



# 강한 바람이 고속도로 차량 주행 안전성에 미치는 영향 분석

## The Effect of the Gust of Wind on Safety of Driving Vehicles in Higher Speed Freeways

김 상 업\*      최 재 성\*\*      황 경 성\*\*\*      황 경 수\*\*\*\*  
 Kim, Sangyoun      Choi, Jaisung      Hwang, Kyungsung      Hwang, Kyungsoo

### Abstract

Despite vehicle instability problems caused by gusts of wind on freeways located in mountain or seaside areas, current national highway design standards overlook their detrimental effects, and if higher design speed freeways being proposed now by the government are in operation, the strong effect of the gust of wind becomes a highway alignment design issue. This paper presents the vehicle movements and their resulting safety effects by checking vehicle sliding and overturn based on vehicle dynamic analysis for the case when a gust of wind blows to vehicles negotiating curves on higher speed freeways. In this analysis, vehicle types, curve radii, motorist responsive time to vehicle driving path changes, and vehicle speeds are systematically arranged to get vehicle sliding and overturn values in each different conditions. The results showed that there were little overturn possibilities when wind speed would stay in 50m/sec with higher than 600 meter curve radii. Interestingly it was also found in sliding checks that, although being safe at less than 15.0m/sec wind speed levels, there appeared the need of vehicle travel prohibitions when the wind speed could exceed 25.0m/sec level. The findings in this research is of information in future higher speed freeway designs, and particularly useful when designing freeways passing frequent gust wind areas.

**Keywords :** *gust of wind, higher speed freeway, vehicle sliding, vehicle overturn, highway design*

### 요 지

산악지역이나 해안지역을 통과하는 도로의 경우 강한 바람이 부는 지점이 있고, 이러한 지점에서 차량이 바람에 의해 전도되거나 옆으로 방향이 바뀔 수 있다. 현행 도로 설계 기준에서 강한 바람의 영향은 무시하고 있지만, 향후 고속도로 설계 속도가 높아지게 되면 강한 바람의 영향은 더욱 커지게 된다. 본 연구에서는 초고속 주행 상태로 주행하는 차량에 강한 바람이 부는 경우 차량의 전도와 이탈의 관계식을 통해 그 가능성에 대해 분석했다. 이 분석에서 차량의 종류, 곡선반경, 운전자들의 강한 바람에 대응하는 소요 시간, 차량 주행속도 그리고 풍속을 달리하면서 수식적으로 전도와 이탈량을 산출했다. 그 분석 결과, 차량의 전도 측면에서는 풍속 50m/s 이내에서 곡선반경이 600m 이상이면 전도 위험은 없는 것으로 나타났다. 차량의 이탈 측면에서는 풍속이 15.0m/s 이상일 경우 차량의 속도를 제한 할 필요가 있으며 풍속이 25.0m/s 이상일 경우 통행제한을 할 필요가 있는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 향후 도로 설계 기준을 조정하는 경우 참고할 만하며, 특히 강한 바람이 자주 부는 지역을 통과하는 고규격 고속도로를 건설하는 경우 매우 유용한 결과가 될 것이다.

**핵심용어:** *강한 바람, 고규격 고속도로, 차량 이탈, 차량 전도*

\* 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수료(E-mail: road@uos.ac.kr)  
 \*\* 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수(E-mail: traffic@uos.ac.kr)  
 \*\*\* 비회원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정(E-mail: jordanhks@hanmail.net)  
 \*\*\*\* 비회원 · 제주대학교 행정학과 교수(E-mail: ddongpai@chol.com)



# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

도로선형 설계 기준을 결정할 때, 바람은 아무리 강하게 불어도 차량 주행에 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 가정하고 결정한다. 그러나 차량이 고속으로 곡선을 주행할 때 강한 바람이 불게 되면 아무래도 차량은 횡방향으로 밀려나 사고로 이어질 수 있기 때문에 그 가능성에 대해 검토해 볼 필요가 있다. 예를 들어 2005년 3월 8일 강원도와 경남북 지역에서는 최대 순간풍속 초당 20미터가 넘는 강풍이 불어 닥치면서 측면의 면적이 큰 트레일러의 컨테이너가 강한 바람에 의해 전복하는 사고가 발생하였다. 또한 2005년 7월 12일 오전 부산 광안대교에서도 초당 16미터의 강한 바람에 의해 주행 중인 트레일러의 컨테이너 박스가 도로에 떨어져 교통흐름에 지장을 주는 사고가 있었다. 그리고 영동고속도로 대관령 구간은 약 90미터 높이를 가진 교량을 포함하고 있어서 이곳을 지나는 운전자들은 강한 바람 때문에 차가 흔들리는 것을 경험하고 있는데, 실제로 2001년 12월 15일 평창에서 강릉 쪽으로 주행하던 차량이 강한 바람 때문에 가드레일과 충돌하는 사고가 발생한 적이 있다(이종관, 2007). 외국에서도 1977년 4월 28일 오후 2시경 일본의 일본국도 8호 카미와교에서 교량을 주행하던 소형트럭이 강한 바람을 만나 화물칸이 전도하는 사고가 있었다. 이 사고 당시 풍속은 초당 25미터로 측정되었으며, 이 교량 주변지형은 깊이 약 100미터의 V자형 골짜기였다(유호연역, 2005). 따라서 강한 바람이 차량 주행 안전성에 미치는 영향은 기존 도로 설계에서는 크게 중요하지 않은 문제이나, 현재 추진 중인 우리나라의 SMART Highway\* 건설과 같이 속도 수준을 높이는 경우 차량 주행 안전성을 확인해 볼 필요가 있다.

