

# 차량사고 위험도를 고려한 방풍벽 설치기준

## Decision Making Process for Wind Barrier Installation Considering Car Accident Risk

김 동 현\*      이 일 근\*\*      권 순 덕†      조 병 완\*\*\*  
Kim, Dong-Hyun      Lee, Il-Keun      Kwon, Soon-Duck      Jo, Byung-Wan

### 요 지

본 연구에서는 강풍에 의한 차량의 주행안정성 확보를 위해 설치하는 방풍벽의 설치기준을 제안하였다. 이를 위하여 먼저 차량전용해석 수단인 CarSim 및 TruckSim을 사용하여 풍속 및 차량속도에 따른 횡방향 이탈량을 계산하고, 이로부터 차종별 위험 풍속을 결정하였다. 그리고 방풍벽 설치 여부의 판단을 위해 방풍벽 설치로 인해 얻을 수 있는 사고위험과 주행편의 등을 생애주기 동안의 비용으로 환산하였다. 사고위험 계산을 위해 해당지역의 풍속확률분포, 일평균통행량, 차종별 혼입을 및 구간풍속 지속시간 등을 이용하였다. 방풍벽 설치 전과 후의 총 비용과 편익을 비교하여 방풍벽 설치로 인한 편익이 설치 비용보다 큰 경우 방풍벽을 설치하는 것으로 판정하였다. 수치해석을 통해 고속도로 상의 두 곳을 대상으로 방풍벽 설치 여부에 대한 판정을 수행하였다.

**핵심용어** : 방풍벽, 주행안정성, 횡풍, 차량사고 위험도

### Abstract

This study presents a decision making process for installation of wind barrier which is used to reduce the wind acting on running vehicle on expressway. At the first stage of this study, the lateral deviations of running vehicles under side winds were computed from the commercial softwares, CarSim and TruckSim, and then the critical wind speeds for car accident were evaluated from predefined risk index. To determine whether it is needed to install wind barrier or not, cost and benefit from wind barrier are calculated during lifetime. In obtaining car accidental risk, probabilistic distribution of wind speed, daily traffic volume, mixture ratio in the volume, and duration time for wind speed range are considered. It is recommended to install wind barrier if benefit from the barrier installation exceed construction cost. In the numerical examples, case studies were shown for risk and benefit calculation and main risky regions on Korean highway were all evaluated to identify the number of installation sites.

**Keywords** : wind barrier, driving stability, side wind, car accident risk

### 1. 서 론

고속도로 상에서 주행중인 차량에 작용하는 강한 횡풍은 노면과 타이어 사이에 활동을 유발하여 차량의 주행안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 심한 경우 인접 차선의 침범을 일으켜 교통사고의 위험을 높일 수 있다. 이러한 횡풍에 의한 차량 주행안정성은 비교적 최근에 대두된 문제로 외국에서도 그 사례가 많지는 않다. Wyatt(1992)는 교량위를 주

행하는 차량을 보호하기 위해 방풍벽을 소개하였고, Smith와 Barker(1998)는 영국의 교량들에서 사용되는 통행 차단 풍속을 소개하였다. 그 외에 차량을 개발하는 입장에서 횡풍에 의한 차량의 거동을 예측하기 위한 연구들(Sorgats, 1976; Emmelman, 1981; Baker, 1986; Gillespie, 1992; Gawthorpe, 1994)이 수행되었다.

한편 국내에서는 권순덕 등(2003, 2005)이 주행 차량의 위험을 판단할 수 있는 기준을 제시한 바 있다. 고속도로에

† 책임저자, 정회원 · 전북대학교 토목공학과 부교수

Tel: 063-270-2289 ; Fax: 063-270-2421

E-mail: sdkwon@chonbuk.ac.kr

\* 군산대학교 해양건설공학과 조교수

\*\* 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 한양대학교 박사과정

\*\*\* 한양대학교 토목공학과 교수

• 이 논문에 대한 토론을 2010년 4월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2010년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

는 이와 같이 횡풍에 의한 차량 주행의 안정성을 높이고 사고의 위험을 줄이고자 도로변이나 중앙분리대에 방풍벽을 설치한다. 방풍벽은 투과성 재질로 이루어진 것으로 강한 풍속의 바람이 통과할 경우 그 속도를 저감시키는 능력을 가진 것으로 다양한 풍동실험을 통해 그 성능이 확인되고 있다(정운용 등 2003; 2002; 이승호 등, 2009).

