속도가 증가한다고 해서 반드시 사고가 증가하지는 않으나, 속도분산의 증가에 따라 사고율이 증가한다는 결과를 얻어 차량 속도분산이 사고발생과 밀접한 관계가 있다는 결론을 도출하였다.

속도 분산의 교통사고의 관계는 차량간 속도분산이 클수록 사고발생 개연성은 증가하게 된다. 교통사고와 관련하여 교통사고를 계량화 할 수 있는 방안 에 대하여 국내·외에서 활발한 연구가 진행되었으며, 그 중 속도분산은 교통사고와 관련된 대표적 측정도구로 사용되어왔다. 속도 분산과 교통사고 관련 연구 고찰내용을 정리하여 <표 3>에 제시하였다.

<표 3> 속도 분산과 교통사고 관련 연구

연구자	연도	연구내용
Solomon	1964	• 사고율은 차량 평균속도와 근접한 속도로 주행할 경우 가장 낮고, 평균속도 보다 크거나 낮아져도 사고율이 증가함
Cirillo	1968	• 속도의 편차가 0에 가까울 때 사고발생률이 가장 낮으며, 편차의 절대값이 클수록 사고발생률은 증가함
Garber와 Gadiraju	1989	• 평균속도가 증가한다고 해서 반드시 사고가 증가하지는 않으나 속도분산의 증가에 따라 사고율이 증가한다는 결과를 얻어 차량 속도분산이 사고발생과 밀접한 관계가 있음

2.4. 기상상태와 교통사고 관련 연구

Lynn과 Barnara(1978)⁴⁶⁾는 미국 St. Louis에서 시간별, 요일별, 강우강도에 따른 교통사고 발생률을 조사하였다. 조사 결과, 사고 심각도와는 뚜렷한 상관성은 발견되지 않았지만 시간별 분석에서는 오후 4시~9시에, 요일별 분석에서는 금요일 및 토요일에, 강수량이 많을 때 사고발생률도 증가한다고 제시하였다. 결국 강수량의 변화와 교통사고발생률과는 높은 상관성을 보인다고 제시하였다.

김두희와 이정미(1990)⁴⁾는 기상상태가 인체에 미치는 영향에 중점을 두고 기상에 따른 교통사고 발생양상과 빈도의 대한 분석을 수행하였다. 분석 결과 겨울철이 일(day) 평균 사고건수 및 인적피해사고의 비율이 낮은 것으로 나타났다. 자동차 사고는 기온, 습도, 풍속 등의 기상조건에 따라 각각 다른 특성을 보였으나 계절, 강수량 및 시정거리에 따른 사고발생 분포의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Hogema et al.(1997)³⁷⁾은 안개에 따른 평균속도와 사고건수와의 관계 분석 결과 속도 5kph 감소할 때 사고건수가 약 15%감소하며, 안개가 심한 경우 속

도가 매우 감소하는 경향을 보였다. 차두시간, 차간거리, TTC⁴⁾ 등의 변수는 안개신호시스템으로 인하여 속도가 다소 감소하는 경향을 보였으며, 안개신호시스템이 더욱 안전한 운전을 할 수 있도록 유도한다고 제시하였다.

Nofal(1997)⁴⁷⁾은 계절의 변화에 따른 기상상태와 사고의 연관성에 대한 분석을 수행하였다. 조도 및 날씨조건을 변수화하여 사고와의 상관도 분석을 수행한 결과, 태양광의 집중현상으로 인하여 조도가 가장 높은 여름철 특히 낮 12~3시에 사고가 많이 일어나는 것으로 나타났다. 또한 이는 운전자의 시인성 저하와 연관이 있다고 제시하였다.

Edwards(1998)²⁸⁾는 사고 심각도와 기상상태의 상관관계에 대한 분석을 수행하였다. 강우, 안개, 강풍의 기상조건과 정상기후를 비교 분석한 결과, 교통사고와 상관관계가 가장 높은 기상조건은 안개로 나타났으며, 안개시 사고가 발생할 경우 사고심각도 또한 높게 나타났다.

심관보와 윤정호(1999)¹⁰⁾는 우천시 강우량별 노면상태가 교통사고 발생에 미치는 영향을 포장 등급별로 분석하였다. 분석 결과 강우시 사고율의 경우 포장등급이 낮은 도로에서는 비강우시보다 24~27배 높은 것으로 나타났다. 강우량에 따라서는 포장등급이 낮은 구간에서 강우량 0.1~10mm일 때 사고율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 10mm 이상에서도 높은 것으로 나타났다. 포장등급이 높은 도로의 경우 강우량이 10mm일 때 사고율이 최고 25배까지 증가하는 결과를 얻어 100mm이상의 강우시 포장상태에 따라 사고율이 증가하는 결과를 얻었다.

Knapp(2000)⁴²⁾은 Snowstorm 발생 유무에 따른 사고율을 조사하였다. 1995~1998년 겨울에 Iowa주의 7개 단일로 구간의 사고자료를 이용하여 분석을 수행하였으며, 분석방법론은 포아송기법을 적용하였다. 분석 결과 폭설의 집중도 및 지속성에 따라 사고노출정도가 증가하며, 사고발생비율 또한 증가한다고 제시하였다.

이용택 등(2000)¹⁵⁾은 겨울철의 경우 강우량과 강우일수가 높을수록 사고의 치명도가 높아지며, 여름철의 경우 강우량과 강우일수가 많을수록 사고의 치명도가 떨어진다고 제시하였다. 안개의 경우에는 안개일수가 많을수록 사고의

4) TTC : Time to Collision

치명도가 높아진다고 제시하였다.

Andrey et al.(2003)²¹⁾은 날씨와 사고위험의 연관성에 대한 분석을 실시한 결과 충돌위험은 평상시 날씨보다 강설시 50% 이상 증가하는 것으로 나타났으며 부상위험의 경우는 다소 증가하였고, 겨울 내 강설과 충돌위험이 큰 상관성이 있다는 결과를 얻었다.

Eisenberg(2003)³⁰⁾는 강우가 교통사고 발생에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 1975~2000년 동안 수집된 자료를 이용하여 분석한 결과, 월(month) 강우와 월 사망사고건수는 음의 상관관계를 보였지만, 일(day) 강우와 일 사망사고건수는 양의 상관관계로 나타났다.

이중학 등(2004)¹⁶⁾은 기상상태에 따른 사고원인별 분석에서 전체적으로 안전불이행이 가장 많은 사망사고 구성비를 이루고 있는데, 이 중에서도 강우, 강설 또는 안개와 같은 이상기후 시 중앙선 침범사고가 높은 비율을 차지하고 있으며, 이는 맑은날 보다 높은 비율을 보였다. 사고유형별 분석의 경우 사망건수 구성비는 차대차가 가장 많은 사망사고가 발생하였으며, 이 중 강설시 차량단독 사망사고가 11.5%로 나타나 맑은 날보다 많이 발생하는 것으로 나타났다.

교통안전시설이 부족하다고 판단되는 2차로에서 다른 차선과 비교하였을 때, 악천후시 사망사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 안개의 경우 차량단독 사망사고가 15.1%로 나타나 맑은 날보다 많이 발생하였으며, 단일로에서 사망사고발생률이 높게 나타나 안개가 단일로 사망사고에 영향이 크다고 제시하였다. 곡선반경별 분석에서는 이상기후 시 곡선반경이 340m이하에서 사망사고가 많은 것으로 나타났다.

이호영 등(2006)¹⁷⁾은 안개발생시 시계 및 노면상태가 불량으로 인해 사고발생건수에 비해 사망자가 가장 많아 치사율이 다른 기상상태에 비하여 월등하게 높고, 안개시 발생한 사고는 연쇄충돌과 같은 대형사고화 가능성이 높아 피해자가 많아진다고 제시하였다. 월별 안개생성 패턴 분석 결과 월별 안개시 평균 시정감소율이 35%로 나타났다.

김광원(2007)²⁾은 기상요소가 교통사고 중 사망사고에 영향을 미친다는 가설을 설정하여 분석한 결과, 강수가 사망사고에 가장 영향을 미친다는 결과

를 얻었다. 눈·비 오는 날과 눈·비 오는 전·후날을 강수 영향권으로 설정하여 사망사고 발생빈도를 조사한 결과 강수 영향권이 비영향권보다 사망사고가 많이 발생하였으며, 비온 다음 날에 사망사고가 가장 많이 발생하였다고 제시하였다.

김종민 등(2007)⁷⁾은 안개 발생 일수 및 교통사고 현황 분석 결과 2005년 국내 교통사고건수 214,171건에서 안개 낀 날은 사고 발생건수에 비해 사망자가 가장 많아 치사율이 10.9%로 다른 기상 상태에 비하여 높게 나타났으며, 이와 같은 결과는 안개시 발생한 사고는 연쇄 충돌과 같은 대형 교통사고의 가능성이 높기 때문이라고 제시하였다.

Qiu와 Nixon(2008)⁵⁰⁾은 Meta-Analysis를 이용한 사고변화율 계산결과 젖은 노면상태에서 사고 심각도가 300% 이상 증가할 수 있다고 제시하였다. 사고율 변화 비율 분석에서는 비나 눈의 사고율의 평균 변화율이 71%~84%로 나타나 비와 눈은 교통사고 발생에 있어 상당한 관련성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

기상상태와 교통사고와의 관계를 연구한 기존 문헌 검토 결과, 비 또는 눈의 이상기후가 발생했을 경우 정상기후보다 사고 발생률 또는 사고 심각도가 증가하는 것으로 나타났다. 이상기후는 안개 등으로 인한 운전자의 시인성 저하와 습윤, 결빙 등의 노면상태 저하 등의 원인으로 작용하며, 이는 월별, 계절별로도 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이상기후시에는 차-시설사고와 같은 차량 단독사고의 비중이 매우 높은 것으로 나타났다. 기상상태와 교통사고 관련연구 고찰내용을 정리하여 <표 4>에 제시하였다.

<표 4> 기상상태와 교통사고 관련 연구

연구자	연도	연구내용
Lynn과 Barnara	1978	• 강수량의 변화와 교통사고발생률과는 높은 상관성을 보임
김두희와 이정미	1990	• 계절, 강수량 및 시정거리에 따른 사고발생 분포의 차이는 통계적으로 유의하며, 겨울철이 일(day) 평균 사고건수 및 인적피해사고의 비율이 낮은 것으로 나타남

<표 4> 기상상태와 교통사고 관련 연구(계속)

연구자	연도	연구내용
Nofal	1997	• 태양광의 집중현상으로 인하여 조도가 가장 높은 여름철 특히 낮 12~3시에 사고가 많이 일어나는 것으로 나타남
Edwards	1998	• 강우, 안개, 강풍의 기상조건과 정상기후를 비교 분석한 결과, 안개가 교통사고와의 상관관계가 가장 높고, 사고심각도 또한 높게 나타남
심관보와 윤정호	1999	• 100mm이상의 강우시 포장상태에 따라 사고율이 증가하는 결과를 얻음
Khattak	2000	• 폭설의 집중도 및 지속성에 따라 사고노출정도가 증가하며, 사고발생비율 또한 증가함
이용택 등	2000	• 강우량과 강우일수가 많을수록 사고의 치명도가 떨어지며, 안개의 경우에는 안개일수가 많을수록 사고의 치명도가 높아짐
Andrey et al.	2003	• 충돌위험은 평상시 날씨보다 강설시 50% 이상 증가하였으며, 부상위험의 경우는 다소 증가함
Esenberg	2003	• 강우가 교통사고 발생에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과, 일(day) 강우와 일 사망사고건수는 양의 상관관계로 나타남
이종학 등	2004	• 강우, 강설, 안개시 차량단독 사망사고가 맑은 날보다 많이 발생함 • 교통안전시설이 부족하다고 판단되는 2차로에서 다른 차선과 비교하였을 때, 악천후시 사망사고가 많이 발생함 • 안개가 단일로 사망사고에 영향이 크다고 제시함
이호영 등	2006	• 안개발생시 시계 및 노면상태가 불량으로 인해 치사율이 다른 기상상태에 비하여 월등하게 높음 • 안개시 발생한 사고는 연쇄충돌과 같은 대형사고화 가능성이 높아 피해자가 많아짐
김광원	2007	• 강수가 사망사고에 가장 영향을 미치며, 강수영향권인 경우 사망사고가 많이 발생함
김종민	2007	• 안개 낀 날은 사고 발생건수에 비해 사망자가 가장 많아 치사율이 10.9%로 다른 기상 상태에 비하여 높게 나타남
Qiu와 Nixon	2008	• 젖은 노면상태에서 사고 심각도가 300% 이상 증가할 수 있음 • 비나 눈의 사고율의 평균 변화율이 71%~84%로 나타나 비와 눈은 교통사고 발생에 있어 상당한 관련성을 가짐

2.5. 속도관리와 도로 · 교통특성 관련 연구

2.5.1. 제한속도와 도로 · 교통특성

Spitz(1984)⁵⁶⁾는 운전자가 선택하는 속도와 제한속도에 대한 분석을 실시한 결과, 대부분의 운전자는 자신이 주행속도를 선택하는 경우가 많고 제한속도가 상황과 다를 경우 제한속도의 영향은 없거나 약간 있으며, 제한속도가 운전자의 주행속도에 어느 정도 영향은 주지만 제한속도의 설정이 비현실적인 경우 준수율이 매우 낮다고 제시하였다.

Garber와 Gadiraju(1989)³⁴⁾는 제한속도에 관계없이 설계속도가 높은 도로에서 통행속도가 높은 사실을 바탕으로 차량의 속도가 운전자가 판단하는 위험 수준에 기인함을 공학적 자료를 통하여 입증하였다.

Freedman과 Esterlitz(1990)³²⁾는 미국의 제한속도 상향 후, 차량들의 주행속도에 대한 조사를 실시한 결과, 그 해에 주행속도 70mi/h를 초과하여 운행하는 차량수가 2배로 증가하였으며 평균속도가 3mi/h 정도 높아졌다고 제시하였다.

Parker(1992)⁴⁸⁾는 운전속도와 제한속도, 그리고 사고율과의 관계를 분석한 연구에서 대부분의 운전자들은 자신이 공감할 수 없는 낮은 제한속도를 지키기 위해 속도를 변경하지 않는다고 제시하였다. 제한속도를 상향할 경우 차량속도가 높아지는가에 대한 관계는 명확하지 않으나 사고는 감소되는 경향이 있다고 제시였다.

Retting과 Greene(1992)⁵²⁾는 미국 캘리포니아 강변로와 휴스턴의 시내고속도로를 대상으로 제한속도의 상향 전후에 대하여 주행속도 70mi/h를 초과하는 차량대수를 비교분석하였다. 그 결과 캘리포니아에서는 29%에서 41%로, 휴스턴에서는 15%에서 50%로 증가하여 제한속도 상향이 통행속도 증가에 영향이 미친다는 결과를 얻었다.

Baruya(1998)²²⁾는 속도와 사고와의 관계를 종합적으로 연구한 결과 제한속도나 교통량, 도로의 기하구조, 과속운전자 및 저속운전자의 비율 등이 평균속도, 속도분산 등과 같은 속도변수에 밀접한 관계를 가진다고 제시하였다.

김양중(2010)⁶⁾은 고속도로 주행패턴을 고려한 최적제한속도 상향 방안에 관한 연구에서 경부고속도로의 85% 주행속도를 분석한 결과, 구간별, 차로별로 차이는 있으나 전체적으로 제한속도 범위에 있는 것으로 조사되었다고 제시하였다. 제한속도 상향시 85% 주행속도도 증가할 것이라 제시하였다.

대부분의 운전자들은 제한속도의 설정이 본인의 안전운전에 도움이 되고 제한속도를 위반할 경우 그 결과에 대한 심각성을 인식하고 있다. 그러나 실제 주행환경에서는 도로·교통 조건, 타 차량의 주행속도 등 외부의 환경요인으로 준수하기 힘들다는 태도를 보이고 있으며, 실제로 운전자들은 이러한 이유로 인하여 제한속도를 위반하고 있다.

제한속도를 변경했을 때 그에 따른 주행속도 변화에 관련된 연구는 <표 5>와 같이 나타났다. 일반적으로 제한속도를 상향했을 때 평균속도는 증가하는 연구결과가 있었으며, 제한속도 변화와 관계없이 주행속도는 설계속도와 관련된다는 연구결과도 있었다.

<표 5> 제한속도 변경 후 주행속도의 변화

연구자	대상국가	비교기준	연구결과
Freedman & Esterlitz(1987)	미국	• 제한속도 상향 후 1년 속도변화 비교	• 70mi/h를 초과한 차량수 2배 증가 및 평균속도 3mi/h 증가
Garber & Gadiraju(1988)	미국	• 속도에 영향을 미치는 요소 분석	• 제한속도에 관계없이 설계속도에 영향을 받음
Retting & Greene(1992)	미국	• 제한속도 상향 후 속도변화 분석	• 70mi/h를 초과한 차량수가 캘리포니아 경우 29%→41%, 휴스턴의 경우 15%→50%로 증가
FHWA(1992)	미국	• 1985~1991 7년간 속도변화 비교	• 1987년 제한속도를 65mi/h로 증가시 평균속도가 1~2mi/h 상승하였으며 과속운전자가 감소함
		• 제한속도 폐지 전후 비교	• 주행속도 2mi/h 증가
Finch et al.(1994)	각국자료 취합	• 제한속도 변화시 속도의 변화폭 분석	• 제한속도 변화량의 약 1/4로 나타남
Parker(1997)	미국	• 제한속도 상향 후 속도변화 및 변화폭 분석	• 제한속도를 -15~20mi/h로 변경한 결과 상향시 5mi/h, 하향시 5~10mi/h 미만의 변화가 나타남
Baruya(1998)	각국자료 취합	• 속도변수에 영향을 미치는 요소 분석	• 제한속도, 교통량, 도로 기하구조, 과속 및 저속운전자 비율은 속도변수와 밀접한 연관성 있음

자료 : 김규옥(2006)³⁾, "첨단교통정보를 활용한 도로운영 및 제어방안 연구", 한국교통연구원

2.5.2. 제한속도 상향 및 하향에 따른 교통사고 분석

경찰청(2006)¹⁾에서는 국내·외 제한속도 조정사례를 검토한 결과, 전반적으로 제한속도 하향 조정 시 교통사고가 감소하고, 상향 조정 시 교통사고가 증가하는 결과를 얻었다. 그러나 이러한 현상은 단속류 구간에서 뚜렷하게 나타났으나 연속류에서는 교통사고 증감이 다소 미미한 것으로 나타났다.

경찰청의 제한속도 조정에 따른 교통사고 증감에 대한 도로등급별 조사결과는 <표 6>, <표 7>과 같이 나타났다.

<표 6> 국내 제한속도 상향 사례 분석결과 (도로 종류별)

상향범위(km/h)	도로등급	사고 증가(건)	사고 감소(건)	변화 없음
10	광역시도(13개)	13 (100.0%)	0 (0.0%)	-
	일반국도(30개)	13 (43.3%)	14 (43.3%)	3 (10.0%)
	지방도(17개)	12 (70.6%)	5 (29.4%)	-
	시도(27개)	24 (88.9%)	2 (7.4%)	1 (3.7%)
20	일반국도(20개)	9 (45.0%)	8 (40.0%)	3 (15.0%)
	지방도(6개)	3 (50.0%)	3 (50.0%)	-
	시도(15개)	8 (53.3%)	5 (33.3%)	2 (13.3%)
30	지방도(1개)	-	-	1 (100.0%)
	시도(1개)	-	1 (100.0%)	-
합 계	130	82 (63.6%)	171 (29.5%)	10 (7.8%)

<표 7> 국내 제한속도 하향 사례 분석결과 (도로 종류별)

하향범위(km/h)	도로등급	사고 증가 구간개수	사고 감소 구간개수	변화 없음
10	광역시도(1개)	-	1 (100%)	-
	일반국도(5개)	-	5 (100%)	-
	지방도(4개)	1 (25%)	3 (75%)	-
	시도(20개)	4 (20%)	15 (75%)	1 (5%)
20	일반국도(9개)	3 (33.3%)	5 (55.6%)	1 (11.1%)
	지방도(1개)	-	1 (100%)	-
	시도(21개)	4 (19%)	13 (61.9%)	4 (19.1%)
30	일반국도(4개)	-	3 (75%)	1 (5%)
	지방도(3개)	-	3 (100%)	-
	시도(3개)	-	3 (100%)	-
합 계	71	12 (16.9%)	52 (73.24%)	7 (9.86%)

자료 : 경찰청(2006)¹⁾, "합리적인 최고속도 제한방법 연구"

제한속도 변경에 따른 평균속도 및 교통사고 영향을 조사 분석한 연구는 <표 8>과 같다. 연구 결과에 따르면, 제한속도 상향조정 시 차량의 평균 주행속도가 높아졌으며, 사고와 치사율이 증가한다고 제시하였다. 그러나 일부에서는 제한속도의 조정이 차량속도 또는 사고율 및 치사율에도 영향을 미치지 않았거나 오히려 감소했다는 상반된 결과를 제시하여 제한속도가 주행속도에 미치는 영향이나 사고발생에 대한 관계를 명확하게 단정 짓지 못하고 있다.

<표 8> 국외 제한속도 상향 및 하향에 대한 효과분석 연구

구분		분석자	분석결과
제한속도 상향범위	100→110	Sligeris Australia (1992)	부상사고 25% 증가
	89→105	NHTSA USA (1989)	사망사고 35% 증가
	89→105	Mc Knight, Kleinand Tippetts USA (1990)	사망사고 22% 증가
	89→105	Garber and Graham USA (1990)	사망사고 15% 증가
	89→105	Baum et al. USA(48개 주) (1991)	사망사고 19% 증가
	89→105	Streff and Schultz USA(Michigan) (1991)	사망/부상사고 증가
	89→105	Pant, Adhami and Niehaus USA(Ohio) (1992)	부상/물피사고 증가, 사망사고 변화 없음
	89→105	NHTSA USA(48개 주) (1992)	사망사고 27% 증가
	89→105	Lave and Elias USA(48개 주) (1996)	14개 주에서 사망사고율 3~5% 감소
제한속도 하향범위	60→50	Engel Denmark (1990)	사망사고 24% 감소 부상사고 9% 감소
	110→100	Sligeris Australia (1992)	부상사고 19% 감소
	130→120	Finch et al. Switzerland (1990)	사망사고 12% 감소
	60→50	Scharping Germany (1990)	전체 사고 20% 감소
	100→80	Peltola UK (1991)	전체 사고 14% 감소
	5~20	Newstead and Mullan Australia (1991)	변화 없음
	5~20	Parker USA (1992)	변화 없음
	110→90	Nilsson Sweden (1996)	사망사고 21% 감소

자료 : 1) Stuster(1998)⁵⁷⁾, "Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Limits", FHWA

2) TRB Special Report 254(1998)⁵⁸⁾, "Managing Speed, Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limit", TRB

2.6. 이상기후와 도로 · 교통특성 관련 연구

Kleitsch et al.(1971)⁴¹⁾은 비 오는 날과 맑은 날에 고속도로의 용량에 대한 차이가 있는지 비교하기 위한 연구를 수행하였다. 비 오는 날 4시간 동안의 검지기로 수집된 자유속도 및 용량 자료를 이용하여 One-Way Analysis를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석 결과 검지기를 설치한 5개의 지점 중 3개의 지점에서 비 오는 날 용량이 맑은 날과 비교하였을 때 8% 감소된 것으로 나타나 강우시 고속도로의 평균 자유 속도가 감소하는 것으로 분석되었다.

Ibrahim et al.(1994)³⁹⁾은 ASOS(Automated Surface Observing Systems)와 AWOS(Automated Weather Observing System)으로부터 획득한 자료를 통해 눈과 같은 기상상태별 교통류 변수간의 상관관계를 분석한 결과 용량은 최대 20% 감소하는 것으로 나타났다. 기상상황은 혼잡밀도에 미치는 영향은 거의 없으나 자유속도, 용량 및 용량상태에서의 속도에는 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Edwards(1999)²⁹⁾는 양방향 2차로 도로의 Eastbound 바깥 차로에서 수집된 차량 200대를 대상으로 기상상태에 따른 교통행태 분석한 결과 비가 다른 기상조건에 비하여 속도의 변수값이 가장 낮게 나타났다. 교통량의 경우는 젖은 도로, 눈, 안개 순으로 교통량이 감소하는 결과가 나타났다.

최정순 등(1999)¹⁹⁾은 기상상태 맑음과 우천시의 속도-교통유율, 점유율-교통유율을 비교분석하였다. 같은 교통유율 수준에서 우천시 차량의 주행속도 감소로 점유율이 증가하는 것으로 나타나, 최대 서비스 교통유율이 감소하여 궁극적으로 도로의 소통능력이 저하되는 상황을 보인다고 제시하였다.

Prevedouros et al.(2004)⁴⁹⁾은 신호교차로의 포화교통유율, 유효녹색시간, Progression 자료와 강우측적데이터를 사용하여 시간대별 강우확률을 유도할 수 있는 자료를 이용하여 신호교차로의 LOS에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 포화교통유율, 유효녹색시간, 연동 등 모든 요소가 평균제어지체와 LOS에 영향을 미치며, 기상조건에도 영향을 받는 것으로 나타났다.

전우훈(2004)¹⁸⁾은 악천후일 경우 맑은 상태보다 시계 및 노면상태가 불량하여 치사율이 매우 높게 나타났으며, 강우, 강설, 안개 등의 기상상태는 운전자

에게 현저한 시인성의 저하를 일으키고 미끄럼 현상이 증대되어 차량의 단독 사고 비율이 높다는 결론을 얻었다.

Agarwal et al.(2005)²⁰⁾은 기상상태 및 노면 상태가 교통류에 미치는 영향을 분석한 결과 용량의 경우 강우시 최대 10~17%, 강설시 최대 19~27% 감소하는 것으로 나타났다.

Maze et al.(2005)⁴⁵⁾은 폭설 등 악천후 시 운전자는 이용수단 전환, 이용노선 전환, 이동취소 및 연기 등으로 교통수요가 7~56% 감소하는 것으로 나타났다. Iowa주의 5년간 교통사고자료 분석 결과 겨울철 눈 또는 진눈깨비 등으로 인하여 도로 노면상태가 습윤 또는 결빙상태의 교통사고가 전체 교통사고의 21%를 차지하는 것으로 나타났다. 강우, 강설 등의 악천후 시 속도는 감소하고 Headway는 증가하여 도로의 용량은 맑은 날보다 감소하였으며, 통계적 분석 결과 교통량은 강우시 4%, 강설시 22% 감소하였다.

Yet(2005)⁶¹⁾은 기상조건관련 변수들이 교통류 특성에 미치는 영향을 분석한 결과 강우 또는 강설 등에 대하여 통계적 분석 결과 속도 및 용량은 일반적인 날씨에 비하여 감소하는 것으로 나타났다. 강우량, 강설량 등의 수준에 따른 속도나 용량은 통계적으로 차이가 없으며, 온도는 속도 감소와는 통계적으로 유의한 관계가 없는 것으로 나타났으나, 온도의 경우 용량 감소에는 통계적으로 유의한 영향이 있는 것으로 나타났다.

Kathy et al.(2007)⁴⁰⁾은 시인성을 기준으로 맑음, 보통안개, 짙은 안개 3종류로 구분하여, Driving Simulator를 이용한 차량추종 선택에 대한 분석을 실시하였으며, 안개의 농도가 짙어질수록 차두거리가 증가하는 결과를 얻었다.

김성환(2008)⁵⁾은 강우량에 따른 최대 교통유율과 최대 교통유율의 속도, 자유속도 변화를 분석한 결과, 최대 교통유율의 경우 강우량이 0~0.5mm/hr일 때 10.6%, 0.5~2.0mm/hr일 때 19.5%, 2.0mm/hr이상일 때 24.4% 감소하였다.

백승걸 등(2008)⁹⁾은 강우수준별 등급은 10mm미만~110mm미만까지 10등급으로 설정하고 강우 수준별 통행량을 분석하였다. 그 결과 강우량이 높을수록 통행량이 감소하였고, 비강우일 대비 강우일의 총 주행거리는 감소하였다.

Brooks et al.(2010)²⁴⁾은 안개가 낀 상황에서 운전자가 속도 선택을 할 경우, 반응을 조사하기 위하여 속도 인지반응에 중점을 두고 운전자의 운전행태를

분석한 결과, 안개의 농도에 따라 시정거리가 짧아질수록 운전자가 차로를 유지하는 시간이 짧아지는 결과를 도출하였다. 즉 안개 농도가 짙어 시정거리가 짧아지면 운전자는 잦은 차로변경을 한다고 제시하였다.

Shi(2011)⁵⁴⁾은 고속도로 자료를 이용하여 이상기후에서 평면선형, 종단선형, 포장상태 등의 도로환경 parameter를 고려하여 교통류 특성인 속도에 영향을 미치는 변수들을 도출하기 위한 연구를 수행한 결과, 이상기후 시 교통 Parameter-속도 모형을 도출하였다. 강우량과 표면상태에 따른 Greenshields의 속도-교통량 모형의 변화곡선에서 강우량이 증가할수록 Free-Flow- Speed 및 용량이 감소하는 것으로 나타났다.

이상기후의 종류, 강우량, 강설량, 안개농도에 따라 교통특성에 미치는 영향의 정도는 연구별로 각각 다르게 나타났다. 그러나 이상기후 시 운전자 시인성 및 노면 마찰력을 감소시켜 도로 용량, 최대교통유율 등 교통특성에 부정적 영향을 끼치는 것으로 나타나, 이상기후는 도로의 소통능력을 저하시킨다고 제시하였다.

이상기후 시 사고발생건수는 일반적인 날씨에 비하여 낮게 나타났으나 차량의 충돌 위험이 높고, 사고심각도 또는 치사율이 매우 높게 나타났다. 이상기후와 도로·교통특성 관련연구 고찰내용을 정리하여 <표 9>에 제시하였다.

<표 9> 이상기후와 도로·교통특성 관련 연구

연구자	연도	연구내용
Kleitsch et al.	1971	<ul style="list-style-type: none"> • 검지기를 설치한 5개의 지점 중 3개의 지점에서 비 오는 날 용량이 맑은 날과 비교하였을 때 8% 감소된 것으로 나타나 강우시 고속도로의 평균 자유 속도가 감소함
Ibrahim et al.	1994	<ul style="list-style-type: none"> • 기상상황은 혼잡밀도에 미치는 영향은 거의 없으나 자유 속도, 용량 및 용량상태에서의 속도에는 영향을 미침
Edwards	1999	<ul style="list-style-type: none"> • 비가 다른 기상조건에 비하여 속도의 변수값이 가장 낮게 나타남 • 교통량의 경우는 젖은 도로, 눈, 안개 순으로 교통량이 감소함

<표 9> 이상기후와 도로·교통특성 관련 연구(계속)

연구자	연도	연구내용
최정순	1999	• 같은 교통유율 수준에서 우천시 차량의 주행속도 감소로 점유율이 증가하는 것으로 나타나, 최대 서비스 교통유율이 감소하여 궁극적으로 도로의 소통능력이 저하되는 상황을 보임
Knapp et al.	2000	• 사고노출정도는 폭설의 집중도와 폭설의 지속성에 따라 사고가 빈번히 일어나는 결과가 나타남
Prevedouros et al.	2004	• 포화교통유율, 유효녹색시간, 연동 등 모든 요소가 평균제어지체와 LOS에 영향을 미치며, 기상조건에도 영향을 받음
전우훈	2004	• 악천후일 경우 맑은 상태보다 시계 및 노면상태가 불량하여 치사율이 매우 높게 나타남 • 강우, 강설, 안개 등의 기상상태는 운전자에게 현저한 시인성의 저하를 일으키고 미끄럼 현상이 증대되어 차량의 단독사고 비율이 높음
Agarwal et al.	2005	• 용량의 경우 강우시 최대 10~17%, 강설시 최대 19~27% 감소함
Maze et al.	2005	• 겨울철 눈 또는 진눈깨비 등으로 인하여 도로 노면상태가 습윤 또는 결빙상태의 교통사고가 전체 교통사고의 21%를 차지함 • 강우, 강설 등의 악천후 시 속도는 감소하고 Headway는 증가하여 도로의 용량은 맑은 날보다 감소하였으며, 통계적 분석 결과 교통량은 강우시 4%, 강설시 22% 감소함
Yet	2005	• 강우 또는 강설 등에 대하여 통계적 분석 결과 속도 및 용량은 일반적인 날씨에 비하여 감소하는 것으로 나타남
Kathy et al.	2007	• 안개의 농도가 짙어질수록 차두거리가 증가함
김성환	2008	• 최대 교통유율의 경우 강우량이 0~0.5mm/hr일 때 10.6%, 0.5~2.0mm/hr일 때 19.5%, 2.0mm/hr이상일 때 24.4% 감소함
백승걸	2008	• 강우량이 높을수록 통행량이 감소하였고, 비강우일 대비 강우일의 총 주행거리는 감소함
Brooks et al.	2010	• 안개의 농도에 따라 시정거리가 짧아질수록 운전자가 차로를 유지하는 시간이 짧아지는 결과를 도출함
Shi	2011	• 강우량과 표면상태에 따른 Greenshields의 속도-교통량 모형의 변화곡선에서 강우량이 증가할수록 Free-Flow Speed 및 용량이 감소함

2.7. 이상기후와 교통류의 속도 관련 연구

Hawkins(1988)³⁶⁾는 기상조건이 속도에 미치는 영향에 대한 분석을 실시한 결과 적설 및 결빙상태의 노면상태는 30~40kph 정도, 풍속의 경우 약 13kph 정도의 속도를 감소시키는 것으로 나타났다.

Ibrahim et al.(1994)³⁹⁾은 용량, 교통량, 점유율 그리고 속도에 관하여 30초 간격으로 집계된 데이터를 이용한 분석을 실시한 결과, 눈, 비의 기상상황이 혼잡밀도에 미치는 영향이 없으나 자유 속도, 용량 상태에서의 속도, 용량은 강우량에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 기상상황에 따른 속도 및 용량 감소율은 강우시 2~9%, 강설시 5~19%였고, 용량상태의 속도는 강우시 8~14%로, 강설시 5~19% 감소하였다. 용량감소는 강우시 10~11%, 강설시 12~20%로 강우시보다 강설시 교통류에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Brilon et al.(1996)²³⁾은 1991~1993년의 교통 자료를 이용하여 노면상태를 건조, 습윤, 적설, 결빙 등으로 구분하여 고속도로 구간의 속도 변동에 대한 연구를 수행한 결과, 기상조건으로 인하여 약 5.9kph의 속도 감소가 있다는 결과를 도출하였다.

Holdener(1998)³⁸⁾는 비가 고속도로의 용량에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 노면상태가 습윤일 경우 0.2~37.9kph 사이의 속도 감소를 유발하는 것으로 나타났다. 교통류가 도로 용량에 가까울 경우에는 속도가 13.9kph 감소하였다.

FHWA(2000)³³⁾는 운전자가 고속도로에서 속도를 감소시키는 주된 이유는 강우량으로 인한 시정거리의 감소로 인한 것이며, 단지 도로가 젖은 상태여서 속도를 감소시키는 것은 아니라고 제시하였다. Light rain(0~0.25inch/hr)시 속도는 2~14% 감소하며, Heavy rain(0.25inch/hr이상)시 속도는 5~17%, 용량은 15% 감소하였다. Light snow일 경우에는 속도는 3~10%, 용량은 5~10% 감소하며, Heavy snow시 속도는 20~35%, 용량은 25~30% 감소하였다. 눈의 경우 비 보다는 드문 기상현상이기 때문에 교통 상황에서 눈이 미치는 영향에 대한 분석을 수행한 연구는 많지 않았는데, HCM은 폭설의 경우 교통 속도는 37~42kph가 감소된다고 제시하였다.

Kyte et al.(2001)⁴⁴⁾은 맑음, 비, 안개, 시인성 저하 조건, 강풍 등의 기상상태에서 교통 흐름 속도를 측정하는 연구를 수행한 결과 젖은 노면은 9.5kph, 눈은 16.4kph, 강풍은 11.7kph의 속도감소를 유발시키는 것으로 나타났다. 환경적 요인이 자유속도에 미치는 영향에 대한 연구에서는 강우시 자유속도가 24~27kph 감소한다고 제시하였다. 도로가 눈이나 얼음에 의해 결빙되어 있을 경우 평균속도보다 21~23kph 감소하며, 바람이 48kph 이상으로 불 때는 평균속도가 9kph정도 감소한다고 제시하였다.

오주삼 등(2002)¹²⁾은 5분 단위 교통량과 밀도, 점유율의 교통자료를 활용하여 주·야간에 따른 우천시의 교통량-속도, 교통량-밀도간의 상관관계를 분석하였다. 방화대교의 경우 주간 자유속도는 강우시 2%, 강설시 7%, 야간시 5% 감소하였으며, 영종대교의 경우 야간시 속도가 3% 감소하는 것으로 나타났다. 유사한 교통조건 하에서 안개 발생 유무에 따른 교통량과 개별 차량의 속도 분포를 조사하여 거시 교통류 모형인 교통량-점유율 모형의 추정을 통하여 속도감소 영향을 산출하였다. 교통류 모형을 활용하여 분석한 결과, 자유 교통흐름에서 안개에 따른 차량의 속도 감소량은 1차로 상행은 -3.33%, 하행은 16.69%, 2차로에서는 상행 -4.08%, 하행 -6.21%로 감소하였다. 분당 교통량에 대한 평균속도 비교시 안개 유무에 따라 속도감소 비율은 -11%~-7%까지 안개의 영향을 받는 것으로 나타났다.