본 연구의 목적은 강한 바람이 고속으로 주행하는

차량에 불었을 때 차량 안전성에 어떤 영향을 미칠지 이론적으로 검토하여, 기존 도로 선형 설계이론을 SMART Highway 도로 설계 기준 정립 단계에 적용했을 때 문제가 있을 지 여부를 확인하려는 것이다.

## 1.2 연구의 방법

본 연구에서는 먼저 우리나라에서 바람이 얼마나 강하게 불 수 있는지에 대해 풍속 통계자료를 통해 살펴보고, 그 외에도 강한 바람이 차량 주행방향에 직각으로 작용했을 때 발생하는 교통사고 유형과 이에 대한 대책 등을 살펴본다. 그 후 강한 바람에 따른 차량의 역학적 거동특성을 평면곡선에서의 차량 전도와 이탈 관계식을 통해 살펴본다. 이 과정에서 적용하는 강한 바람의 크기와 차량 제원 등은 현실적으로 나타날 수 있는 한계 값이며, 본 연구에서 검토한 차량 유형은 승용차와 Sport Utility Vehicle (SUV)로 제한했는데 그 이유는 현 시점에서 트럭 주행을 SMART Highway에 허가할지 아직 결정하지 않았기 때문이다. 그림 1은 본 연구에서 수행한 연구 방법을 요약한 것이다.

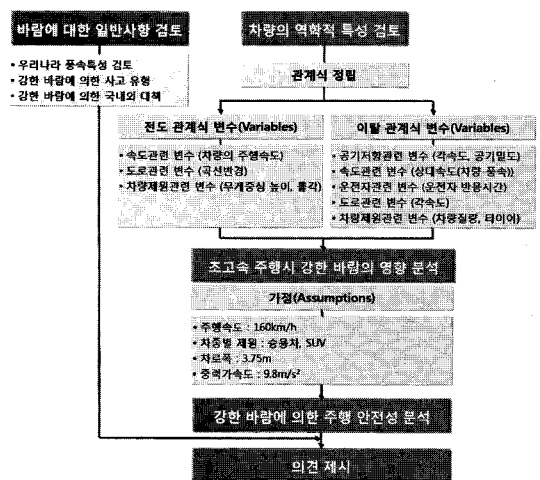


그림 1. 본 연구의 수행 과정도

\* 첨단 토목기술, IT 기술, 차세대 자동차기술을 상호 접목하여, 빠르면서도 안전한 지능형 고속도로를 개발하는 사업

## 2. 우리나라 풍속 현황 및 교통사고 대책

### 2.1 우리나라 풍속 현황

본 연구에서는 우리나라 풍속 현황을 알아보기 위해 기상청에서 제공하는 10년간(1997년~2006년) 전국 76개 기상관측소에서 제공한 풍속 자료를 수집했다(기상청, 1997~2006). 본 연구의 관점은 차량 안전 주행여부를 확인하는 것이고, 이를 위해서는 바람이 순간적으로 차량주행 방향에 직각으로 작용하는 것이 매우 중요하므로 지역별 월별 최대풍속 자료를 조사했다. 우리나라에서는 연도별 최대풍속자료를 10분 단위로 집계하여 산출하기 때문에, 본 연구에서도 이들 자료를 1개월간 누적시켜 이들 중 가장 큰 값을 월별 최대풍속으로 정하고, 10년간 월별 최대풍속을 오름차순으로 정리하였다. 표 1은 그 결과이다.

표 1. 우리나라 10년간 월별 85, 90, 95, 99 백분위 수 풍속

누적분포(백분위수)	85	90	95	99
풍속(m/s)	13.3	15.0	17.2	24.2

### 2.2 강한 바람에 의한 교통사고 유형과 예방 대책

강한 바람이 고속으로 주행하는 차량 안전성에 미치는 영향은 차량의 전도와 이탈을 통해 분석할 수 있다. 이 중에서 차량 전도는 차량이 회전모멘트를 받아 한쪽으로 넘어가는 상태를 말하기 때문에 이탈에 비해 훨씬 강한 바람이 불었을 때 발생하므로 실질적으로 운전자가 받는 위협은 차량이 미끄러져서 주행경로를 이탈하고 인접차선에서 주행 중인 차량과 접촉하거나 도로 시설물과 충돌하는 상황이다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 분석 결과의 신뢰도를 제고하기 위해 이 두 형태를 모두 고려했다. 한편 차량 사고 유형을 구분하면 표 2와 같다.