국내 고속도로 중에서 고가 교량이나 해안지역을 통과하는 구간에서는 강풍이 발생하는 경우 운전자들로부터 횡풍에 의한 주행차량의 안정성 저하에 대한 보고가 이루어지고 있으며 궁극적으로는 방풍벽 설치요구로 이어진다. 그러나 주행자의 요구대로 무분별하게 방풍벽을 설치하는 것은 비용의 비효율을 초래할 가능성이 매우 높다. 방풍벽 설치 여부를 판단하기 위해서는 해당 구간에 방풍벽을 설치했을 경우 그 위험을 얼마나 감소시키는지에 대한 공학적이면서 동시에 경제적인 효율성을 평가해야 한다. 현재 국내에서 사용하고 있는 방풍벽 설치 기준은 고속도로 노선개량 내부지침(한국도로공사, 2003)으로서 여기에서는 일년동안 동일한 구간에서 6번이상 사고가 발생할 가능성이 있으면 방풍벽을 설치하도록 하고 있다. 그런데 일년동안 6번의 사고라는 기준에 대한 논리적이고 명시적 근거가 부족하며 좀더 합리적인 방법에 의한 접근이 필요하다.

본 연구에서는 방풍벽 설치 여부의 판단 기준을 마련하기 위하여 풍속의 확률분포를 이용하여 강풍사고 확률을 추정하

였으며, 이를 통해 방풍벽 설치로 얻을 수 있는 편익의 기대값을 산정하였다. 산정된 편익이 방풍벽 설치비용을 초과할 경우 방풍벽 설치를 권장할 수 있으며, 반대의 경우 방풍벽 설치를 권장하지 않는 방법이다. 수치해석을 통해 전국의 고속도로 위험구간에 방풍벽 설치가 필요한 위치를 선별하였다.

## 2. 횡풍과 차량거동

횡방향 바람에 의한 차량의 영향은 크게 전도와 주행안정성 위협으로 구분할 수 있다(그림 1). 이중에서 차량의 전도는 비교적 높은 풍속에서 발생하므로 실질적으로 운전자가 받는 위협은 주행안정성, 즉 횡풍에 의하여 운전 중 차량이 직진성을 상실하여 인접차선에서 주행중인 차량과 접촉하거나 도로시설물과 충돌하는 경우이다. 따라서 바람에 의하여 발생하는 사고의 대부분은 차량의 전도보다는 주행안정성 상실로 인한 사고가 더 많은 비중을 차지한다.

차량에 횡풍이 불어 주행안정성을 상실하는 풍속을 위험풍속으로 정의하면 위험풍속은 차량의 형상, 주행 속도, 노면상태에 따라 달라진다. 일반적으로 풍압을 받는 면적이 넓을수록, 주행속도가 빠를수록 그리고 우천 등으로 노면상태가 미끄러울수록 낮은 풍속에서도 쉽게 위험풍속에 도달한다. 주행안정성 상실에 대한 객관적 정의를 위해 그림 2와 같은 도로상의 주행차량을 생각하자.