Smith et al.(2003)⁵³⁾은 용량 및 운행속도에 대하여 기상학이 미치는 영향을 분석하기 위하여 강우량을 none, Light rain, Heavy rain의 세 그룹으로 분류하여 분석을 실시한 결과, 강우량에 상관없이 속도는 3~5% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

도명식 등(2003)⁸⁾은 기상조건 및 경사도 등 도로 환경요인을 고려한 안전 운행속도 기준 마련을 위한 연구를 수행한 결과, 기상조건은 맑음, 강우량 10mm 미만, 강우량 10~20mm로 갈수록 평균속도가 감소하였다. 내리막 평균속도가 오르막보다 높고 평지의 속도가 경사보다 높은 것으로 나타났다. 기상조건 특히 강우량의 정도는 차량의 속도에 큰 영향을 미치며 도로의 오르막 및 내리막 경사도 차량의 속도분포에 많은 영향을 미친다고 제시하였다.

Agarwal et al.(2005)²⁰⁾은 기상상태 및 노면 상태가 교통류에 미치는 영향을

분석한 결과, 속도의 경우 강우시 최대 4~7%, 강설시 최대 11~15% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

Maze et al.(2005)⁴⁵⁾은 강우 등의 악천후시 속도는 감소하고 Headway는 증가하여 도로의 용량은 맑은 날보다 감소하였으며, 통계적 분석결과 속도는 강우시 6%, 강설시 13% 감소하는 것으로 나타났다.

Chung(2006)²⁶⁾는 맑음, 흐림, Light rain, Heavy rain, 안개 상황의 5가지 카테고리로 분류하여 85th percentile 속도를 조사하여 비교 분석하였다. 그 결과 운전자는 Heavy rain일 경우 속도를 4.8kph 정도 감속하는 것으로 나타났다.

Kumar et al.(2006)⁴³⁾은 눈을 비롯한 각종 기상상태에 따른 고속도로 교통량과 속도의 변화를 연구한 결과 강설시 주행차로의 속도가 Pinehill에서는 4.44kph, Mossmai에서는 6.09kph 감소하였으며, 속도 감소에 대한 통계분석결과 통행속도 감소는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

U.C.DOT.(2006)⁵⁹⁾는 30초 간격의 교통량, 점유율, 속도 자료를 활용하여 회귀분석을 수행한 결과 강우량에 따라 자유 속도는 Light rain시 3~5%, Heavy rain시 14~15% 감소하였다. 강설량에 따른 자유 속도는 Light snow시 3~5%, Heavy snow시 30~40% 감소하였다. 용량상태에서의 속도는 Light rain시 6.4~12.9kph, Heavy rain시 12.9~16.0kph 감소하는 것으로 나타났다.

Hablas et al.(2007)³⁵⁾은 비, 눈과 같은 기상상태가 교통류의 자유속도에 미치는 영향을 강수량과 시인성 부분에 초점을 맞추어 연구를 수행한 결과 시인성이 1.2km 미만일 경우 자유속도가 1~3% 감소하였으며, 이는 비가 미치는 영향보다 더 큰 것으로 나타났다. 눈, 비, 우박과 같은 자유속도를 감소시키는 요인의 관계를 분석한 결과 눈이 가장 영향력 있는 요소로 도출되었다. 출발시간 및 경로 변경에 관련된 운전자 전화설문조사 실시 결과, 악천후는 운전자가 출발시간을 결정하는 가장 중요한 요소이며, 운전자는 오후 침두시간보다 오후 침두시간 동안에 날씨정보에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

Rakha et al.(2008)⁵¹⁾은 교통류에 날씨가 미치는 영향을 분석한 결과, 강수량이 많을 경우 6~9% 정도의 속도 감소가 나타났으며, 비 보다 눈이 속도 및 시정거리의 감소에 더 큰 영향을 미친다고 제시하였다.

김성환(2008)⁵⁾은 강우량에 따른 최대 교통유율과 최대 교통유율의 속도, 자

유속도 변화를 분석한 결과 최대 교통유율의 속도는 강우량에 따라 0~0.5mm/hr일 때 2.3%, 0.5~2.0mm/hr일 때 12.9%, 2.0mm/hr이상일 때 14.6% 감소하는 것으로 나타났다.

심상우 등(2009)¹¹⁾은 날씨와 속도 및 교통량에 대한 분산분석 결과 교통량은 동일하게 나타나는데 비하여 속도는 맑음과 강우일 경우 서로 차이가 있는 것으로 나타났다. 분석대상구간인 서해대교의 경우 강우 시 맑은 날에 비해 15.9% 정도 속도가 감소하며, 주간(9.4%)에 비해 야간(28.9%)에 더 많이 감소하였다. 날씨별 온도에 대한 분산분석에서는 맑음과 강우상황 모두 온도에 따라 속도가 다른 것으로 나타났으며, 온도가 낮을수록 속도 차이가 작게 나타났다. 이는 낮은 온도로 인한 결빙 등을 우려해 다소 낮은 속도로 운행하여 발생한 것으로 제시했다.

Camacho et al.(2010)²⁵⁾은 날씨 조건이 시정거리에 미치는 영향을 분석한 결과 시정거리는 강설시 가장 높은 속도 감소를 보였으며, 시정거리가 300m일 경우 강우 및 강설시 속도 감소량은 각각 4.3kph, 8.7kph로 나타났다. 강수량이 증가하여도 더 이상 속도가 줄어들지 않는 패턴을 보였는데 그 값은 강우량이 5mm/h일 때 122.7kph, 강설량이 7mm/h일 때 116.0kph로, 시인성 저하가 없는 기후와 비교하였을 때 강우량이 많을 경우 속도 감소량은 7kph, 강설량이 많을 경우 속도 감소는 13.7kph로 나타났다.

이상기후와 교통류의 속도 관련 연구자료를 고찰한 결과, 이상기후 발생시 운전자 시인성 저하 및 노면 습윤, 결빙 등으로 인하여 교통류의 속도는 저하되고, 도로의 소통능력이 감소된다고 나타났다. 이상기후와 교통류의 속도관련 연구를 요약정리하면 <표 10>과 같다.

<표 10> 이상기후와 교통류의 속도 관련 연구

연구자	연도	연구내용
Hawkins	1988	• 적설 및 결빙상태의 노면상태는 30~40kph의 속도를 감소시키는 것으로 나타났으며, 풍속의 경우 약 13kph의 속도를 감소시킴
Ibrahim et al.	1994	• 자유 속도, 용량 상태에서의 속도, 용량은 강우량에 따라 영향을 받는 것으로 나타났으며, 강우시보다 강설시 교통류에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타남
Brilon et al.	1996	• 비, 눈 등의 기상조건으로 인하여 약 5.9kph의 속도 감소가 나타남
Hogema et al.	1997	• 속도 5kph 감소할 때 사고건수가 약 15%감소하며, 안개가 심한 경우 속도가 매우 감소하는 경향을 보임 • 차두시간, 차간거리, TTC 등의 변수는 안개신호시스템으로 인하여 속도가 다소 감소하는 경향을 보임
Holdener	1998	• 습윤상태의 경우 0.2~37.9kph 사이의 속도 감소를 유발하는 것으로 나타났으며 교통류가 도로 용량에 가까울 경우에는 13.9kph의 속도가 감소하는 것으로 나타남
FHWA	2000	• 강우 및 강설시 속도 및 용량은 감소하는 것으로 나타났으며, HCM에서는 폭설의 경우 교통속도가 7~42kph가 감소된다고 제시함
Kyte et al.	2001	• 젖은 노면은 9.5kph, 눈은 16.4kph, 강풍은 11.7kph의 속도감소를 유발시키는 것으로 나타남 • 강우시 자유속도가 24~27kph 감소시키는 것으로 나타났고, 도로결빙시 21~23kph 감소하며, 강풍시 평균속도가 9kph정도 감소함
오주삼 등	2002	• 주간 자유속도는 강우시 2%, 강설시 7%, 야간시 5% 감소하였으며, 영종대교의 경우 야간시 속도가 3% 감소함 • 자유 교통흐름에서 안개에 따른 차량의 속도 감소량은 1차로 상행은 -3.33%, 하행은 16.69%, 2차로에서는 상행 -4.08%, 하행 -6.21%로 감소함
Smith et al.	2003	• 강우량에 상관없이 속도는 3~5% 정도 감소하는 것으로 나타남
도명식 등	2003	• 기상조건 특히 강우량의 정도는 차량의 속도에 큰 영향을 미치며 도로의 오르막 및 내리막 경사도 차량의 속도 분포에 많은 영향을 미침

<표 10> 이상기후와 교통류의 속도 관련 연구(계속)

연구자	연도	연구내용
Agarwal et al.	2005	• 속도는 강우시 최대 4~7%, 강설시 최대 11~15% 정도 감소함
Chung	2006	• 운전자는 Heavy rain일 경우 속도를 4.8kph 정도 감속함
Kumar et al.	2006	• 강설시 주행차로의 속도가 Pinehil에서는 4.44kph, Mossmai에서는 6.09kph 감소하는 것으로 나타났으며, 속도감소에 대한 통계분석 결과 통행속도 감소는 통계적으로 유의함
U.C.DOT.	2006	• 강우량에 따라 자유속도는 감소하는 것으로 나타났으며, 강설시에는 자유속도 및 용량이 감소하는 것으로 나타남
Hablas et al.	2007	• 시인성이 1.2km 미만일 경우 자유속도가 1~3% 감소하는 결과가 나타났으며, 이는 비가 미치는 영향보다 더 큰 것으로 나타남 • 눈, 비, 우박과 같은 자유속도를 감소시키는 요인의 관계를 분석한 결과 눈이 가장 영향력 있는 요소로 나타남
Rakha et al.	2008	• 강수량이 많을 경우 6~9% 정도의 속도 감소가 나타났으며, 비 보다 눈이 속도 및 시정거리의 감소에 더 큰 영향을 미친다고 제시함
김성환	2008	• 최대 교통유율의 속도는 강우량에 따라 0~0.5mm/hr일 때 2.3%, 0.5~2.0mm/hr일 때 12.9%, 2.0mm/hr이상일 때 14.6% 감소하는 것으로 나타남
심상우 등	2009	• 강우 시 맑은 날에 비해 15.9% 정도 속도가 감소하며, 주간(9.4%)에 비해 야간(28.9%)에 더 많이 감소하는 것으로 나타남
Camacho et al.	2010	• 시인성 저하가 없는 기후와 비교하였을 때 강우량이 많을 경우 속도 감소량은 7kph, 강설량이 많을 경우 속도 감소는 13.7kph로 나타남

2.8. Research Opportunity

본 연구에서는 이상기후와 교통사고, 도로·교통특성과의 관계에 대한 최근 까지 진행된 연구의 결과를 종합적으로 검토하기 위하여 국내·외 기존문헌을

검토하였다.

속도 및 속도분산과 교통사고의 관계에 대한 관련연구에서는 사고발생 시 속도가 높을수록 사고 심각도는 증가하며, 속도분산의 경우 사고발생율과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 기상과 사고관련 연구에서는 강우, 강설, 안개, 강풍 등의 이상기후 발생 시 사고발생건수는 일반적인 기상상태에 비하여 낮았으나 차량간 충돌위험 즉 사고발생확률이 높고, 사고 심각도 및 치사율이 매우 높다고 제시하였다.

제한속도의 상향 및 하향에 따른 교통사고 분석에서는 제한속도 상향시 평균 통행속도 및 교통사고 발생빈도가 증가하였으며 이러한 현상은 연속류보다는 단속류에서 더욱 뚜렷한 것으로 나타났다. 제한속도를 상향했을 경우 교통사고가 감소된 구간은 약 30%이며, 제한속도를 하향했을 경우 교통사고가 감소된 구간은 73.24%로 제한속도를 하향했을 때 교통사고 감소구간의 비율이 더 높은 것으로 나타났다.

이상기후가 도로·교통특성에 미치는 영향을 분석한 문헌을 검토한 결과 이상기후 발생시 용량, 최대교통유율, 속도 등 교통상황에 부정적 영향을 미치며, 이상기후는 도로의 소통능력을 저하시키는 것으로 나타났다. 이상기후 조건에서 속도 감소의 주된 원인은 이상기후로 인한 시정거리 감소, 노면 마찰력 감소이며, 강우량, 강설량, 안개농도가 증가할수록 속도 감소폭이 커지는 결과가 도출되었다.

기존문헌 검토 결과, 이상기후의 종류에 따라 속도 감소의 정도는 연구별로 각각 다르게 나타났으며, 기상조건의 경우 기존연구에서는 눈, 비, 안개의 발생유무 또는 군집분석(Clustering Analysis) 등을 통하여 강우강도를 그룹화하여 교통사고와의 관계분석을 수행하였다.

그러나 실제 강우량 및 강설량을 고려한 교통사고 및 도로·교통특성과의 관계 연구는 미비한 것으로 나타났다. 또한 사고발생시 사고 심각도가 높은 화물차사고나 이상기후시 발생 빈도가 높은 차-시설사고, 추돌사고 등의 사고 유형에 대하여 이상기후가 도로·교통특성에 미치는 영향에 대한 연구도 부족한 것으로 나타났다.

3. Dataset 구축 및 변수 설정

3.1. 개요

본 연구에서는 최근 3년간(2008~2010년) 대상 노선의 고속도로 사고자료, 검지기자료, 기상자료를 이용하여 교통사고-기상-교통특성에 대한 자료 매칭을 실시하였다. 각 자료의 개요는 <표 11>과 같으며 Dataset 구성형태는 <그림 7>과 같다.

사고자료는 최근 3년간(2008~2010년) 전국 고속도로를 대상으로 본 연구에 적합하다고 판단되는 대상 노선을 선정하여 3년간 발생한 사고자료를 이용하였다. 대상노선의 선정방법은 3.1.1. 분석대상 노선선정에 나타나 있다.

사고자료에서 본선일반구간, 터널, 교량 외 램프, IC, JC, 톨게이트 등은 차량의 엇갈림(Weaving)이 발생하는 등 기하구조로 인하여 교통류의 특성이 본 선구간과 다르므로 본 연구에서 제외하였다.

사고 case별 속도 및 교통량자료와 기상자료를 매칭하였으며, 속도 및 교통량은 사고발생시간 15분전·후, 30분전·후, 45분전·후, 60분전·후에 대하여 사고발생지점 상류부 및 하류부 각 1개 지점의 속도 및 교통량자료를 수집하였다. 기상자료는 사고시간이 포함된 1시간 강수량과 1시간전, 2시간전 강수량까지 총 3개의 자료를 각 사고자료에 매칭하였다.

분석을 위한 종속변수는 사고자료에 나타난 사망자수, 부상자수 및 사고 심각도를 이용하여 순서형 및 이분형으로 설정하였다. 독립변수는 교통사고자료에 나타난 인적특성, 기하구조특성, 차량특성, 교통특성, 환경특성에 대한 변수를 설정하였다.

<표 11> Dataset 구성 자료 개요

자료명	분석기간	분석범위	분석단위
고속도로 사고자료	2008~2010	대상노선	건
검지기자료	2008~2010	사고발생 근접지점	15분
기상자료	2008~2010	전 지역 기상대	1시간

기초사고정보	사고발생시간 15분전·후, 30분전·후, 45분전·후, 60분전·후 사고발생지점 상류부, 하류부 각 1개지점 속도 및 교통량	기상 자료	사고자료
--------	---	----------	------

<그림 7> Dataset 구성형태

3.2. 분석대상 노선선정

본 연구에서는 기상 및 교통조건이 교통사고 심각도에 미치는 영향요인을 분석하고자 본 연구의 분석 목적과 가장 부합하는 분석대상 노선을 선정하였다. 노선선정을 위하여 <표 12>와 같이 2010년 고속도로 사고자료를 이용하여 각 노선의 기상별 사고현황을 조사하였다.

2010년의 총 사고건수는 2,367건으로 나타났다으며, 사고원인이 ‘운전자과실’인 사고만을 이용하였다. 또한 총 사고건수가 50건 이하로 낮게 나타난 노선은 대상노선선정에서 제외하였다. 사고비율은 총 사고건수에서 기상별 사고가 차지하는 각각의 비율을 의미한다.

<표 12> 고속도로 노선의 기상별 사고현황

노선	기상상태로 구분한 사고건수						사고 비율				
	맑음	흐림	비	눈	안개	계	맑음%	흐림%	비%	눈%	안개%
88올림픽선	30	3	4	0	0	37	81.08	8.11	10.81	0.00	0.00
경부선	257	68	71	15	1	412	62.38	16.50	17.23	3.64	0.24
경인선	14	7	5	1	0	27	51.85	25.93	18.52	3.70	0.00
고창-담양선	2	3	5	4	0	14	14.29	21.43	35.71	28.57	0.00
구마선	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
남해선	101	33	52	2	1	189	53.44	17.46	27.51	1.06	0.53
남해제1지선	8	3	4	0	0	15	53.33	20.00	26.67	0.00	0.00
남해제2지선	21	3	5	0	0	29	72.41	10.34	17.24	0.00	0.00
당진-상주선	22	3	6	1	0	32	68.75	9.38	18.75	3.13	0.00
대전남부순환선	5	2	0	0	0	7	71.43	28.57	0.00	0.00	0.00

<표 12> 고속도로 노선의 기상별 사고현황(계속)

노선	기상상태로 구분한 사고건수(건)						사고 비율(%)				
	맑음	흐림	비	눈	안개	계	맑음	흐림	비	눈	안개
동해선	6	5	1	2	0	14	42.86	35.71	7.14	14.29	0.00
무안광주선	10	3	4	4	0	21	47.62	14.29	19.05	19.05	0.00
부산-울산선	12	2	6	1	0	21	57.14	9.52	28.57	4.76	0.00
서울-양양	15	8	5	2	0	30	50.00	26.67	16.67	6.67	0.00
외곽순환(일산)	50	25	15	7	0	97	51.55	25.77	15.46	7.22	0.00
외곽순환(퇴계원)	30	18	25	0	0	73	41.10	24.66	34.25	0.00	0.00
서해안선	135	40	31	14	0	220	61.36	18.18	14.09	6.36	0.00
영동선	91	40	43	18	1	193	47.15	20.73	22.28	9.33	0.52
울산선	8	3	1	0	0	12	66.67	25.00	8.33	0.00	0.00
익산-포항선	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
제2경인선	12	7	8	2	0	29	41.38	24.14	27.59	6.90	0.00
제2중부선	9	1	1	3	0	14	64.29	7.14	7.14	21.43	0.00
중부내륙선	109	34	27	13	1	184	59.24	18.48	14.67	7.07	0.54
중부선	98	50	52	14	1	215	45.58	23.26	24.19	6.51	0.47
중앙선	63	21	15	8	0	107	58.88	19.63	14.02	7.48	0.00
중앙선의 지선	5	3	4	0	0	12	41.67	25.00	33.33	0.00	0.00
평택-충주선	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
호남선	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
호남선의 지선	27	11	11	0	0	49	55.10	22.45	22.45	0.00	0.00

노선선정기준은 <표 13>에 나타난 것과 같이 기상조건이 강우 및 강설시 사고건수가 많은 노선, 강우 및 강설시 사고발생 비율이 높은 노선, 그리고 강우 및 강설시 과속 사고가 많은 노선을 조사하였다.

노선선정기준에 따라 사고발생 현황을 종합적으로 검토한 결과, 남해선, 영동선, 중부선, 중부내륙선의 총 4개 노선을 대상 노선으로 선정하였다. 남해선과 중부선은 강우시 사고발생건수 및 사고비율이 높고, 빗길 과속사고 또한 많은 것으로 나타났다. 영동선과 중부내륙선은 강설시 사고발생건수 및 사고비율이 높은 것으로 나타났다. 특히 중부내륙선은 화물차사고의 발생건수가 타 노선에 비하여 높게 나타나 본 연구 내용 중 화물차사고의 사고심각도 영향요인 분석을 위하여 대상노선에 포함시켰다.

<표 13> 노선선정기준에 따른 분석대상노선 선정과정

구분		1순위	2순위	3순위
사고건수가 많은 노선		경부선	서해안선	중부선
		358건	189건	185건
비	강우시 사고건수가 많은 노선	경부선	남해선	중부선
		68건	50건	50건
	강우시 사고 비율이 높은 노선	외곽순환선	남해선	중부선
		34.25%	27.51%	24.19%
	강우시 과속 사고가 많은 노선	경부선	남해선	영동선
		45건	37건	33건
눈	강설시 사고건수가 많은 노선	영동선	서해안선	중부내륙선
		18건	13건	13건
	강설시 사고 비율이 높은 노선	영동선	중앙선	중부내륙선
		9.33%	7.48%	7.07%
	강설시 과속 사고가 많은 노선	서해안선	영동선	중부선
		9건	8건	6건

3.3. 이상치 및 결측치 보정

교통사고-기상-교통특성 Dataset을 구축하기 위하여 분석 대상 노선을 선정하여 사고 case별 속도 및 교통량자료와 기상자료를 매칭하였다. 자료 수집시 이상치 및 결측치가 발생한 자료에 대해서는 다음과 같이 보정을 실시하였다.

첫째, 사고자료내 속도 및 교통량에 이상치 및 결측치가 발생한 경우, 동일 시간대의 근접 상·하류부 검지기의 평균값을 이용하여 보정하였다. 근접 검지기에도 이상치 및 결측치가 발생한 경우 사고 case를 삭제하였다.

둘째, 보정이 가능하더라도 이상치 및 결측치가 사고 case별로 50%가 넘는 경우 해당 사고위치의 특성을 잘 반영하지 못한다고 판단하여 이러한 경우에도 사고 case를 삭제하였다.

셋째, 기상자료의 경우, 이상치 및 결측치는 발생하지 않았으나 사고자료상의 기상상태와 기상자료의 강수량 측정값이 일치하지 않는 경우가 발생하였다. 예를 들어, 사고자료상에는 기상상태가 ‘비’로 나타났으나 기상자료에는 무

강수일로 나타나는 경우가 있었다. 이러한 경우 사고자료 기록상의 문제점으로 파악되어 사고 case를 삭제하였다.

3.4. Data Description

본 연구에서 이용한 교통사고-기상-교통특성 Dataset에 대한 Data Description을 <표 14>에 제시하였다. 총 자료의 개수는 959개로 나타났으며, 대상노선의 수는 9개로 나타났다. 3.1.1. 분석대상 노선선정에서 제시한 4개의 분석대상 노선보다 노선수가 증가한 것은 심각도 A사고의 사고 case가 매우 적게 나타나 심각도 A사고에 대한 전 노선 사고 case를 추가하였기 때문이다.

<표 14> 노선 및 심각도별 사고건수의 Data Description

구분	사고건수											
	심각도 A사고				심각도 B사고				심각도 C사고			
	전체	정상	비	눈	전체	정상	비	눈	전체	정상	비	눈
경부선	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
남해선	2	1	1	0	24	16	8	0	253	158	92	3
대구-포항선	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
서울외곽순환선	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
영동선	1	0	0	1	59	38	11	10	328	214	93	21
중부내륙선	2	2	0	0	23	21	0	2	78	64	10	4
중부선	4	3	1	0	27	24	3	0	150	101	42	7
중앙선	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
호남선	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
심각도별 합계	17				133				809			
총 합계	959											

3.5. 변수 설정

교통사고-기상-교통특성 Dataset을 이용하여 기상 및 교통조건과 교통사고 심각도와의 관계를 도출하기 위하여 <그림 8>과 같이 인적특성, 기하구조특성, 차량특성, 교통특성, 환경특성에 대한 변수를 설정하였다.

인적특성	기하구조특성	차량특성	교통특성	환경특성
<ul style="list-style-type: none"> 성별 연령대 	<ul style="list-style-type: none"> 종단선형 평면선형 복합선형 사고위치 	<ul style="list-style-type: none"> 차종 	<ul style="list-style-type: none"> 속도 <ul style="list-style-type: none"> 상류부15분전속도 상·하류부속도차 속도의 표준편차 속도의 변동계수 제한속도 초과값 교통량 V/C 	<ul style="list-style-type: none"> 강수량 사고시간

<그림 8> 변수설정 개요

기존연구에서 고려하지 않았던 강수량 및 강설량 실제 측정치를 고려하여 강우강도에 대한 변수를 설정하였다. 또한 정상기후 및 이상기후시 도로교통법 시행규칙에 제시된 제한속도 적용 방법을 고려하여 제한속도초과값에 대한 변수도 설정하였다.

인적특성에서는 운전자의 성별과 연령을 변수화하였다. 기하구조특성에서는 오르막, 내리막, 평지로 나타난 종단선형과 커브 500m 미만, 커브 500m 이상, 직선으로 나타난 평면선형 또한 변수화하였다. 종단선형과 평면선형을 함께 고려하여 복합선형으로 변수화하였다. 본선일반구간, 터널, 교량 등의 사고위치 또한 변수화하였다. 차량특성에서는 차종을 변수화 하였으며, 교통특성에서는 속도, 교통량 및 V/C를 변수화하였다.

속도의 경우 사고발생 위치 및 시간을 고려하여 사고위치의 최근접 상류부 검지기의 사고발생 15분전 평균속도(15분), 상류부 및 하류부 검지기의 사고발생 15분전 평균속도차, 속도의 표준편차 및 변동계수⁵⁾, 제한속도 초과값 등을

5) 표준편차를 평균값으로 나눈 것을 의미하며 다른 평균값을 가진 데이터 비교에 적합한 계수.

이용하여 속도변수를 설정하였다.

교통량변수는 교통량 실제값 및 V/C값을 이용하였다. 기상자료에서 나타난 환경특성인 날씨, 강수량 등을 변수화하였으며, 마지막으로 사고시간과 관련된 주야, 요일 또한 변수화하였다.

본 연구에서 설정한 교통사고-기상-교통특성 Dataset을 이용하여 인적특성, 기하구조특성, 차량특성, 교통특성, 환경특성에 대하여 설정한 변수의 개요를 <표 15>에 제시하였다. 종속변수 ‘사고심각도2(injury2)’와 ‘사고심각도3(injury3)’의 사고심각도 등급분류기준은 <표 1>에 나타나있다.

종속변수의 경우 사고 심각도를 이용하여 설정한 ‘사고심각도2(injury2)’와 ‘사고심각도3(injury3)’, 그리고 사망, 부상, 물피의 인명피해도로 설정한 ‘인명피해도3(fatal3)’으로 나타난다. 아라비아 숫자 2와 3을 사용한 것은 2는 이분형 변수를 의미하며, 3은 0, 1, 2의 순서형으로 나타나는 변수를 의미한다.

독립변수 중 더미변수(dummy variable)는 심각도 증가에 유의한 영향을 미칠 것으로 판단되는 특성을 1로 설정하였다.

환경특성에서는 ‘주야(day_night)’, ‘주중여부(week)’, ‘이상기후여부(weather)’, 그리고 강수량에 대한 변수가 나타난다. ‘주야(day_night)’ 변수는 2007~2010년 월별 평균 일출 및 일몰시간을 고려하여 야간을 1로, 주간을 1로 설정하였다. ‘주중여부(week)’ 변수는 월~금요일인 주중을 1로, 토요일 및 일요일인 주말을 0으로 설정하였다. ‘이상기후여부(weather)’ 변수는 운전자 시인성 및 노면마찰력 저하를 유발할 수 있는 이상기후를 1로, 정상기후를 0으로 설정하였다.

강수량 관련 변수 중 ‘강수량(rainfall)’은 사고발생시간이 포함된 1시간 강수량으로 연속형 변수이다. ‘3시간평균강수량(ave_rainfall)’은 사고발생시간 2시간 전까지의 강수량에 대한 평균값이며, ‘3시간누적강수량(sum_rainfall)’은 누적값이다. 또한 도로교통법 시행규칙에 나타나있는 차량 속도를 50%로 감속하여 운행하여야하는 기준인 시간당 강수량 20mm를 기준으로 ‘폭우폭설여부(heavyfall)’를 설정하였다. 폭우 또는 폭설인 경우 1로, 시간당 강수량이 20mm 미만인 경우 0으로 설정하였다.

인적특성에서는 성별과 연령을 설정하였다. ‘성별(gender)’은 남성을 1로, 여

성을 0으로 설정하였으며, ‘연령(age)’은 사고자료에 나타난 연령대의 평균값을 연속형으로 설정하였다. 예를 들어 사고자료에 20~30세로 나타난 것은 25로 설정하였다.

차량특성인 ‘차종(non_auto)’에서는 15인승 이상의 다인승차량, 버스, 트럭, 트레일러와 같은 승합차 및 화물차를 1로 설정하였으며, 승용차를 0으로 설정하였다.

<표 15> 변수명 설정 개요

구분		변수번호/변수명	변수개요	변수설명
종속 변수		injury2	사고심각도2	0: 경미한 사고(심각도 C사고) 1: 심각한 사고(심각도A,B사고)
		injury3	사고심각도3	0: 심각도 C사고 1: 심각도 B사고 2: 심각도 A사고
		fatal3	인명피해도3	0: 물피사고 1: 부상사고 2: 사망사고
독립 변수	환경 특성	1.day_night	주야	0: 주간(월별 일출일몰시간고려) 1: 야간(월별 일출일몰시간고려)
		2.week	주중여부	0: 주중(월요일 ~ 금요일) 1: 주말(토요일, 일요일)
		3.weather	이상기후여부	0: 정상기후 1: 이상기후(비 또는 눈)
		4.rainfall	강수량	사고발생시간포함 1시간 강수량
		5.ave_rainfall	3시간평균강수량	사고발생시간 3시간전까지의 평균강수량
		6.sum_rainfall	3시간누적강수량	사고발생시간 3시간전까지의 누적강수량
		7.heavyfall	폭우폭설여부	0: 시간당 강수량 20mm 미만 1: 시간당 강수량 20mm 이상

<표 15> 변수명 설정 개요(계속)

구분	변수번호/변수명	변수개요	변수설명
독립 변수	인적 특성	8.gender	성별 0: 여성 1: 남성
		9.age	연령 사고자료의 연령대 대푯값 사용
	차량 특성	10.non_auto	차종 0: 승용차 1: 비승용차(승합차, 화물차)
	기하 구조 특성	11.grade	경사여부 0: 평탄 1: 경사(오르막 및 내리막)
		12.grade_up	오르막경사여부 0: 오르막경사 없음 1: 오르막경사
		13.grade_dn	내리막경사여부 0: 내리막경사 없음 1: 내리막경사
		14.curve	커브여부 0: 직선 1: 커브
		15.sharp_curve	급커브여부 0: 커브 500m 이상 또는 직선 1: 커브 500m 미만의 급커브
		16.multigeo	복합선형여부 0: 직선 또는 평탄 1: 평면선형 + 종단선형
		17.location	사고위치 0: 본선 일반구간 1: 교량 또는 터널
	교통 특성	18.up_sp15b	상류부15분전 속도 사고지점 최근접 상류부의 사고 발생 15분전 속도
		19.up_overspeed	제한속도초과값 up_sp15b가 해당구간 제한속도를 초과한 값
		20.up_overlimit	제한속도초과여부 0: up_sp15b가 제한속도 미만 1: up_sp15b가 제한속도 이상
		21.df_sp15b	상·하류부속도차 사고지점 최근접 상·하류부의 사고발생 15분전 속도차
		22.sp_var	속도표준편차 사고지점 상·하류부의 사고발생 15/30/45/60분전 속도의 표준편차
		23.sp_cv	속도변동계수 사고지점 상·하류부의 사고발생 15/30/45/60분전 속도의 변동계수
		24.up_vol15b	상류부15분전교통량 사고지점 최근접 상류부의 사고 발생 15분전 교통량
		25.vc	상류부15분전V/C 사고지점 최근접 상류부의 사고 발생 15분전 V/C

기하구조특성에서는 종단선형 및 평면선형을 변수로 설정하였는데, 종단선형에서는 경사가 있는 경우 1, 없는 경우 0으로 설정한 ‘경사여부(grade)’변수와 오르막경사의 여부에 따른 ‘오르막경사여부(grade_up)’ 및 내리막경사의 여부에 따른 ‘내리막경사여부(grade_dn)’를 설정하였다. 평면선형에서는 커브가 있는 경우 1로, 없는 경우 0으로 설정한 ‘커브여부(curve)’변수와 곡선반경 500m 미만인 급커브를 1로 설정한 ‘급커브여부(sharp_curve)’를 설정하였다. 좌커브 및 우커브는 본 연구에서 고려하지 않았다. 또한 종단선형과 평면선형을 복합적으로 고려한 ‘복합선형여부(multigeo)’의 경우에는 커브와 경사가 모두 있는 경우 1로, 기하구조가 평탄하고 직선인 경우 0으로 설정하였다. ‘사고위치(location)’의 경우에는 교량 또는 터널인 경우를 1로, 본선 일반구간을 0으로 설정하였다.

교통특성변수는 크게 속도 및 교통량변수로 구분된다. 속도변수 중 ‘상류부 15분전속도(up_sp15b)’는 사고발생시간 15분 전의 사고발생지점에서 가장 가까운 상류부 검지기에서 수집된 속도이다. 여기서 up은 upstream을 의미하며, sp는 speed, 아라비아 숫자 15는 15분, b는 before를 의미한다.

‘제한속도초과값(up_overspeed)’은 상류부 15분전속도가 사고발생지점의 제한속도를 초과한 값이다. 이는 도로교통법 시행규칙에 나타나있는 이상기후시 감속하여야 하는 속도감속비율을 적용하여 산출하였다. 예를 들어, 사고발생지점의 제한속도가 100kph, 시간당 강수량이 10mm로 나타났다면 제한속도는 20% 감속치인 80kph가 적용된다. 상류부 15분전속도가 110kph일 경우 제한속도 초과값은 30kph가 되는 것이다. ‘제한속도초과여부(up_overlimit)’는 제한속도 초과값이 0 이상인 경우 1로, 초과하지 않은 경우 0으로 설정하였다.

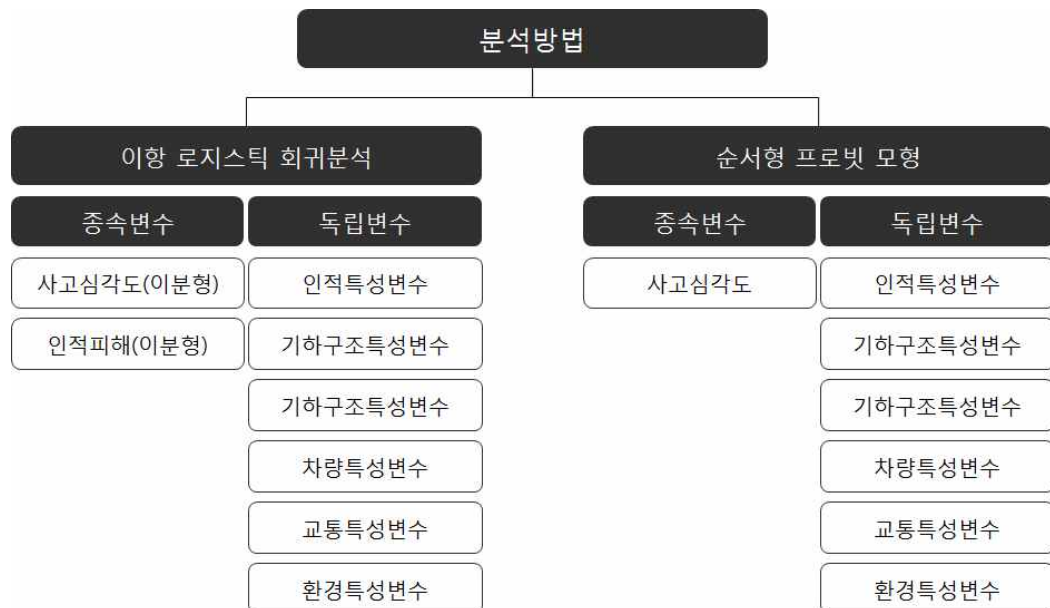
‘상·하류부속도차(df_sp15b)’는 사고발생 상류부 및 하류부 검지기간의 사고발생 15분전 속도의 차이를 산출한 것이다. 여기서 df는 difference를 의미한다. ‘속도표준편차(sp_var)’와 ‘속도변동계수(sp_cv)’는 상류부 및 하류부 속도의 15분전, 30분전, 45분전, 60분전 속도의 표준편차와 변동계수를 산출하여 설정하였다. var는 variance를 의미하며, cv는 Coefficient of Variation를 의미한다.

교통량변수 중 ‘상류부 15분전교통량(up_vol15b)’과 ‘상류부 15분전 V/C(vc)’는 사고발생 15분전의 사고발생지점 상류부 15분전 교통량 및 V/C를 설정한 변수이다. vol은 volume을 의미하며, vc는 volume/capacity를 의미한다.