한편 강한 바람으로 인한 차량 교통사고를 방지하기 위해 외국에서는 매우 적극적인 대책을 수립했지

만, 국내에서는 표 3에서 보듯이 일부 교량에서 강한 바람 주의 표지판을 설치하는 정도이다.

표 2. 강한 바람에 의한 교통사고 유형

구분	내용	개념도
전도 (Overturn)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 차량 옆으로 매우 강한 바람이 불면 발생</li> <li>- 옆면이 넓은 탑차 등에서 발생확률이 높음</li> <li>- 회전반경이 작은 곳에서 발생하기 쉬움</li> </ul>	
이탈 (Sliding)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 순간적인 주행경로 이탈로 인한 사고 발생</li> <li>- 인접차량이나 도로 시설물과 충돌</li> <li>- 운전자의 심리적인 상태에 영향을 끼침</li> </ul>	

표 3. 강한 바람에 대한 국내의 차량사고예방 대책

국가	기관/교량	차량사고 예방 대책
일본	일본 도로공단	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 10분간 평균풍속 5~10m/s : 주행주의</li> <li>- 10분간 평균풍속 10~15m/s : 80km/h</li> <li>- 10분간 평균풍속 15~20m/s : 50km/h</li> <li>- 10분간 평균풍속 25m/s 이상 : 통행금지</li> </ul>
	수도고속도로	- 5분간 평균풍속 20m/s 이상 : 50km/h
	한신고속도로	- 평균풍속 20m/s 이상 : 주행주의
미국	Neport Bridge	- 순간풍속 22.5m/s : 차종별 통행금지 (Mobile-Home, 차고가 높은 2축 밴)
	Verazno Narrows Bridge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평균풍속 17.5m/s (노면 습윤시)</li> <li>- 평균풍속 22.5m/s (노면 건조시) : 차종별 통행금지 (Mobile-Home, 유리 운반차, 측면이 높은 구형 밴)</li> </ul>
영국	Humber Bridge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 순간풍속 19~30m/s : 48km/h</li> <li>- 순간풍속 31~36m/s : 32km/h</li> </ul>
	SeSUvern Bridge	- 평균풍속 17.8m/s : 고 측면 차량의 통행금지
	Cleddau Bridge	- 평균풍속 20m/s : 고 측면 차량의 통행금지
한국	광안대교	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평균풍속 25m/s : 전차량 통행금지</li> <li>- 평균풍속 15~25m/s : 40km/h</li> </ul>
	영동고속도로	- 강한 바람주의 표지판 설치
	서해대교	- 강한 바람주의 표지판 설치

주) 이종관(2007), 강풍에 의한 차량 교통사고에 대한 연구, 관동대 석사학위 논문  
정운용, 정봉조, 박태규(2003), 고속도로 강풍지역 차량주행 안전성 확보방안 연구, 도로교통기술원

### 3. 기존 이론 검토

본 연구에서는 강한 바람이 고속으로 주행하는 차량에 불었을 때 차량 안전성에 어떤 영향을 미칠지 계산식을 통해 분석한다. 그런데 이 과정에 적용할 기존 분석이론을 문헌을 통해 검토해보았는데, 도로 분야에서 통상적으로 사용하는 설계이론을 직접 적용해서는 원하는 분석을 모두 수행할 수 없겠다는 판단을 하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 차량 역학을 전문적으로 다루는 기계공학 분야에서 사용 중인 분석이론을 도입해서 차량의 전도와 이탈에 미치는 강한 바람의 영향을 세밀히 검토했다. 다음은 이 분석과정을 설명하고 있다. 더불어 한 가지 기억할 사항은, 이 분석 이론들에서 공통적으로 배경으로 삼고 있는 사항이 곡선을 주행하는 차량에 대한 힘의 상태를 설명하기 위해 차량 무게중심에 차량의 전체 중량이 걸렸다고 가정한 점-질량 모형(point-mass model)을 사용하고 있다는 것이다(최재성, 1998).

#### 3.1 차량 전도

우선 강한 바람의 영향을 고려하지 않은 상태에서 차량 전도가 발생하는 과정을 살펴보자. 다음 식(1)은 평면곡선을 주행하는 차량에 작용하는 원심력의 크기를 표시하고 있다.

$$\sum F_y = M \frac{V^2}{R} = Ma_y \quad (1)$$

여기서,  $F_y$ : 마찰력  $V$ : 주행속도(m/sec)  
 $R$ : 곡선반경(m)  $a_y$ : 횡가속도(m/s<sup>2</sup>)  
 $M$ : 차량의 질량(W/g)

평면곡선을 주행하는 차량에 작용하는 힘의 유형을 모두 표시하면 그림 2와 같다. 이때 차량에 대한 회전 모멘트 작용점이 서로 다른 위치에 있기 때문에 이 차량을 바깥쪽으로 회전시키는 모멘트의 양은 식(2)와 같다.