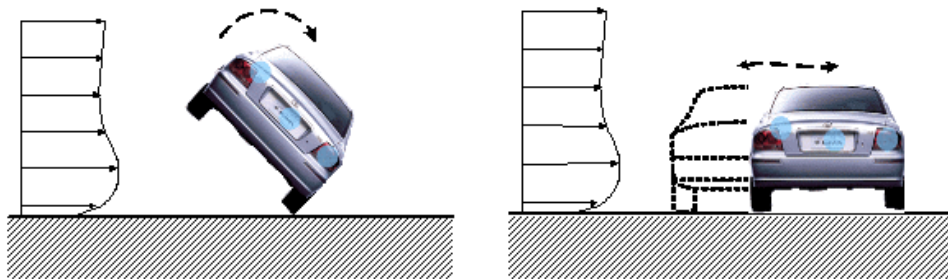


그림 1 횡풍에 의한 차량의 전도 및 활동

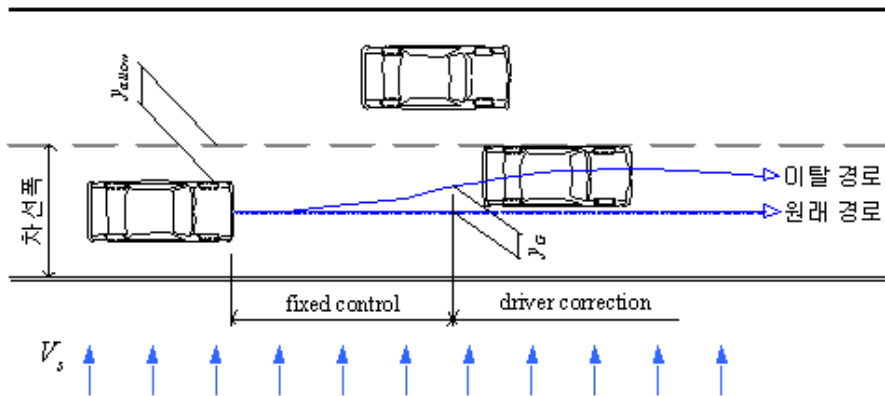


그림 2 횡풍에 의한 차량의 주행 경로

권순덕 등(2003)은 차량의 동적 운동을 고려하여 0.8초 후의 이탈거리( $y_G^{t=0.8}$ )가 다음과 같은 조건일 때 주행안정성을 상실하는 것으로 정의한 바 있다.

$$y_G^{t=0.8} > \left( \frac{\text{차선폭} - \text{차폭}}{2} \right) \times 0.94 \quad (1)$$

논문에서 위 조건은 다음과 같이 정의된 위험도지수가 3.0을 초과함을 보였다.

$$F_Y = \sqrt{\frac{1}{1 - (2y_G / y_{allow})}} - 1 \quad (2)$$

이탈거리는 주행실험이나 차량운동을 모사할 수 있는 수치 해석을 통하여 구할 수 있으며, 위 조건에 해당하는 횡풍속 즉 위험풍속을 산정할 수 있다.

### 3. 위험풍속 산정

#### 3.1 해석방법

본 연구에서는 차량 동적해석 전용 프로그램인 Mechanical Simulation Corporation(2007)사의 승용차 해석용 CarSim (v7.1a)과 트럭 해석용 TruckSim(v7.1)을 사용하여 정속 주

행중인 차량에 대한 동적 해석을 수행하였다(그림 3). 사용한 차량 모델은 그림 4에 나타내었는데, CarSim과 TruckSim의 라이브러리에서 제공하는 표준적인 차량 12가지를 사용하였다. 해석에 사용된 차량의 제원은 부록에 나타내었다.

해석시 차량 속도와 풍속은 일정하다고 가정하였고, 바람은 차량의 진행 방향과 직각으로 분다고 가정하였다. 노면 상태의 변화에 따른 결과를 비교하기 위해 노면의 마찰계수를 평상시 0.85, 우천시 0.4로 설정하였다(Gillespie, 1992). 차량속도는 20km/h부터 160km/h까지 20km/h 간격으로 변경하였으며, 90km/h와 110km/h에 대해서 추가로 실시하였다. 횡방향 풍속은 10m/s부터 40m/s까지 5m/s 간격으로 설정하였다. 해석에서는 이렇게 다양한 차량 속도와 풍속에 대하여 차량의 횡방향 이탈거리를 계산하였다.