4. 분석방법론

4.1. 개요

본 연구에서는 기상 및 교통조건과 교통사고 심각도와의 관계를 연구하기 위하여 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistic Regression)과 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)을 이용하여 분석을 수행하였다. 각 분석방법론에 대한 종속변수 및 독립변수설정은 <그림 9>와 같다.



<그림 9> 분석방법론별 종속변수 및 독립변수 설정 개요

이항 로지스틱 회귀분석의 경우에는 심각한 교통사고를 1로, 경미한 교통사고를 0으로 설정하는 binary classification 문제에 효과적으로 응용가능하다. 본 연구에서는 ‘사고심각도2(injury2)’와 같이 심각한 사고, 경미한 사고의 이분형으로 설정된 종속변수에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 독립변수를 분석하기 위하여 이항 로지스틱 회귀분석을 활용하였다.

또한 순서형 자료로 나타나는 종속변수인 ‘사고심각도3(injury3)’변수와 ‘인적

피해도3(fatal3)'에 대해서는 순서화된 다항(Polytomous)의 선택을 다룰 수 있도록 고안된 확률선택모형(Probabilistic Choice Model) 중 ϵ_i (오차항)의 분포를 정규분포(Normal Distribution)로 가정하는 순서형 프로빗 모형을 이용하여 분석을 수행하였으며, 이를 통하여 사고 심각도에 영향을 미치는 주요 변수들에 대하여 분석하였다.

4.2. 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistic Regression)

이항 로지스틱 회귀분석(BLR)은 종속변수가 범주형으로 관측된 데이터를 적합 시킬 때 유용하게 사용되는 기법으로, 모형의 종속변수인 심각한 교통사고를 1로, 경미한 교통사고를 0으로 설정하는 Binary classification 문제에 효과적으로 응용가능하다. 또한 odds-ratio, Wald 통계량 등을 이용하여 종속변수에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 독립변수 판단시 유용하게 사용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 '사고심각도2(injury2)'의 종속변수가 심각한 사고와 경미한 사고의 이분형으로 나타나며, 교통사고 심각도에 영향을 미치는 기상 및 교통조건에 관련된 요인을 분석하고자 BLR 기법을 적용하였다.

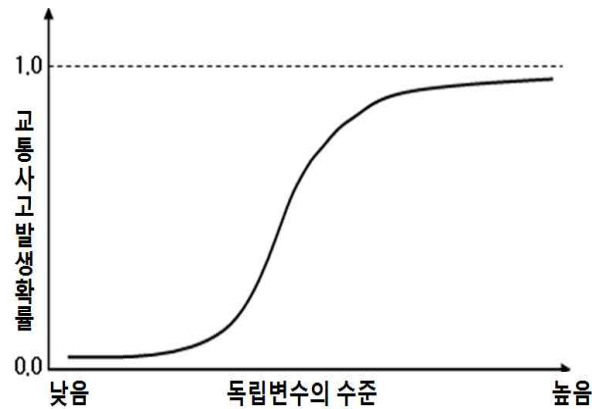
기본적인 로지스틱 회귀분석의 가정은 다음과 같다.

첫째, 독립변수가 명목이나 순위척도와 같은 정성적인 척도와 등간척도가 섞여 변수들이 다변량 정규분포를 이룬다는 것이 명확하지 않다.

둘째, 집단간 분산 및 공분산이 동일해야 한다는 가정을 충족시키지 못한다.

셋째, 선택확률이 로지스틱 함수형태이다.

이항 로지스틱 회귀분석은 독립변수의 수준에 따라 이분화된 종속변수의 확률값을 예측한다. <그림 10>과 같이 교통사고 발생확률에 관한 분석의 경우, 종속변수 1은 교통사고 발생확률이 1임을 의미한다. 교통사고발생 확률값은 0~1의 범위에서 다양한 값들을 가질 수 있으나 0과 1의 범위를 벗어날 수는 없다.



<그림 10> 교통사고 발생확률 예시

로지스틱 회귀분석에서는 선형회귀모형과 같이 종속변수와 독립변수간 관계를 설명하고 주어진 독립변수 수준에서 종속변수를 검증하는데 사용한다. 그러나 선형회귀모형에서는 잔차의 제곱합(Sum of Residual)을 최소화하는 최소자승법(Least-Squares Method)을 이용하여 모형의 모수를 추정하지만 로지스틱 회귀분석은 발생사건의 가능성을 크게 하는 우도(Likelihood)를 최대화하는데 목적이 있으므로, 최대우도추정법(Maximum-Likelihood Method)을 이용하여 모형의 모수를 추정하게 된다.

최대우도추정법은 독립변수의 각 수준에서 Y의 반복적인 관측이 아주 작거나 없으면 표본비율을 사용할 수 없기 때문에 독립변수의 각 수준에서 하나의 Y값에 대하여 최대우도추정법을 사용하여 로지스틱 반응함수를 추정하는 방법이다.

본 연구에서 사용한 종속변수는 교통사고 심각도로서, 1은 교통사고 심각도 분류기준 A, B에 속하는 사망자 1명 이상 또는 부상자 5명 이상의 심각한 사고를 의미하며, 0은 부상자 1명 이상의 경미한 사고를 의미한다.

추정되는 모형은 <식 1>과 같은 형태이며, 여기서 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ 는 추정될 모수이고, z 는 선형결합으로 <식 2>와 같다. 로지스틱 다중회귀모형의 로짓은 <식 3>이 된다.

$$\begin{aligned}
 P(y=1|x_1,\cdots,x_p) &= \pi(x_1,\cdots,x_p) \\
 &= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x + \cdots + \beta_p x_p)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x + \cdots + \beta_p x_p)} \quad <\text{식 1}> \\
 &= \frac{\exp(z)}{1 + \exp(z)}
 \end{aligned}$$

$$z = \beta_0 + \beta_1 x + \cdots + \beta_p x_p \quad <\text{식 2}>$$

$$g(\pi(x_1,\cdots,x_p)) = \beta_0 + \beta_1 x + \cdots + \beta_p x_p \quad <\text{식 3}>$$

만일 원시자료 중 이분형으로 분류 가능한 명목형 변수가 포함되어 있다면, 해당 변수는 독립변수로 설정시 회귀분석에서와 같이 가변수(dummy variable)로 취급하여 0 또는 1로 설정한다.

모형의 변수의 계수가 양의 부호인 경우 그 변수는 교통사고 심각도 증가에 영향을 미치며, 음의 부호인 교통사고 심각도를 감소시키는 것을 의미한다.

로지스틱 회귀분석의 결과물 중 하나인 독립변수의 승산비(log odds)값은 다른 변수가 고정되었을 때 해당 독립변수의 위험도를 설명할 수 있다. 예를 들어 독립변수가 ‘커브여부(curve)’ 하나인 경우를 생각해 보면, X=1일 때 기하구조는 커브이고, X=0일 때 기하구조는 직선이 된다. 각각의 경우에서 심각한 교통사고발생(P_1)과 단순교통사고발생(P_0)의 확률은 <표 16>과 같다.

<표 16> 로지스틱 모형의 사고발생 확률

구분	커브(X=1)	직선(X=0)
심각한 사고발생	$P_1 = \frac{\exp(\alpha + \beta X)}{1 + \exp(\alpha + \beta X)}$	$P_0 = \frac{\exp(\alpha)}{1 + \exp(\alpha)}$
단순 사고발생	$1 - P_1 = \frac{1}{1 + \exp(\alpha + \beta X)}$	$1 - P_0 = \frac{1}{1 + \exp(\alpha)}$

독립변수가 ‘커브여부(curve)’ 하나인 경우, 로지스틱 회귀모형을 이용하여 회귀계수를 산출할 수 있으며, 이를 이용하여 로짓계수를 산출할 수 있다. 로짓계수는 <식 3>을 이용하여 계산할 수 있으며, 산출된 로짓계수를 이용하여 심각한 사고발생 확률을 도출한다. 산출예시를 <식 4>에 제시하였다.

<ul style="list-style-type: none"> • 회귀계수 $\text{curve} = 0.694$ $\text{constant} = -2.023$ • Logit $g(\pi(x_1, \dots, x_p)) = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_p x_p$ $= 0.694(\text{curve}) + \text{constant}$ $= 0.694 \times 1 - 2.023$ $= -1.329$ • 심각한 사고발생 확률 $= \frac{\text{Exp}(\text{Logit})}{1 + \text{Exp}(\text{Logit})}$ $= \frac{\text{Exp}(-1.329)}{1 + \text{Exp}(-1.329)}$ $= 0.209$ $= 20.9\%$ 	<식 4>
---	-------

예를 들어, ‘커브여부(curve)’ 및 상수의 회귀계수가 각각 0.694, -2.023일 때 Logit값은 -1.329로 계산된다. 이를 이용하여 심각한 사고발생 확률을 계산하면 20.9%의 확률이 계산된다.

유근영(1996)¹³⁾은 <표 16>의 확률을 odds-ratio로 표현하였다. odds-ratio는 사건이 일어날 확률이 일어나지 않을 확률의 몇 배인지를 보여주는 odds의 비율을 의미한다. <식 5>의 계산과정에 따라 $\exp(\beta)$ 는 odds-ratio와 동일한 값이 되며, 독립변수가 사고 심각도에 미치는 영향의 정도를 odds-ratio를 통해 수치적으로 분석할 수 있다.

$$\begin{aligned}
\text{odds ratio} &= \frac{\text{Logit } P_1}{\text{Logit } P_0} \\
&= \frac{\frac{P_1}{(1-P_1)}}{\frac{P_0}{(1-P_0)}} = \frac{P_1(1-P_0)}{P_0(1-P_1)} \\
&= \frac{\left[\frac{\exp(\alpha+\beta)}{1+\exp(\alpha+\beta)} \right] \left[1 - \frac{\exp(\alpha)}{1+\exp(\alpha)} \right]}{\left[\frac{\exp(\alpha)}{1+\exp(\alpha)} \right] \left[1 - \frac{\exp(\alpha+\beta)}{1+\exp(\alpha+\beta)} \right]} \\
&= \frac{\left[\frac{\exp(\alpha+\beta)}{1+\exp(\alpha+\beta)} \right] \left[1 - \frac{1}{1+\exp(\alpha)} \right]}{\left[\frac{\exp(\alpha)}{1+\exp(\alpha)} \right] \left[1 - \frac{1}{1+\exp(\alpha+\beta)} \right]} \quad <\text{식 5}> \\
&= \frac{\exp(\alpha)\exp(\beta)}{\exp(\alpha)} \\
&= \exp(\beta) \\
\therefore \text{odds ratio} &= \exp(\beta)
\end{aligned}$$

odds-ratio의 해석의 예를 들면 ‘커브여부(curve)’ 변수의 $\exp(\beta)$ 가 1.2일 때 1로 설정된 커브일 때 0으로 설정된 직선보다 교통사고 발생시 심각도 증가에 1.2배의 영향을 미친다는 것으로 해석될 수 있다. 또한 연속형 변수인 연령, 상류부 15분전 속도 등의 경우에는 독립변수 x 가 1단위 증가할 때 odds가 $\exp(\beta)$ 만큼 증가하게 된다. 예를 들어 ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’ 변수의 $\exp(\beta)$ 가 1.2라면 상류부 15분전 속도가 1kph 증가할 때 심각도는 1.2배 증가한다고 해석할 수 있다.

입력변수에 대한 회귀계수의 유의성은 Wald 통계량을 통해서도 검증할 수 있다. Wald 통계량⁶⁾은 유의확률과 함께 해당 변수가 통계적으로 유의한지를 판단할 때 사용되며, Wald 통계량 값이 크면 클수록 독립변수가 종속변수에 미치는 영향이 더 크다는 뜻으로 해석된다.

6) $Wald \text{통계량} = \left[\frac{\text{회귀계수의 추정치}}{\text{표준오차}} \right]^2$

4.3. 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)

종속변수가 서열이 있는 이산형 변수인 경우 사용하는 비선형 모형의 대표적인 방법에는 프로빗 모형과 로짓 모형이 있다. 프로빗 모형과 로짓 모형은 설명될 변수가 양분 변수 일 경우에 주로 사용하며, 종속변수가 $[0, 1, 2, 3, \dots]$ 의 순서를 가진 변수의 경우에는 어떠한 성향과 선택의 유무를 의미하는 데서 응용된 순서형 프로빗 모형이나 순서형 로짓 모형을 사용한다.

종속변수에 순서가 있을 경우, 회귀분석을 통하여 분석시 종속변수가 $y=0$ 일 때와 $y=1$ 일 때의 차이를 $y=1$ 인 경우와 $y=2$ 일 때의 차이와 동일한 것으로 인식하여 분석하는 한계점이 있다. 따라서 순서형 프로빗 모형 또는 순서형 로짓 모형은 선형회귀분석이 가지고 있는 독립변수의 크기를 잘못 평가할 수 있는 단점을 보완해 줄 수 있으며, 종속변수가 리커트척도와 같은 순차적 다분 변수일 경우에 사용한다.

본 연구에서 사용한 종속변수 중 ‘사고심각도3(injury3)’변수는 교통사고 등급분류 기준에 따라 사망자 3명 이상 또는 부상자 20명 이상의 심각도 A사고, 사망자 1명 이상 또는 부상자 5명 이상의 심각도 B사고, 부상자 1명 이상의 심각도 C사고의 순서형으로 나타난다. 또한 ‘인명피해도(fatal3)’변수는 사망사고, 부상사고, 물피사고의 순서형으로 나타난다. 따라서 이러한 사고 심각도에 영향을 미치는 기상 및 교통조건에 관련된 요인을 분석하고자 순서형 프로빗 모형을 적용하였다.

순서형 프로빗 모형은 순서화된 이산변수를 처리하기 위한 방법으로 순서형 로짓 모형과 함께 많이 사용되는 모형의 하나이다. 이항 선택의 경우와 마찬가지로 연계함수는 누적표준정규분포함수의 역함수를 쓴다는 것이 순서형 로짓 모형과 가장 큰 차이이다.

로짓 모형에서는 ϵ_i 의 확률적 분포가 분산이 동일하고 독립적(IID : Identically and independently distributed)인 와이블분포(weibull distribution)를 따른다고 가정한다. 또한 프로빗 모형에서는 ϵ_i 의 확률분포가 분산이 동일하고 공분산이 0인 정규분포(normal distribution)을 따른다고 가정한다. 따라서 로짓 모형과 유사한 방법의 논의 전개 및 해석법이 존재하며, 순서형 로짓 모형식으로부터

의 프로빗 모형의 확률값을 유도할 수 있다.

<식 7>에서 y^* 는 관찰 불가능한(Unobservable) 응답변수(Response Variable)이고 응답자가 관찰 가능한 응답 y 를 선택하는 기준을 제공한다. y 가 J 개 존재한다고 하면, 1부터 J 까지를 선택하기 위한 응답자에 내재한 기준, 즉 y^* 가 일정 범위 내에서는 j 를 선택할 수 있도록 하는 관찰 불가능한 기준이 된다는 것이다. <식 8>은 범주화된 기준 y^* 와 관찰 가능한 응답 y 와의 관계를 나타낸 것이다.

$$y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \epsilon \quad \text{<식 7>}$$

$$\begin{aligned} y &= 1, \text{ if } y^* \leq \mu_1 (=0) \\ &= 2, \text{ if } \mu_1 < y^* \leq \mu_2 \\ &= 3, \text{ if } \mu_2 < y^* \leq \mu_3 \\ &\vdots \\ &= J, \text{ if } \mu_{J-1} < y^* \end{aligned} \quad \text{<식 8>}$$

위 식의 μ_1 에서 μ_{J-1} 은 y^* 의 경계값(Threshold)을 나타내는 것으로 총 J 개의 관찰 가능한 응답들에 대해 j 를 선택할 수 있는 기준이 된다. 만약 $y=2$ 로 μ_1 과 μ_2 사이의 y^* 을 가지고 있음을 나타낸다.

이산형 종속변수를 확률의 개념으로 연속성을 확보하는 순서형 로짓 모형에서 $y=j$ 를 선택할 확률인 $\text{Prob}(y=j)$ 는 <식 9>와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}(y=j) \\ &= \text{Prob}(\mu_{j-1} < y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \epsilon \leq \mu_j) \\ &= \text{Prob}(\mu_{j-1} - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k < \epsilon \leq \mu_j - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{<식 9>} \\ \text{계속} \end{array}$$

$$\begin{aligned}
&= F(\mu_j - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) - F(\mu_{j-1} - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) \\
&= \Phi(\mu_j - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) - \Phi(\mu_{j-1} - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) \quad \text{<식 9>}
\end{aligned}$$

단, $0 < \mu_2 < \mu_3 < \dots < \mu_{J-1}$

순서형 로짓 모형과 마찬가지로 순서형 프로빗 모형 또한 누적표준정규분포함수로 구성되므로, $Prob(y=2) = Prob(y \leq 2) - Prob(y \leq 1)$ 이 성립하는 원리를 이용하여 순서형 프로빗 모형의 확률 계산식을 유도하면 <식 10>과 같이 일반화 될 수 있으며, 개개의 확률값을 추정하거나 확률에 대한 한계효과를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
Prob(y=1) &= \Phi(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k) \\
Prob(y=2) &= \Phi(\mu_2 - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) - \Phi(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k) \\
Prob(y=3) &= \Phi(\mu_3 - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) - \Phi(\mu_2 - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k) \\
&\vdots \\
Prob(j=J) &= 1 - \Phi(\mu_{j-1} - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k)
\end{aligned} \quad \text{<식 10>}$$

순서형 프로빗 모형에 대한 더 자세한 내용은 이성우 등(2005)¹⁴⁾의 「로짓·프라빗모형 응용」 제 5장에 제시되어 있다.

최종적으로 도출된 모형에 대하여 모형의 설명력과 모형의 적합성을 검증하기 위해 ρ^2 (우도비)와 χ^2 (Chi-Square)를 이용한다. 여기서 ρ^2 (우도비)는 McFadden의 결정계수라고도 불리며 0과 1사이의 값을 갖고 1에 가까울수록 모형의 적합도가 높으며 회귀분석의 결정계수와는 달리 0.2~0.4의 값이면 충분히 높은 적합도를 가진다고 볼 수 있다. χ^2 (Chi-Square)는 모형의 개발시 각 변수들 간의 독립성을 검증하기 위하여 사용하며, 모형의 적합성을 검증할 수 있다.

5. 분석결과

5.1. 개요

5.1.1. 분석흐름도

본 연구의 분석흐름도는 <그림 11>과 같다. 먼저, 기상상태 및 심각도에 따른 속도 및 V/C의 분포를 비교분석하였다. 또한 이항 로지스틱 회귀분석 및 순서형 프로빗 모형을 이용하여 사고 심각도에 영향을 미치는 변수를 도출하였으며, 정상기후와 이상기후시 심각도 영향요인을 각각 도출하여 비교분석하였다. 심각도 A사고의 case가 충분한 전체사고에서는 순서형 프로빗 모형을 이용하였으며, 화물차사고, 차-시설사고, 추돌사고의 경우는 심각도 A사고의 개수가 충분하지 못하여 이분형 종속변수를 이용한 이항 로지스틱 회귀분석을 수행하였다.



<그림 11> 분석흐름도

5.1.2. 분석별 Data Description

기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포분석과 교통사고 심각도 영향요인 분석의 분석별로 사용된 Data의 기술통계를 <표 17>에 제시하였다. 교통특성 분포관련 분석에서는 기상 및 심각도별 교통특성 분석의 사고 data 개수가 총 959개, 화물차사고의 경우 400개, 차-시설사고는 618개, 추돌사고는 208개로 나타났다.

<표 17> 분석별 Data 기술통계

분석내용	방법론	기상	심각도	사고 data 개수		
기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포분석	ANOVA t-test	정상	심각한 사고	113	650	959
			경미한 사고	537		
		비	심각한 사고	24	261	
			경미한 사고	237		
		눈	심각한 사고	13	48	
			경미한 사고	35		
화물차사고의 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포분석	ANOVA t-test	정상	심각한 사고	65	278	400
			경미한 사고	213		
		비	심각한 사고	11	97	
			경미한 사고	86		
		눈	심각한 사고	7	25	
			경미한 사고	18		
차-시설사고의 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포분석	ANOVA t-test	정상	심각한 사고	31	383	618
			경미한 사고	352		
		비	심각한 사고	10	204	
			경미한 사고	194		
		눈	심각한 사고	6	31	
			경미한 사고	25		
추돌사고의 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포분석	ANOVA t-test	정상	심각한 사고	60	166	208
			경미한 사고	106		
		비	심각한 사고	9	30	
			경미한 사고	21		
		눈	심각한 사고	5	12	
			경미한 사고	7		

※ ANOVA : 분산분석(Analysis of variance)

<표 17> 분석별 Data 기술통계(계속)

분석내용	방법론	기상	심각도	사고 data 개수		
기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	OPM	정상기후	심각도 A사고	12	623	924
			심각도 B사고	96		
			심각도 C사고	515		
		이상기후	심각도 A사고	2	301	
			심각도 B사고	34		
			심각도 C사고	265		
		정상기후	사망사고	89	623	924
			부상사고	174		
			물피사고	360		
		이상기후	사망사고	25	301	
			부상사고	47		
			물피사고	229		
화물차사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	BLR	정상기후	심각한 사고	60	261	377
			경미한 사고	201		
		이상기후	심각한 사고	17	116	
			경미한 사고	99		
차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	BLR	정상기후	심각한 사고	31	371	603
			경미한 사고	340		
		이상기후	심각한 사고	16	232	
			경미한 사고	216		
추돌사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	BLR	정상기후	심각한 사고	57	157	194
			경미한 사고	100		
		이상기후	심각한 사고	13	37	
			경미한 사고	24		

※ OPM : 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)

※ BLR : 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistics Regression)

기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 전체 사고의 data가 924개로 나타났다. 이 중 정상기후는 623개, 이상기후는 301개로 나타났다. 화물차사고는 377개이며 이 중 정상기후는 261개, 이상기후는 116개로 나타났다. 차-시설 사고 data 603개 중 정상기후는 371개, 이상기후는 232개로 나타났다. 추돌사고는 194개로, 이 중 정상기후는 157개, 이상기후는 37개로 나타났다.

5.2. 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교분석

5.2.1. 분석 시나리오

본 연구에서는 기상 및 심각도별 속도, 속도의 표준편차, V/C 등의 교통특성을 비교분석하기 위하여 기상 및 심각도에 따른 교통특성을 분포로 나타내고 통계분석을 통하여 비교하였다. 또한 화물차사고, 차-시설사고, 추돌사고일 때 기상에 따른 속도, 속도의 표준편차, V/C 분포를 비교분석 하였다. 분석 시나리오를 <표 18>에 제시하였으며, 분석결과는 총 44개의 통계분석 결과 중 유의한 12개 시나리오의 결과만을 제시하였다.

심각도별 교통특성 분석에서는 심각도 분류기준을 사망자 1명 이상의 심각도 A사고 및 B사고를 심각한 사고로, 부상자 1명 이상의 심각도 C사고를 경미한 사고로 정의하였다.

<표 18> 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교 분석 시나리오

구분		분석명	통계적유의성
기상별		기상별 속도분포 및 분산분석	○
		기상별 속도 표준편차분포 및 분산분석	○
		기상별 V/C분포 및 분산분석	○
심각도별		심각도별 속도분포 및 t검정	-
		심각도별 V/C분포 및 t검정	-
정상기후		정상기후시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		정상기후시 심각도별 V/C분포 및 t검정	○
강우시		강우시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		강우시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
강설시		강설시 심각도별 속도분포 및 t검정	○
		강설시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
화물차 사고	기상별	기상별 속도분포 및 분산분석	○
		기상별 속도 표준편차분포 및 분산분석	○
		기상별 V/C분포 및 분산분석	○
	심각도별	심각도별 속도분포 및 t검정	-
		심각도별 V/C분포 및 t검정	-

※ 통계적유의성 ○ : 통계적으로 유의한 결과가 나타남

- : 통계적으로 유의한 결과가 나타나지 않음

<표 18> 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교 분석 시나리오(계속)

구분		분석명	통계적유의성
화물차 사고	정상기후	정상기후시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		정상기후시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	강우시	강우시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		강우시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	강설시	강설시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		강설시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
차-시설 사고	기상별	기상별 속도분포 및 분산분석	○
		기상별 속도 표준편차분포 및 분산분석	-
		기상별 V/C분포 및 분산분석	○
	심각도별	심각도별 속도분포 및 t검정	-
		심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	정상기후	정상기후시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		정상기후시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	강우시	강우시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		강우시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	강설시	강설시 심각도별 속도분포 및 t검정	○
		강설시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
추돌 사고	기상별	기상별 속도분포 및 분산분석	○
		기상별 속도 표준편차분포 및 분산분석	-
		기상별 V/C분포 및 분산분석	-
	심각도별	심각도별 속도분포 및 t검정	-
		심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	정상기후	정상기후시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		정상기후시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	강우시	강우시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		강우시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-
	강설시	강설시 심각도별 속도분포 및 t검정	-
		강설시 심각도별 V/C분포 및 t검정	-

※ 통계적유의성 ○ : 통계적으로 유의한 결과가 나타남

- : 통계적으로 유의한 결과가 나타나지 않음

5.2.2. Data Description

기상 및 심각도에 따른 교통특성을 비교분석하기 위하여 사용한 Dataset의 특성을 정리하여 <표 19>에 제시하였다. 전체사고는 959건 중 화물차사고는 400건, 차-시설사고는 618건, 추돌사고는 208건으로 나타났다. 기상별 사고에서는 차-시설사고의 이상기후(비, 눈)시 사고비율이 38% 수준으로 화물차사고(약 30%), 추돌사고(약 20%) 비하여 높았다.

심각도별 사고에서는 추돌사고 중 심각한 사고가 약 36%로 화물차사고(약 20%), 차-시설사고(약 8%)보다 매우 높았다. 정상기후시에는 추돌사고 중 심각한 사고가 약 36%로 화물차사고(약 23%), 차-시설사고(약 8%)보다 높은 것으로 나타났다. 또한 강우 및 강설시에도 추돌사고 중 심각한 사고는 각각 30%, 42% 수준으로 나타나 화물차사고 및 차-시설사고보다 높은 것으로 나타났다.

<표 19> 기상 및 심각도별 교통특성 분석을 위한 Data Description

구분		전체 사고		화물차사고		차-시설사고		추돌사고	
		건	%	건	%	건	%	건	%
기상별	정상	650	67.8	278	69.5	383	62.0	166	79.8
	비	261	27.2	97	24.3	204	33.0	30	14.4
	눈	48	5.0	25	6.3	31	5.0	12	5.8
	합계	959	100	400	100	618	100	208	100
심각도별	심각한 사고	150	15.6	83	20.8	47	7.6	74	35.6
	경미한 사고	809	84.4	317	79.3	571	92.4	134	64.4
	합계	959	100	400	100	618	100	208	100
정상기후	심각한 사고	113	17.4	65	23.4	31	8.1	60	36.1
	경미한 사고	537	82.6	213	76.6	352	91.9	106	63.9
	합계	650	100	278	100	383	100	166	100
비	심각한 사고	24	9.2	11	11.3	10	4.9	9	30.0
	경미한 사고	237	90.8	86	88.7	194	95.1	21	70.0
	합계	261	100	97	100	204	100	30	100
눈	심각한 사고	13	27.1	7	28.0	6	19.4	5	41.7
	경미한 사고	35	72.9	18	72.0	25	80.7	7	58.3
	합계	48	100	25	100	31	100	12	100

5.2.3. 기상별 속도분포 및 분산분석

기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상상태에 따른 속도의 분포를 비교하고, 통계분석을 수행하였다. 기상별 속도의 기술통계량을 <표 20>에 제시하였다.

정상, 비, 눈일 때의 속도 평균은 각각 92.84kph, 87.16kph, 69.17kph로, 표준편차는 기상별로 각각 12.87, 14.09, 18.30으로 나타났다.

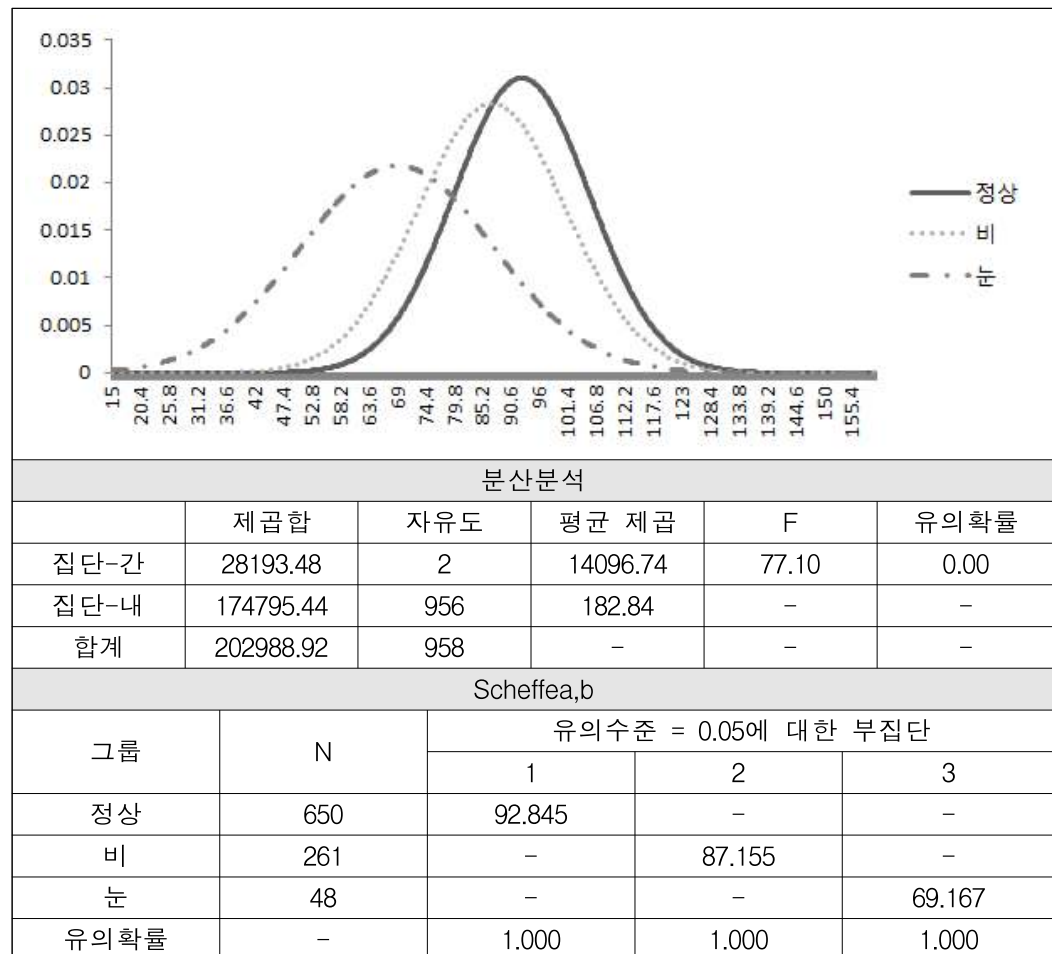
<표 20> 기상별 속도의 기술통계량

		정상	비	눈
N		650	261	48
평균		92.84	87.16	69.17
표준편차		12.87	14.09	18.30
분산		165.60	198.41	334.82
최소값		18.00	12.00	34.00
최대값		125.00	131.00	102.00
백분위수	5	70.00	68.00	36.45
	10	76.00	73.00	42.50
	15	81.00	76.00	45.75
	20	84.00	79.00	54.60
	25	88.00	81.00	58.00
	30	90.00	82.00	59.00
	35	91.00	84.70	60.00
	40	92.00	86.00	63.60
	45	94.00	87.00	67.05
	50	95.00	88.00	69.50
	55	96.00	90.00	75.00
	60	97.00	91.00	75.00
	65	99.00	93.00	76.85
	70	100.00	94.00	80.00
	75	101.25	95.00	81.00
	80	103.00	97.00	86.20
	85	104.00	99.00	88.95
	90	106.00	102.40	95.20
	95	109.00	104.90	101.00

기상별 속도 분포에서는 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도의 평균은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 비와 눈과 같은 이상기후는 교통류의 속도를 저하시킨다는 것을 나타낸다. 강우시에는 맑음일 때보다 6% 감소하였으며, 강설시에는 정상기후일 때보다 25% 감소한 것으로 나타났다.

<표 21>에 나타난 것과 같이 기상별 평균속도에 대한 분산분석 결과 분산분석의 유의확률이 0.00으로 나타나 기상별 속도의 평균이 같다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 기상별 속도 평균은 다르다고 말할 수 있다. 또한 사후분석 결과 기상별 평균속도는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 21> 기상별 속도평균에 대한 분포 및 분산분석 결과



5.2.4. 기상별 속도표준편차분포 및 분산분석

기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상상태에 따른 속도 표준편차의 분포를 비교하고, 통계분석을 수행하였다. 기상별 속도 표준편차의 기술통계량을 <표 22>에 제시하였다. 정상, 비, 눈일 때의 속도 표준편차의 평균은 각각 5.89, 6.25, 8.84으로, 표준편차는 5.36, 5.31, 4.48로 나타났다.

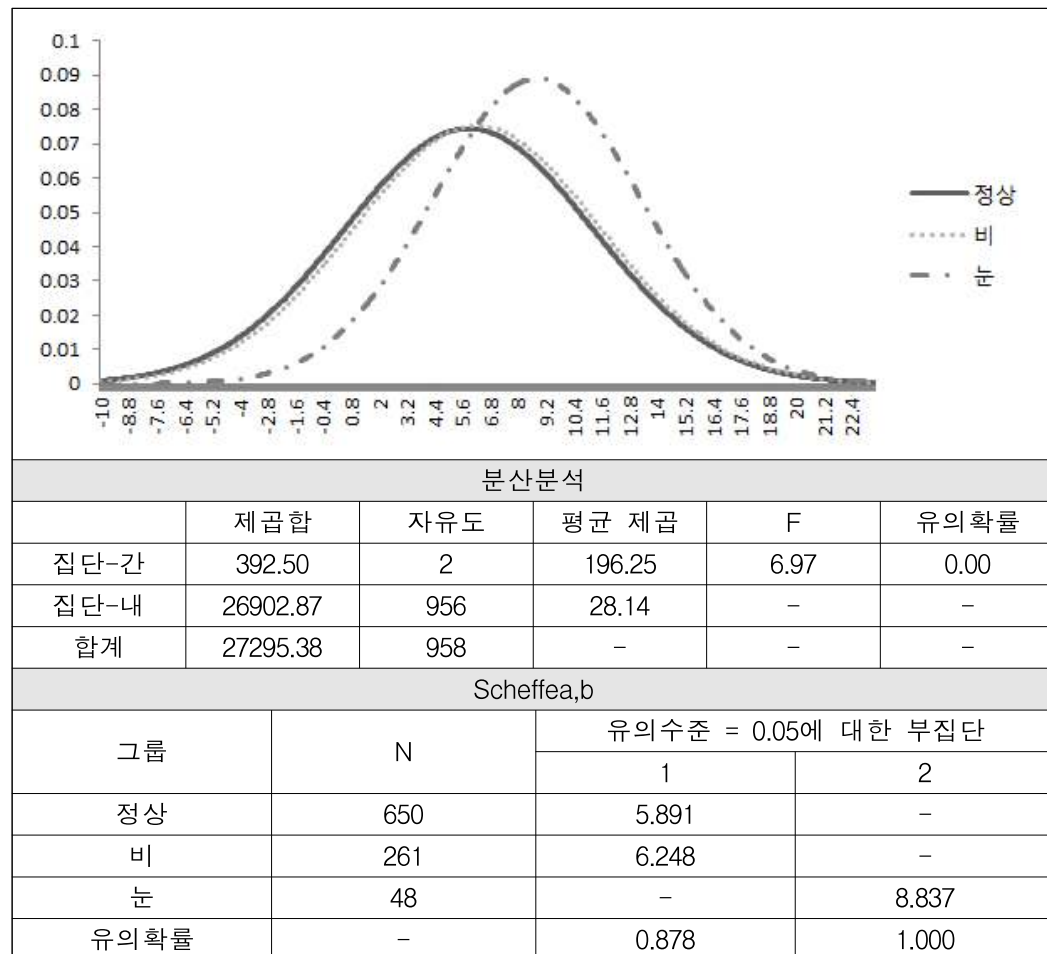
<표 22> 기상별 속도표준편차의 기술통계량

		정상	비	눈
N		650	261	48
평균		5.89	6.25	8.84
표준편차		5.36	5.31	4.48
분산		28.69	28.23	20.11
최소값		0.53	0.53	3.06
최대값		38.28	29.21	19.69
백분위수	5	1.28	1.39	3.23
	10	1.69	1.89	3.63
	15	2.00	2.20	4.02
	20	2.26	2.43	4.94
	25	2.49	2.70	5.23
	30	2.87	3.16	5.42
	35	3.16	3.45	5.81
	40	3.52	3.89	6.85
	45	3.92	4.11	7.15
	50	4.21	4.43	8.11
	55	4.56	4.90	9.16
	60	4.98	5.42	9.93
	65	5.58	6.09	10.24
	70	6.39	6.81	10.57
	75	7.16	7.69	11.26
	80	8.07	8.78	11.81
	85	9.58	10.54	14.76
	90	12.35	12.99	16.19
	95	16.93	17.31	18.32

기상별 속도의 표준편차분포에서는 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 표준편차의 평균은 증가하는 것으로 나타났다. 속도의 표준편차가 증가한다는 것은 교통사고발생 개연성이 증가함을 의미한다. 따라서 비 또는 눈과 같은 이상기후일 때는 정상기후보다 속도의 표준편차가 높아 사고발생 개연성이 크다.