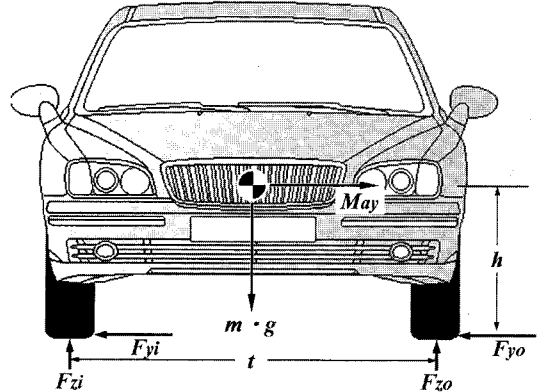


그림 2. 곡선을 주행하는 차량에 발생하는 회전 모멘트 유형

$$Ma_y h - Meh + F_{zi} t - Mg \frac{t}{2} = 0 \quad (2)$$

여기서,  $M$ : 차량하중(kg)

$a_y$ : 횡방향가속도(m/sec)  $e$ : 편경사(deg)

$h$ : 무게중심까지 높이(m)  $t$ : 윤거(m)

$F_{zi}$ : 안쪽바퀴의 수직하중

$g$ : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)

식(2)를 횡방향가속도에 대해 정리하면 식(3)과 같다.

$$\frac{a_y}{g} = \frac{(\frac{t}{2} + eh - \frac{F_{zi}}{Mg} t)}{h} \quad (3)$$

곡선부에 편경사를 설치하지 않은 경우, 이론적으로 안쪽 바퀴의 수직하중인  $F_{zi}$ 가 차량무게( $Mg$ )의 1/2이 된다. 그러나 만약 편경사를 설치한 평면곡선에서 수직하중이 차량무게의 1/2이 되려면, 편경사는 다음 식(4)와 같은 양이 되어야 한다.

$$e = \frac{a_y}{g} \quad (4)$$

다음 단계는 차량에 회전 모멘트가 작용해서 차량을 회전시키는 과정인데, 곡선을 주행하던 차량이 강한 바람에 의해 차량 전도가 일어나는 과정을 형상화



해보면 회전모멘트에 의해 차량 바퀴가 공중으로 살짝 들리는 상태가 되어야 한다. 이는 곧  $F_{zi}$ 의 값이 0이 되는 상태이다. 이를 차량의 “전도 한계시점”이라고 할 수 있으며, 식(3)을 통해서 얻는데, 식(5)와 같이 나타난다.

$$\frac{a_y}{g} = \frac{t}{2} + \frac{eh}{h} \quad (5)$$

곡선을 주행하던 차량이 전도한계 값에 도달하면 차량 안쪽 바퀴는 공중에 살짝 들리게 되고 무게중심점이 상승하면서 차량 무게중심이 순간적으로 차량 바깥 바퀴에 옮겨진다. 또한 차량 전도가 시작되면 차량에 작용하는 횡방향 가속도는 급속히 감소하게 되는데, 그 감소 형태는 차량이 들리는 각도를  $\phi$ 라고 할 때 이 값에 반비례하는 상태가 되며 그림 3과 같이 된다. 따라서 곡선을 주행하는 차량이 전도하기 위해서는, 차량에 작용하는 횡가속도에서 차량이 들리면서 발생하는 횡가속도 감소분을 제외한 나머지 값이 전도한계보다 큰 값이 되어야 한다. 이를 정리하면 식(6)과 같다. 즉, 식(6)은 곡선부에서 차량 전도가 발생하는 시점을 수식으로 표현한 식이다.

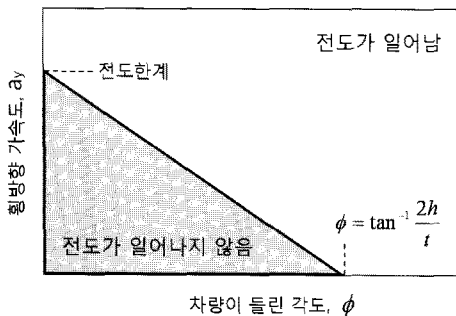


그림 3. 곡선 주행 차량을 전도시키는 힘에 관련한 변수들의 상호 관계

$$a_y = \frac{V^2}{R} > \left[ \frac{t}{2h} + \phi \right] g \quad (6)$$

여기서,  $a_y$ : 횡방향가속도( $m/s^2$ )

$V$ : 차량의 주행속도( $m/s$ )

$R$ : 곡선반경( $m$ )      $t$ : 윤거( $m$ )

$h$ : 차량의 무게중심 높이( $m$ )

$\phi$ : 롤각( $\tan^{-1}(2h/t)$ )

$g$ : 중력가속도( $m/s^2$ )

지금까지는 바람이 없는 상태에서 차량이 단순히 원심력을 받아 전도하는 경우였다. 만약 이 상태에서 차량에 강한 바람이 불게 되면 차량은 1차적으로 차량 정면에서 강한 바람을 받으며, 여기에 강한 옆바람까지 불게 되면 차량은 이 두 힘을 동시에 받게 되는데 그림 4는 이 상태를 표시하고 있다.