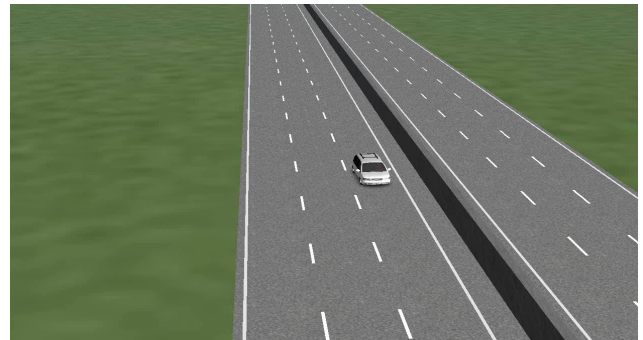


그림 3 CarSim 해석결과

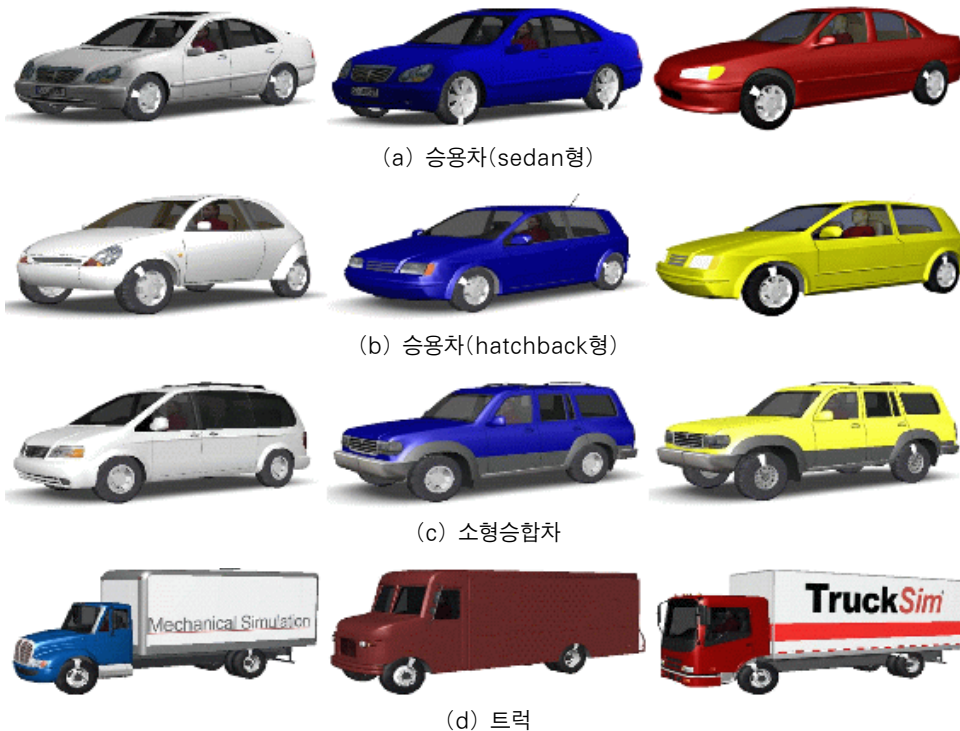
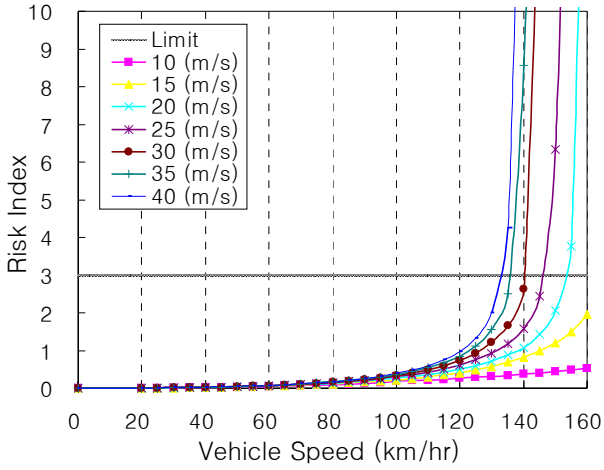