<표 23>에 나타난 것과 같이 분산분석 결과 분산분석의 유의확률이 0.00으로 나타나 기상별 속도표준편차의 평균이 동일하다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 기상별 속도 표준편차의 평균은 다르다고 말할 수 있다. 사후분석 결과 기상상태가 정상, 비일 때의 속도 표준편차는 눈일 때 속도 표준편차와 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 23> 기상별 속도표준편차 분포 및 분산분석 결과



5.2.5. 기상별 V/C분포 및 분산분석

기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상상태에 따른 Volume/Capacity(V/C)를 비교하고, 이에 대한 통계분석을 수행하였다. 기상별 V/C의 기술통계량을 <표 24>에 제시하였다. 기상상태가 정상, 비, 눈일 때 V/C의 평균은 각각 0.23, 0.22, 0.16으로며, 표준편차는 0.16, 0.15, 0.10으로 나타났다.

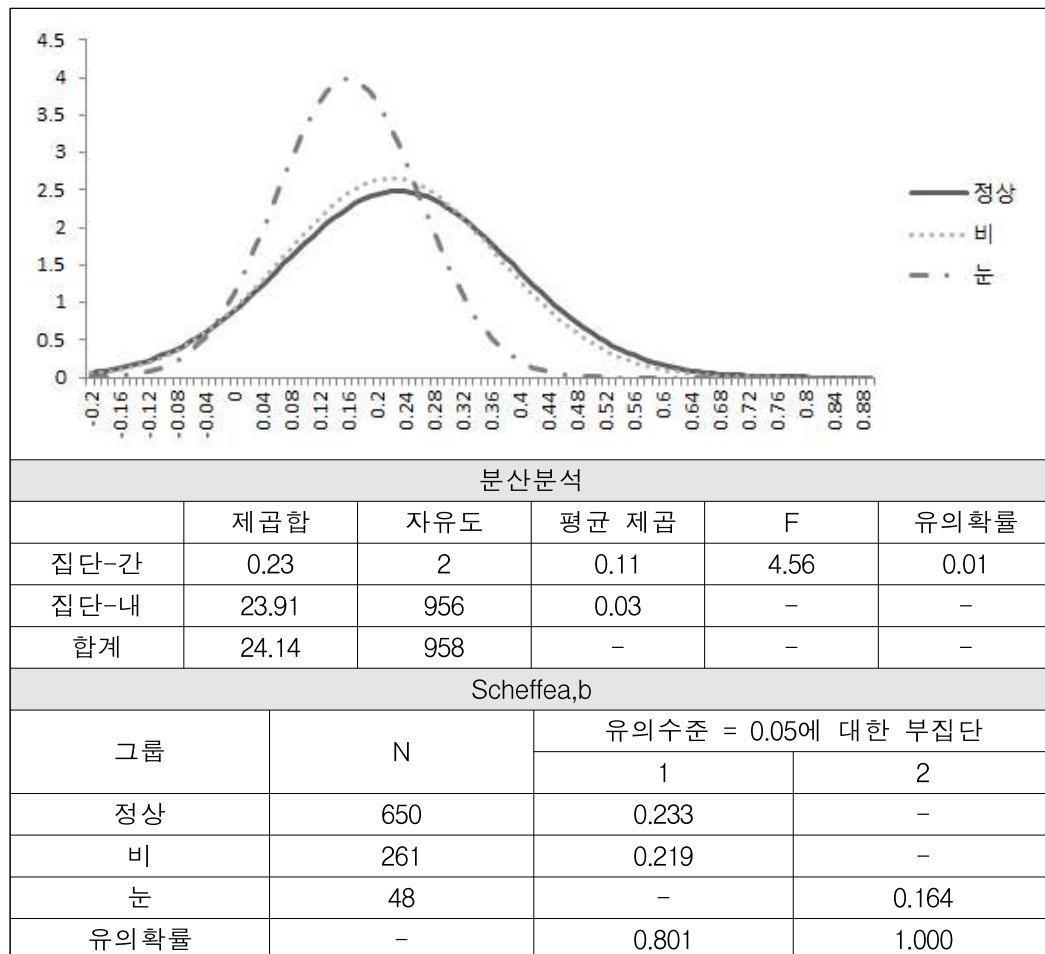
<표 24> 기상별 V/C의 기술통계량

		정상	비	눈
N		650	261	48
평균		0.23	0.22	0.16
표준편차		0.16	0.15	0.10
분산		0.03	0.02	0.01
최소값		0.04	0.05	0.06
최대값		0.98	1.00	0.47
백분위수	5	0.07	0.07	0.06
	10	0.08	0.08	0.07
	15	0.09	0.10	0.08
	20	0.10	0.10	0.09
	25	0.11	0.11	0.10
	30	0.12	0.12	0.11
	35	0.13	0.13	0.12
	40	0.15	0.15	0.13
	45	0.16	0.16	0.13
	50	0.18	0.18	0.13
	55	0.20	0.20	0.14
	60	0.22	0.21	0.14
	65	0.25	0.22	0.14
	70	0.28	0.24	0.17
	75	0.31	0.26	0.20
	80	0.35	0.29	0.23
	85	0.39	0.34	0.29
	90	0.45	0.39	0.31
	95	0.57	0.54	0.40

기상별 V/C에서는 정상, 비, 눈으로 갈수록 V/C가 감소하는 것으로 나타났다. V/C가 비와 눈과 같은 이상기후시 낮아진 것은 운전자의 이용수단 전환이나, 노선 전환, 통행의 연기 또는 포기로 인하여 수요가 감소한다는 Maze et al.(2005)⁴⁵⁾의 연구결과와 같은 결과가 도출되었다.

<표 25>에 나타난 것과 같이 분산분석 결과 유의확률이 0.01로 나타나 기상별 V/C의 평균이 동일하다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 기상별 V/C 평균은 다르다고 말할 수 있다. 또한 사후분석 결과 기상상태가 정상, 비일 때의 V/C는 눈일 때 V/C와 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 25> 기상별 V/C의 분포 및 분산분석 결과



5.2.6. 정상기후시 심각도에 따른 V/C분포 및 t검정

정상기후시 심각도별 V/C를 비교분석하기 위하여 기상상태가 정상일 때 심각한 사고 및 경미한 사고의 V/C 분포를 도출하고 통계분석을 수행하였다. 정상기후시 심각도별 V/C의 기술통계량을 <표 26>에 제시하였다. 기상상태가 정상일 때 심각한 사고의 V/C 평균은 0.21, 경미한 사고는 0.24였다. 표준편차는 각각 0.14, 0.17로 나타났다.

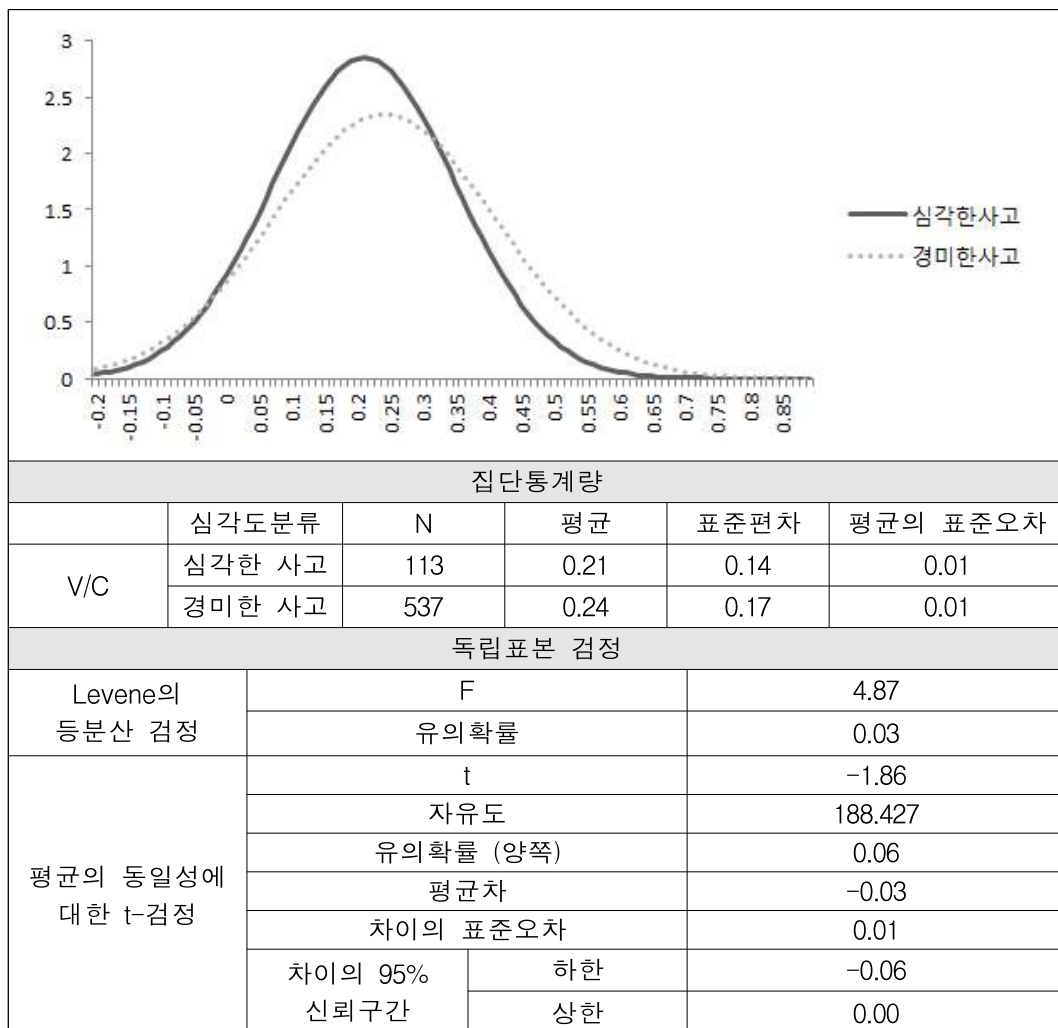
<표 26> 정상기후시 심각도에 따른 V/C의 기술통계량

기술통계		심각한 사고(A, B)	경미한 사고(C)
N		113	537
평균		0.21	0.24
표준편차		0.14	0.17
분산		0.02	0.03
최소값		0.06	0.04
최대값		0.87	0.98
백분위수	5	0.07	0.07
	10	0.08	0.08
	15	0.09	0.09
	20	0.10	0.10
	25	0.11	0.11
	30	0.12	0.12
	35	0.13	0.13
	40	0.15	0.15
	45	0.15	0.17
	50	0.16	0.19
	55	0.17	0.20
	60	0.19	0.23
	65	0.22	0.26
	70	0.25	0.29
	75	0.28	0.32
	80	0.32	0.35
	85	0.35	0.40
	90	0.41	0.46
	95	0.48	0.59

이상기후의 영향을 배제한 정상기후에서 심각도별 V/C분포에서는 심각한 사고의 평균 V/C가 경미한 사고 보다 낮게 나타났다. V/C가 낮다는 것은 상대적으로 속도선택의 자유도가 높다는 것을 의미하며, 속도선택의 자유도가 높을 경우 평균속도가 증가하거나 속도의 표준편차가 증가하므로, 사고발생개연성 또는 사고 심각도가 증가할 가능성이 높다.

<표 27>과 같이 심각도별 평균 V/C에 대한 통계분석 결과 유의확률이 0.06으로 정상기후시 심각도별 V/C 평균에 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 심각도별 V/C 평균은 다르다고 말할 수 있다.

<표 27> 정상기후시 심각도에 따른 V/C 분포 및 t검정 결과



5.2.7. 강설시 심각도에 따른 속도분포 및 t검정

강설시 심각도별 속도를 비교분석하기 위하여 강설시 심각한 사고 및 경미한 사고의 속도의 분포를 도출하고 통계분석을 수행하였다. 강설시 심각도별 속도의 기술통계량을 <표 28>에 제시하였다. 강설시 심각한 사고의 속도평균은 77.23kph로, 경미한 사고는 66.17kph, 표준편차는 각각 20.03, 16.95 이었다.

<표 28> 강설시 심각도에 따른 속도의 기술통계량

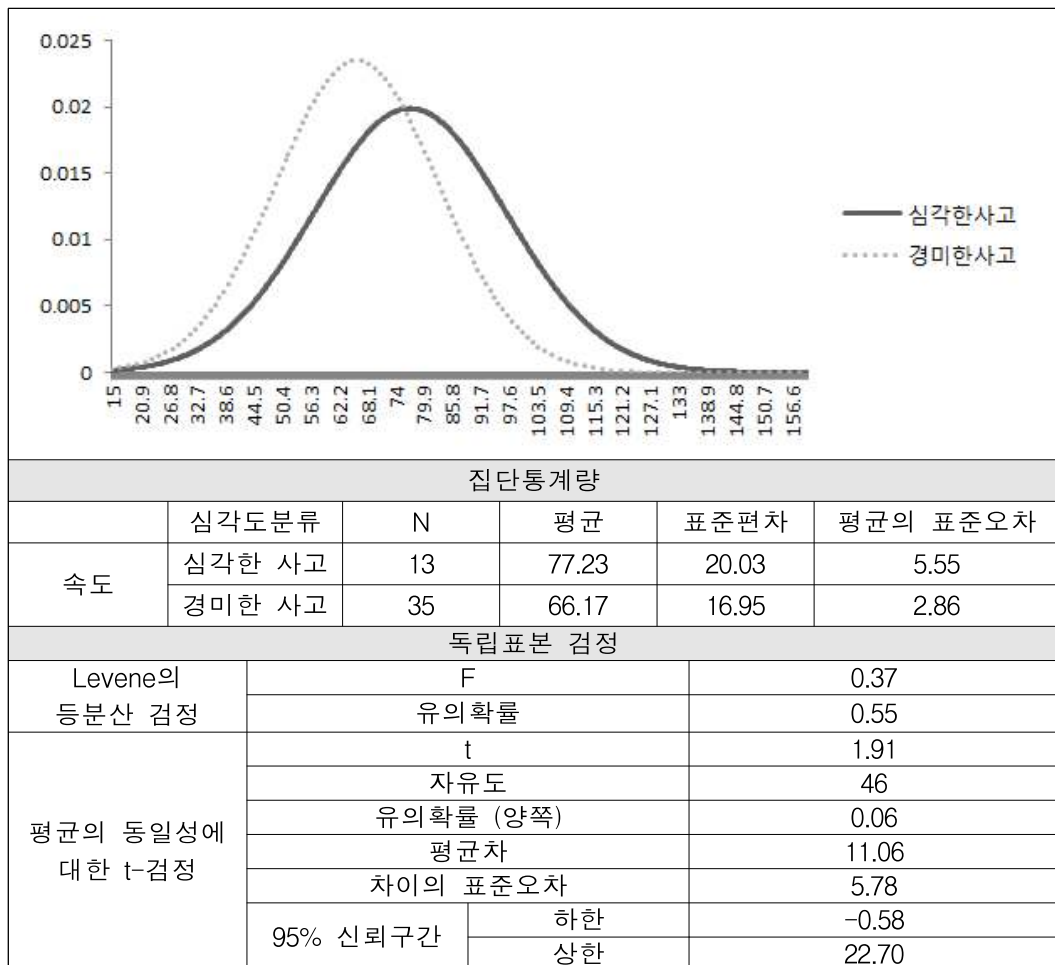
기술통계		심각한 사고(A, B)	경미한 사고(C)
N		13	35
평균		77.23	66.17
표준편차		20.03	16.95
분산		401.03	287.21
최소값		37.00	34.00
최대값		102.00	97.00
백분위수	5	37.00	35.60
	10	44.60	41.00
	15	56.20	44.00
	20	57.60	49.80
	25	58.00	55.00
	30	61.40	59.00
	35	73.30	59.60
	40	77.40	60.00
	45	79.60	66.00
	50	81.00	67.00
	55	81.00	68.80
	60	82.60	73.00
	65	85.50	75.00
	70	89.00	75.20
	75	95.50	77.00
	80	101.00	80.00
	85	101.00	86.60
	90	101.60	89.00
	95	.	95.40

강설시 심각도별 속도분포에서는 심각한 사고의 평균속도 경미한 사고 보다 약 11kph가 높은 것으로 나타나 심각한 사고의 평균속도가 경미한 사고보다 약 14% 높은 것으로 나타났다.

Andrey et al.(2003)²¹⁾의 연구결과에서는 강설시 사고발생률이 정상기후보다 50% 증가한다고 제시하였으므로, 강설시 사고발생률이 정상기후에 비해 높다고 한다면, 이때 운전자가 고속주행 했을 경우 심각한 사고로 이어질 수 있다.

<표 289>와 같이 심각도별 평균속도의 통계분석 결과 유의확률이 0.06으로 강설시 심각도별 속도 평균의 차이가 없다는 귀무가설을 기각하여 95%의 신뢰수준으로 강설시 심각도별 속도 평균은 다르다고 말할 수 있다.

<표 29> 강설시 심각도에 따른 속도 분포 및 t검정 결과



5.2.8. 화물차사고의 기상별 속도분포 및 분산분석

화물차사고에서 기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상상태에 따른 속도의 분포를 비교하고, 통계분석을 수행하였다. 화물차사고의 기상별 속도 기술통계량을 <표 30>에 제시하였다. 정상, 비, 눈일 때 평균속도는 각각 91.38kph, 84.72kph, 65.24kph로, 표준편차는 12.40, 15.63, 18.96으로 나타났다.

<표 30> 화물차사고의 기상별 속도 기술통계량

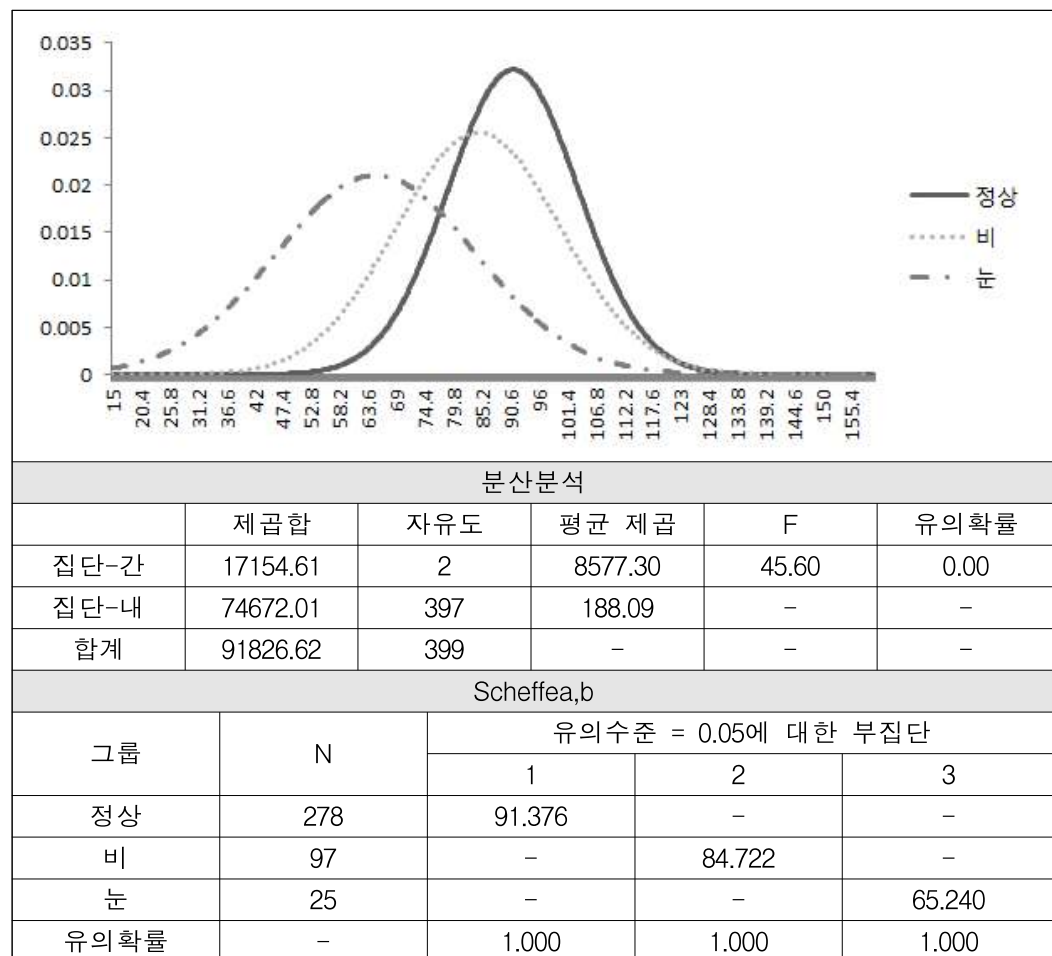
		정상	비	눈
N		278	97	25
평균		91.38	84.72	65.24
표준편차		12.40	15.63	18.96
분산		153.71	244.41	359.61
최소값		45.00	12.00	34.00
최대값		125.00	108.00	101.00
백분위수	5	66.95	53.70	34.60
	10	73.90	72.60	36.60
	15	78.00	75.70	37.90
	20	81.80	78.00	45.00
	25	85.00	79.00	51.00
	30	89.00	81.00	55.40
	35	90.00	82.30	59.00
	40	91.00	85.00	59.00
	45	92.00	86.00	63.90
	50	94.00	87.00	66.00
	55	95.00	88.00	68.30
	60	96.00	89.00	72.60
	65	97.00	92.00	75.00
	70	98.30	93.00	76.60
	75	100.00	94.00	79.50
	80	101.00	95.00	80.80
	85	102.00	97.00	86.40
	90	104.00	99.00	92.00
	95	107.00	103.10	99.20

화물차사고의 기상별 속도 분포에서는 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도의 평균은 감소하는 것으로 나타나 이상기후로 인하여 도로 소통능력이 저하되었다.

<표 31>과 같이 분산분석 결과 유의확률이 0.00으로 화물차사고의 기상별 속도 평균의 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였으므로 95%의 신뢰수준으로 화물차사고의 기상별 속도 평균은 다르다고 말할 수 있다.

사후분석 결과 화물차사고의 기상별 평균속도는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 4.2.2.1.의 전체사고와 비교했을 경우 화물차사고의 속도평균은 다소 낮은 것으로 나타났다. 그러나 강설시에는 전체사고보다 화물차사고의 평균속도가 높은 것으로 나타났다.

<표 31> 화물차사고의 기상별 속도 분포 및 분산분석 결과



5.2.9. 화물차사고의 기상별 속도표준편차분포 및 분산분석

화물차사고에서 기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상별 속도의 표준편차를 비교하고, 이에 대한 통계분석을 수행하였다. 화물차사고의 기상별 속도 표준편차 기술통계량을 <표 32>에 제시하였다. 정상, 비, 눈일 때 화물차사고의 기상별 속도 표준편차의 평균은 각각 5.76, 6.09, 9.84로, 표준편차는 4.74, 5.62, 4.89로 나타났다.

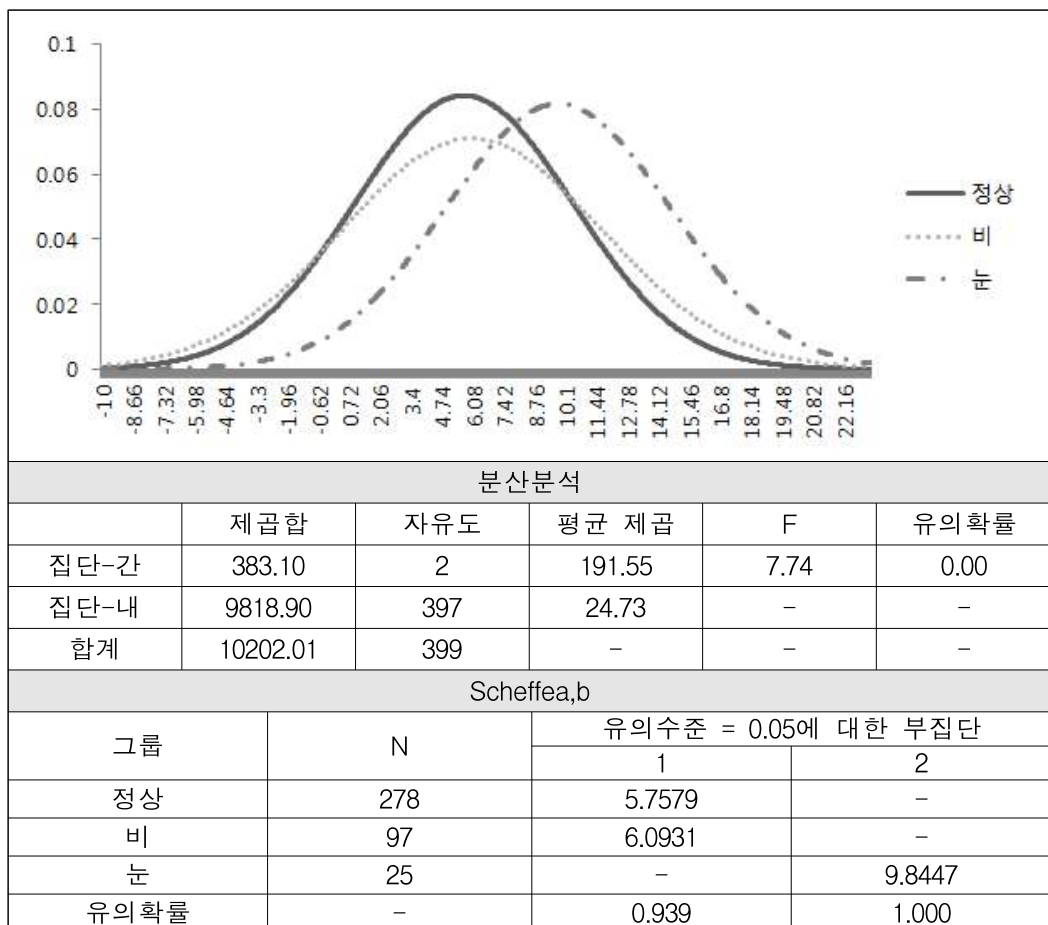
<표 32> 화물차사고의 기상별 속도표준편차 기술통계량

		정상	비	눈
N		278	97	25
평균		5.76	6.09	9.84
표준편차		4.74	5.62	4.89
분산		22.43	31.59	23.88
최소값		0.53	0.53	3.06
최대값		28.24	29.21	19.69
백분위수	5	1.19	1.19	3.09
	10	1.72	1.70	3.45
	15	2.02	1.96	3.97
	20	2.33	2.34	4.28
	25	2.60	2.61	5.25
	30	3.07	2.87	6.78
	35	3.36	3.41	7.17
	40	3.78	3.80	7.95
	45	4.06	4.06	9.55
	50	4.34	4.12	10.26
	55	4.69	4.37	10.50
	60	5.17	4.92	10.94
	65	5.67	5.98	11.58
	70	6.37	6.62	11.81
	75	7.42	7.12	12.50
	80	8.09	9.16	15.56
	85	9.45	9.75	16.19
	90	11.77	12.85	17.00
	95	15.71	19.08	19.25

화물차사고의 기상별 속도의 표준편차분포에서는 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 표준편차의 평균은 증가하는 것으로 나타났다. 속도의 표준편차가 증가한다는 것은 교통사고발생 개연성이 증가함을 의미한다. 따라서 전체사고와 마찬가지로 이상기후일 때는 정상기후보다 속도의 표준편차가 높아 사고발생 개연성이 크다.

<표 33>과 같이 분산분석 결과 분산분석의 유의확률이 0.00으로 나타나 화물차사고의 기상별 속도표준편차의 평균이 동일하다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 기상별 속도 표준편차의 평균은 다르다고 말할 수 있다. 사후분석 결과 기상상태가 정상, 비일 때의 화물차사고의 속도 표준편차는 눈일 때 속도 표준편차와 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 33> 화물차사고의 기상별 속도표준편차 분포 및 분산분석 결과



5.2.10. 화물차사고의 기상별 V/C분포 및 분산분석

화물차사고에서 기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상별 속도의 V/C를 비교하고, 이에 대한 통계분석을 수행하였다. 화물차사고의 기상별 속도 V/C 기술통계량을 <표 34>에 제시하였다. 기상상태가 정상, 비, 눈일 때 V/C분포의 평균은 각각 0.22, 0.27, 0.15이며, 표준편차는 0.16, 0.18, 0.07로 나타났다.

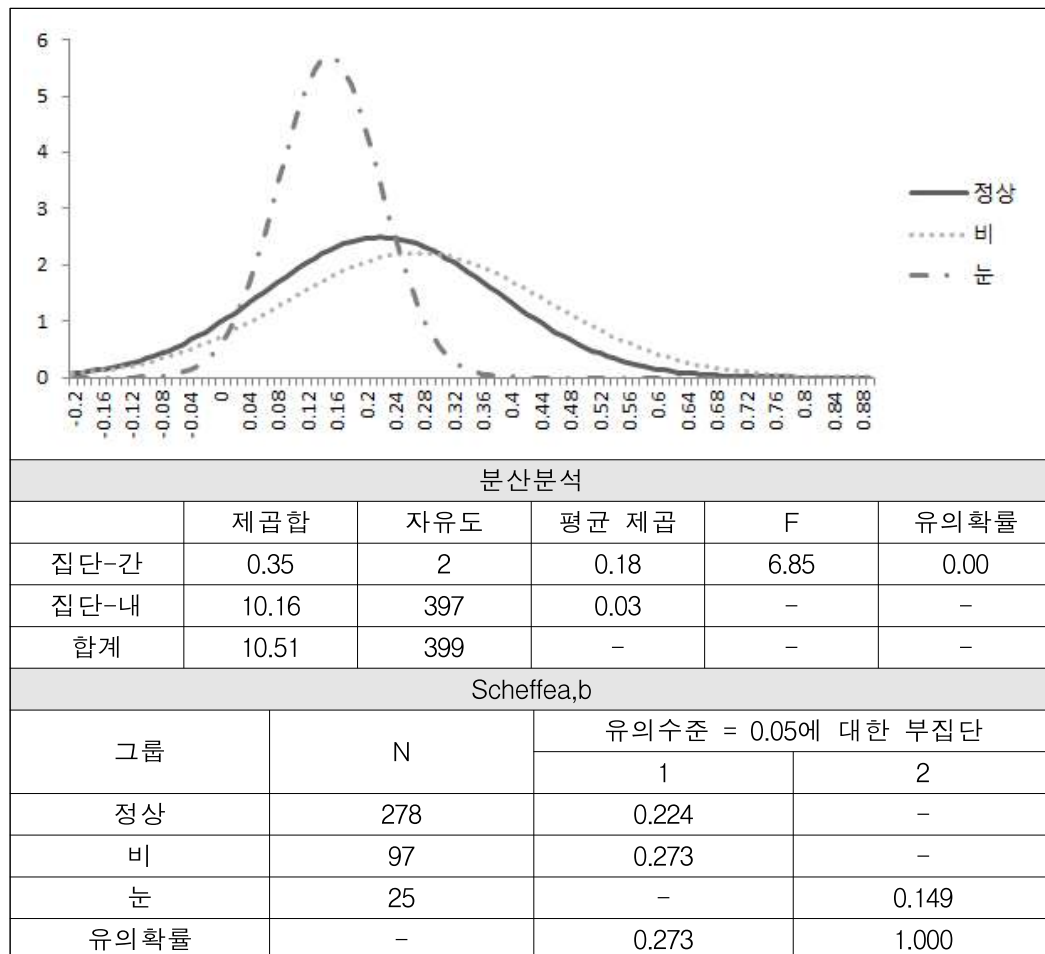
<표 34> 화물차사고의 기상별 V/C 기술통계량

		정상	비	눈
N		278	97	25
평균		0.22	0.27	0.15
표준편차		0.16	0.18	0.07
분산		0.02	0.03	0.01
최소값		0.04	0.06	0.06
최대값		0.98	0.91	0.30
백분위수	5	0.08	0.09	0.06
	10	0.08	0.10	0.07
	15	0.09	0.11	0.08
	20	0.10	0.12	0.08
	25	0.11	0.13	0.10
	30	0.12	0.15	0.11
	35	0.13	0.16	0.11
	40	0.14	0.18	0.12
	45	0.16	0.21	0.13
	50	0.17	0.22	0.13
	55	0.19	0.25	0.14
	60	0.21	0.27	0.14
	65	0.23	0.29	0.14
	70	0.27	0.33	0.15
	75	0.29	0.34	0.19
	80	0.32	0.37	0.22
	85	0.39	0.44	0.25
	90	0.43	0.50	0.29
	95	0.54	0.68	0.30

화물차사고의 기상별 V/C에서는 전체사고와 마찬가지로 정상, 비, 눈으로 갈수록 V/C가 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 이상기후 발생으로 인한 교통 수요의 감소가 주 원인으로 작용하여 정상기후보다 이상기후시의 V/C가 낮은 것으로 나타났다.

<표 35>에 나타난 것과 같이 분산분석 결과 유의확률이 0.00로 나타나 화물차사고의 기상별 V/C 평균이 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였으며, 따라서 95%의 신뢰수준으로 화물차사고의 기상별 V/C 평균은 다르다고 말할 수 있다. 사후분석에서는 기상상태가 정상, 비일 때의 V/C는 눈일 때 V/C와 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 35> 화물차사고의 기상별 V/C 분포 및 분산분석 결과



5.2.11. 차-시설사고의 기상별 속도분포 및 분산분석

차-시설사고에서 기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상별 속도를 비교하고, 이에 대한 통계분석을 수행하였다. 차-시설사고의 기상별 속도 기술통계량을 <표 36>에 제시하였다. 정상, 비, 눈의 기상상태별 속도의 평균은 각각 93.85kph, 86.42kph, 70.68kph로, 표준편차는 12.49, 13.96, 18.94로 나타났다.

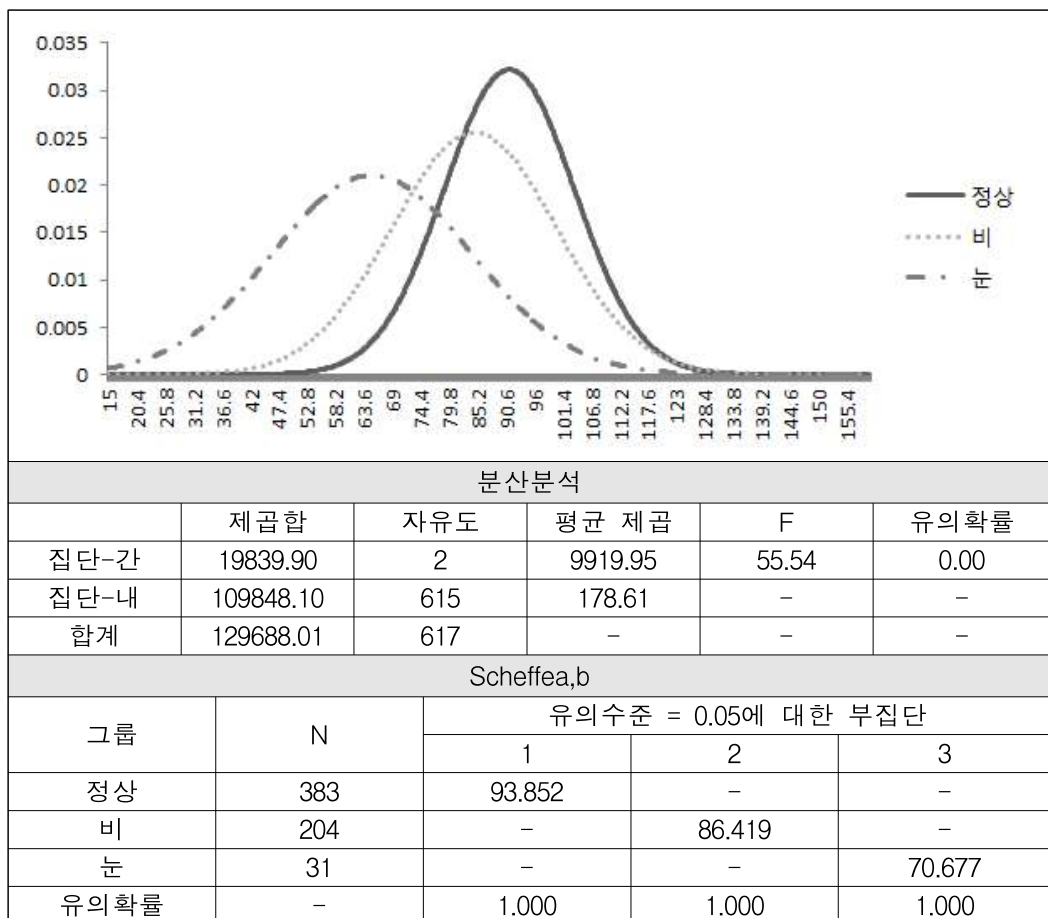
<표 36> 차-시설사고의 기상별 속도 기술통계량

		정상	비	눈
N		383	204	31
평균		93.85	86.42	70.68
표준편차		12.49	13.96	18.94
분산		155.89	194.78	358.56
최소값		18.00	12.00	34.00
최대값		125.00	117.00	102.00
백분위수	5	73.00	63.00	35.20
	10	78.00	71.50	39.00
	15	82.00	75.75	43.80
	20	86.00	79.00	51.40
	25	89.00	81.00	56.00
	30	91.00	82.00	60.00
	35	92.00	84.00	66.20
	40	93.00	86.00	69.40
	45	94.00	87.00	75.00
	50	95.00	88.00	75.00
	55	97.00	89.00	75.00
	60	98.00	91.00	76.80
	65	99.00	92.00	80.00
	70	100.00	94.00	82.60
	75	102.00	95.00	86.00
	80	103.00	97.00	87.00
	85	104.00	99.00	90.40
	90	107.00	101.50	94.40
	95	110.00	103.75	99.00

차-시설사고의 기상별 속도평균을 조사한 결과, 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도의 평균은 감소하는 것으로 나타났다. 앞서 분석한 전체사고, 화물차사고와 같이 이상기후 발생으로 인한 속도저하로 판단되며, 정상기후와 강우시에는 전체사고 및 화물차사고의 평균속도와 비슷한 수준으로 나타났으나 강설시 평균속도는 전체사고보다 약 2%가량 높고, 화물차사고보다 약 8%가량 높은 것으로 나타났다.