이 때 주행 중인 차량에 정면으로 부는 바람과 옆으로 부는 바람의 합력은 식(7)과 같다.

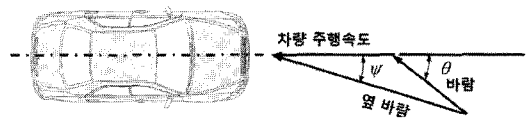


그림 4. 강한 바람이 주행중인 차량을 향해 부는 힘의 유형

$$U = \sqrt{V_v^2 + V_w^2 + 2V_v V_w \cos \theta} \quad (7)$$

여기서,  $U$ : 차량의 속도  $V_v$ 와 풍속  $V_w$ 의 합계 풍속( $m/s^2$ )

$\theta$ : 풍향각(rad)

끝으로 이런 상태에서 차량 전도가 일어나지 않으려면 다음 식(8)을 만족시켜야 한다.

$$\frac{U^2}{gR} - \phi \leq \frac{t}{2h} \quad (8)$$

### 3.2 차량 이탈

다음으로는 강한 바람이 불어 고속으로 주행하는 차량이 바람의 힘에 따라 도로 한쪽으로 밀려나 도로를 이탈하는 가능성에 대해 살펴본다. 이 경우도 차량 전도 분석처럼 먼저 바람이 불지 않는 때 차량이



곡선부 원심력에 의해 밀려나는 현상을 먼저 규명하고 나서, 여기에 더해져 강한 바람에 의해 밀려나는 횡방향 변화량을 살펴보는 것이 편리하다.

차량이 곡선을 주행하게 되면 원심력에 의해서 바깥쪽으로 이탈하게 되는데, 이를 방지하기 위해 통상적으로 도로 설계에서는 식(9)와 같이 편경사와 횡방향 마찰계수를 고려한 점-질량 수식을 이용한다.

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (9)$$

여기서,  $R$ : 곡선반경(m)     $V$ : 주행속도(km/h)  
 $e$ : 편경사                     $f$ : 횡방향마찰계수

그러나 강한 바람이 부는 경우, 차량 이탈에 관한 검토식은 차량 전도에서와는 달리 차량의 질량, 면적, 무게중심 등의 다양한 변수들을 고려해야 하기 때문에 점-질량모형으로는 해석할 수 없다. 따라서 이 경우는 주로 실험에 의한 경험식을 활용해 왔다. 본 연구에서는 기존 이 검토식들 중에서 우리나라의 풍동실험결과를 반영시켜 제시한 정(2003)의 실험식을 검토했으며(정운용 등 2003), 그 실험식은 식(10)이다. 이 값을 구해서 식(9)를 근거로 한 이탈값에 더하면 최종적으로 강한 바람이 불었을 때 차량이 이탈하는 값을 구할 수 있다.

$$\frac{r_w}{\beta} = \frac{\rho U^2 C_s A}{2mV_v} \left( \frac{c + b - l/2 - lC_{ym}}{c + \epsilon_d} \right) \quad (10)$$

여기서,  $r_w$ : 횡풍에 의한 횡방향각속도(deg/s)  
 $\beta$ : 빗놀이 각     $\rho$ : 공기밀도 1.225kg/m<sup>3</sup>  
 $U$ : 차량속도( $V_v$ )와 풍속( $V_w$ )의 상대속도(m/s<sup>2</sup>)  
 $C_s$ : 횡력계수     $C_{ym}$ : 요모멘트계수  
 $A$ : 차량전면면적(m<sup>2</sup>)     $l$ : 윤거(m)  
 $m$ : 차량질량(kg)  
 $a$ : 무게중심과 앞축간 거리  
 $b$ : 무게중심과 뒷축간 거리

$c$ : 횡풍중심점과 무게중심간 거리

$$= \frac{bC_r - aC_f}{C_f + C_r}$$

$\epsilon_d$ : 횡풍중심점의 모멘트암

$$= \frac{l^2 C_r C_f}{mV_v^2 (C_f + C_r)}$$

$C_f$ : 앞차축타이어 선회각성

## 4. 강한 바람이 주행 차량의 전도와 이탈에 미치는 영향 분석

전 장에서는 평면곡선을 주행하는 차량에 강하게 바람이 불었을 경우, 차량의 주행 안전성을 차량의 전도와 이탈 측면에서 분석할 수 있는 수식을 다른 분야에서 찾아내어 그 이론적 배경을 설명했다. 이 장에서는 우리나라에서 이들 수식에 포함한 제반 변수들의 존재 범위를 도로, 차량, 교통, 자연 상황에 맞게 설정한 후, 그 변수들을 수식에 적용하여 강한 바람이 차량 주행 안전성에 문제를 발생시킬지 여부를 면밀히 검토하고자 한다.