그림 4 해석에 사용한 차량 모델

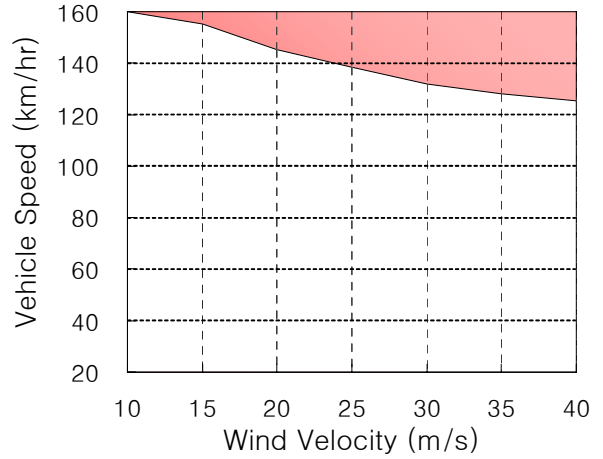
### 3.2 해석 결과

그림 5에서는 CarSim 및 TruckSim의 변위해석 결과를 식 (2)에 적용하여 구한 위험도지수를 나타내었다. 이러한

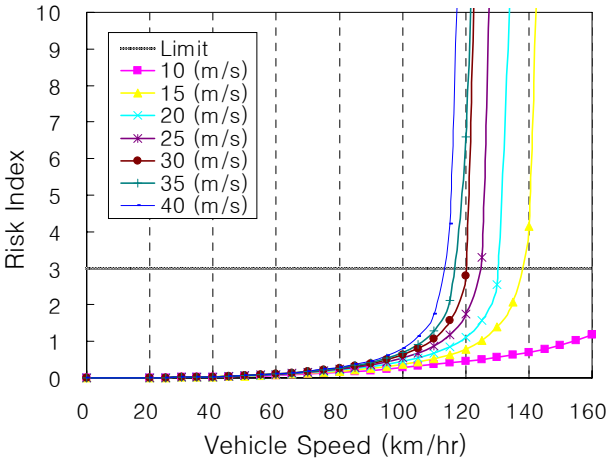
차량속도-풍속-위험도지수 관계를 정리하여 위험도지수가 3.0을 넘는 풍속과 차량속도를 모아서 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 하얀색 부분은 안전한 구간이고 붉은색은 위험한 구간이다. 예를 들면 그림 6(a)에서 차량 속도가 150km/h



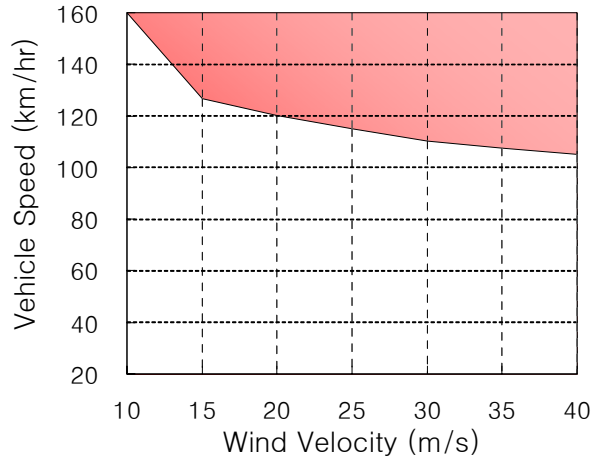
(a) 승용차



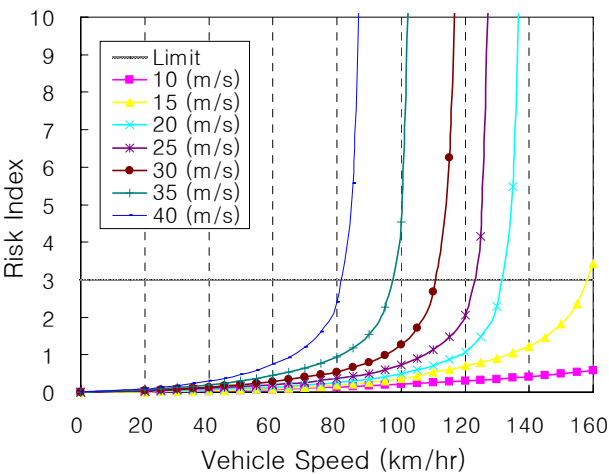
(a) 승용차



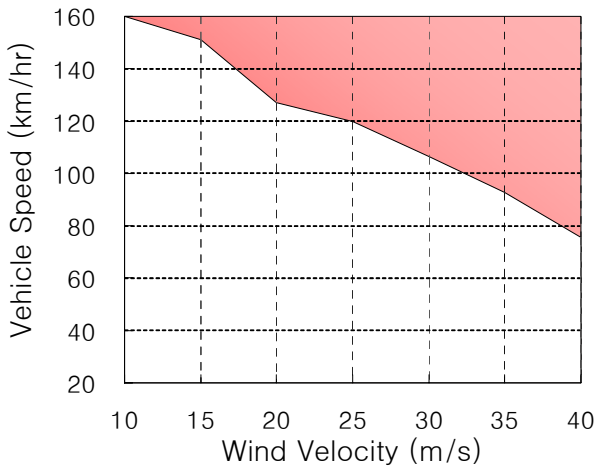
(b) 소형승합차



(b) 소형승합차



(c) 트럭



(b) 트럭

그림 5 차량속도-풍속-위험도지수 관계(마찰계수 0.85)

그림 6 횡풍속-차량위험속도 관계(마찰계수 0.85)

이고, 풍속이 35m/s라면 위험하다. 하지만 동일한 차량 속도라도 풍속이 15m/s라면 안전한 구간에 속한다.

차량의 위험 풍속은 그림 6을 사용하여 구하였다. 승용차의 경우에 고속도로에서 제한최고 속도가 110km/h이다. 따라서 그림 6(a) 및 6(b)에 나타난 다양한 승용차 및 소형승합차에 대한 위험도 그래프에서 차량 속도 110km/h에 해당하는 위험 풍속의 최소값을 구하면 35m/s가 된다. 트럭의 경우에는 그림 6(c)에서 동일한 요령으로 최고제한 속도 90km/h에 해당하는 위험 풍속 35m/s를 찾을 수 있다. 트럭의 경우 승용차와 유사한 결과를 보였다.