<표 37>과 같이 유의확률이 0.00으로 나타나 차-시설사고의 기상별 속도평균의 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 차-시설사고의 기상별 속도 평균은 다르다고 말할 수 있다. 또한 사후분석 결과 각 기상상태별 평균속도는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 37> 차-시설사고의 기상별 속도 분포 및 분산분석 결과



5.2.12. 차-시설사고의 기상별 V/C분포 및 분산분석

차-시설사고에서 기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상별 V/C차를 비교하고, 통계분석을 수행하였다. 화물차사고의 기상별 V/C 기술통계량을 <표 38>에 제시하였다.

정상, 비, 눈의 기상상태에 따라 V/C 평균은 각각 0.23, 0.23, 0.16이며, 기상별 표준편차는 0.17, 0.16, 0.10으로 나타났다.

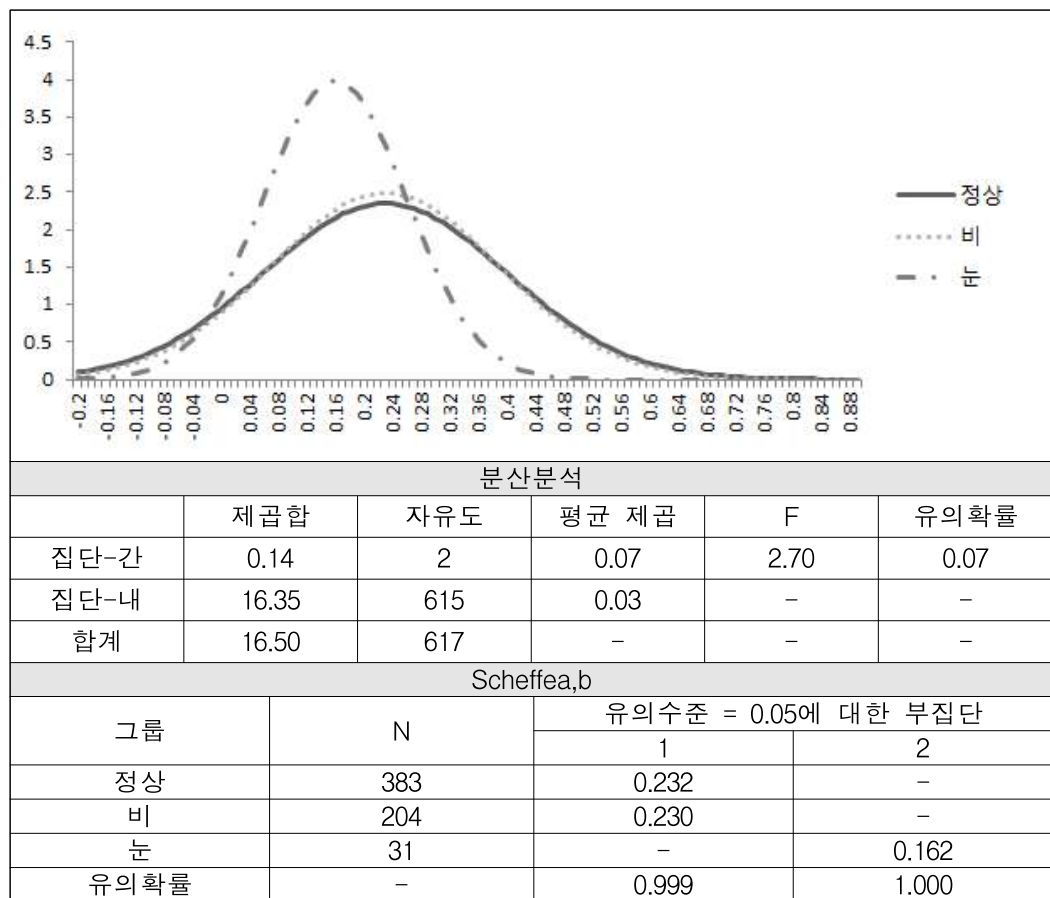
<표 38> 차-시설사고의 기상별 V/C 기술통계량

		정상	비	눈
N		383	204	31
평균		0.23	0.23	0.16
표준편차		0.17	0.16	0.10
분산		0.03	0.03	0.01
최소값		0.04	0.05	0.06
최대값		0.98	1.00	0.47
백분위수	5	0.07	0.08	0.06
	10	0.08	0.09	0.06
	15	0.09	0.10	0.07
	20	0.10	0.11	0.08
	25	0.11	0.12	0.09
	30	0.12	0.13	0.10
	35	0.13	0.14	0.12
	40	0.14	0.16	0.12
	45	0.16	0.17	0.13
	50	0.17	0.18	0.13
	55	0.20	0.21	0.13
	60	0.22	0.22	0.14
	65	0.25	0.24	0.16
	70	0.28	0.26	0.19
	75	0.31	0.28	0.22
	80	0.34	0.32	0.24
	85	0.39	0.36	0.29
	90	0.47	0.43	0.29
	95	0.59	0.56	0.41

기상별 V/C에서는 정상, 비, 눈으로 갈수록 V/C가 감소하는 것으로 나타났으나, 차-시설사고에서는 정상기후와 강우시의 V/C가 매우 비슷한 수치로 나타났으며, 강설시의 V/C가 가장 낮았다. 그러나 <표 39>와 같이 사후분석결과에서는 정상기후 및 강우시의 V/C는 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 전체사고 및 화물차사고 분포분석에서도 같은 결과이다. 강설시에는 수요 감소로 인하여 정상 및 강우시보다 V/C가 매우 낮은 것으로 나타났다.

분산분석 결과 유의확률이 0.07로 차-시설사고의 기상별 V/C 평균에 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 차-시설사고의 기상별 V/C 평균은 다르다고 말할 수 있다. 사후분석 결과에서는 정상 및 비일 때 V/C가 기상상태 눈일 때 V/C와 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 39> 차-시설사고의 기상별 V/C 평균에 대한 분산분석 결과



5.2.13. 차-시설사고의 강설시 심각도별 속도분포 및 t검정

차-시설사고의 강설시 심각도별 속도를 비교분석하기 위하여 심각한 사고 및 경미한 사고의 속도의 분포를 도출하고 통계분석을 수행하였다. 강설시 심각도별 속도의 기술통계량을 <표 40>에 제시하였다.

심각한 사고의 평균속도는 각각 81.50kph, 68.08kph이며 표준편차는 각각 15.48, 19.03로 나타났다.

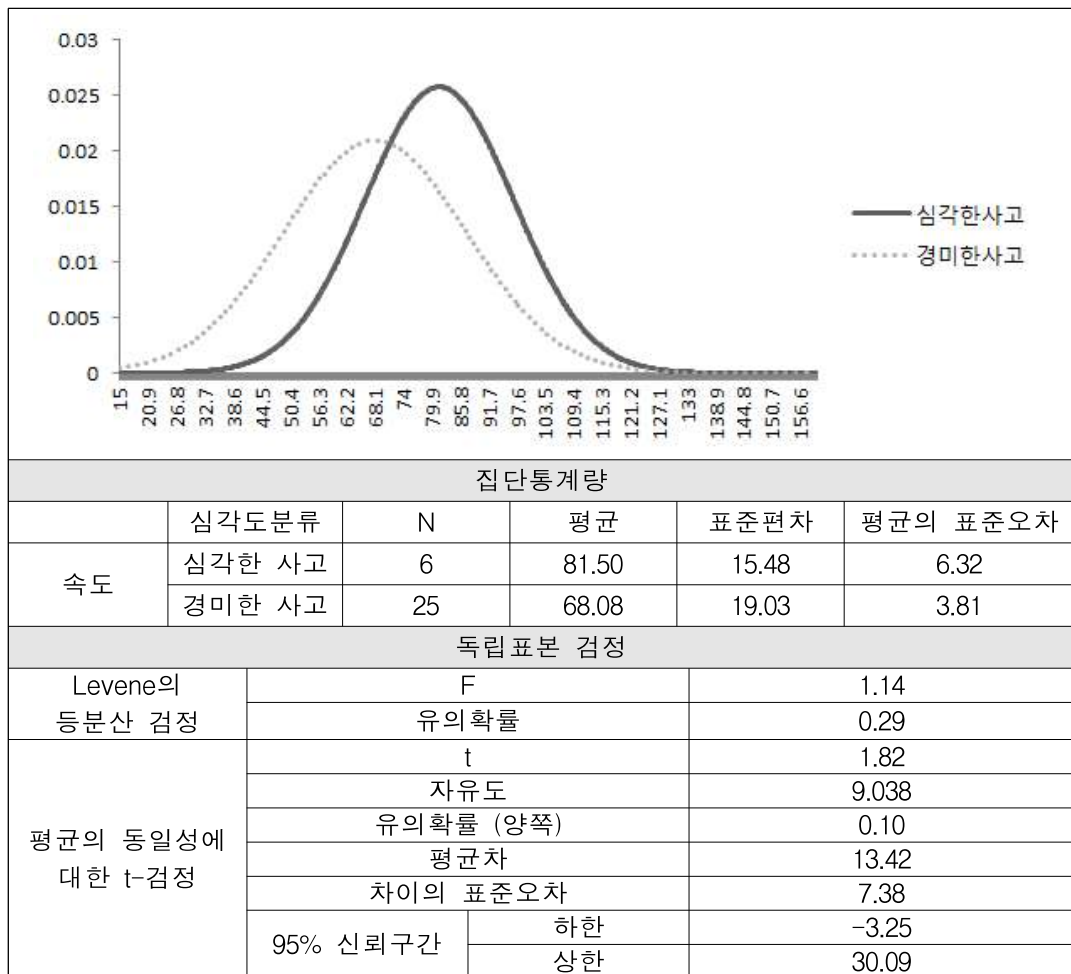
<표 40> 차-시설사고의 강설시 심각도별 속도 기술통계량

기술통계		심각한 사고(A, B)	경미한 사고(C)
N		6	25
평균		81.50	68.08
표준편차		15.48	19.03
분산		239.50	361.99
최소값		56.00	34.00
최대값		102.00	97.00
백분위수	5	56.00	34.60
	10	56.00	37.20
	15	56.95	42.50
	20	63.60	45.00
	25	70.25	52.00
	30	75.60	59.00
	35	77.70	60.60
	40	79.80	66.40
	45	81.60	69.10
	50	83.00	75.00
	55	84.40	75.00
	60	86.00	75.00
	65	87.75	75.90
	70	89.50	80.00
	75	93.00	83.00
	80	97.20	86.80
	85	101.40	87.50
	90	-	93.20
	95	-	96.40

차-시설사고의 강설시 심각도별 속도분포에서는 전체사고와 마찬가지로 심각한 사고의 평균속도가 높은 것으로 나타났다. 차-시설사고는 대부분 차량단독사고임을 미루어 볼 때, 사고발생시 차량의 속도는 사고 심각도에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 강설로 인하여 운전자 시인성 및 노면상태가 저하된 상태라면 사고발생시 사고 심각도는 더욱 증가하게 될 것이다.

<표 41>에서 볼 수 있듯이 t검정 결과 유의수준이 0.10으로 나타나 차-시설사고의 강설시 심각도별 속도 평균에 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 따라서 95%의 신뢰수준으로 차-시설사고의 심각도별 속도 평균은 다르다고 말할 수 있다.

<표 41> 차-시설사고의 강설시 심각도별 속도 분포 및 t검정 결과



5.2.14. 추돌사고의 기상별 속도분포 및 분산분석

추돌사고에서 기상상태가 교통상황에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상별 속도를 비교하고, 이에 대한 통계분석을 수행하였다. 추돌사고의 기상별 속도의 기술통계량을 <표 42>에 제시하였다. 기상별 속도는 정상, 비, 눈일 때 각각 90.79kph, 92.07kph, 64.83kph이며, 표준편차는 14.03, 9.74, 19.88로 나타났다.

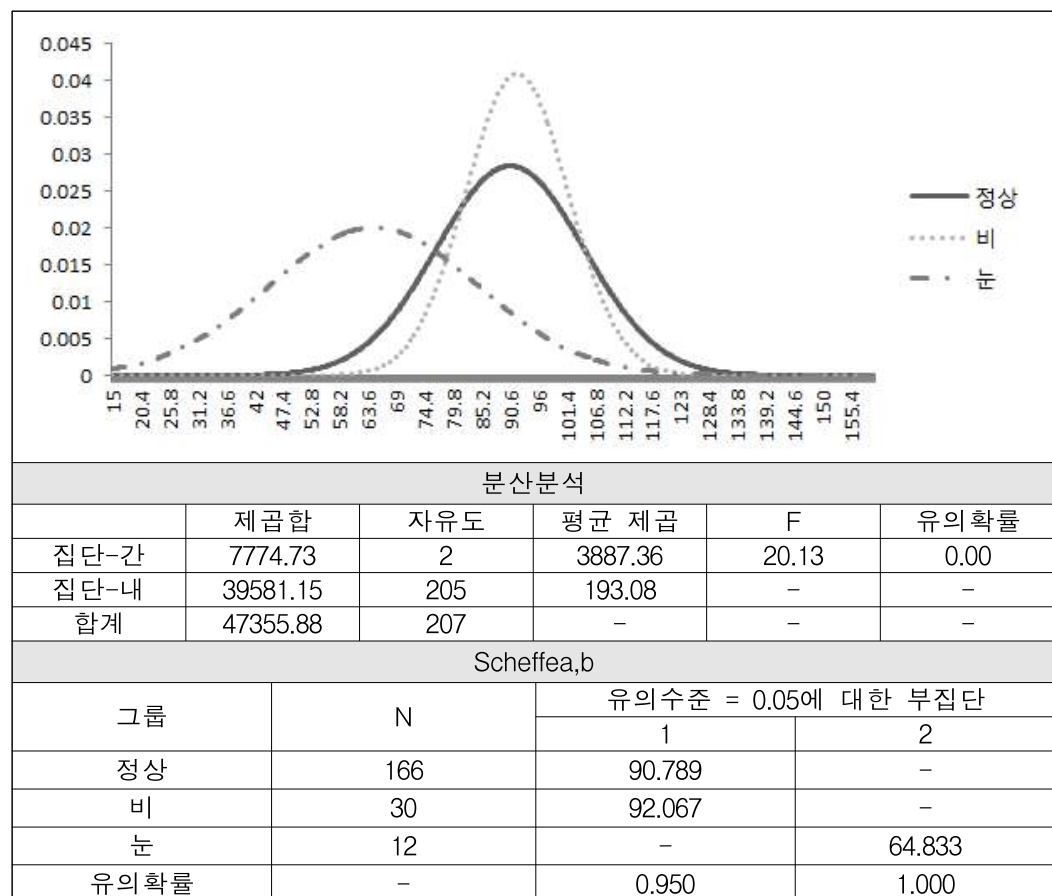
<표 42> 추돌사고의 기상별 속도 기술통계량

		정상	비	눈
N		166	30	12
평균		90.79	92.07	64.83
표준편차		14.03	9.74	19.88
분산		196.87	94.82	395.24
최소값		26.00	71.00	37.00
최대값		119.00	115.00	101.00
백분위수	5	61.40	75.40	37.00
	10	71.00	81.00	39.10
	15	77.00	81.65	43.65
	20	80.40	83.00	49.40
	25	84.00	84.50	54.25
	30	88.00	85.60	57.50
	35	89.00	87.85	58.55
	40	92.00	88.80	59.00
	45	93.00	90.00	59.00
	50	94.00	92.00	59.00
	55	95.00	93.05	59.15
	60	97.00	94.60	59.80
	65	98.00	95.00	63.60
	70	99.00	96.40	69.10
	75	101.00	99.50	76.25
	80	102.00	102.60	87.80
	85	103.00	103.35	101.00
	90	104.00	104.00	101.00
	95	107.00	110.60	-

추돌사고의 기상별 속도는 기상상태가 강우일 때 평균속도가 가장 높은 것으로 나타났다. 본 연구의 기상별 속도분포분석에서 이용한 속도는 사고발생 지점의 상류부 검지기 속도를 이용하였다. 노면상태가 저하되는 강우시에는 차량의 안전정지거리가 정상기후에 비해 증가하며, 상류부 속도가 하류부 속도보다 높을 경우에는 추돌사고가 발생할 확률이 높으므로 추돌사고의 강우시 속도가 정상기후보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

<표 43>에 나타난 것과 같이 분산분석 결과는 유의확률 0.00으로 추돌사고의 기상별 속도 평균에 차이가 없다는 귀무가설을 기각하여 95%의 신뢰수준으로 추돌사고의 기상별 속도 평균은 다르다고 말할 수 있다. 그러나 사후분석에서는 정상기후와 강우시의 속도가 통계적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 강설의 경우에는 정상기후 및 강우시 평균속도와 유의한 차이를 보였다.

<표 43> 추돌사고의 기상별 속도 분포 및 분산분석 결과



5.2.15. 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 분석 소결론

본 연구에서는 기상 및 심각도에 따른 교통특성을 비교분석하기 위하여 교통특성에 따른 분포를 제시하고 통계분석을 통한 결과를 도출하였다. 기상, 심각도, 사고유형으로 분류한 총 44개의 시나리오에 대하여 분석한 결과, 통계적으로 유의하게 도출된 시나리오는 12개로 나타났다.

속도의 경우 정상, 비, 눈으로 갈수록 평균이 감소한 것은 이상기후 발생으로 인한 도로 소통능력이 저하되었기 때문으로 판단된다. 그러나 강설시에는 심각한 사고의 속도 평균이 경미한 사고보다 높게 나타났다. 이상기후 발생시 대부분의 운전자들은 속도를 낮추어 운행함에도 불구하고 강설시의 고속 주행은 심각한 사고로 이어질 수 있음을 시사하는 결과이다.

추돌사고에서는 정상기후시의 속도보다 강우시의 속도의 평균이 높게 나타났다. 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나 강우시 평균속도가 전제사고, 화물차사고, 차-시설사고에서는 정상기후보다 평균 5~7kph 낮은 것을 감안할 때 흥미로운 결과이다. 추돌사고의 경우 상류부 속도가 하류부 속도보다 높을 때 주로 발생하게 되는데, 강우시에는 노면습윤으로 인하여 안전정지거리가 증가하게 되어 운전자가 적절하게 감속하지 않은 경우 높은 속도에서 추돌사고가 발생할 수 있다.

V/C의 경우에는 이상기후 발생시 운전자의 수단전환, 통행포기 등으로 수요가 감소하여 정상기후에 비하여 V/C가 감소한 것으로 판단된다. 그러나 이상기후의 영향을 배제한 정상기후에서의 V/C는 심각한 사고일 때 경미한 사고보다 낮은 것으로 나타났다. V/C가 낮은 것은 도로 내 차량이 적다는 의미와 함께 운전자가 원하는 만큼 속도를 낼 수 있는 속도 선택의 자유도가 크다는 것을 의미한다. 따라서 운전자가 고속주행 할 확률이 높아지게 되고 심각한 사고가 발생할 확률이 증가하게 되는 것이다.

속도의 표준편차의 경우, 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도의 편차가 증가하는 것으로 나타났다. 기존문헌 고찰 결과에서도 볼 수 있듯이 속도의 표준편차가 증가할 경우 교통사고 발생 개연성이 증가하게 된다. 이상기후가 발생할 경우 정상기후에 비하여 속도의 표준편차가 증가하는 것은 이상기후의 사고발생 개연성이 정상기후 보다 크다는 것을 의미한다.

5.3. 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석

5.3.1. 변수간 상관관계 분석

본 연구에서 사용한 분석방법론인 이항 로지스틱 회귀분석과 순서형 프로빗 모형은 여러 독립변수를 함께 투입시켜 각각의 독립변수들이 종속변수에 미치는 영향을 다른 변수의 영향을 보정한 상태에서 독립적으로 유의한지 볼 수 있다. 그러나 여러 변수들이 하나의 모형에 투입될 경우 변수들간의 교호작용(Interaction) 즉 다중공선성(Multicollinearity)⁷⁾이 발생할 수 있다. 따라서 각 변수간 상관관계수(Correlation Coefficient), 분산팽창계수(Variance Inflation Factor), 상태지수(Tolerance) 등을 통하여 변수간의 상호 관계를 미리 파악하여야 한다.

본 연구에서는 유사한 성격의 자료로부터 설정한 변수간의 다중공선성 발생으로 인한 결과오류를 예방하기 위하여 본 연구에서 설정한 독립변수에 대하여 <표 44>와 같이 상관분석을 수행하였다. 또한 이러한 상관관계를 고려하여 독립변수 투입 시 함께 투입하지 않아야 할 변수를 구별하여 분석 시나리오를 설정하였다.

상관관계 분석 결과 ‘강수량(rainfall)’, ‘3시간평균강수량(ave_rainfall)’, ‘3시간누적강수량(sum_rainfall)’은 상관관계수가 매우 높게 나타나 분석시 중복 투입하지 않았다. ‘폭우폭설여부(heavyfall)’는 심각한 사고일 때의 case수가 매우 적어(1개) 변수를 삭제하였다. ‘이상기후여부(weather)’는 상관관계수는 높게 나타나지 않았지만 강수량 관련 변수들과 매우 밀접한 관련을 가지므로 독립적으로 분석하였다.

‘급커브(sharp_curve)’와 ‘커브여부(curve)’, ‘경사여부(grade)’와 ‘오르막경사여부(grade_up)’ 및 ‘내리막경사여부(grade_dn)’는 상관관계수는 낮게 나타났지만 매우 상관성이 높은 변수라 판단되어 분석시 함께 사용하지 않았다. 또한 ‘커브여부(curve)’와 ‘복합선형(multigeo)’의 상관관계가 높게 나타났다. ‘복합선형(multigeo)’의 경우 경사관련 변수와는 상관관계수는 낮게 나타났지만 커브관련

7) 두 변수가 서로 선형적인 관계에 있으며, 강한 관련성을 보일 때 분산이 비정상적으로 커지게 되는 현상

변수와 마찬가지로 상관성이 높다. 따라서 ‘복합선형(multigeo)’의 경우에는 커브 및 경사관련변수와 중복투입하지 않았다.

‘제한속도초과값(up_overspeed)’와 ‘제한속도초과여부(up_overlimit)’변수도 상관관계가 높게 나타나 분석시 중복투입하지 않았다. ‘속도표준편차(sp_var)’와 ‘변동계수(sp_cv)’도 상관관계가 높게 나타났는데, 변동계수는 평균이 다른 데이터를 비교하는 경우 적합한 계수이며, 시·공간적 조건이 다른 사고케이스의 속도분산을 비교하는데 적합하다고 판단하여 속도의 표준편차 대신 변동계수를 사용하였다.

‘상류부15분전교통량(up_vol15b)’과 ‘V/C(vc)’ 또한 상관계수가 높게 나타났다. 본 연구의 분석대상에 포함된 노선은 총 9개 노선으로, 교통량을 사용할 경우 차로수 및 도로의 용량을 반영하지 않아 교통상황을 잘 대변하지 못한다고 판단되어 차로수, 용량, 중차량 비율을 함께 고려한 V/C를 사용하고 교통량 변수는 삭제하였다.

‘상·하류부속도차(df_sp15b)’변수는 속도표준편차 및 변동계수의 상관계수는 높게 나타났지만 상·하류부 속도차는 동시간대 상류부 및 하류부 속도의 차이이며, 속도의 표준편차는 동일 지점에서 다른 시간대에 나타나는 속도들의 표준편차이므로 상관계수에 관계없이 중복투입하였다.

<표 44> 독립변수간 상관관계

상관계수																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1.00															1.day_night					14.curve				
2	-0.01	1.00														2.week					15.sharp_curve				
3	-0.18	0.01	1.00													3.weather					16.multigeo				
4	-0.17	0.03	0.46	1.00												4.rainfall					17.location				
5	-0.18	0.03	0.50	0.90	1.00											5.ave_rainfall					18.up_sp15b				
6	-0.18	0.03	0.50	0.90	1.00	1.00										6.sum_rainfall					19.up_overspeed				
7	-0.18	0.02	0.97	0.60	0.61	0.61	1.00									7.heavyfall					20.up_overlimit				
8	0.08	0.02	0.07	0.06	0.05	0.05	0.07	1.00								8.gender					21.df_sp15b				
9	-0.01	0.10	0.06	0.02	0.01	0.01	0.06	0.09	1.00							9.age					22.sp_var				
10	0.03	0.16	-0.02	-0.08	-0.07	-0.07	-0.04	0.27	0.33	1.00						10.non_auto					23.sp_cv				
11	-0.02	0.01	-0.01	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	-0.10	-0.05	1.00					11.grade					24.up_vol15b				
12	0.03	0.02	-0.04	-0.01	0.02	0.02	-0.04	0.00	-0.04	-0.01	0.40	1.00				12.grade_up					25.vc				
13	-0.04	-0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.04	0.00	-0.05	-0.03	0.47	-0.62	1.00			13.grade_dn									
14	-0.04	-0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.00	-0.08	0.16	0.07	0.07	1.00											
15	-0.04	0.02	0.02	-0.01	0.01	0.01	0.01	-0.03	0.01	0.07	-0.02	-0.04	0.03	0.25	1.00										
16	-0.05	0.00	0.06	0.02	0.01	0.01	0.06	0.01	-0.02	-0.09	0.43	0.17	0.20	0.86	0.17	1.00									
17	-0.06	0.01	-0.04	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05	0.02	0.04	0.04	-0.15	-0.09	-0.05	0.00	-0.02	-0.06	1.00								
18	-0.11	-0.08	-0.27	-0.08	-0.11	-0.11	-0.26	-0.10	-0.02	-0.12	0.03	-0.04	0.07	-0.04	-0.04	-0.03	0.06	1.00							
19	-0.19	-0.05	0.51	0.55	0.46	0.46	0.60	0.02	0.02	-0.11	-0.02	-0.08	0.06	0.02	-0.04	0.01	-0.03	0.28	1.00						
20	-0.21	-0.11	0.49	0.35	0.34	0.34	0.50	-0.02	-0.02	-0.13	-0.02	-0.06	0.03	0.02	-0.03	-0.02	0.00	0.35	0.66	1.00					
21	-0.04	-0.07	0.02	-0.04	-0.02	-0.02	0.02	0.01	-0.04	-0.02	0.03	0.01	0.02	0.05	-0.04	0.06	-0.01	-0.41	-0.05	-0.14	1.00				
22	0.00	-0.07	0.06	-0.04	-0.03	-0.03	0.05	0.03	-0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.04	-0.01	0.06	-0.02	-0.41	-0.05	-0.14	0.78	1.00			
23	0.01	-0.05	0.11	-0.02	-0.01	-0.01	0.10	0.04	-0.02	0.02	0.00	0.01	-0.01	0.05	-0.01	0.05	-0.03	-0.54	-0.08	-0.16	0.74	0.96	1.00		
24	-0.33	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.02	0.06	0.08	-0.09	0.02	-0.09	-0.13	0.02	-0.15	-0.01	-0.03	-0.05	0.01	0.04	0.00	0.02	1.00	
25	-0.37	-0.11	-0.06	-0.04	-0.05	-0.05	-0.07	-0.03	0.06	0.08	-0.06	0.02	-0.07	-0.09	0.01	-0.12	0.02	-0.03	-0.07	-0.02	0.08	0.04	0.05	0.87	1.00

5.3.2. 분석 시나리오

기상 및 교통조건이 교통사고 심각도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 순서형으로 설정된 종속변수에 대한 분석 시나리오를 설정하였다. 23개의 독립변수 및 2개의 종속변수를 이용한 시나리오를 설정하였다. 24개의 시나리오를 2개의 종속변수에 대하여 분석하였으므로 시나리오의 총 개수는 48개이다. 시나리오의 자세한 내용은 <표 45>와 같다.

<표 45> 기상별 사고심각도 영향요인 분석 시나리오

No	독립변수				
	인적특성	차량특성	기하구조특성	교통특성	환경특성
1	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week rainfall
2	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week rainfall
3	age gender	non_auto	multigeo location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week rainfall
4	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week rainfall
5	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week rainfall
6	age gender	non_auto	multigeo location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week rainfall

<표 45> 기상별 사고심각도 영향요인 분석 시나리오(계속)

No	독립변수				
	인적특성	차량특성	기하구조특성	교통특성	환경특성
7	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week ave_rainfall
8	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week ave_rainfall
9	age gender	non_auto	multigeo location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week ave_rainfall
10	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week ave_rainfall
11	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week ave_rainfall
12	age gender	non_auto	multigeo location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week ave_rainfall
13	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week sum_rainfall
14	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week sum_rainfall

<표 45> 기상별 사고심각도 영향요인 분석 시나리오(계속)

No	독립변수				
	인적특성	차량특성	기하구조특성	교통특성	환경특성
15	age gender	non_auto	multigeo location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week sum_rainfall
16	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week sum_rainfall
17	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week sum_rainfall
18	age gender	non_auto	multigeo location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week sum_rainfall
19	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week weather
20	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week weather
21	age gender	non_auto	multigeo location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week weather
22	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overlimit df_sp15b sp_cv vc	day_night week weather

<표 45> 기상별 사고심각도 영향요인 분석 시나리오(계속)

No	독립변수				
	인적특성	차량특성	기하구조특성	교통특성	환경특성
23	age gender	non_auto	grade curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week weather
24	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week weather

분석 결과 48개의 시나리오를 이용하여 분석을 수행하였으나 환경특성관련 변수 중 강수량에 대한 변수가 모두 유의하게 도출되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구와 차별성을 부여하기 위하여 정상기후와 이상기후시 각각의 모형을 이용하여 분석을 수행하였으며, 통계분석을 통하여 두 모형에 통계적으로 유의한 차이가 있는지 분석하였다. 기상에 따라 모형을 나누어 분석하였으므로 기상관련 독립변수는 모두 삭제되어 시나리오 1~6번에서 ‘강수량(rainfall)’만 제외하고 분석을 수행하였다.

최종 분석 시나리오는 종속변수 당 6개로 총 12개이며, 그 중 가장 통계적으로 유의하며 모형의 적합도가 높은 결과를 최종 시나리오로 제시하였다. 최종 시나리오를 <표 46>에 제시하였다.

<표 46> 기상별 사고심각도 영향요인 최종 분석 시나리오

No	기상	종속변수	독립변수				
			인적특성	차량특성	기하구조특성	교통특성	환경특성
1-1	정상 기후	사고 심각도3 (injury3)	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week
1-2		인명 피해도3 (fatal3)	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week

<표 46> 기상별 사고심각도 영향요인 최종 분석 시나리오(계속)

No	기상	종속변수	독립변수				
			인적특성	차량특성	기하구조특성	교통 특성	환경 특성
1-3	이상 기후	사고 심각도3 (injury3)	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week
1-4		인명 피해도3 (fatal3)	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week

5.3.3. 기상별 교통사고 심각도 영향요인 Data Description

본 연구에서 사용한 종속변수 및 독립변수에 대한 Data Description을 <표 47>에 제시하였다. 종속변수는 2개이며, 독립변수는 14개이다. 독립변수 중 명목형 변수는 변수 내 집단의 case 개수를 각각 제시하였으며, 연속형 변수는 사고심각도 집단별 평균값을 제시하였다.

분포분석시 959개의 자료에서 연령 및 성별이 결측치로 나타난 사고 case를 제외한 결과 총 자료의 개수는 924개이다. 심각도별 case수는 ‘사고심각도 3(injury3)’의 경우 심각도 A, B, C사고가 각각 14, 130, 780개이며, ‘인명피해도3(fatal3)’의 경우 사망사고, 부상사고, 물피사고가 각각 114, 221, 589개로 나타났다.

‘주야(day_night)’변수는 야간이 393개, 주간이 531개, ‘주중여부(week)’변수는 주중이 679개, 주말이 245개로 나타났다. ‘성별(gender)’의 경우 남성이 819개, 여성이 105개이며, ‘차종(non_auto)’는 승합차 및 화물차가 439개, 승용차가 485개로 나타났다.

기하구조 관련 변수에서는 ‘오르막여부(grade_up)’에서 오르막이 318개, ‘내리막여부(grade_dn)’에서 내리막이 392개이며, ‘커브여부(curve)’에서 커브가 420개로 나타났다. ‘사고위치(location)’에서는 교량 또는 터널이 36개, 본선일반구간이 888개로 나타났다.

‘연령(age)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 41.43, 43.08, 41.06세이며

인명피해도에 따라 각각 평균 42.11, 41.15, 41.28세로 나타났다.

‘상류부15분전속도(up_sp15b)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 96.43, 90.2, 90.05kph이며, 인명피해도에 따라 각각 평균 92.31, 91.42, 89.40kph로 나타났다. ‘제한속도초과값(up_overspeed)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 2.00, 2.75, 3.52kph로, 인명피해도에 따라 각각 평균 2.77, 2.97, 3.65kph로 나타났다. ‘상·하류부속도차(df_sp15b)’는 사고 심각도에 따라 각각 평균 5.43, 7.86, 8.54kph로, 인명피해도에 따라 각각 평균 7.73, 7.97, 8.69kph로 나타났다. ‘속도변동계수(sp_cv)’는 사고 심각도 및 인명피해도에 따라 각각 평균 0.05, 0.07, 0.07 및 0.06, 0.07, 0.07로 도출되었다. ‘V/C(vc)’의 경우에는 각각 0.23, 0.21, 0.23 및 0.21, 0.23, 0.23으로 나타났다.

<표 47> 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description

변수				A	B	C	사망	부상	물 피	Total
종속변수		injury3		14	130	780	-	-	-	924
		fatal3		-	-	-	114	221	589	924
독립 변수	명목형 변수	day_night	1	10	72	311	70	97	226	393
			0	4	58	469	44	124	363	531
		week	1	12	102	565	87	154	438	679
			0	2	28	215	27	67	151	245
		gender	1	13	121	685	104	190	525	819
			0	1	9	95	10	31	64	105
		non_auto	1	11	84	344	67	103	269	439
			0	3	46	436	47	118	320	485
		grade_up	1	6	46	266	43	78	197	318
			0	8	84	514	71	143	392	606
		grade_dn	1	6	59	327	51	92	249	392
			0	8	71	453	63	129	340	532
		curve	1	7	53	360	46	96	278	420
			0	7	77	420	68	125	311	504
		location	1	1	7	28	4	15	17	36
			0	13	123	752	110	206	572	888
	연속형 변수	age		41.43	43.08	41.06	42.11	41.15	41.28	-
		up_sp15b		96.43	90.72	90.05	92.31	91.42	89.40	-
		up_overspeed		2.00	2.75	3.52	2.77	2.98	3.65	-
		df_sp15b		5.43	7.86	8.54	7.73	7.97	8.69	-
		sp_cv		0.05	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	-
		vc		0.23	0.21	0.23	0.21	0.23	0.23	-

5.3.4. 기상별 심각도 영향요인 분석결과

순서형으로 나타난 사고 심각도를 이용하여 본 연구에서는 사고 심각도에 영향을 미치는 기상 및 교통조건과 관련된 영향 요인을 분석하였다. ϵ_i (오차항)의 확률분포가 분산이 동일하고 공분산이 0인 정규분포(Normal Distribution)를 따른다고 가정한 순서형 프로빗 모델을 이용하여 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 사고심각도 영향요인 분석을 위하여 통계패키지인 STATA/SE 9.1을 이용하여 분석을 수행하였다. 종속변수는 0, 1, 2의 순서형으로 설정된 ‘사고심각도3(injury3)’변수와 ‘인명피해도3(fatal3)’를 이용하였으며, 이때 독립변수는 5.3.3의 Data Description에 제시된 14개의 독립변수를 사용한 결과를 제시하였다.