### 4.1 차량 전도

식(6)을 통해 강한 바람이 부는 경우 차량이 갖게 될 횡방향 가속도를 표 4와 같이 구한다. 이 때 다음과 같이 입력변수를 설정했다.

- 차량의 주행속도는 160km/h로 한다. 이 속도로 결정한 이유는 무엇보다도 이 속도가 최근에 우리나라에서 논의 중인 고규격 고속도로에 대한 가장 높은 속도 수준이기 때문이다.
- 강한 바람은 차량 진행 방향에 대해 직각으로 본다. 이 상황은 차량 안전성에 가장 불리한 경우에 해당한다.

식(6)의 우항을 이용하여 차량이 전도할 시점의 한계 가속도를 승용차는 20.01m/sec<sup>2</sup>, SUV는 18.19m/sec<sup>2</sup>로 산출했다. 이 때 적용한 입력변수는





하는 값을 합해서 얻는다. 이 때, 강한 바람에 의해 차량이 이탈하는 양은 이미 사용했던 방식대로 식 (10)에 의해서 그 계산이 가능하다.

그럼 먼저 원심력에 따라 이탈하는 값을 구해보자. 이 값은 아래의 그림 5에서 단위시간 동안 차량이 주행하는 거리  $L_1, L_2, L_3$  등에서 발생하는 각속도 ( $r_R$ )에 운전자 반응시간을 곱해서 얻으며, 이를 수식으로 표시하면 다음 식(11)과 같다.

$$D_1 = 0.28 \cdot V \cdot s \cdot \tan(r_R \cdot s) \quad (11)$$

- 여기서,  $D_1$ : 곡선부에서 원심력에 의한 차량의 이탈거리(m)
- $V$ : 차량의 속도(km/h)
- $s$ : 운전자반응시간(sec)
- $r_R$ : 곡선의 횡가속도에 의한 각속도(deg/s)

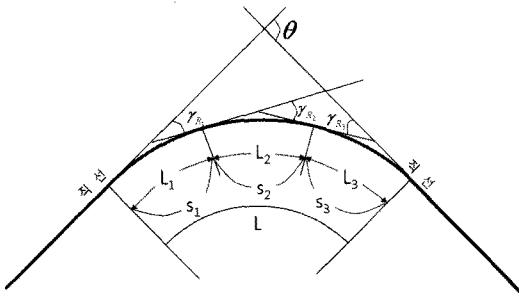


그림 5. 곡선부에서의 차량의 각속도

다음으로, 바람에 의해 차량이 이탈하는 값도 식 (11)과 같이 생각해서 얻을 수 있으며, 원심력과 강한 바람에 의한 차량의 이탈량을 합하는 과정을 그림으로 표시하면 그림 6과 같고, 이를 수식화하면 식 (12)와 같다.

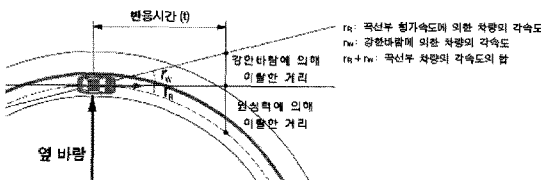


그림 6. 강한 바람이 불 때 곡선부에서의 각속도

$$D' = D_1 + D_2$$

$$= [0.28 \cdot V \cdot s \cdot \tan(r_R \cdot s)] + [0.28 \cdot V \cdot s \cdot \tan(r_w \cdot s)] \quad (12)$$

여기서,  $D'$ : 곡선부에서 바람과 원심력에 의해 이탈한 거리(m)

$D_1$ : 곡선부에서 원심력에 의해 이탈한 거리(m)

$D_2$ : 곡선부에서 바람에 의해 이탈한 거리(m)

$V$ : 차량의 속도(km/h)

$s$ : 운전자 반응시간(sec)

$r_w$ : 강한바람에 의한 횡방향 각속도(deg/s)

$r_R$ : 곡선의 횡가속도에 의한 각속도(deg/s)

한편 본 연구에서 차량 이탈 여부를 검토하는데 사용한 기준은 다음과 같다.