이와 같은 결과는 차량의 제원에 따라 그 결과가 달라질 수 있으나, 현재 운행중인 모든 차량에 대하여 이와 같은 동적해석 결과를 적용하는 것이 용이치 않고 또한 차량의 제원은 차량 제조사의 기밀사항으로 정확한 제원을 가지고 동적해석을 수행하기 어려운 점이 있다. 따라서, 본 논문에서 위험풍속은 승용차와 트럭은 35m/s, 버스는 30m/s로 적용하였다.

#### 4. 사고확률과 편익

##### 4.1 사고확률

그림 7은 인접한 두 대의 차량이 주행중인 고속도로의 평면도를 보여주고 있다. 위와 같은 상황에서 주행하는 두 대의 차량이 충돌에 의한 사고가 발생하는 경우는 한 쪽의 차량이 강풍에 의해 옆 차선을 침범해야 하며, 동시에 주행방향 차간 거리가 좁아져 충돌조건을 만족해야 한다. 이러한 사건에 대한 한계상태함수를 정의하면 각각 다음과 같다.

$$Z_1 = X_1 - X_2 - B \tag{3}$$

$$Z_2 = |Y_2 - Y_1| - L \tag{4}$$

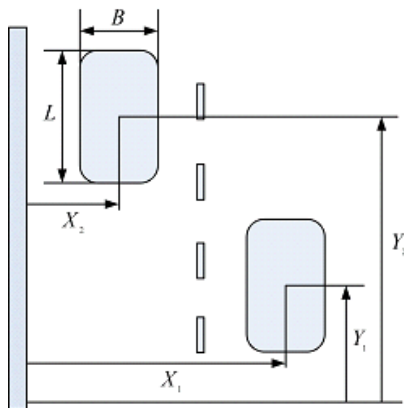


그림 7 도로 주행차량의 평면도

주행차량의 위치( $X_1, X_2, Y_1, Y_2$ )를 확률변수로 하고 이에 대한 결합확률밀도함수를  $f_{X_1, X_2, Y_1, Y_2}(x_1, x_2, y_1, y_2)$ 으로 정의하면 충돌확률은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_f = \int_{Z_1 < 0, Z_2 < 0} f_{X_1, X_2, Y_1, Y_2}(x_1, x_2, y_1, y_2) dx_1 dx_2 dy_1 dy_2 \tag{5}$$

확률변수  $X_1$ 과  $X_2$ 는 강풍의 영향을 받지 않을 때는 운전자의 습성에 의해 영향을 받으며 일반적으로 차로 중심을 평균으로 하는 정규분포로 가정할 수 있다. 그러나 강풍에 노출된 경우는 풍하중에 의해 심각하게 영향을 받고 이 외에도 타이어와 노면사이의 마찰계수에도 큰 영향을 받는다. 또한,  $Y_1$ 과  $Y_2$ 는 주해 차량의 앞 뒤 간격에 대한 정보로서 통행량, 노면조건 등 다양한 요인에 의해 지배된다. 이와 같이 차량 위치에 대한 확률밀도함수는 정량화하기 매우 어려운 다양한 요소에 의해 결정되기 때문에 위의 식으로부터 충돌확률을 산정하는 것은 현실적으로 많은 어려움이 있다. 따라서 사고 통계자료를 이용한 간접적 추정이 필요하다.

횡풍에 의한 주행차량의 충돌확률은 차선의 침범여부를 분기로 하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_f = (1 - P_{V_s}) P_{AV_s} + P_{V_s} P_{AV_s}^* \tag{6}$$

여기서,  $P_{V_s}$ 는 강풍에 의해 주행차량이 옆차선을 침범할 확률로써 풍속확률분포에 의해 영향을 받는다. 또한,  $P_{AV_s}$ 는 1차선에서 주행중인 차량이 2차선을 침범하지 않은 상태에서 발생하는 사고확률이며,  $P_{AV_s}^*$ 는 1차선 주행차량이 횡풍에 의해 2차선으로 침범한 상태에서의 충돌확률이다. 위 식에서 첫 번째 항은 주로 강풍에 의한 것이기보다 운전미숙에 의한 것으로 볼 수 있으므로 강풍에 의한 사고확률만을 고려한다면 무시할 수 있는 양이다. 따라서 강풍에 의한 순수 사고확률은 두 번째 항에 의한 것이므로 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$P_f \cong P_{V_s} P_{AV_s}^* \tag{7}$$

즉, 사고확률은 횡풍에 의하여 주행중인 차량이 인접 차선을 침범할 확률( $P_{V_s}$ )과 옆차선을 침범한 상태에서 나란히 주행하는 차량이 충돌하는 조건부 사고확률( $P_{AV_s}^*$ )을 이용하여 계산한다.