본 연구에서는 순서형 프로빗 모델을 이용하여 기상상태별 심각도 영향요인 분석결과를 각각 제시하였다. 앞서 ‘정상기후’는 운전자의 시인성 및 노면상태에 아무런 영향을 미치지 않는 양호한 기상상태로 정의하였다. 또한 ‘이상기후’는 비 또는 눈으로 인하여 운전자 시인성을 저하시키고 노면 마찰력을 감소시켜 안전성에 영향을 미치는 기상상태로 정의하였다. 정상기후 및 이상기후에 대한 종속변수별 분석결과를 제시하고 각 결과에서 통계적으로 유의하게 도출된 변수들을 비교분석하였다. 또한 기상별 모형이 통계적으로 유의한 차이를 보이는지 검증하였다.

가. 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과

분석 시나리오 1-1과 1-2에 해당하는 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과를 <표 48>에 제시하였다. 정상기후시 자료의 개수는 623개이며 Log Likelihood는 시나리오 1-1과 1-2에서 각각 -298.1499, -577.9754로 나타났다.

추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 시나리오별로 각각 53.66, 29.17로 자유도가 14일 때 χ^2 의 5%의 수준인 23.7보다 크기 때문에 시나리오 1-1과 1-2 모두 종속변수가 독립변수에 따라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)는 각각 0.0826, 0.0248로 나타나 시나리오 1-1의 모형의 설명력이 더 높은 것으로 나

타났지만 ρ^2 (우도비)가 1에 가까울수록 설명력이 높으므로 만족할만한 결과는 아니다.

정상기후에서는 종속변수 모두 교통사고 심각도 증가에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 변수로는 ‘주야(day_night)’, ‘차종(non_auto)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’의 P-value가 0.05 이하로 나타나 독립변수의 기울기가 0이라는 귀무가설을 기각하였다.

<표 48> 정상기후시 심각도 영향요인 분석

구분	시나리오 1-1				시나리오 1-2			
	‘사고심각도3(injury3)’				‘인명피해도3(fatal3)’			
	Coef.	Std. Err.	t	P> t	Coef.	Std. Err.	t	P> t
day_night	0.4619	0.1436	3.22	0.001	0.3118	0.1108	2.82	0.005
weekend	0.2331	0.1538	1.52	0.130	-0.0004	0.1125	0.00	0.997
gender	0.0993	0.2240	0.44	0.657	-0.0985	0.1524	-0.65	0.518
age	0.0053	0.0058	0.91	0.363	0.0055	0.0045	1.24	0.217
non_auto	0.5593	0.1444	3.87	0.000	0.2312	0.1108	2.09	0.037
grade_up	0.2058	0.1676	1.23	0.219	0.1353	0.1309	1.03	0.301
grade_dn	0.0637	0.1677	0.38	0.704	0.0079	0.1293	0.06	0.951
curve	-0.1728	0.1279	-1.35	0.176	-0.1310	0.0987	-1.33	0.185
location	-0.0310	0.3070	-0.10	0.920	0.0963	0.2289	0.42	0.674
up_sp15b	0.0094	0.0070	1.36	0.175	0.0037	0.0053	0.69	0.490
up_overspeed	0.0027	0.0265	0.10	0.918	0.0059	0.0211	0.28	0.779
df_sp15b	0.0149	0.0108	1.39	0.166	0.0087	0.0074	1.18	0.237
sp_cv	-3.7566	1.8940	-1.98	0.047	-2.3892	1.1880	-2.01	0.044
vc	-0.2068	0.4633	-0.45	0.655	-0.1373	0.3380	-0.41	0.685
cut1	2.7461				0.8292			
cut2	3.9781				1.7337			
Log likelihood	-298.1499				-577.9754			
# of obs	623				623			
LR $\chi^2(14)$	53.66				29.17			
Pseudo R ²	0.0826				0.0248			

‘주야(day_night)’변수는 계수가 0.4619, 0.3118로 나타나 주간보다 야간일 때 심각도가 증가하는 것으로 나타났으며, ‘차종(non_auto)’의 경우에는 계수가 0.5593, 0.2312로 나타나 차종이 승합차, 화물차일 때 심각도가 증가하는 것으로 나타났다. ‘속도의 변동계수(sp_cv)’의 경우에는 계수가 - 3.7566, -2.3892로 나타났으며, 정상기후일 때 속도의 변동계수가 작을수록 사고 심각도가 증가한다는 결과가 도출되었다.

속도의 변동계수는 <식 11>에 의하여 산정된다. 속도의 변동계수가 작다는 것은 분자인 속도의 표준편차가 작고 분모인 속도의 평균이 높다는 것을 의미하므로 차량간 속도차이가 작더라도 속도가 높을 경우 사고발생시 심각도는 증가할 수 있다.

$\text{속도의 변동계수} = \frac{\text{속도의 표준편차}}{\text{속도의 평균}}$	<식 11>
---	--------

정상기후시 심각도 영향요인 분석 결과 통계적으로 유의하게 도출된 ‘주야(day_night)’, ‘차종(non_auto)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’에 대하여 Pseudo Elasticity와 Marginal effects를 검토하여 <표 49>에 제시하였다. Pseudo Elasticity와 Marginal effects는 모두 설명변수들이 종속변수에 미치는 영향의 정도를 나타내는 것으로 Pseudo Elasticity는 명목형 변수일 때, Marginal effects는 연속형 변수일 때 사용한다.

<표 49> 정상기후 모형의 Pseudo Elasticity와 Marginal effects 검토

‘사고심각도3(injury3)’		Pseudo Elasticity			Marginal effects		
구분		심각도A	심각도B	심각도C	심각도A	심각도B	심각도C
1	day_night	2.4193	1.0094	-0.1279	-	-	-
	non_auto	3.4153	1.3203	-0.1509	-	-	-
	sp_cv	-	-	-	-0.0061	-0.0415	0.0476
‘인명피해도3(fatal3)’		Pseudo Elasticity			Marginal effects		
구분		사망사고	부상사고	물피사고	사망사고	부상사고	물피사고
2	day_night	0.6539	0.2100	-0.1918	-	-	-
	non_auto	0.4520	0.1516	-0.1461	-	-	-
	sp_cv	-	-	-	-0.5185	-0.4160	0.9345

‘주야(day_night)’변수에는 야간일 때 심각도 A사고 및 B사고가 일어날 확률이 각각 2.4193, 1.0094만큼 증가하며, 심각도 C사고가 일어날 확률은 0.1279만큼 감소하였다. 사망사고 및 부상사고의 경우 각각 0.6539, 0.2100만큼의 확률이 증가하며, 물피사고는 0.1918만큼 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 야간일 경우 주간보다 심각한 사고가 발생할 확률이 증가한다고 할 수 있다.

‘차종(non_auto)’변수에서는 승합차 또는 화물차일 때 심각도 A사고 및 B사고가 일어날 확률이 각각 3.4153, 1.3203만큼 증가하며, 심각도 C사고가 일어날 확률은 0.1509만큼 증가하는 것으로 나타났다. 사망사고 및 부상사고가 일어날 확률의 경우 각각 0.4520, 0.1516만큼 증가하였으며, 물피사고일 확률은 0.1461만큼 감소하였다. 승합차 또는 화물차의 중차량인 경우 승용차보다 심각한 사고가 발생할 확률이 증가하였다. 결국 정상기후에서는 야간이고, 차종이 승용차 및 화물차일 때 심각한 사고가 일어날 확률이 증가한다고 할 수 있다.

Marginal effects에서는 연속형 변수인 ‘속도의 변동계수(sp_cv)’가 분석되었는데, 속도의 변동계수가 증가할수록 심각도 A사고와 B사고가 일어날 확률은 감소하였지만, 심각도 C사고가 일어날 확률은 0.0476만큼 증가하는 것으로 나타났다. 속도 변동계수가 증가할수록 사망사고 및 부상사고가 일어날 확률은 감소하였으나 물피사고가 일어날 확률은 0.9345만큼 증가하는 것으로 나타났다. 정상기후시에는 속도의 분산이 증가할 경우 심각한 사고보다는 경미한 사고가 발생할 확률이 증가하였다.

나. 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과

분석 시나리오 1-3과 1-4에 해당하는 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과를 <표 50>에 제시하였다. 정상기후시 자료의 개수는 301개이며 Log Likelihood는 시나리오 1-3과 1-4에서 각각 -100.397, -200.1050으로 나타났다.

추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 종속변수별로 각각 35.06, 23.97로 나타났으며, 자유도가 14일 때 χ^2 의 5%의 수준인 23.7 보다 크기 때문에 시나리오 1-3과 1-4 모두 종속변수가 독립변수에 따라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도

비)는 각각 0.1487, 0.0565로 나타나 시나리오 1-3이 시나리오 1-4 보다 모형의 설명력이 높은 것으로 나타났다.

이상기후에서는 시나리오 1-3에서는 통계적으로 유의한 독립변수가 ‘차종(non_auto)’, ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’로 나타났으며, 시나리오 1-4에서는 ‘연령(age)’, ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’이 P-value가 0.05 이하로 나타나 독립변수의 기울기가 0이라는 귀무가설을 기각하였다.

시나리오 1-3에서 ‘차종(non_auto)’은 계수가 0.4327로 나타나 차종이 승합차 및 화물차일 때 심각도가 증가하였다. ‘내리막여부(grade_dn)’의 변수는 계수가 1.0118로 기하구조가 내리막일 때 오르막 또는 평지보다 사고 심각도가 증가하였다. ‘사고위치(location)’의 계수가 1.4084로 사고위치가 교량 또는 터널일 때 본선일반구간보다 심각도 증가에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’의 계수는 0.0204로 나타나 속도가 증가할수록 사고의 심각도는 증가하는 것으로 나타났으며, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’의 계수가 6.3559로 나타나 차량간 속도분산이 클수록 사고 심각도는 증가하는 것으로 나타났다.

시나리오 1-4에서는 ‘연령(age)’변수의 계수가 -0.0134로 나타나 연령이 감소할수록 사고 심각도는 증가하는 것으로 나타났다. ‘내리막여부(grade_dn)’변수 및 ‘사고위치(location)’변수의 계수는 각각 0.5270, 1.0667로 나타나 기하구조가 내리막일 때, 사고위치가 교량 또는 터널일 때 사고 심각도는 증가하는 것으로 나타났다.

이상기후시 심각도 영향요인 분석 결과 통계적으로 유의하게 도출된 시나리오 1-3의 ‘차종(non_auto)’, ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’변수와, 시나리오 1-4의 ‘연령(age)’, ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’에 대한 Pseudo Elasticity와 Marginal effects를 검토하여 <표 51>에 제시하였다.

<표 50> 이상기후시 심각도 영향요인 분석

구분	시나리오 1-3				시나리오 1-4			
	‘사고심각도3(injury3)’				‘인명피해도3(fatal3)’			
	Coef.	Std. Err.	t	P> t	Coef.	Std. Err.	t	P> t
day_night	0.2776	0.2288	1.21	0.225	0.2738	0.1797	1.52	0.128
weekend	0.0616	0.2414	0.26	0.798	-0.2030	0.1819	-1.12	0.264
gender	-0.0444	0.4102	-0.11	0.914	-0.1205	0.2859	-0.42	0.673
age	-0.0110	0.0097	-1.12	0.261	-0.0134	0.0074	-1.81	0.071
non_auto	0.4327	0.2336	1.85	0.064	0.1331	0.1753	0.76	0.448
grade_up	0.5015	0.3710	1.35	0.176	0.3181	0.2358	1.35	0.177
grade_dn	1.0118	0.3445	2.94	0.003	0.5270	0.2179	2.42	0.016
curve	0.2528	0.2121	1.19	0.233	-0.0613	0.1627	-0.38	0.706
location	1.4084	0.4684	3.01	0.003	1.0667	0.4236	2.52	0.012
up_sp15b	0.0204	0.0103	1.97	0.048	-0.0004	0.0079	-0.05	0.961
up_overspeed	-0.0100	0.0143	-0.70	0.482	0.0158	0.0102	1.55	0.121
df_sp15b	-0.0217	0.0133	-1.63	0.103	-0.0036	0.0109	-0.33	0.739
sp_cv	6.3559	2.1167	3.00	0.003	1.3402	1.8751	0.71	0.475
vc	0.1285	0.7161	0.18	0.858	-0.2161	0.5902	-0.37	0.714
cut1	3.9726				0.5284			
cut2	5.5026				1.2647			
Log likelihood	-100.397				-200.1050			
# of obs	301				623			
LR $\chi^2(14)$	35.06				23.97			
Pseudo R ²	0.1487				0.0565			

시나리오 1-3에서는 차종이 승합차 또는 화물차일 때 심각도 A사고 및 B사고가 일어날 확률은 각각 3.0682, 1.2234만큼 증가하였다. 또한 심각도 C사고가 일어날 확률은 0.0890만큼 감소하는 것으로 나타났다. 이상기후에서 사고발생시 차종이 버스, 트럭, 트레일러와 같은 중차량일 경우 심각한 사고가 발생할 확률이 증가하였다.

<표 51> 이상기후 모형의 Pseudo Elasticity와 Marginal effects 검토

‘사고심각도3(injury3)’		Pseudo Elasticity			Marginal effects		
구분		심각도A	심각도B	심각도C	심각도A	심각도B	심각도C
3	non_auto	3.0682	1.2234	-0.0890	-	-	-
	grade_dn	25.7846	5.5087	-0.1968	-	-	-
	location	48.6574	6.1140	-0.4564	-	-	-
	up_sp15b	-	-	-	0.0001	0.0031	-0.0032
	sp_cv	-	-	-	0.0377	0.9532	-0.9910
‘인명피해도3(fatal3)’		Pseudo Elasticity			Marginal effects		
구분		사망사고	부상사고	물피사고	사망사고	부상사고	물피사고
4	age	-	-	-	-0.0018	-0.0023	0.0041
	grade_dn	1.7579	0.7516	-0.1968	-	-	-
	location	4.2502	0.9657	-0.5042	-	-	-

중단선형의 경우 내리막일 때 심각도 A사고 및 B사고가 일어날 확률은 각각 25.7846, 5.5087만큼 증가하였으며, 심각도 C사고가 일어날 확률은 0.1968만큼 감소하는 것으로 나타났다. 비 또는 눈의 이상기후 발생시에는 노면상태의 습윤, 결빙 등으로 인하여 차량의 안전정지거리가 증가하게 되고, 이때 중단선형이 내리막일 경우 정지거리는 더욱 증가하게 된다. 따라서 중단선형이 내리막일 때 심각한 사고발생 확률이 증가하는 결과가 나타난 것으로 판단된다.

사고위치의 경우 교량 또는 터널일 때 심각도 A사고 및 B사고의 발생확률은 각각 48.6574, 6.1140 증가하며, 심각도 C사고가 발생할 확률은 0.4564만큼 감소하는 것으로 나타났다. 교량 또는 터널에서 사고가 발생할 경우 본선일반 구간보다 심각한 사고일 확률이 대단히 증가하는 것으로 나타났다.

상류부15분전속도의 경우에는 속도가 증가할수록 심각도 A사고가 일어날 확률은 0.0001만큼 증가하고, 심각도 B사고가 일어날 확률은 0.0031만큼 증가하는 것으로 나타났다. 심각도 C사고의 경우 0.0032만큼 감소하여 이상기후시 차량의 주행속도가 증가할 때 심각한 사고가 발생할 확률이 증가한다고 할 수 있다.

속도의 변동계수의 경우에도 차량의 속도분산이 증가할수록 심각도 A사고

가 발생할 확률은 0.0377만큼, 심각도 B사고가 발생할 확률은 0.9532만큼 증가하였으며, 심각도 C사고의 경우 발생확률이 0.9910만큼 감소하는 것으로 나타났다. 결국 이상기후시 차량간 속도분산이 커지면 사고발생시 그 심각도는 증가한다고 할 수 있다.

시나리오 1-4에서는 연령이 증가할수록 사망사고 및 부상사고가 발생할 확률은 각각 0.0018, 0.0023만큼 감소하였으며, 물피사고가 발생할 확률은 0.0041만큼 증가하는 것으로 나타났다. <표 43>의 독립변수간 상관관계 분석에서 보면 속도와 연령의 상관계수가 -0.022의 음의 관계이나 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용한 Data의 특성상 연령이 감소할수록 평균 속도가 증가하기 때문에 계수가 음수로 도출되었으나, 변수간 상관관계가 낮으므로 연령 변수의 경우 통계적으로 유의하게 도출되었지만 의미있는 결과라고 할 수는 없다.

내리막여부와 사고위치의 경우에는 시나리오 1-3과 마찬가지로 종단선형이 내리막일 때, 사고위치가 교량 또는 터널일 때 사망사고 및 부상사고가 발생할 확률은 내리막이 각각 1.7579, 0.7516만큼 증가하였으며, 교량 또는 터널은 4.2502, 0.9657만큼 증가하는 것으로 나타났다. 물피사고일 확률은 내리막일 때 0.1968, 교량 또는 터널일 때 0.5042만큼 감소하였다. 즉, 사고발생시 기하구조가 내리막일 때, 교량 또는 터널일 때 사망사고 및 부상사고일 확률이 증가하는 것으로 나타났다.

다. 모형비교

본 연구에서는 사고 심각도와 인명피해도에 관한 종속변수에 대하여 각각 정상기후 및 이상기후 모형을 도출하였다. 하나의 Data에서 성격이 다른 두 개의 모형을 도출할 경우, 이 두 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 검증해야 한다.

본 연구에서 제시한 모형 비교(Comparison Model)는 정상기후와 이상기후 모형이 통계적인 차이가 있는지 검증하기 위하여 전체모형, 정상기후 모형, 이상기후 모형의 Log likelihood를 이용하여 통계적인 차이가 있는지 조사하였다.

종속변수가 사고 심각도와 인명피해도의 두 가지 변수를 사용하였으므로, 본

연구에서 사용한 Dataset에 더욱 적합한 모형을 찾기 위하여 Likelihood Ratio Test를 수행하였다. 모형 비교 결과를 <표 51>에 제시하였다.

<표 52> 기상별 사고심각도 영향요인 모형비교

종속변수	구분	정상기후	이상기후
사고심각도3 (injury3)	Log likelihood	-298.1499	-100.397
	# of obs	623	301
	LR $\chi^2(14)$	53.66	35.06
	Pseudo R ²	0.0826	0.1487
	Log likelihood of total	-419.0775	
	comparison	41.06	
	Prob > χ^2	41.06 > 23.7	
인명피해도3 (fatal3)	Log likelihood	-577.9754	-200.1050
	# of obs	623	623
	LR $\chi^2(14)$	29.17	23.97
	Pseudo R ²	0.0248	0.0565
	Log likelihood of total	-797.8772	
	comparison	39.59	
	Prob > χ^2	39.59 > 23.7	

먼저, 정상기후와 이상기후의 모형의 차이가 통계적으로 유의한지 조사하는 모형 비교는 Log likelihood를 통해서 <식 11>과 같이 계산할 수 있다. 종속변수가 ‘사고심각도3(injury3)’인 시나리오 1-1과 1-2를 비교한 결과 41.06으로 나타나 자유도 14일 때 χ^2 의 5% 수준인 23.7보다 크기 때문에 95% 신뢰수준에서 정상기후와 이상기후 모형은 다르다고 말할 수 있다. 종속변수가 ‘인명피해도3(fatal3)’인 시나리오 1-3과 1-4를 비교한 결과, 39.59로 나타나 마찬가지로 95% 신뢰수준에서 기상별 모형은 서로 다르다고 말할 수 있다.

$$-2(LL_{(T)} - LL_{(a)} - LL_{(b)})$$

$LL_{(T)}$ = 전체 모형의 Log likelihood <식 11>

$LL_{(a)}$ = 정상기후 모형의 Log likelihood

$LL_{(b)}$ = 이상기후 모형의 Log likelihood

Likelihood Ratio Test는 <식 12>에 따라 p-value를 구하거나 Alternative Hypothesis를 지지하고 Null Hypothesis를 기각하는 것을 결정할 때 Critical Value를 구할 때 사용한다.

$$D = -2 \ln \left(\frac{L_{(N)}}{L_{(A)}} \right)$$

$$= -2 (LL_{(N)} - LL_{(A)}) \quad \text{<식 12>}$$

$LL_{(N)}$: 분석자가 기각하고자 하는 Null 모형의 Log Likelihood

$LL_{(A)}$: 분석자가 지지하고자 하는 Alternative 모형의 Log Likelihood

Alternative 모형은 시나리오 1-1 및 1-3으로 설정하였으며, Null 모형은 시나리오 1-2, 1-4로 설정하여 Likelihood Ratio Test를 수행하였다. 정상기후시 시나리오 1-1과 1-2에 대한 Likelihood Ratio Test의 D는 559.65이며, 이상기후시 시나리오 1-3과 1-4에 대한 D는 199.416으로 나타났다. 모두 χ^2 의 5% 수준인 23.7보다 큰 것으로 나타나 종속변수를 ‘사고심각도3(injury3)’를 사용한 모형이 ‘인명피해도3(fatal3)’를 사용한 모형보다 적합한 것으로 나타났다.

마. 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석 소결론

기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 순서형 프로빗 모형을 이용하여 종속변수별 정상기후 및 이상기후에 대한 총 4개의 시나리오에 대하여 모형을 각각 도출하고, 종속변수 및 기상에 대하여 모형의 적합도 및 유의한 변수들을 비교분석하였으며, 기상별 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 조사하였다.

정상기후시 심각도 영향요인 분석에서는 종속변수 종류에 관계없이 통계적으로 유의하게 도출된 변수는 <표 53>과 같이 ‘주야(day_night)’, ‘차종(non_auto)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’변수로 나타났다.

<표 53> 정상기후시 심각도 영향요인 분석 결과

구분	‘사고심각도3(injury3)’		‘인명피해도3(fatal3)’	
	Coef.	P> t	Coef.	P> t
day_night	0.4619	0.001	0.3118	0.005
non_auto	0.5593	0.000	0.2312	0.037
sp_cv	-3.7566	0.047	-2.3892	0.044

Pseudo Elasticity와 Marginal effects 검토 결과, 야간일 때는 주간보다 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률이 각각 2.4배, 1.01배 증가하며 사망사고 및 부상사고가 발생할 확률이 각각 65%, 21% 증가하는 것으로 나타났다. 차종이 승합차 및 화물차일 때 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률은 각각 3.4배, 1.3배 증가하였으며, 사망사고 및 부상사고가 발생할 확률은 45%, 15% 증가하는 것으로 나타났다. 속도의 변동계수가 증가할수록 심각도 A사고와 B사고가 일어날 확률은 감소하였지만, 심각도 C사고 및 물피사고가 발생할 확률은 각각 4.8%, 93% 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 정상기후에서는 야간시, 차종이 버스, 트럭, 트레일러와 같은 중차량일 경우 사고 심각도가 증가하였으며, 교통특성인 속도의 변동계수의 경우 심각한 사고 및 인명피해사고에서는 속도의 변동계수가 증가할수록 발생확률이 감소하였지만, 경미한 사고 및 물피사고는 증가하였다.

속도의 변동계수가 작다는 것은 속도의 표준편차가 작고 속도의 평균이 크다는 것을 의미하므로, 정상기후시 고속 주행상태에서 사고발생 시 속도의 표준편차가 작더라도 사고의 심각도는 증가할 수 있음을 의미한다.

이상기후시 심각도 영향요인 분석에서는 <표 54>와 같이 시나리오 1-3에서는 통계적으로 유의한 독립변수가 ‘차종(non_auto)’, ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’로 나타났으며, 시나리오 1-4에서는 ‘연령(age)’, ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’로 도출되었다.

차종이 승합차 또는 화물차일 때 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률은 각각 3배, 1.2배 증가하였다. 기하구조가 내리막일 때 심각한 사고 및 인명피

해사고의 발생확률이 증가하는 것으로 나타났다. 심각도 A사고 및 B사고의 발생확률이 각각 25.8배, 5.5배 증가하였으며 사망사고가 발생할 확률은 1.8배 증가하였다. 사고위치가 교량 또는 터널일 때 심각도 A사고 및 B사고가 발생할 확률이 각각 48.7배, 6.1배 증가하였으며, 사망사고 발생확률은 4.3배 증가하는 것으로 나타났다. 속도가 증가할수록 심각도 A사고 및 B사고의 발생확률은 0.01%, 0.3%가 증가하였으며, 속도의 변동계수가 증가할수록 심각도 A사고가 발생할 확률은 3.8%, B사고는 95.3%가 증가하였다.

정상기후 및 이상기후의 모형을 비교분석한 결과, 두 모형은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타나 본 연구에서 기상별 심각도 영향요인을 분석한 결과는 의미있는 결과라 할 수 있다. 종속변수별 비교에서는 사고 심각도를 이용한 모형이 적합도가 높고 인명피해도를 이용한 모형과 비교한 결과에서도 통계적인 관점에서 사고 심각도를 이용한 모형이 더 우수한 것으로 도출되었다.

<표 54> 이상기후시 심각도 영향요인 분석 결과

구분	‘사고심각도3(injury3)’		‘인명피해도3(fatal3)’	
	Coef.	P> t	Coef.	P> t
sp_cv	6.3559	0.003	–	–
location	1.4084	0.003	1.0667	0.012
grade_dn	1.0118	0.003	0.5270	0.016
non_auto	0.4327	0.064	–	–
up_sp15b	0.0204	0.048	–	–
age	–	–	-0.0134	0.071

5.4. 사고유형별 교통사고 심각도 영향요인 분석

5.4.1. 분석 시나리오

화물차사고, 차-시설사고, 추돌사고의 사고유형별 교통사고 심각도에 영향을 미치는 기상 및 교통조건에 대한 분석하기 위하여 분석 시나리오를 설정하였다. 사고유형별 분석에서는 심각도 A사고의 사고 Case가 매우 낮게 나타났기 때문에 이분형으로 구분된 ‘사고심각도2(injury2)’변수를 이용하여 이항 로지스틱 회귀분석을 수행하였다.

시나리오는 총 6개로 그 중 통계적으로 유의하며 모형의 적합도가 가장 높은 결과를 최종 분석 시나리오로 선택하였다. 분석 시나리오는 <표 55>와 같다.

<표 55> 사고유형에 따른 사고심각도 영향요인 최종 분석 시나리오

구분	No	기상	종속변수	독립변수				
				인적특성	차량특성	기하구조특성	교통특성	환경특성
화물차 사고	2-1	정상 기후	사고 심각도2 (injury2)	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week
	2-2	이상 기후		age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week
차-시설 사고	3-1	정상 기후	사고 심각도2 (injury2)	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week
	3-2	이상 기후		age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week

<표 55> 사고유형에 따른 사고심각도 영향요인 최종 분석 시나리오(계속)

구분	No	기상	종속변수	독립변수				
				인적특성	차량특성	기하구조특성	교통특성	환경특성
추돌 사고	4-1	정상 기후	사고 심각도2 (injury2)	age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week
	4-1	이상 기후		age gender	non_auto	grade_up grade_dn curve location	up_sp15b up_overspeed df_sp15b sp_cv vc	day_night week

5.4.2. 화물차사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석

5.4.2.1. 화물차사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description

화물차사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석에서 사용한 종속변수 및 독립변수에 대한 Data Description을 <표 56>에 제시하였다. 독립변수 중 명목형 변수는 변수 내 집단의 case 개수를 각각 제시하였으며, 연속형 변수는 사고 심각도 집단별 평균값을 제시하였다. 독립변수는 12개로 나타났다. 차량특성 관련 독립변수는 화물차사고에 대한 분석이므로 제외되었으며, ‘성별(gender)’은 여성일 때의 사고 Case가 부족하여 제외되었다.

화물차사고의 총 자료 377개 중 심각도별 case수는 심각한 사고가 77개, 경미한 사고가 300개로 나타났다. ‘주야(day_night)’변수는 야간이 170개, 주간이 207개 이며, ‘주중여부(week)’변수는 주중이 314개, 주말이 63개로 나타났다. 기하구조 관련 변수에서는 ‘오르막여부(grade_up)’에서 오르막이 130개, ‘내리막여부(grade_dn)’에서 내리막이 150개, ‘커브여부(curve)’에서 커브가 156개로 도출되었다. ‘사고위치(location)’에서는 교량 또는 터널이 20개로 나타났고, 본 선일반구간이 357개로 나타났다. ‘연령(age)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 45.91, 45.23세이며, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 89.18, 88.39kph로 도출되었다.

<표 56> 화물차사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description

변수				심각한 사고	경미한 사고	Total
종속변수		injury2		77	300	377
독립 변수	명목형 변수	day_night	1	46	124	170
			0	31	176	207
		week	1	66	248	314
			0	11	52	63
		grade_up	1	26	104	130
			0	51	196	247
		grade_dn	1	30	120	150
			0	47	180	227
		curve	1	31	125	156
			0	46	175	221
		location	1	6	14	20
			0	71	286	357
	연속형 변수	age		45.91	45.23	-
		up_sp15b		89.18	88.39	-
		up_overspeed		1.82	2.60	-
		df_sp15b		7.99	8.21	-
		sp_cv		0.07	0.07	-
		vc		0.23	0.23	-

‘제한속도초과값(up_overspeed)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 1.82, 2.60kph이며, ‘상·하류부속도차(df_sp15b)’는 사고 심각도에 따라 각각 평균 7.99, 8.21kph로 나타났다. ‘속도의변동계수(sp_cv)’는 사고 심각도에 관계없이 평균 0.23으로 나타났다.

5.4.2.2. 화물차사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석결과

종속변수가 범주형으로 관측된 데이터를 적합 시킬 때 유용하게 사용되는 기법인 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 화물차사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석을 수행하였다. 정상기후 및 이상기후에 대한 종속변수별 분석결과를 제시하고 각 결과에서 통계적으로 유의하게 도출된 변수들을 비교 분석하였다.

가. 화물차사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과

분석 시나리오 2-1에 해당하는 화물차사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과를 <표 57>에 제시하였다. 정상기후시 자료의 개수는 261개로 나타났으며, Log Likelihood는 -132.9925이다.

추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 15.58로 자유도가 12일 때 χ^2 의 5%의 수준인 21.0 보다 작으므로 종속변수가 독립변수에 따라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)는 0.0554로 낮게 나타났다.

정상기후에서는 통계적으로 유의하게 나타난 독립변수는 ‘주야(day_night)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’의 P-value가 0.1 이하로 나타나 독립변수의 기울기가 0이라는 귀무가설을 기각하여 교통사고 심각도 증가에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 변수로 도출되었다.

‘주야(day_night)’변수는 계수가 0.9153으로 주간보다 야간일 때 사고 심각도가 증가하였다. 독립변수가 종속변수에 미치는 영향의 정도를 나타내는 odds-ratio는 2.4975로 나타나, 야간일 때 심각한 사고가 발생할 확률이 주간보다 약 2.5배 높다고 할 수 있다.

‘제한속도초과값(up_overspeed)’의 경우에는 계수가 0.1280으로 제한속도 초과값이 증가할수록 심각한 사고가 발생하는 것으로 나타났다. odds-ratio는 1.1366으로 나타났으며, 제한속도 초과값이 1kph 증가할 때마다 심각한 사고일 확률은 약 1.14배 증가한다고 할 수 있다.

‘속도의 변동계수(sp_cv)’는 계수가 -10.1785로 나타나 속도의 변동계수가 감소할수록 사고의 심각도는 증가하는 것으로 나타났으나, odds-ratio는 0.000038로 나타났다. 이는 속도의 변동계수가 감소할 때 심각한 사고가 발생할 확률이 증가한다는 것을 의미한다. 이는 전체사고와 마찬가지로 속도의 표준편차가 작고 속도의 평균이 클 경우 변동계수는 감소하게 되는데, 속도가 높을 때는 속도의 표준편차가 작더라도 사고심각도가 증가할 수 있음을 의미하는 결과이다.

따라서 화물차사고의 정상기후시 심각도 영향요인은 야간일 때 사고 심각도

가 증가하며, 제한속도 초과값이 증가할수록, 속도의 변동계수가 감소할수록 사고 심각도는 증가한다고 할 수 있다.

<표 57> 화물차사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석

구분	Coef.	Std. Err.	t	P> t	odds.
day_night	0.9153	0.3749	2.44	0.015	2.4975
week	0.2753	0.4487	0.61	0.540	1.3169
age	0.0055	0.0152	0.36	0.716	1.0056
grade_up	-0.0056	0.4090	-0.01	0.989	0.9944
grade_dn	-0.2745	0.4059	-0.68	0.499	0.7599
curve	-0.0737	0.3307	-0.22	0.824	0.9290
location	0.3456	0.6483	0.53	0.594	1.4128
up_sp15b	-0.0089	0.0161	-0.56	0.578	0.9911
up_overspeed	0.1280	0.0649	1.97	0.048	1.1366
df_sp15b	0.0420	0.0285	1.47	0.141	1.0428
sp_cv	-10.1785	5.5820	-1.82	0.068	3.8×10^{-5}
vc	0.7905	1.1142	0.71	0.478	2.2046
cons	-1.2574	1.8208	-0.69	0.490	-
Log likelihood	-132.9925				
# of obs	261				
LR $\chi^2(12)$	15.58				
Pseudo R^2	0.0554				

나. 화물차사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과

분석 시나리오 2-2에 해당하는 화물차사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과를 <표 58>에 제시하였다. 이상기후시 자료의 개수는 116개이며, Log Likelihood는 -37.8285로 나타났다.

추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 21.01로 자유도가 12일 때 χ^2 의 5%의 수준인 21.0 보다 크므로 종속변수가 독립변수에 따

라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)는 0.2174로 나타나 모형의 설명력이 높게 나타났다.

사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 독립변수로는 ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’의 유의확률이 0.1 보다 작은 것으로 나타나 독립변수의 기울기가 0이라는 귀무가설을 기각하였다.

‘내리막여부(grade_dn)’는 계수가 1.6945로 나타나 내리막일 때 사고 심각도가 증가하는 것으로 나타났다. odds-ratio는 5.4439로 나타나 평지나 오르막보다 심각한 사고 발생확률이 약 5.4배 높다고 할 수 있다. ‘사고위치(location)’ 변수의 계수는 3.4761로 나타나 사고위치가 교량 또는 터널일 때 본선일반구간보다 사고 심각도가 증가하는 것으로 나타났다.

<표 58> 화물차사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석

구분	Coef.	Std. Err.	t	P> t	odds.
day_night	0.3741	0.7205	0.52	0.604	1.4536
week	1.0026	0.9617	1.04	0.297	2.7254
age	-0.0098	0.0306	-0.32	0.748	0.9902
grade_up	1.2294	1.0569	1.16	0.245	3.4193
grade_dn	1.6945	0.9954	1.70	0.089	5.4439
curve	0.5372	0.6389	0.84	0.400	1.7112
location	3.4761	1.5798	2.20	0.028	32.3341
up_sp15b	0.0876	0.0424	2.06	0.039	1.0916
up_overspeed	-0.1139	0.0653	-1.74	0.081	0.8924
df_sp15b	-0.0472	0.0401	-1.18	0.240	0.9539
sp_cv	20.8062	8.2802	2.51	0.012	1.09*10 ⁹
vc	0.3260	2.0998	0.16	0.877	1.3854
cons	-12.0710	4.5035	-2.68	0.007	-
Log likelihood	-37.8285				
# of obs	116				
LR chi ² (12)	21.01				
Pseudo R ²	0.2174				

odds-ratio는 32.3341로 교량 또는 터널일 때 심각한 사고가 발생할 확률은 본선일반구간보다 32.3배 높다고 할 수 있다.

‘상류부15분전속도(up_sp15b)’의 경우 계수가 양수로 도출되었으므로 속도가 증가할 때 사고심각도도 증가한다. 속도가 1kph 증가할 때마다 심각한 사고 발생확률은 1.0916배 증가한다고 할 수 있다.

‘제한속도초과값(up_overspeed)’의 경우 계수가 음수로 나타나 제한속도 초과값이 작을 때 사고 심각도가 증가하는 결과가 나타났다. 5.2.8. 화물차사고의 기상별 속도분포 비교분석에서 보면, 강우시 평균속도는 84.7kph, 강설시 평균속도는 65.2kph로 나타난다. 제한속도가 100kph일 때 20mm미만의 강우 및 강설시 제한속도는 80kph로 적용하였으므로, 대부분의 속도들이 제한속도와 비슷한 수준이거나 제한속도가 낮게 나타났기 때문에 ‘제한속도초과값(up_overspeed)’변수 계수가 음수로 나타난 것으로 판단된다. 제한속도초과값에 대한 결과의 경우 해석상 매우 유의해야할 필요성이 있다.

‘속도의 변동계수(sp_cv)’는 계수가 20.8062, odds-ratio는 1.09×10^9 로 매우 큰 값으로 나타나 속도의 변동계수가 증가할수록 심각한 사고발생확률이 매우 증가한다고 할 수 있다.

다. 모형비교

본 연구에서는 화물차사고의 심각도 영향요인 분석에서 정상기후 및 이상기후 모형을 도출하였다. 두 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였으며 모형의 적합도를 나타내는 Goodness of Fit test⁸⁾ 결과를 제시하였다. 모형비교 결과를 <표 59>에 제시하였다.

모형 비교 결과, χ^2 값이 26.77로 나타나 자유도 12일 때 χ^2 의 5% 수준인 21.0보다 크기 때문에 95% 신뢰수준에서 정상기후와 이상기후 모형은 다르다고 말할 수 있다.