- 차로폭의 경우 표 6과 같이 세계 각국의 고속도로 설계속도별 차로폭을 고려하여 설계속도 160km/h에 해당하는 차로폭인 3.75m를 선정했다.
- 차량의 폭 1.83m (2008년도 우리나라 자동차 회사에서 생산하는 승용차와 SUV차량 13대에 대한 평균값임)을 감안할 때, 차량 주행 시 차로 여유 폭은  $\frac{3.75-1.83}{2} = 0.96m$
- 곡선반경 2,000m 적용(e+f를 0.1로 가정하고 식(9)에 따라 주행속도 160km/h일 경우 얻어지는 곡선반경임)

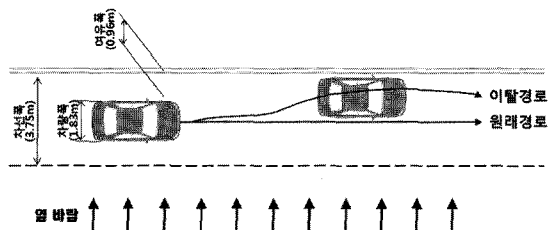


그림 7. 강한 바람에 의한 차량의 주행경로





표 6. 고속도로 설계속도별 차로폭 비교 표

국 가	설계속도	차로폭	국 가	설계속도	차로폭
브라질	-	3.75m	남아공	-	3.70m
중 국	-	3.5 ~ 3.75m	스페인	120kph	3.5 ~ 3.75m
독 일	140kph	3.5 ~ 3.75m	스위스	120kph	3.75 ~ 4.0m
헝가리	-	3.75m	미 국	110kph	3.6m
인도네시아	-	3.5 ~ 3.75m	유 고	-	3.5 ~ 3.75m
이스라엘	-	3.75m	그리스	-	3.5 ~ 3.75m
일 본	120kph	3.5 ~ 3.75m	베네수엘라	-	3.6m
폴란드	-	3.5 ~ 3.75m	체코	-	3.5 ~ 3.75m
포르투갈	-	3.75 m	영 국	120kph	3.6m

주) Ruediger Lamm, 「Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook」, McGRAW HILL, 1999.

표 7. 곡선반경 2,000미터에서 강한 바람의 속도에 따른 차량 이탈량

반응 시간(s)	풍속 (m/sec)										반응 시간(s)	풍속 (m/sec)										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
승용차	0.1	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.1	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.25	0.26	0.28	0.31	0.33
	0.2	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.35	0.37	0.2	0.40	0.41	0.42	0.44	0.47	0.49	0.53	0.57	0.61	0.66
	0.3	0.41	0.41	0.42	0.43	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.55	0.3	0.60	0.62	0.64	0.66	0.70	0.74	0.79	0.85	0.92	0.99
	0.4	0.55	0.55	0.56	0.57	0.59	0.61	0.64	0.66	0.70	0.73	0.4	0.81	0.82	0.85	0.88	0.93	0.99	1.05	1.13	1.22	1.32
	0.5	0.68	0.69	0.70	0.72	0.74	0.76	0.79	0.83	0.87	0.92	0.5	1.01	1.03	1.06	1.10	1.16	1.23	1.32	1.42	1.53	1.65
	0.6	0.82	0.83	0.84	0.86	0.89	0.92	0.95	1.00	1.04	1.10	0.6	1.21	1.23	1.27	1.33	1.40	1.48	1.58	1.70	1.83	1.98
	0.7	0.95	0.96	0.98	1.00	1.03	1.07	1.11	1.16	1.22	1.28	0.7	1.41	1.44	1.48	1.55	1.63	1.73	1.85	1.98	2.14	2.31
	0.8	1.09	1.10	1.12	1.15	1.18	1.22	1.27	1.33	1.39	1.46	0.8	1.61	1.64	1.70	1.77	1.86	1.98	2.11	2.26	2.44	2.64
	0.9	1.23	1.24	1.26	1.29	1.33	1.38	1.43	1.49	1.57	1.65	0.9	1.81	1.85	1.91	1.99	2.09	2.22	2.37	2.55	2.75	2.97
	1.0	1.36	1.38	1.40	1.43	1.48	1.53	1.59	1.66	1.74	1.83	1.0	2.02	2.06	2.12	2.21	2.33	2.47	2.64	2.83	3.05	3.30
	1.1	1.50	1.51	1.54	1.58	1.62	1.68	1.75	1.83	1.91	2.01	1.1	2.22	2.26	2.33	2.43	2.56	2.72	2.90	3.11	3.36	3.63
	1.2	1.64	1.65	1.68	1.72	1.77	1.83	1.91	1.99	2.09	2.20	1.2	2.42	2.47	2.54	2.65	2.79	2.96	3.16	3.40	3.66	3.96
	1.3	1.77	1.79	1.82	1.86	1.92	1.99	2.07	2.16	2.26	2.38	1.3	2.62	2.67	2.76	2.87	3.02	3.21	3.43	3.68	3.97	4.29
	1.4	1.91	1.93	1.96	2.01	2.07	2.14	2.22	2.32	2.44	2.56	1.4	2.82	2.88	2.97	3.09	3.26	3.46	3.69	3.96	4.27	4.62
	1.5	2.04	2.06	2.10	2.15	2.21	2.29	2.38	2.49	2.61	2.75	1.5	3.02	3.08	3.18	3.31	3.49	3.70	3.96	4.25	4.58	4.94
	1.6	2.18	2.20	2.24	2.29	2.36	2.44	2.54	2.66	2.79	2.93	1.6	3.23	3.29	3.39	3.54	3.72	3.95	4.22	4.53	4.88	5.27