##### 4.2 편익

강풍에 의한 교통사고를 줄이기 위해 방풍벽을 설치할 수

있다. 그러나 강풍의 위험이 높지 않은 곳에 무분별하게 방풍벽을 설치하는 것은 효율성이 떨어진다. 어떤 곳에 방풍벽을 설치할 것인가에 대한 하나의 답으로는 비용 측면에서 가능하다. 즉, 방풍벽의 설치로 얻을 수 있는 편익이 방풍벽 설치비용보다 클 때 방풍벽을 설치한다면 투자한 설치비용의 효과를 얻을 수 있는 확률이 높다. 방풍벽 설치로 인해 얻을 수 있는 편익이라 함은 방풍벽 설치로 인해 풍속이 감소하고 이로 인해 사고의 위험이 감소하기 때문에 얻을 수 있는 기대 이익이다. 이것은 방풍벽 설치 전의 사고확률에 근거한 위험 비용에서 방풍벽 설치 후의 위험비용을 공제하여 구할 수 있다. 일최대풍속에 의한 주행차량의 사고확률을  $P_{fi}$  라 하면 년간 사고확률의 상한치는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$P_{fi}^y = 1 - (1 - P_{fi})^{365} \quad (i = s, b, t) \quad (8)$$

여기서, 첨자  $i$  는 승용차( $s$ ), 버스( $b$ ) 및 트럭( $t$ ) 등 차량이 종류를 나타낸다. 또한, 연간 기대 사고일수는 연간 사고확률을 이용하여 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$D_{ai} = 365 P_{fi}^y \quad (9)$$

여기에 일평균 교통량( $Q_d$ )과 차종별 혼입비( $R_i$ )를 적용하면 차종별 기대 사고회수는 다음과 같다.

$$N_{ai} = Q_d R_i D_{ai} \quad (i = s, b, t) \quad (10)$$

다음으로 사고당 부상자 수를  $N_{wi}$ , 교통사고에 의한 1회 발생비용을  $C_{i0}$ , 인플레이션율을  $j$ , 할인율을  $r$ 이라 하면 방풍벽 수명기간( $T_b$ ) 동안의 누적 총비용을 현재의 가치로 환산하면 다음과 같다.

$$C_a = \sum_{i=s,b,t} \left[ N_{ai} N_{wi} \sum_{T=1}^{T_b} C_{i0} \left( \frac{1+j}{1+r} \right)^T \right] \quad (11)$$

따라서, 방풍벽 설치 후 사고 위험 감소로 얻는 편익은 계산하면 다음과 같다.

$$B_a = C_a^n - C_a^f \quad (12)$$

여기서, 상첨자  $n$  과  $f$  는 각각 방풍벽이 없을 때와 있을 때를 의미한다.

한편, 방풍벽을 설치함으로써 얻을 수 있는 또 다른 편익은 주행시간의 감소로부터 구할 수 있다. 예를 들어 강풍으로

인해 제한속도가 80km/h로 줄어든 고속도로에 방풍벽을 설치함으로써 주행제한속도를 110km/h로 유지시킬 경우 주행시간이 당초보다 짧아지므로 시간가치의 이익을 얻을 수 있다. 속도 구간별 풍속발생 확률을  $I_k$ , 구간별 풍속의 지속시간을  $\tau_k$ , 차량 한 대당 시간가치를  $b_i$ 라 하면 생애주기 동안의 총 시간비용은 다음과 같다.

$$C_i = \sum_{i=s,b,t} \left[ \sum_{T=1}^{T_b} \left\{ b_i \left( \frac{1+j}{1+r} \right)^T Q_d R_i \sum_{k=1}^{I_k} I_k \Delta_k \left( \frac{\tau_{nk}}{24} \right) \right\} \right] \quad (13)$$