Goodness of Fit test에서는 Pearson의 P-value가 기상별로 각각 0.3420, 0.1269로 0.05보다 큰 것으로 나타나 95% 신뢰구간에서 정상기후 및 이상기후

8) 주어진 표집이 가정된 어떤 전집분포와 일치하는가를 따지는 가설검증의 방법.

의 모형이 적합하다는 귀무가설을 기각하지 못하여 도출된 회귀모형이 적합하며, 모형이 Data를 잘 설명한다고 할 수 있다.

<표 59> 화물차사고의 기상별 모형비교

구분	정상기후	이상기후
Log likelihood	-132.9925	-37.8285
LR $\chi^2(12)$	15.58	21.01
Pseudo R^2	0.0554	0.2174
Goodness of Fit test		
# of obs	261	116
# of covariate patterns	260	116
Pearson χ^2	255.48	119.53
Prob > χ^2	0.3420	0.1269
모형 비교		
Log likelihood _(T)	-184.2061	
comparison	26.77	
Prob > χ^2	26.77 > 25.00	

라. 화물차사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석 소결론

화물차사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 정상기후 및 이상기후에 대한 총 2개의 시나리오에 대하여 모형을 각각 도출하고, <표 60>과 같이 기상에 대하여 모형의 적합도 및 유의한 변수들을 비교분석하였으며, 기상별 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 조사하였다.

정상기후시에는 ‘주야(day_night)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 야간일 때 주간보다 심각한 사고 발생확률이 2.5배 높은 것으로 나타났으며, 제한속도 초과값이 한 단위 증가할 때마다 심각한 사고의 발생확률이 1.13배 증가하는 것으로 나타났다. 속도의 변동계수의 경우에는 속도의 변동계수가 감소할 때 심각한

사고 발생확률이 증가하는 결과가 나타났다. 속도의 표준편차가 작고 속도의 평균이 클 때 속도의 변동계수는 작으므로 속도가 높은 상태에서 사고가 발생할 경우, 그 심각도는 증가하므로 따라서 차량간 속도분산을 나타내는 속도의 변동계수가 작더라도 사고 심각도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

이상기후시에는 사고 심각도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 변수로 ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’가 도출되었다. 내리막 일 때 심각한 사고발생확률은 5.4배 증가하였으며, 교량 또는 터널에서 발생한 사고는 심각한 사고일 확률이 본선일반구간보다 32.3배 높은 것으로 나타났다. 속도의 경우, 속도가 증가할수록 사고 심각도가 증가하였으나, 제한속도 초과값은 감소할수록 사고 심각도가 증가하였다. 이는 강우 및 강설로 인하여 차량들의 속도가 저하되어 속도의 평균이 제한속도와 비슷한 수준이거나 제한속도보다 낮기 때문으로 판단된다. 실제로 화물차사고의 강우시 평균속도는 제한속도의 80% 수준인 84.7kph로 나타났으며, 강설시 평균속도는 제한속도의 65% 수준인 65.2kph로 나타났다. 속도의 변동계수의 경우에는 속도의 변동계수가 증가할 때 사고 심각도는 매우 큰 확률로 증가하는 것으로 나타났다.

정상기후 및 이상기후의 모형을 비교분석한 결과, 두 모형은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타나 화물차사고의 기상별 심각도 영향요인을 분석한 결과는 의미있는 결과로 나타났다. 모형의 적합도의 경우에는 정상기후 보다 이상기후 모형이 더 높은 것으로 나타났다.

<표 60> 화물차사고의 기상별 심각도 영향요인 분석 결과

구분	정상기후		이상기후	
	Coef.	odds.	Coef.	odds.
sp_cv	-10.1785	3.8×10^{-5}	20.8062	1.09×10^9
day_night	0.9153	2.4975	-	-
location	-	-	3.4761	32.3341
grade_dn	-	-	1.6945	5.4439
up_overspeed	0.1280	1.1366	-0.1139	0.8924
up_sp15b	-	-	0.0876	1.0916

5.4.3. 차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석

5.4.3.1. 차-시설사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description

차-시설사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석에서 사용한 종속변수 및 독립변수에 대한 Data Description을 <표 61>에 제시하였다. 독립변수 중 명목형 변수는 변수 내 집단의 case 개수를 각각 제시하였으며, 연속형 변수는 사고심각도 집단별 평균값을 제시하였다. 인적특성, 차량특성, 기하구조특성, 교통특성, 환경특성에 관한 독립변수는 총 14개로 나타났다.

<표 61> 차-시설사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description

변수				심각한 사고	경미한 사고	Total
종속변수		injury2		47	556	603
독립 변수	명목형 변수	day_night	1	26	214	240
			0	21	342	363
		week	1	33	394	427
			0	14	162	176
		gender	1	43	487	530
			0	4	69	73
		non_auto	1	29	227	256
			0	18	329	347
		grade_up	1	15	184	199
			0	32	372	404
		grade_dn	1	26	244	270
			0	21	312	333
		curve	1	24	269	293
			0	23	287	310
		location	1	3	18	21
			0	44	538	582
	연속형 변수	age		40.74	40.85	-
		up_sp15b		91.85	90.12	-
		up_overspeed		2.23	3.95	-
		df_sp15b		5.32	8.23	-
		sp_cv		0.07	0.07	-
		vc		0.22	0.23	-

차-시설사고의 총 자료 603개 중 심각도별 case수는 심각한 사고가 47개, 경미한 사고가 556개로 나타났다. ‘주야(day_night)’변수는 야간이 240개, 주간이 363개이며, ‘주중여부(week)’변수는 주중이 427개, 주말이 176개로 나타났다. ‘성별(gender)’변수에서 남성은 530개, 여성은 73개로 도출되었다.

기하구조 관련 변수에서는 ‘오르막여부(grade_up)’에서 오르막이 199개, ‘내리막여부(grade_dn)’에서 내리막이 270개, ‘커브여부(curve)’에서 커브가 293개로 나타났다. ‘사고위치(location)’에서는 교량 또는 터널이 21개, 본선일반구간이 582개로 도출되었다. ‘연령(age)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 40.74, 40.85세이며, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 91.85, 90.12kph로 나타났다. ‘제한속도초과값(up_overspeed)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 2.23, 3.95kph이며, ‘상·하류부속도차(df_sp15b)’는 사고 심각도에 따라 각각 평균 5.32, 8.23kph로 나타났다. ‘속도의변동계수(sp_cv)’는 심각한 사고가 평균 0.22, 경미한 사고가 0.23으로 도출되었다.

5.4.3.2. 차-시설사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석결과

이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석을 수행하였다. 정상기후 및 이상기후에 대한 종속변수별 분석결과를 제시하고 각 모형에서 통계적으로 유의하게 도출된 독립변수들을 비교 분석하였다. 또한 모형간 비교를 통하여 기상별 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 조사하였다.

가. 차-시설사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과

분석 시나리오 3-1에 해당하는 차-시설사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과를 <표 62>에 제시하였다. 정상기후시 자료의 개수는 371개이며, Log Likelihood는 -97.0372로 나타났다.

추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 19.16으로 자유도가 14일 때 χ^2 의 5%의 수준인 23.7 보다 작으므로, 종속변수가 독립변수에 따라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하지 못하였다. 모형의 설명력

을 나타내는 ρ^2 (우도비)는 0.0898로 낮게 나타났다.

정상기후에서는 통계적으로 유의하게 나타난 독립변수는 ‘주야(day_night)’, ‘차종(non_auto)’의 P-value가 0.5 이하로 나타나 독립변수의 기울기가 0이라는 귀무가설을 기각하였다.

‘주야(day_night)’변수는 계수가 0.9335로 나타나 주간보다 야간일 때 사고 심각도가 증가하였다. odds-ratio는 2.5434로, 야간일 때 심각한 사고가 발생할 확률이 주간보다 약 2.5배 높다고 할 수 있다.

<표 62> 차-시설사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석

구분	정상기후				
	Coef.	Std. Err.	t	P> t	odds.
day_night	0.9335	0.4726	1.98	0.048	2.5434
week	0.0657	0.4466	0.15	0.883	1.0679
gender	0.1723	0.6845	0.25	0.801	1.1881
age	-0.0148	0.0180	-0.82	0.411	0.9853
non_auto	0.9128	0.4582	1.99	0.046	2.4913
grade_up	0.8330	0.6807	1.22	0.221	2.3003
grade_dn	0.9211	0.6486	1.42	0.156	2.5121
curve	-0.0726	0.3968	-0.18	0.855	0.9300
location	0.8507	0.8947	0.95	0.342	2.3413
up_sp15b	0.0373	0.0259	1.44	0.149	1.0380
up_overspeed	-0.0953	0.0975	-0.98	0.329	0.9091
df_sp15b	-0.0201	0.0455	-0.44	0.658	0.9801
sp_cv	-8.5233	6.9689	-1.22	0.221	0.0002
vc	-0.0274	1.5333	-0.02	0.986	0.9730
cons	-6.5882	3.0481	-2.16	0.031	-
Log likelihood	-97.0372				
# of obs	371				
LR $\chi^2(14)$	19.16				
Prob > χ^2	0.1590				
Pseudo R ²	0.0898				

‘차종(non_auto)’의 경우에는 계수가 0.9128로 차종이 승합차 또는 화물차일 때 심각한 사고가 발생하는 것으로 나타났다. odds-ratio는 2.4913으로 차종이 승합차 또는 화물차일 때 승용차보다 심각한 사고가 발생할 확률이 약 2.5배 높다고 할 수 있다.

나. 차-시설사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과

분석 시나리오 3-2에 해당하는 차-시설사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과를 <표 63>에 제시하였다. 이상기후시 자료의 개수는 232개이며, Log Likelihood는 -40.5524로 나타났다.

추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 35.34로 자유도가 14일 때 χ^2 의 5%의 수준인 23.7보다 크므로 95% 신뢰수준에서 유의한 것으로 나타났다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)는 0.3035로 나타나 모형의 설명력이 높게 나타났다.

사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 독립변수로는 ‘차종(non_auto)’, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘상·하류부속도차(df_sp15b)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

‘차종(non_auto)’은 계수가 1.8813으로 승합차 또는 화물차일 때 사고 심각도가 증가하는 것으로 나타났으며, odds-ratio가 6.5621이므로 승용차일 때보다 승합차 또는 화물차일 때 심각한 사고 발생확률이 약 6.6배 증가한다고 할 수 있다. ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’변수의 계수는 계수가 0.1227로 속도가 증가할 때 사고 심각도는 증가하며, 속도가 한 단위 증가할 때마다 심각한 사고 발생확률은 1.13배 증가한다고 할 수 있다.

‘제한속도초과값(up_overspeed)’의 계수는 -0.1431로 나타나 제한속도 초과값이 감소할수록 사고 심각도는 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 화물차사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석에서와 같이 이상기후시 차량의 평균속도가 감소하여 제한속도의 수준과 비슷하거나 낮기 때문에 나타난 결과이다. 실제로 차-시설사고의 강우 및 강설시 평균속도는 강우시 86.4kph, 강설시 70.7kph로 나타났다.

<표 63> 차-시설사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석

구분	이상기후				
	Coef.	Std. Err.	t	P> t	odds.
day_night	0.7341	0.6732	1.09	0.276	2.0836
week	-0.8186	0.6954	-1.18	0.239	0.4411
gender	-1.1228	1.1970	-0.94	0.348	0.3254
age	0.0086	0.0322	0.27	0.788	1.0087
non_auto	1.8813	0.8112	2.32	0.020	6.5621
grade_up	0.3633	1.0365	0.35	0.726	1.4381
grade_dn	1.3104	0.9228	1.42	0.156	3.7078
curve	0.6974	0.6684	1.04	0.297	2.0086
location	1.4662	1.5145	0.97	0.333	4.3328
up_sp15b	0.1227	0.0463	2.65	0.008	1.1306
up_overspeed	-0.1431	0.0629	-2.28	0.023	0.8667
df_sp15b	-0.1564	0.0569	-2.75	0.006	0.8552
sp_cv8	29.5006	8.7874	3.36	0.001	6.49×10^{12}
vc_sum	-0.6854	1.7951	-0.38	0.703	0.5039
cons	-14.7962	4.8309	-3.06	0.002	
Log likelihood	-40.5524				
# of obs	232				
LR $\chi^2(14)$	35.34				
Pseudo R ²	0.3035				

‘상·하류부속도차(df_sp15b)’의 경우 속도차이가 작을수록 심각도가 증가하였으나 ‘속도의 변동계수(sp_cv)’의 경우에는 계수가 29.5006으로 속도의 변동계수가 증가할수록 사고 심각도는 증가하는 결과가 도출되었다.

상·하류부 속도차가 크다는 것은 상류부 속도가 높고 하류부 속도가 낮거나, 상류부 속도가 낮고 하류부 속도가 높다는 것을 의미하는데, 전자의 경우 추돌사고가 발생할 가능성이 높다고 할 수 있다. 또한, 상·하류부 속도차가 작다는 것은 상·하류부의 속도가 모두 높거나 모두 낮은 것을 의미하게 되는데 상·하류부 속도차가 작을 때 사고 심각도가 높다는 것은 상·하류부 속도가 모두 높을 때를 의미하는 것으로 판단된다.

이상기후시 차-시설사고에서 군집분석을 통하여 상·하류부 속도차이를 2개의 그룹으로 분류하여 속도차이가 큰 그룹과 속도차이가 작은 그룹으로 분류한 후, 상·하류부의 평균적인 속도를 도출하였다. <표 64>와 같이 상·하류부 속도차이가 작은 그룹의 속도의 평균값이 높은 것으로 나타났으며 두 그룹의 속도 평균은 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 따라서 상·하류부 속도차가 작더라도 차량의 속도가 높을 경우 사고발생시 사고의 심각도는 증가한다고 말할 수 있다.

<표 64> 이상기후시 차-시설사고의 상·하류부 속도차 그룹별 속도 평균 비교

집단통계량					
	심각도분류	N	평균	표준편차	평균의 표준오차
상류부속도	상·하류부 속도차가 작음	211	86.12	13.16	0.91
	상·하류부 속도차가 큼	21	67.93	24.50	5.35
하류부속도	상·하류부 속도차가 작음	211	86.34	13.22	0.91
	상·하류부 속도차가 큼	21	78.14	24.35	5.31
독립표본 검정					
	t	자유도	유의확률	평균차	차이의 표준오차
상류부속도	5.483	230	0.000	18.190	3.318
하류부속도	2.465	230	0.014	8.194	3.324

상·하류부 속도차이는 동시간대에서 공간적 위치가 다른 지점의 속도차이를 조사한 것이고, 속도의 변동계수는 같은 지점에서 다른 시간대의 속도차이를 조사한 것이다. 두 변수 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났으나 속도의 변동계수의 odds-ratio가 6.49×10^{12} 로 나타나 상·하류부 속도차이보다 속도의 변동계수가 심각한 사고의 발생 확률 증가에 미치는 영향이 더 크다 하겠다.

다. 모형비교

본 연구에서는 차-시설사고의 심각도 영향요인 분석에서 정상기후 및 이상기후 모형을 도출하여 두 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였다. 또한 모형의 적합도를 나타내는 Goodness of Fit test 결과를 제시하였다. 모형비교 결과는 <표 65>와 같다.

<표 65> 차-시설사고의 기상별 모형비교

구분	정상기후	이상기후
Log likelihood	-97.0372	-40.5524
LR chi2(14)	19.16	35.34
Pseudo R ²	0.0898	0.3035
Goodness of Fit test		
# of obs	371	232
# of covariate patterns	370	232
Pearson chi ²	317.33	159.27
Prob > chi ²	0.9253	0.9988
모형 비교		
Log likelihood _(T)	-150.6799	
comparison	26.18	
Prob > chi ²	26.18 > 23.7	

모형 비교 결과, χ^2 값이 26.18로 나타나 자유도 14일 때 χ^2 의 5% 수준인 23.7보다 크기 때문에 95% 신뢰수준에서 정상기후와 이상기후 모형은 다르다고 말할 수 있다.

Goodness of Fit test에서는 Pearson의 P-value가 기상별로 각각 0.9253, 0.9988로 0.05보다 큰 것으로 나타나 95% 신뢰구간에서 정상기후 및 이상기후의 모형이 적합하다는 귀무가설을 기각하지 못하여 도출된 회귀모형이 적합하며, 모형이 Data를 잘 설명한다고 할 수 있다.

라. 차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석 소결론

차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 정상기후 및 이상기후에 대한 총 2개의 시나리오에 대하여 모형을 각각 도출하고, <표 66>과 같이 기상에 대하여 모형의 적합도 및 유의한 변수들을 비교분석하였으며, 기상별 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 조사하였다.

정상기후시에는 ‘주야(day_night)’, ‘차종(non_auto)’변수가 통계적으로 유의한 변수로 도출되었다. 야간일 때 심각한 사고가 발생할 확률은 주간보다 2.5배 높고, 차종이 승합차 또는 화물차일 경우 승용차일 때보다 심각한 사고 발생확률이 2.5배 높은 것으로 나타났다.

이상기후시에는 ‘차종(non_auto)’, ‘상류부15분전속도(up_sp15b)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘상·하류부속도차(df_sp15b)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’ 변수가 사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 변수로 도출되었다.

차종의 경우 승합차 또는 화물차일 때 심각한 사고가 발생할 확률이 6.6배 증가하며, 속도가 증가할 때 심각한 사고 발생확률은 1.13배 증가하는 것으로 나타났다. 제한속도초과값이 감소할 때 심각한 사고 발생확률이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 본 연구에서 사용한 Data 특성상 이상기후 발생으로 인한 도로 소통능력 저하로 인하여 차량의 속도가 제한속도보다 낮기 때문으로 판단된다.

상·하류부속도차의 경우, 속도차이가 작을수록 심각도가 증가하는 것으로 나타났으며, 속도의 변동계수가 클수록 사고 심각도는 증가하였다. 상·하류부 속도차이가 작다는 것은 상류부 및 하류부의 속도가 모두 낮거나 모두 크다는 것을 의미하는데, 군집분석을 통하여 속도 차이를 낮음과 높음의 두 그룹으로 분류하여 평균속도를 비교한 결과 속도차이가 낮은 그룹의 평균속도가 높은 것으로 나타났다.

본 연구에서 사용한 Data 특성상 이상기후시 차-시설사고의 경우 상·하류부 속도차이가 작은 경우는 상류부 및 하류부 속도가 모두 높은 경우가 많아 상·하류부 속도차이가 작을 때 심각도가 증가하는 결과가 나타난 것으로 판단된다. 또한 상·하류부의 속도차이와 속도의 변동계수는 모두 차량간 속도를 비교하는 변수인데, 상·하류부 속도차이는 공간적인 차이이고, 속도의 변

동계수는 시간적인 차이이다. 두 변수를 비교하였을 때, 모두 통계적으로 유의하였지만 속도의 변동계수의 odds-ratio가 매우 높은 것으로 미루어 볼 때 이상기후시에는 공간적인 속도차이 보다는 시간적인 속도차이의 영향을 더 많이 받는다고 볼 수 있다.

정상기후 및 이상기후의 모형을 비교분석한 결과, 두 모형은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타나 차-시설사고의 기상별 심각도 영향요인을 분석한 결과는 통계적으로 의미있는 결과로 나타났다. 모형의 적합도의 경우에는 정상기후의 경우 매우 낮은 것으로 나타났으나 이상기후 모형의 적합도는 비교적 만족할만한 수준으로 도출되었다.

<표 66> 차-시설사고의 기상별 심각도 영향요인 분석 결과

구분	정상기후		이상기후	
	Coef.	odds.	Coef.	odds.
sp_cv	-	-	29.5006	6.49×10^{12}
day_night	0.9335	2.5434	-	-
non_auto	0.9128	2.4913	1.8813	6.5621
up_sp15b	-	-	0.1227	1.1306
df_sp15b	-	-	-0.1564	0.8552
up_overspeed	-	-	-0.1431	0.8667

5.4.4. 추돌사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석

5.4.4.1. 추돌사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description

추돌사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석에서 사용한 종속변수 및 독립변수에 대한 Data Description을 <표 67>에 제시하였다. 독립변수 중 명목형 변수는 변수 내 집단의 case 개수를 각각 제시하였으며, 연속형 변수는 사고심각도 집단별 평균값을 제시하였다. 인적특성, 차량특성, 기하구조특성, 교통특성, 환경특성에 관한 독립변수는 총 13개로 나타났다. ‘사고위치(location)’은 심각한 사고의 case수가 매우 적어 변수를 제거하였다.

추돌사고의 총 자료 194개 중 심각도별 case수는 심각한 사고가 70개, 경미

한 사고가 124개로 도출되었다. ‘주야(day_night)’변수는 야간이 96개, 주간이 98개이며, ‘주중여부(week)’변수는 주중이 155개, 주말이 39개로 나타났다. ‘성별(gender)’변수에서 남성은 180개, 여성은 14개이다. 기하구조 관련 변수에서는 ‘오르막여부(grade_up)’에서 오르막이 77개, ‘내리막여부(grade_dn)’에서 내리막이 77개이고, ‘커브여부(curve)’에서 커브가 71개로 도출되었다.

‘연령(age)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 44.00, 41.13세이며, ‘상류부 15분전속도(up_sp15b)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 90.83, 89.39kph로 나타났다. ‘제한속도초과값(up_overspeed)’변수는 사고 심각도에 따라 각각 평균 2.77, 2.38kph이며, ‘상·하류부속도차(df_sp15b)’는 사고 심각도에 따라 각각 평균 9.43, 10.67kph로 나타났다. ‘속도의변동계수(sp_cv)’는 심각한 사고가 평균 0.21, 경미한 사고가 0.24로 도출되었다.

<표 67> 추돌사고의 기상별 사고심각도 영향요인 Data Description

변수				심각한 사고	경미한 사고	Total
종속변수		injury2		70	124	194
독립 변수	명목형 변수	day_night	1	39	57	96
			0	31	67	98
		week	1	60	95	155
			0	10	29	39
		gender	1	67	113	180
			0	3	11	14
		non_auto	1	50	73	123
			0	20	51	71
		grade_up	1	29	48	77
			0	41	76	117
		grade_dn	1	27	50	77
			0	43	74	117
		curve	1	25	46	71
			0	45	78	123
	연속형 변수	age		44.00	41.13	-
		up_sp15b		90.83	89.39	-
		up_overspeed		2.77	2.38	-
		df_sp15b		9.43	10.67	-
		sp_cv		0.07	0.08	-
		vc		0.21	0.24	-

5.4.4.2. 추돌사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석결과

종속변수가 범주형으로 관측된 데이터를 적합 시킬 때 유용하게 사용되는 기법인 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 추돌사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석을 수행하였다.

정상기후 및 이상기후에 대한 종속변수별 분석결과를 제시하고 각 결과에서 통계적으로 유의하게 도출된 변수들을 비교분석하였다. 또한 두 모형에 대한 비교를 통하여 정상기후 및 이상기후 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 조사하였다. 분석 시나리오 4-1, 4-2에 해당하는 추돌사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과를 <표 66>에 제시하였다.

가. 추돌사고의 정상기후시 심각도 영향요인 분석결과

정상기후시 자료의 개수는 157개이며, Log Likelihood는 -93.5080으로 나타났다. 추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 18.70으로 자유도가 13일 때 χ^2 의 5%의 수준은 22.4 보다 작으므로, 종속변수가 독립변수에 따라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하지 못하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)는 0.0909로 나타나 모형 설명력도 낮은 것으로 나타났다.

정상기후에서 통계적으로 유의한 변수는 ‘주중여부(week)’로, P-value가 0.1 이하로 나타나 독립변수의 기울기가 0이라는 귀무가설을 기각하였다. ‘주중여부(week)’변수의 계수는 0.9698로 주중일 때 발생한 사고는 주말에 발생한 사고보다 심각한 사고일 확률이 약 2.6배 높다고 할 수 있다.

나. 추돌사고의 이상기후시 심각도 영향요인 분석결과

이상기후시 자료의 개수는 37개로 이며, Log Likelihood는 -20.3523로 나타났다. 추정모형의 전체 적합도(Overall Goodness)를 나타내는 χ^2 는 7.27로 자유도가 13일 때 χ^2 의 5%의 수준은 22.4 보다 작아 종속변수가 독립변수에 따라 유의한 차이가 없다는 귀무가설을 기각하였다. 모형의 설명력을 나타내는 ρ^2 (우도비)는 0.1515로 나타나 정상기후 모형보다는 설명력이 높은 것으로 보

이나 이상기후 모형에서는 심각도에 유의한 영향을 미치는 독립변수가 도출되지 않았다. 따라서 추돌사고에서 이상기후시 교통사고 심각도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 기상 및 교통조건 관련 요인은 없는 것으로 나타났다.

<표 68> 추돌사고의 기상별 심각도 영향요인 분석

구분	정상기후					이상기후				
	Coef.	Std. Err.	t	P> t	odds.	Coef.	Std. Err.	t	P> t	odds.
day_night	0.4470	0.4338	1.03	0.303	1.5636	1.0760	1.2367	0.87	0.384	2.9328
week	0.9698	0.5637	1.72	0.085	2.6375	0.8513	1.2251	0.69	0.487	2.3428
gender	0.2130	0.9176	0.23	0.816	1.2374	0.1429	1.6871	0.08	0.933	1.1536
age	0.0388	0.0186	2.08	0.037	1.0395	-0.0611	0.0442	-1.38	0.167	0.9408
non_auto	0.3639	0.4684	0.78	0.437	1.4390	0.7096	0.9627	0.74	0.461	2.0333
grade_up	0.0454	0.4864	0.09	0.926	1.0464	0.0334	1.5074	0.02	0.982	1.0340
grade_dn	-0.2934	0.4979	-0.59	0.556	0.7457	1.8863	1.4715	1.28	0.200	6.5949
curve	-0.0418	0.3835	-0.11	0.913	0.9591	-0.1793	0.8830	-0.20	0.839	0.8359
up_sp15b	0.0255	0.0214	1.19	0.233	1.0258	0.0275	0.0450	0.61	0.541	1.0279
up_overspeed	0.0378	0.1102	0.34	0.732	1.0385	0.0029	0.0437	0.07	0.946	1.0029
df_sp15b	0.0250	0.0289	0.87	0.386	1.0253	-0.0018	0.0749	-0.02	0.981	0.9982
sp_cv	-2.9032	5.4585	-0.53	0.595	0.0548	-2.5894	12.0648	-0.21	0.830	0.0751
vc_sum	-1.8362	1.5017	-1.22	0.221	0.1594	6.3206	5.7365	1.10	0.271	555.903
cons.	-5.6519	2.5429	-2.22	0.026	-	-4.0030	5.3160	-0.75	0.451	-
Log likelihood	-93.5080					-20.3523				
# of obs	157					37				
LR chi2(13)	18.70					7.27				
Pseudo R2	0.0909					0.1515				

다. 모형비교

본 연구에서는 추돌사고의 심각도 영향요인 분석에서 정상기후 및 이상기후 모형을 도출하여 두 모형이 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였다. 또한 모형의 적합도를 나타내는 Goodness of Fit test 결과를 제시하였다. 모형

비교결과는 <표 69>에 제시하였다.

모형 비교 결과, χ^2 값이 13.39로 자유도 13일 때 χ^2 의 5% 수준인 22.4 보다 작기 때문에 95% 신뢰수준에서 정상기후와 이상기후 모형은 다르다고 말할 수 없다.

Goodness of Fit test에서는 Pearson의 P-value가 기상별로 각각 0.3637, 0.0070으로 0.05보다 큰 것으로 나타나 정상기후의 경우 95% 신뢰구간에서 모형이 적합하다는 귀무가설을 기각하지 못하여 모형이 Data를 잘 설명한다고 할 수 있지만, 이상기후시에는 모형이 적합하다는 귀무가설을 기각하여 모형의 통계적 유의성이 부족한 것으로 도출되었다.

<표 69> 추돌사고의 기상별 모형비교

구분	정상기후	이상기후
Log likelihood	-93.5080	-20.3523
LR $\chi^2(13)$	18.70	7.27
Pseudo R^2	0.0909	0.1515
Goodness of Fit test		
# of obs	157	37
# of covariate patterns	157	37
Pearson χ^2	148.29	42.94
Prob > χ^2	0.3637	0.0070
모형 비교		
Log likelihood _(T)	-120.55397	
comparison	13.39	
Prob > χ^2	13.39 < 22.4	

라. 추돌사고의 교통사고 심각도 영향요인 분석 소결론

추돌사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 정상기후 및 이상기후에 대한 총 2개의 시나리오에 대하여 모형을 각각 도출하였다. 기상에 대하여 모형의 적합도 및 유의한 변수들을

비교분석한 결과 <표 70>과 같이 정상기후 모형에서는 ‘주중여부(week)’변수가 유의한 변수로 도출되었지만 이상기후 모형에서는 심각도에 유의한 영향을 미치는 변수가 도출되지 않았다. 모형비교 결과에서도 추돌사고의 기상별 모형은 서로 통계적인 차이는 존재하지 않았다. 따라서 종합결과에는 추돌사고의 기상별 심각도 영향요인 분석결과를 제시하지 않았다.

정상기후 모형에서 ‘주중여부(week)’변수의 경우 주중일 때 주말보다 심각한 사고가 발생할 확률이 2.63배 높은 것으로 나타났다.

<표 70> 추돌사고의 기상별 심각도 영향요인 분석 결과

구분	정상기후		이상기후	
	Coef.	odds.	Coef.	odds.
week	0.9698	2.6375	-	-

5.5. 종합결과

기상 및 교통조건이 교통사고 심각도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기상 및 심각도에 따른 속도, 속도의 표준편차, V/C의 분포를 비교하고 통계분석을 수행하였다. 순서형 프로빗 모형과 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 사고심각도 증가에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 독립변수를 도출하였다. 기상별 모형 비교를 통하여 모형간 통계적인 차이가 있는지 검증하였다. 분석을 통하여 도출한 결과를 종합적으로 검토하여 종합결과로 제시하였다. 모형의 통계적 유의성이 없는 것으로 나타난 추돌사고의 분석은 제외하였다.

가. 기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교분석

기상 및 심각도에 따른 교통특성을 비교분석한 결과, 속도의 경우 정상, 비, 눈으로 갈수록 평균이 감소하였다. 이는 이상기후 발생으로 인한 도로 소통능력이 저하되었기 때문으로 판단된다. 강설시에는 심각한 사고의 속도 평균이 경미한 사고보다 높게 나타났다. 강설시 평균속도는 정상기후 및 강우시 평균속도보다 낮았지만, 그럼에도 불구하고 강설시의 과속은 심각한 사고로 이어질 수 있음을 시사하는 결과이다.

추돌사고에서는 정상기후시의 속도보다 강우시의 속도의 평균이 높게 나타났다. 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나 강우시 평균속도가 전체사고, 화물차사고, 차-시설사고에서는 정상기후보다 평균 5~7kph 낮은 것을 감안할 때 추돌사고의 강우시 속도의 평균은 다른 사고에 비하여 높게 나타났다. 추돌사고는 주로 상류부 속도가 하류부 속도보다 높을 때 발생할 수 있으며, 강우시에는 노면습윤으로 인하여 안전정지거리가 증가하게 되어 운전자가 적절하게 감속하지 않은 경우 추돌사고 발생확률은 더욱 증가하게 될 것이다.

V/C의 경우에는 운전자의 수단전환, 통행포기 등으로 수요가 감소하여 정상기후에 비하여 이상기후의 V/C 평균이 감소한 것으로 판단된다. 그러나 이상기후의 영향을 배제한 정상기후에서의 V/C는 심각한 사고일 때 경미한 사고보다 낮은 것으로 나타났다. V/C가 낮은 것은 도로 내 차량이 적어 운전자가

원하는 만큼 속도를 낼 수 있는 속도 선택의 자유도가 크다는 것을 의미한다. 따라서 운전자가 고속주행 할 확률이 높아지게 되고, 사고발생시 심각한 사고 일 확률이 증가한다고 말할 수 있다.

속도의 표준편차의 경우, 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도의 편차가 증가하였다. 기존 연구결과에서도 볼 수 있듯이 속도의 표준편차가 증가할 경우 교통 사고 발생 개연성은 증가하게 된다. 본 연구에서도 이상기후가 발생할 경우 속도의 표준편차가 증가하여 사고발생 개연성과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

나. 기상별 심각도 영향요인 분석

기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 정상기후시 ‘주야(day_night)’, ‘차종(non_auto)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’변수가 사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 변수로 도출되었다. 정상기후에서는 환경적 요인이 야간일 때, 버스, 트럭, 트레일러와 같은 중차량일 경우 사고 심각도가 증가하였으며, 교통특성인 속도의 변동계수의 경우 심각한 사고 및 인명피해사고에서는 속도의 변동계수가 증가할수록 발생확률이 감소하였지만, 경미한 사고 및 물피사고는 증가하였다.

이상기후시 심각도 영향요인 분석에서는 시나리오별로 상이한 결과가 나타났다. 결과를 종합해 보면, 차종이 승합차 또는 화물차일 때 심각한 사고 발생 확률이 증가하였으며, 기하구조의 경우 내리막일 때 심각한 사고 및 인명피해 사고의 발생확률이 증가하였다. 사고위치의 경우 교량 또는 터널일 때 심각한 사고 및 인명피해사고 발생확률이 증가하였다. 속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 심각한 사고 및 인명피해가 발생할 확률이 증가하였다.

인명피해도를 종속변수로 설정한 분석에서는 연령이 증가할수록 사망사고 및 부상사고 발생확률이 감소하였으나, 물피사고가 발생할 확률은 증가하는 것으로 나타났다. 정상기후 및 이상기후의 모형을 비교분석한 결과, 두 모형은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타나 본 연구에서 기상별 심각도 영향요인을 분석한 결과는 의미있는 결과로 나타났다. 종속변수별 모형비교에서는 사고심각도를 종속변수로 사용한 모형의 적합도가 인명피해도 보다 높게 도출되었다.

다. 화물차사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석

화물차사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 정상기후시 사고 심각도에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 변수로 ‘주야(day_night)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’변수가 도출되었다.

야간일 때 주간보다 심각한 사고 발생확률이 높은 것으로 나타났으며, 제한속도 초과값이 증가할 때마다 심각한 사고의 발생확률이 증가하였다. 속도의 변동계수의 경우에는 속도의 변동계수가 감소할 때 심각한 사고 발생확률이 증가하는 결과가 나타났다. 속도의 변동계수가 작은 것은 속도의 표준편차가 작고 속도의 평균이 큰 것을 말하는데, 화물차사고 data의 특성상 속도의 표준편차가 작더라도 평균속도가 높은 사고 case들이 많아 속도의 변동계수가 작을 때 사고심각도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

이상기후시에는 ‘내리막여부(grade_dn)’, ‘사고위치(location)’, ‘상류부15분전 속도(up_sp15b)’, ‘제한속도초과값(up_overspeed)’, ‘속도의 변동계수(sp_cv)’가 통계적으로 유의한 독립변수로 도출되었다. 내리막일 때 심각한 사고발생확률은 증가하였으며, 교량 또는 터널에서 발생한 사고는 심각한 사고일 확률이 본선일반구간보다 높은 것으로 나타났다.

속도의 경우, 속도가 증가할수록 사고 심각도가 증가하였으나, 제한속도초과값은 감소할수록 사고 심각도가 증가하였다. 이는 강우 및 강설로 인하여 차량들의 속도가 저하되어 속도의 평균이 제한속도와 비슷한 수준이거나 제한속도보다 낮기 때문으로 판단된다. 실제로 화물차사고의 강우시 평균속도는 제한속도의 80% 수준인 84.7kph로, 강설시 평균속도는 제한속도의 65% 수준인 65.2kph로 나타났다.

속도의 변동계수의 경우에는 변동계수가 증가할 때 사고 심각도는 매우 큰 확률로 증가하는 것으로 도출되었다. 정상기후 및 이상기후의 모형을 비교분석한 결과, 두 모형은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타나 화물차사고의 기상별 심각도 영향요인을 분석한 결과는 의미있는 결과라고 할 수 있다.

라. 차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석

차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 정상기후시에

는 ‘주야(day_night)’, ‘차종(non_auto)’변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 야간일 때 심각한 사고가 발생할 확률은 주간보다 높은 것으로 나타났으며, 차종이 승합차 또는 화물차일 경우 승용차일 때보다 심각한 사고 발생 확률이 높은 것으로 나타났다.

이상기후시에는 승합차 또는 화물차일 때 심각한 사고가 발생할 확률이 증가하는 것으로 나타났으며, 속도가 증가할수록 심각한 사고 발생확률은 증가하였다. 제한속도초과값이 감소할 때 심각한 사고 발생확률이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 이상기후 발생으로 인한 도로 소통능력 저하로 인하여 차량의 속도가 제한속도보다 낮아지기 때문으로 판단된다.