안전

위험

지금까지 본 연구에서 나타난 결과를 통해 볼 때, 승용차는 0.6초, SUV차량은 0.4초 이상이면 옆 차로를 침범하는 것으로 나타나, 승용차는 대부분 안전하지만 SUV는 위험한 것으로 나타났다. 결론적으로 곡선을 주행하는 차량에 바람이 매우 강하게 부는 경우라면 차량 속도를 제한할 필요가 있다. 참고로 표 8은 정(2003)이 제안한 값들이다.

표 8. 정(2003)의 승용차 및 SUV에 대한 차량 속도 제한 기준

풍 속	대 책
15.0 미터/초	속도제한 : 70.0km/h
20.0 미터/초	속도제한 : 50.0km/h
25.0 미터/초 이상	통행제한

주) 정운용, 정봉조, 박태규, 「고속도로 강풍지역 차량주행 안전성 확보방안 연구」, 도로교통기술원, 2003



위 결과를 통해 볼 때, 강한 바람이 부는 도로 지점에서 SUV 차량과 같이 바람에 취약한 특성을 보이는 차량에 대해 속도제한을 하는 것이 필요하나, 보다 근원적 대책으로는 강한 바람이 자주 부는 도로에 대해 설계 단계부터 이를 충분히 고려한 곡선 설계가 필요하다.

## 5. 결론 및 시사점

본 연구는 강한 바람이 부는 도로 지점에서 차량 형태를 바꿔가면서 강한 바람이 차량 주행 안전성에 얼마나 영향을 미치는지 검토했다. 본 연구의 분석 결과는 다음과 같다.

- 차량 전도에 대해서는 다음과 같은 경우 위험성이 나타난다.

- 곡선 반경이 200m인 곳에서 바람의 속도가 20m/sec를 넘게 되는 경우
- 곡선 반경이 400m인 곳에서 바람의 속도가 45m/sec를 넘게 되는 경우

- 차량 이탈에 대해서는 다음과 같은 경우 위험성이 나타난다.

- 승용차는 0.6초, SUV차량은 0.4초 이상이면 옆 차로를 침범하는 정도로 이탈한다.

현행 도로 설계 기준에서 바람이 차량의 주행에 미치는 영향은 고려하지 않고 있다. 그러나 본 연구에서 분석한 결과에 따르면 차량이 매우 고속으로 곡선을 주행할 때 강한 바람이 불게 되면 차량은 이탈할 수 있다. 따라서 지금의 고속도로 설계속도 수준보다 더 높은 고속도로 설계속도를 적용하는 경우 강한 바람의 영향을 충분히 고려해야 할 것이다.

### 감사의 글

이 연구는 스마트하이웨이 사업단을 통하여 지원된 건설교통부 건설교통기술연구개발사업에 의하여 수행되었

습니다. 연구지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설및 지침", 건설교통부, p.115
- 기상청(1997~2006), "기상연보\_월별 기상정보", 기상청
- 김문겸(2008), "고규격 고속도로 건설에 따른 설계요소의 변화", 서울시립대학교 박사학위 논문, p.57
- 송윤섭(2004), "자동차설계", 청문각
- 이종관(2007), "강풍에 의한 차량 교통사고에 대한 연구", 관동대 석사학위 논문, p.4
- 일본풍공학회 풍제해조사위원회, 유호연(역) (2005), "강풍에 의한 도로구조의 피해사례와 저감대책", 도로교통 제 103호, 한국도로교통협회, p.111
- 정운용, 정봉조, 박태규(2003), "고속도로 강풍지역 차량주행 안전성 확보방안 연구", 도로교통기술원
- 최재성(1998), "도로선형에 대한 설계일관성 평가모형의 개발", 대한교통학회지 제16권 제 4호, p.196
- C.J. Baker(1986), A simplified analysis of various types of wind induced road vehicle accidents, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 22, p69~p.85
- Kay Fitzpatrick, Karl Zimmerman, Roger Bligh, Susan Chrysler, and Byron Blaschke(2006), *Criteria for High Design Speed Facilities*, FHWA, p.80
- Ruediger Lamm(1999), *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, Mc GRAW HILL, p.182
- Texas Transportation Institute(2007), "Criteria For High Design Speed Facilities".
- Thomas.D. Gillespie(1992), *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, p.280
- 현대자동차 홈페이지, <http://www.hyundai.com/kr/>

접 수 일: 2008. 11. 28  
 심 사 일: 2008. 12. 17  
 심사완료일: 2009. 4. 20