상·하류부속도차의 경우, 속도차이가 작을수록 심각도가 증가하는 것으로 나타났으며, 속도의 변동계수가 클수록 사고 심각도는 증가하였다. 상·하류부속도차 및 속도 변수를 이용한 군집분석 및 t-test를 수행한 결과, 본 연구에서 사용한 차-시설사고 Data 특성상 상·하류부의 속도차이가 작아도 상류부 및 하류부의 속도가 모두 높은 경향을 가지는 사고 case가 많기 때문으로 판단된다. 또한, 속도차이는 공간적인 차이이고, 속도의 변동계수는 시간적인 차이이므로 두 변수를 비교하였을 때, 모두 통계적으로 유의하였지만 속도의 변동계수의 odds-ratio가 매우 높은 것으로 미루어 볼 때 이상기후시에는 공간적인 속도차이 보다는 시간적인 속도차이의 영향을 더 많이 받는다고 볼 수 있다.

정상기후 및 이상기후의 모형을 비교분석한 결과, 두 모형은 통계적인 차이가 있는 것으로 나타나 차-시설사고의 기상별 심각도 영향요인을 분석한 결과는 통계적으로 의미있는 결과로 나타났다.

마. 종합결과표

본 연구에서 사용한 분석 시나리오 중 통계적으로 유의하게 도출된 시나리오의 분석방법론과 결과, 주요 이슈 등을 정리하여 <표 71>에 제시하였다. 분석 시나리오는 기상 및 심각도별 교통특성분포에서 12개의 시나리오, 기상별 사고심각도 영향요인 분석에서 4개 시나리오, 화물차사고 및 차-시설사고 심각도 영향요인 분석에서 각각 1개로 나타나 시나리오는 총 17개로 나타났다.

<표 71> 종합결과표

구분	분석시나리오	방법론	주요 결과
기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교	기상별 속도 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 평균이 감소함 이상기후는 교통류의 속도 평균을 감소시켜 도로의 소통능력을 저하시킴
	기상별 속도 표준편차 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 표준편차 평균이 증가함 이상기후는 차량간 속도 분산을 증가시켜 사고발생 개연성을 증가시킴
	기상별 V/C 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 이상기후 발생으로 인한 수요 감소로 정상, 비, 눈으로 갈수록 V/C 평균이 감소함
	정상기후시 심각도별 V/C 비교분석	t-test	<ul style="list-style-type: none"> 심각한 사고의 V/C가 경미한 사고보다 낮게 나타남 V/C가 낮으면 속도선택의 자유도가 증가하여 고속주행 할 확률이 높아져 사고발생시 심각도가 증가함
	강설시 심각도별 속도 비교분석	t-test	<ul style="list-style-type: none"> 강설시 심각한 사고의 속도가 경미한 사고보다 높게 나타남 강설시 고속주행은 심각한 사고로 이어질 수 있음
	화물차사고의 기상별 속도 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 평균이 감소함 이상기후는 교통류의 속도 평균을 감소시켜 도로의 소통능력을 저하시킴
	화물차사고의 기상별 속도 표준편차 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 표준편차 평균이 증가함 이상기후는 차량간 속도 분산을 증가시켜 사고발생 개연성을 증가시킴
	화물차사고의 기상별 V/C 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 이상기후 발생으로 인한 수요 감소로 정상, 비, 눈으로 갈수록 V/C 평균이 감소함

※ ANOVA : 분산분석(Analysis of variance)

※ t-test : t검정

<표 71> 종합결과표(계속)

구분	분석시나리오	방법론	주요 결과
기상 및 심각도에 따른 교통특성 분포 비교	차-시설사고의 기상별 속도 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 평균이 감소함 이상기후는 교통류의 속도 평균을 감소시켜 도로의 소통능력을 저하시킴
	차-시설사고의 기상별 속도 표준편차 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 정상, 비, 눈으로 갈수록 속도 표준편차 평균이 증가함 이상기후는 차량간 속도 분산을 증가시켜 사고발생 개연성을 증가시킴
	차-시설사고의 강설시 심각도별 속도 비교분석	t-test	<ul style="list-style-type: none"> 강설시 심각한 사고의 속도가 경미한 사고보다 높게 나타남 강설시 고속주행은 심각한 사고로 이어질 수 있음
	추돌사고의 기상별 속도 비교분석	ANOVA	<ul style="list-style-type: none"> 비, 정상, 눈으로 갈수록 속도 평균이 감소함 이상기후는 교통류의 속도 평균을 감소시켜 도로의 소통능력을 저하시킴
기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	정상기후시 심각도 영향요인 분석	OPM	<ul style="list-style-type: none"> 야간일 때, 차종이 승합차 또는 화물차일 때 사고 심각도는 증가함 경미한 사고 및 물피사고의 경우 속도 변동계수가 증가할수록 사고 심각도는 증가함
	이상기후시 심각도 영향요인 분석	OPM	<ul style="list-style-type: none"> 차종이 승합차 또는 화물차일 때, 기하구조가 내리막일 때, 사고위치가 교량 또는 터널일 때 심각한 사고 및 인명피해사고의 발생확률이 증가함 속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 심각한 사고 및 인명피해가 발생할 확률이 증가함 연령이 증가할수록 사망사고 및 물피사고 발생확률이 감소하였으나, 물피사고가 발생할 확률은 증가함

※ OPM : 순서형 프로빗 모형(Ordered Probit Model)

<표 71> 종합결과표(계속)

구분	분석시나리오	방법론	주요 결과
화물차사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	정상기후시 심각도 영향요인 분석	BLR	<ul style="list-style-type: none"> 야간일 때 사고 심각도는 증가함 제한속도초과값이 증가할수록 심각도는 증가함
	이상기후시 심각도 영향요인 분석	BLR	<ul style="list-style-type: none"> 기하구조가 내리막일 때, 사고위치가 교량 또는 터널일 때 사고 심각도는 증가함 속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 사고 심각도는 증가함
차-시설사고의 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석	정상기후시 심각도 영향요인 분석	BLR	<ul style="list-style-type: none"> 야간일 때, 차종이 승합차 또는 화물차일 때 사고 심각도는 증가함
	이상기후시 심각도 영향요인 분석	BLR	<ul style="list-style-type: none"> 야간일 때 사고 심각도는 증가함 속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 사고 심각도는 증가함 차량간 속도차는 시간적 차이인 속도의 변동계수가 공간적 차이인 상·하류부 속도차보다 심각도에 미치는 영향의 정도가 큼

※ BLR : 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistics Regression)

6. 결론 및 향후연구과제

6.1. 결론

본 연구에서는 국내 고속도로의 사고자료와 검지기자료, 전국 기상대의 기상자료를 이용하여 기상 및 교통조건이 고속도로 교통사고 심각도에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다.

다각적인 기존문헌 고찰을 통하여 속도, 속도분산, 이상기후, 제한속도 증감과 사고와의 연관성을 검토하였으며, 기상조건에 따라 도로·교통조건에 미치는 영향을 조사하였다. 속도가 증가할수록 사고 심각도는 증가하며, 속도분산은 사고발생 개연성과 밀접한 연관성이 있는 것으로 나타났다. 이상기후가 발생할 경우 용량, 속도 등 도로의 소통능력이 저하되었다.

본 연구에서는 기존문헌 고찰결과를 바탕으로 기존의 연구에서 고려하지 않았던 강수량을 고려하였으나 모든 시나리오에서 강수량 관련 변수는 통계적으로 유의하게 도출되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 정상기후 및 이상기후에 대하여 모형을 각각 구축하여 비교분석함으로써 기존연구와의 차별성을 부여하였다.

기상 및 심각도에 따른 교통특성 분석 결과 이상기후시에는 속도의 평균이 감소하는 것으로 나타나 기존 연구의 결과와 같은 결과가 도출되었다. 중요한 점은 강설시에 심각한 사고의 속도 평균이 경미한 사고의 평균보다 높게 나타났으며, 이는 강설시 고속으로 주행 시 심각한 사고로 이어질 수 있음을 의미하는 결과이다.

또한 추돌사고에서는 다른 사고유형보다 강우시 평균속도가 높게 나타났으며, 이는 추돌사고에서 정상기후의 평균값 보다 높은 것으로 나타났다. 강우시에는 노면 습윤으로 인하여 차량의 안전정지거리가 증가하므로, 적정 속도를 준수하고 앞차와의 거리를 충분히 하여야 추돌사고를 예방할 수 있을 것이다.

기상별 V/C 분석의 경우 이상기후시 정상기후보다 V/C가 낮은 것으로 나타났다는데, 이는 기상상태로 인한 교통수요의 감소로 판단된다. 그러나 정상기

후에서 심각한 사고일 때 V/C 평균은 경미한 사고보다 낮게 나타났다. V/C가 낮다는 것은 도로 내 차량이 적다는 의미이며, 운전자의 속도 선택의 자유도가 높아져 고속주행할 확률이 높아질 것이다. 따라서 높은 속도에서의 사고는 심각한 사고로 이어질 수 있으므로 고속도로 이용시 운전자가 안전속도를 준수할 수 있도록 유도해야 할 것이다.

속도의 표준편차의 경우 이상기후가 발생했을 경우 속도의 편차는 증가하는 경향을 보였는데, 속도의 표준편차가 증가할수록 사고발생 개연성은 증가하게 되므로 이상기후시 차량간의 속도편차를 감소시킬 수 있는 속도관리를 위한 교통제어 및 운영방안에 대한 필요성을 확인하였다.

본 연구에서는 순서형 프로빗 모형과 이항 로지스틱 회귀분석을 이용하여 분석을 수행하였으며, 최종적으로 사용된 독립변수는 '주야(day_night)', '주중여부(week)', '성별(gender)', '연령(age)', '차종(non_auto)', '오르막여부(grade_up)', '내리막여부(grade_dn)', '커브여부(curve)', '사고위치(location)', '상류부15분전속도(up_sp15b)', '제한속도초과값(up_overspeed)', '상·하류부속도차(df_sp15b)', '속도의 변동계수(sp_cv)', 'V/C(vc)'의 14개로 나타났다.

사고 심각도 및 인명피해도의 종속변수를 이용하여 분석을 수행한 결과, 정상기후 모형에서는 야간시 주간보다 심각도 A사고 발생확률이 2.4배 증가하였으며 차종이 15인승 이상의 다인승차량, 버스, 트럭, 트레일러와 같은 중차량일 때 심각도 A사고 발생확률이 3.4배 증가하는 것으로 나타났다. 야간시 주간보다 심각한 사고 발생확률이 큰 것으로 나타난 것은 운전자의 시인성 저하 및 졸음운전으로 인한 것이라고 볼 수 있다. 따라서 야간에 V/C가 낮더라도 운전자가 안전속도를 유지하도록 유도해야하며 운전자에게 졸음으로 인한 사행운전시 경고정보를 제공하는 방안의 필요성을 확인하였다. 속도의 변동계수의 경우 심각한 사고 및 인명피해사고의 발생확률은 감소시켰으나, 경미한 사고 및 물피사고의 발생확률은 각각 4.8%, 93% 증가시키는 것으로 나타났다.

이상기후 모형에서는 시나리오별로 유의한 독립변수가 다르게 나타났으나 결과를 종합해 보면, 차종이 중차량일 경우 심각도 A사고 발생확률은 승용차보다 3배 증가하였으며 내리막 경사인 경우 오르막 및 평지보다 심각도 A사고 발생확률이 25.8배 증가하였다. 교량 또는 터널에서 사고가 발생했을 경우

본선일반구간보다 심각도 A사고 발생확률이 48.7배 증가하였다.

내리막 경사의 경우 정상기후에서는 유의한 변수로 도출되지 않았으나 이상기후 모형에서는 유의한 변수로 도출되었다. 이상기후로 인한 노면 습윤, 결빙 시 안전정지거리는 증가하게 되며, 기하구조가 내리막일 경우 안전정지거리는 더욱 증가하게 된다. 따라서 기하구조가 내리막인 경우에는 운전자가 적절하게 감속할 수 있도록 속도관리전략을 적용할 필요성이 있으며, 이상기후 발생으로 인한 노면마찰력 저하를 예방하기 위하여 도로안전시설물을 추가적으로 설치해야 할 것이다.

교량 및 터널에서 사고발생시 본선 일반구간보다 심각한 사고 발생확률이 매우 높게 나타난 것은 일반구간과 비교했을 때 상대적으로 교량 및 터널에서는 구조물, 조명, 강풍 등으로 인한 시거제약이 발생하기 때문으로 판단된다. 그러므로 운전자에게 교량 및 터널에서 안전한 속도로 통과할 수 있도록 사전에 경고정보 제공하는 방안이 필요하다.

속도 및 속도의 변동계수가 증가할수록 심각도 A사고는 각각 0.01%, 3.8% 증가하는 것으로 나타나 차량의 속도 및 차량간 속도분산이 사고 심각도와 밀접한 관련이 있음을 다시 한 번 확인하였다. 특히, 이상기후시 과속은 심각한 사고로 이어지고 차량간 속도분산이 클 경우 심각한 사고발생의 가능성이 높으므로 이상기후시 교통안전 증진을 위한 효과적인 속도관리 전략이 필요하다. 이상기후로 인한 시인성 및 노면상태가 급격히 저하되는 위험구간(내리막, 교량, 터널)에는 차량들의 평균속도를 안전속도로 유지하고 차량간 속도분산을 감소시키기 위한 강력한 속도단속 또는 가변제한속도운영 등의 대책이 필요하다.

사고유형에 따른 기상별 교통사고 심각도 영향요인 분석에서는 화물차사고의 경우 전체사고와 달리 정상기후시 제한속도 초과값에 대한 변수가 유의하게 도출되었다. 제한속도 초과값이 증가할 때마다 사고의 심각도는 1.13배 증가하는 것으로 나타나 제한속도 준수는 사고발생시 사고 심각도를 감소시킬 수 있다는 결과가 도출되었다. 따라서 운전자들의 제한속도 준수에 대한 인식을 더욱 고취시켜야 할 필요성이 있다.

이상기후 모형에서는 내리막일 때 심각한 사고발생확률은 5.4배 증가하였으

며, 교량 또는 터널에서 발생한 사고는 심각한 사고일 확률이 본선일반구간보다 32.3배 높은 것으로 나타났다. 속도가 증가할수록 사고심각도는 1.09배 증가하였으며, 속도의 표준편차가 증가할수록 심각한 사고 발생확률은 1.09×10^9 배로 매우 크게 증가하는 것으로 나타났다.

정상기후 모형과는 달리 이상기후 모형에서는 제한속도 초과값이 감소할수록 사고의 심각도가 증가하는 결과가 나타났는데, 이는 화물차사고의 기상별 속도 분포에서 확인할 수 있듯이 이상기후시 평균속도가 강우시 제한속도의 80% 수준으로, 강설시 제한속도의 65% 수준으로 나타났기 때문으로 판단된다.

화물차사고의 기상별 모형비교 결과에서도 정상기후 및 이상기후 모형이 통계적인 차이가 있는 것으로 나타나 의미 있는 결과라 할 수 있다.

차-시설사고에서는 정상기후시 야간일 때 심각한 사고가 발생할 확률은 주간보다 2.5배 높고, 차종이 승합차 또는 화물차일 경우 승용차일 때보다 심각한 사고 발생확률이 2.5배 높은 것으로 나타났다.

이상기후의 경우 승합차 또는 화물차일 때 심각한 사고가 발생할 확률이 6.6배 증가하였다. 속도가 증가할 때 심각한 사고 발생확률은 1.13배 증가하는 것으로 나타났으며 속도의 변동계수가 증가할수록 심각한 사고 발생확률은 6.49×10^{12} 배로 대단히 증가하였다.

상·하류부 속도차이가 작을수록 사고 심각도가 증가하는 결과가 나타났는데, 이는 속도차이가 작더라도 상류부 및 하류부의 속도가 모두 높기 때문에 사고발생시 심각도도 높게 나타났다고 할 수 있다. 또한, 속도의 변동계수와 비교했을 때 종속변수에 미치는 영향이 매우 적은 것으로 나타나 차량의 속도 차이는 공간적인 차이보다 시간적인 차이가 사고 심각도에 더욱 유의한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 차-시설사고의 기상별 모형을 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 사고 심각도에 유의한 영향을 미치는 기상 및 교통조건을 분석한 결과, 이상기후시에는 내리막일 때, 사고위치가 교량 및 터널일 때, 속도가 증가할수록, 속도의 변동계수가 증가할수록 교통사고의 심각도가 증가하는 결과를 얻었다. 정상기후시라도 운전자 시인성이 저하되는 야간일 경우 사고 심각도가 높은 것으로 나타났다.

본 연구의 활용방안은 다음과 같다.

첫째, 결과를 활용하여 향후 고속도로에서 안전성 증대를 위한 다양한 기상 대응과 관련된 운영정책의 제안, 분석 및 평가단계에 활용함으로써 효과적인 교통류 관리전략의 공학적 근거로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 최근까지 국외에서 활발하게 운영되고 있는 가변제한속도 시스템의 국내 도입시 국내 실정에 맞는 가변속도 산정 알고리즘 도출, 시스템 우선 적용 지점 선정 등에 활용할 수 있다.

셋째, 최근까지 사고심각도 예측 모형이 많이 개발되어 왔으나 본 연구의 결과를 활용하면 기상상태를 반영하여 차별화된 심각도 예측모형 개발이 가능할 것으로 판단된다.

마지막으로 향후 개별차량 경고정보 제공관련 교통류 관리전략 수립시 본 연구의 결과를 활용하여 실시간 기상상황을 고려한 경고정보 생성이 가능할 것으로 판단된다. 운전자에게 보다 신뢰성 있는 정보를 제공하고 도로·교통 환경에 유연하게 대응하는 전략 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

6.2. 향후연구과제

본 연구에서 도출된 결과에서 모형의 적합도 및 관련 변수의 타당성을 증대시키기 위해서는 다음과 같은 향후 연구가 추가적으로 필요하다.

첫째, 본 연구의 한계는 사고자료, 검지기 자료 및 기상자료의 수집단위 및 신뢰성이다. 실제로 Dataset 구성과정에서 사고 case가 매우 줄어들었는데 그 원인으로는 검지기자료에서 수집되는 속도 및 교통량 자료에서 발생하는 이상치 및 결측치와 사고자료의 기상과 기상자료의 기상이 상이하여 발생하는 오차이다. 또한 본 연구에서는 15분 단위의 검지기 자료와 1시간 단위의 기상자료를 이용하였으나, 향후 이를 보완하여 매우 작은 수집 간격(예: 10초)으로 수집된 신뢰성 있는 자료를 이용하여 더욱 미시적인 분석 결과를 통하여 본 연구의 결과를 발전시킬 수 있을 것이다.

둘째, 기존문헌에서는 이상기후 발생 유무만을 변수화하여 교통사고 심각도와 의 관계도출을 하였으나, 본 연구에서는 기존연구와 차별화하기 위하여 강

수량의 실측값을 변수화하여 분석을 수행하였다. 그러나 본 연구에서는 강수량 변수가 유의하게 도출되지 않아 기상별 심각도 영향요인 분석결과를 각각 제시하여 비교하였다. 기상자료의 경우 RWIS(Road Weather Information System)을 통한 실시간 기상 모니터링을 통하여 수집된 자료를 활용한다면 향후 Dataset을 보완하여 강우강도와 교통사고 심각도의 명확한 관계를 도출하는 추가적인 분석이 수행되어야 할 것이다.

셋째, 사고자료의 경우 심각도별 사고건수와 기상별 사고건수의 균형이 맞지 않아 모형의 적합도가 다소 낮은 것으로 나타난 결과가 있었다. 이는 기상조건이 비 또는 눈일 때 사고심각도별 사고건수, 특히 심각한 사고의 사고건수가 충분하지 않아 발생하는 문제로 판단된다. 또한 사고자료의 사고발생시간의 경우 정확성의 한계가 발생할 수 있는데, 이때 속도 및 교통량에 대한 시간적 매칭시 오차가 발생할 수 있다. 따라서 향후 차량용 블랙박스 등을 이용한 정확한 사고발생시간 조사를 통하여 Dataset이 보완된다면 더욱 유의한 결과로 발전시킬 수 있을 것이다.

넷째, 본 연구에서는 이상기후 중 안개, 강풍은 고려하지 않았는데, 그 이유는 안개 또는 강풍일 때 사고발생 건수가 매우 적기 때문이다. 그러나 안개의 경우 운전자의 시인성에 매우 큰 영향을 미치게 되며, 이상기후의 복합적인 발생, 즉 눈과 안개, 비와 안개 등이 교통조건에 미치는 영향 또한 크다. 강풍의 경우 교량 뿐만 아니라 터널에서도 강풍의 영향이 발생하므로, 향후 이러한 점을 고려하여 추가적인 분석을 수행해야 할 것이다.

마지막으로 본 연구에서는 기상별 교통사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 연구결과로 제시하였다. 본 연구의 결과로 제시된 변수들을 이용하여 모형으로 적용하기 위하여 분석모형의 적합도를 높이는 연구가 필요할 것이다. 또한 본 연구에서 제시한 변수들을 이용하여 기상상황을 반영할 수 있는 사고 심각도를 예측 알고리즘을 개발한다면 고속도로 안전성 증진을 위한 전략수립시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. 경찰청(2006), "합리적인 최고속도 제한방법 연구"
2. 김광원(2007), "기상요소와 교통사망사고의 관계에 관한 연구", 관동대학교, 박사학위논문
3. 김규옥(2006), "첨단교통정보를 활용한 도로운영 및 제어방안 연구", 한국교통연구원
4. 김두희, 이정미(1990), "기상에 따른 교통사고 발생양상과 빈도", 예방의학회지, 제23권, 제1호, pp. 98-105
5. 김성환(2008), "강우량에 따른 고속도로 최대 교통유율 및 속도 변화 분석", 서울시립대
6. 김양중(2010), "고속도로 주행패턴을 고려한 최적 제한속도 상향방안에 관한 연구", 아주대학교, 석사학위논문
7. 김종민, 이석기(2007), "안개시 주행속도, 차간거리 안내 시스템", 대한교통학회지, 학술발표회논문집, pp. 451-455
8. 도명식, 김명수(2003), "환경요인에 따른 국도간에서의 주행속도 변화 분석", 대한토목학회논문집, 제23권, 제4호
9. 백승걸, 김범진, 임용택(2008), "강우와 고속도로 통행특성과의 관계 연구", 대한교통학회지, 제26권, 제3호
10. 심관보, 윤정호(1999), "강우량과 포장상태에 따른 습윤노면 사고율 비교분석", 교통안전연구논집, 제18권, pp. 55-70
11. 심상우, 최기주(2009), "도로기상요인의 영향에 따른 고속도로 교통상황 유형 분류", 대한토목학회지, 제29권, 제6D호, pp. 685-691
12. 오주삼, 최대순, 조운호, 정진혁(2002), "안개로 인한 속도변화 특성에 관한 연구 -일반국도를 중심으로", 대한토목학회지, 제22권, 제4D호, pp. 677-685
13. 유근영(1996), "의학 보건학을 위한 범주형 자료 분석론", 서울대학교출판부
14. 이성우, 민성희, 박지영, 윤성도(2005), "로짓·프라빗모형 응용", 박영사, pp. 177-203
15. 이용택, 김양지, 김대현, 임강원(2000), "고속도로 교통사고의 계절성 검증과 요인분석 (중부고속도로 사례를 중심으로)", 대한교통학회지, 제18권, 제5호
16. 이종학, 조혜진(2004), "악천후 기상상태별 교통사고 특성에 관한 연구", 대한토목학회 정기학술회, pp. 3864-3867

17. 이호영, 최재성(2006), "지방부 간선도로에서 안개영향에 따른 도로의 안전성제고에 관한 연구", 한국도로학회, 학술발표논문집, pp. 301-306
18. 전우훈, 조혜진(2004), "악천후를 고려한 도로안전시설의 설치 개선방안 연구", 한국도로학회, 학술발표논문집, pp. 429-434
19. 최정순, 손봉수, 최재성(1999), "기상조건에 따른 도시고속도로 교통류변화 분석", 대한교통학회지, 제17권, 제1호
20. Agarwal M., T. Maze, and R. Souleyrette(2005), "Impact of Weather on Urban Freeway Traffic Flow Characteristics and Facility Capacity", Iowa state university, Report
21. Andrey J., B. Mills, M. Leahy, and J. Suggett(2003), "Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities", Natural hazards, Vol. 28, No. 2-3, pp. 319-343
22. Baruya A.(1998), "Speed-Accident Relationships on European Road", Transport Research Laboratory, 9th International Conference
23. Brilon W. and M. Ponzlet(1996), "Variability of Speed-Flow Relationships on German Autobahns", Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1555, pp. 91-98
24. Brooks J. O., M. C. Crisler, N. Klein, R. Goodenough, R. W. Beeco, C. Guirl, P. J. Tyler, A. Hilpert, Y. Miller, J. Grygier, B. Burroughs, A. Martin, R. Ray, C. Palmer, and C. Beck(2010), "Speed choice and driving performance in simulated foggy conditions", Accident Analysis and Prevention Volume 43, pp. 698-705
25. Camacho F. J., A. García, and E. Belda(2010), "Analysis of Impact of Adverse Weather on Freeway Free-Flow Speed in Spain", Transportation Research Record, No. 2169, pp. 150 - 159
26. Chung E., O. Ohtani, H. Warita, M. Kuwahara, and H. Morita(2006), "Does Weather Affects Highway Capacity?", Presented at the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service
27. Cirillo J. A.(1968), "Interstate system accident research: study II", interim report II. Public Roads, 35(3), pp. 71-15
28. Edwards J. B.(1998), "The Relationship Between Road Accident Severity and Recorded Weather", Journal of Safety Research, vol. 29, No. 4

29. Edwards J. B.(1999), "Speed adjustment of motorway commuter traffic to inclement weather", Transportation Research Part F 2, pp. 1-14
30. Eisenberg D.(2004), "The Mixed effects of Precipitation on Traffic Crashes", Accident Analysis & Prevention, Vol. 36, Issue 4, pp. 637-647
31. ETSC(1995), "Reducing Traffic Injuries Resulting from Alcohol Impairment", Brussels, European Transport Safety Council
32. Freedman M. and J. R. Esterlitz(1990), "The Effects of the 65mph Speed Limit on Speeds in Three States", Transportation Research Record 1281, pp. 52-61
33. FHWA(2000), "Highway Capacity Manual"
34. Garber N. J., and R. Gadiraju(1989), "Factors Affecting Speed Variance and its Influence on Accidents", Transportation Research Record, 1213, p. 64.
35. Hablas H. E., H. Rakha, M. Arafah, A. Hobeika, and M. Abbas(2007), ""A Study of Inclement Weather Impacts on Freeway Free-Flow Speed, Blacksburg, Virginia, Hossam El-Din Hablas
36. Hawkins R. K.(1988), "Motorway Traffic Behaviour in Reduced Visibility Conditions", Vision in Vehicles II. Second International Conference in Vision in Vehicles, Nottingham, United Kingdom
37. Hogema J. H. and R. Van Der Horst(1997), "Evaluation of A16 Motorway Fog-Signaling System with Respect to Driving Behavior", Transportation Research Record Annual Meeting 76rd, Washington D.C.1573, No. 970227, 1997
38. Holdener D. J.(1998), "The Effects of Rainfall on Freeway Speeds", ITE Journal, Vol. 68, No. 11, p. 16
39. Ibrahim, A. T. and F. L. Hall(1994), "Effect of Adverse Weather Conditions on Speed-Flow Occupancy Relationship", Transportation Research Record 1457, No. 1457, pp. 184-191
40. Kathy L. M. B., F. Switzer, D. Scott(2007), "Car following decisions under three visibility conditions and two speeds tested with a driving simulator", Accident Analysis and Prevention 39, pp. 106-116
41. Kleitsch K. I. and D. E. Cleveland(1971), "The effect of rainfall of freeway capacity", Highway Research Board, NCHRP 20-3A, HSRI Report No. TrS-6

42. Knapp K. K., D. Kroeger and K. Giese(2000), "Mobility and Safety Impacts of Winter Storm Events in a Freeway Environment", Center for Transportation Research and Education, Iowa State University
43. Kumar M., S. Wang(2006), "Impacts of Weather on Rural Highway Operations", Western Transportation Institute College of Engineering Montana State University
44. Kyte M., Z. Khatib, P. Shannon, and F. Kitchener(2001), "Effect of Weather on Free-Flow Speed", Transportation Research Board, No. 1776, pp. 60-68
45. Maze T. H., M. Agarwal, G. Burchett(2005), "Whether Weather Matters to Traffic Demand, Traffic Safety", Journal of the Transportation Research Board, vol. 1948, pp. 170-176
46. Lynn A.S. and C.F. Barbara(1978), "An Analysis of the Relationship between Rainfall and the Occurrence of Traffic Accidents", Journal of Applied Meteorology, Vol. 17, pp. 711-715
47. Nofal F.H. and A.A.W Saeed(1997), "Seasonal Variation and Weather Effect on road traffic Accidents Riyadh City", The Society of Public Health 111, pp. 51-55
48. Parker M. R. Jr.(1992), "Comparison of Speed Zoning Procedures and Their Effectiveness", Final Report, prepared for the Michigan Department of Transportation, Lansing, Michigan
49. Prevedouros P. D. and K. Chang(2004), "Potential Effects of Wet Conditions on Signalized Intersection LOS", Journal of Transportation Engineering, Vol. 131, No. 12, pp. 898-903
50. Qiu L., and W. A. Nixon(2008), "Effects of Adverse Weather on Traffic Crashes Systematic Review and Meta-Analysis", Journal of the Transportation Research Board, No. 2055, pp. 139-146
51. Rakha H., M. Farzaneh, M. Arafeh, and E. Sterzin(2008), "Inclement Weather Impacts on Freeway Traffic Stream Behavior", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2071, pp. 8-18
52. Retting W. J. And M. A. Greene(1997), "Traffic Speeds Following Repeal of the National Maximum Speed Limit", ITE Journal, Vol. 67, pp. 42-46

53. Smith B. L., K. G. Byrne, R. B. Copperman, S. M. Hennessy, and N. J. Goodall(2004), "An Investigation into the impact of rainfall in freeway traffic flow", Transportation Research Board 83rd Annual meeting, Washington D.C.
54. Shi L., Y. Cheng, J. Jin, B. Ran, and X. Chen, "Effects of Rainfall and Environmental Factors on Traffic Flow Characteristics on Urban Freeway", Transportation Research Board 2011 Annual Meeting, Washington D.C.
55. Solomon D.(1964), "Accidents on main rural highways related to speed, driver and vehicle", U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration
56. Spitz S.(1984), "Speed Versus Speed Limits in California Cities", ITE Journal, Vol. 54, No. 4, Institute of Traffic Engineers, Washington D.C.
57. Stuster J. and D. Warren(1998), "Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Limits", Federal Highway Administration, FHWA-RD-98-154
58. TRB Special Report 254(1998), "Managing Speed, Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limit", Transportation Research Board, Washington D.C.
59. U.S.DOT(2006), "Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather", Federal Highway Administration, FHWA-HOP-07-073, 2006
60. U.S.DOT(2008), "Traffic Safety Fact Sheet", National Highway Traffic Safety Administration(<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811162.pdf>)
61. Yet T. H.(2005), "Impact of Rain to Highway Traffic and Drivers' Deceleration Behaviour", The Department of Transportation and Logistics

ABSTRACT

Effects of Weather and Traffic Conditions
on Accident Severity on Freeways

Advised by Prof. Oh, Cheol, Ph. D.

2012. 2

Choi, Saerona

Dept. of Transportation Engineering
The Graduate School of Hanyang University

ABSTRACT

Traffic accident occurs when either factor is in unsafe conditions among human, road, weather, traffic condition and environment. Especially, unstable weather condition such as adverse weather condition make visibility of drivers and adaptability of road surface friction lower and has a negative effect on stability and mobility of highway that could increase probability of accident and injury severity. Therefore, the analysis is needed to derive the relationship between whether, traffic conditions and injury severity.

In this study, dataset was set up using by data the last 3 years(2008~2010) includes accident data on the highway, loop detector data and weather data. And independent variables was setup about characteristic of human, geometric condition, types of vehicle, traffic and environment using dataset.

There are two parts of analysis. One is to investigate characteristics of traffic environment in adverse weather condition for understanding relationship between weather and traffic condition. Speed, standard deviation of speed, and volume/capacity ratio according to weather condition and injury severity was compared using statistical analysis such as t-test and ANOVA(Analysis of Variance).

The other one is to find out statistical significance parameters about weather and traffic condition affect on increase injury severity using Binary Logistics Regression and Ordered Probit Model. Specially, analysis according to types of accident was added such as truck accident, car-facility accident, and rear-end crash. Because truck accident has high fatality, and both car-facility accident and rear-end crash have large percentage on accident data.

As a result of traffic characteristic analysis in whether condition and severity, speed and volume/capacity ratio decreased, and standard deviation of speed increased in adverse weather condition. The average speed in fatal accidents was higher than the average speed in non fatal accidents in snowing. In excluded the whether influence, volume/capacity ratio in fatal accidents has lower than fatal accidents. And statistically factors affecting injury severity, in normal weather condition, were day and night, types of vehicle, CV(Coefficient of Variation) of speed. But, in adverse weather condition, statistically factors are types of vehicle, downward grade, location of accident, speed and CV of speed. In the analysis of truck accident in normal condition, difference between speed and speed limit were significant. In adverse weather, significant independent variables were downward grade, location of accident, speed and CV of speed. In the analysis of car-facility accident in normal condition, variables about night and types of vehicle were significant. And significant variables, in adverse weather, were types of vehicle, speed and CV of speed.

In the Model of abnormal climate, what you can see in the conclusion of whole accident, conclusion of downhill accident also increases accident severity when the accident place is in bridge-tunnel, velocity is high and coefficient of variation of velocity is high. Accident severity of car-facility accident increase when it is in dark area and heavy vehicle(in fine climate condition). Also Accident severity of car-facility accident increase when it is heavy vehicle, velocity is high and car-facility accident of velocity is high in abnormal climate.

The outcome of this study will be effectively used for considering effective operation counterplan variety whether conditions. And it's also expected to be used helpful for selecting priority point to install traffic control facilities and traffic safety facilities such as variable speed limit sign.

감사의 글

대학원 진학을 결심하는 과정에서 매우 긴 고민의 시간을 보냈습니다. ‘내가 과연 잘 할 수 있을까?’라는 물음이 제 발목을 잡고 있던 중 “잘 할 수 있을까?”라는 생각 보다 ‘무조건 잘 해내야 한다!’는 생각을 가져라.”라는 교수님의 말씀으로 시작된 2년간의 석사과정의 어느덧 마무리를 해야 할 시간이 되었습니다. 많은 것을 배울 수 있었던 깨달음의 시간이었지만 제 것으로 만들지 못한 부분에 대해서는 많은 아쉬움이 남습니다. 그러나 지금의 제가 되기까지 앞에서 끌어주시고, 옆에서 힘을 북돋아 주신 많은 분들께 ‘감사의 글’을 통해 제 마음을 전하고 싶습니다.

먼저, 제가 진학을 결심하고 열심히 공부할 수 있도록 저의 지원군이 되어 주신 부모님께 감사드리고 싶습니다. 존경하는 아버지(최백만 님), 청렴하고 성실한 사람의 참 본모습을 보여주셔서 감사드립니다. 사랑하는 어머니(구자연 님), 저의 영적인 친구가 되어주시고 제게 격려와 믿음을 주셔서 감사드립니다. 제 인생의 동반자이자 조력자인 사랑하는 제 동생(최대한)에게도 감사의 말씀을 드립니다.

저의 지도교수이신 존경하는 오철 교수님, 진심으로 감사드립니다. 교수님께서 부족한 저를 잘 보살펴주시고 학업 뿐만 아니라 인성적인 부분까지 많은 가르침을 주셔서 지금의 제가 있을 수 있었습니다. 앞으로 교수님의 제자로서 끊임없이 발전하는 모습을 보여드리겠습니다. 또한 학부과정부터 제게 값진 가르침을 주셨던 교통공학과와 도철웅 교수님, 장명순 교수님, 강경우 교수님, 김익기 교수님, 서영찬 교수님, 서선덕 교수님, 김성호 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

제가 2년 동안 몸 담아 열심히 연구하고 공부했던 교통공학과 교통안전정보 연구실의 선·후배 여러분들께도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 김준형, 송태진, 박준형, 박재홍, 임희섭, 김태진 선배님 감사드립니다. 저와 함께 열심히 연구했던 주신혜와 연구실 후배 정은비, 홍성민에게도 감사의 말씀 전합니다.

또한 한양대 교통공학과에 계신 선·후배 여러분들께도 감사드립니다. 많은

가르침 주신 조준한 박사님 감사드리며, 밝은 미소로 반겨주시는 김형철 선배님 감사드립니다. 저의 고민을 함께 나눠주신 김혜선 선배님 감사드립니다. 또한 저의 석사과정 동안 함께 해 주신 이태훈 선배님, 조남현 선배님, 서형일 선배님, 김진배, 김보성, 서동정, 서용환, 심태일, 이진학에게도 감사의 말씀 전합니다. 그리고 저와 희노애락을 함께 해 준 정다정, 고맙습니다.

짧은 2년 동안 제게는 여러 가지 긍정적인 변화들이 있었습니다. 그리고 제가 감사의 말씀을 전한 많은 분들 덕분에 저는 발전할 수 있었습니다. 앞으로도 꾸준히 공부하고 연구해서 더욱 발전된 제가 되겠습니다.