여기서, 통과시간은 차량이 제한 최고속도  $V_{car}$  로 위험구간  $L$  을 주행한다고 가정하면 다음과 같다.

$$\Delta_k = \frac{L}{V_{car}} \quad (14)$$

위험구간은 방풍벽 적용이 예상되는 교량의 지간과 교량 양단의 속도저감구간(500m×2)을 포함한 총 길이이다. 그러나, 방풍벽 설치 전 평균풍속이 차량주행 차단 속도를 초과할 경우는 차량통행이 풍속 지속시간 만큼 지체되므로 다음과 같이 계산한다.

$$\Delta_k = \tau_k + \frac{L}{V_{car}} \quad (15)$$

최종적으로 방풍벽 설치로 줄일 수 있는 시간비용 즉 시간비용의 편익은 다음과 같다.

$$B_i = C_i^n - C_i^f \quad (16)$$

방풍벽 설치로 인해 얻을 수 있는 편익은 사고비용 감소 편익과 주행시간 편익의 합으로 볼 수 있으므로 방풍벽 설치에 의한 총 편익과 설치 비용의 비는 다음과 같다.

$$R_{B/C} = \frac{B_a + B_i}{C_i} \quad (17)$$

위의 비가 1.0보다 크다면 방풍벽 설치로 인한 편익이 비용보다 크므로 방풍벽 설치를 권장하며 반대로 1.0보다 작을 때는 설치비용이 더 많이 들기 때문에 방풍벽 설치를 권장하지 않는다.

## 5. 사고 위험도 산정

### 5.1 풍속의 확률특성

표 1 극치분포 함수형태

구분	누적분포함수
Type I	$F_V(x) = \exp[-\exp\{-a(x-b)\}]$
Type II	$F_V(x) = \exp\left[-\left(\frac{v}{x}\right)^k\right]$
Type III	$F_V(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{x}\right)^k\right]$
Generalized Extreme Value(GEV)	$F_V(x) = \exp\left[-\left\{1+k\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right\}^{-1/k}\right]$

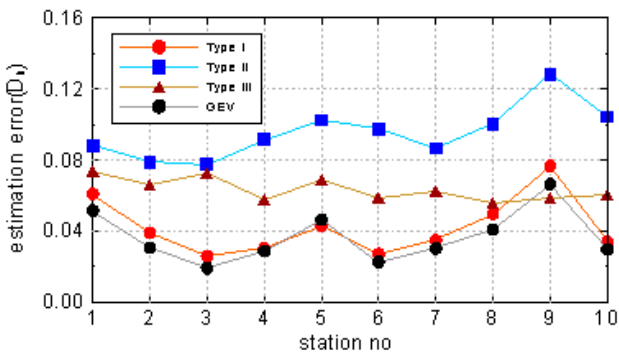


그림 8 누적분포 추정오차

풍속분석을 위해 고속도로에서 가장 인접한 위치에 있는 기상청 관측소 풍속기록을 이용하였다. 계측기간은 관측소마다 다소 차이가 있으며 최소 3년에서 최대 38년 동안의 풍속을 기록하고 있다. 주행중 차량에 미치는 위험풍속에 대한 확률분포의 추정은 일최대 3초 평균풍속을 사용하였다. 확률분포 추정을 위해 표 1의 4가지 극치분포를 이용하였으며, 주요 10개소 관측기록으로부터 추정된 누적분포함수의 추정 오차 최대값을 비교한 결과 그림 8과 같다. GEV 분포가 다른 세 개의 극치분포형보다 추정오차가 가장 작은 것으로 평가되었으며, 이후의 수치해석에서 풍속의 확률분포함수로는 GEV를 이용하였다.

### 5.2 조건부 사고확률 추정

앞에서 살펴 본 위험풍속 시의 조건부 사고확률  $P_{AVS}$ 를 추정하기 위해서는 수학적으로 모델링하기 어려운 다양한 종속사건에 대한 확률적 정의가 필요하다. 따라서 실무적으로 사용 가능한 값을 추정하기 위하여 전국 고속도로 구간에서 발생한 횡풍에 의한 연간 차량사고 빈도를 이용하여 역으로 추정할 수 있다. 이를 위해 동해선, 영동선, 중부내륙선, 중앙선, 청원상주선, 익산장수선, 중부선 등의 교통량 정보와 각 노선의 주요교량 고도, 풍속확률분포 등을 이용하면 전국

표 2 고속도로 교통사고 통계

원인대분류	원인명	2003	2004	2005	2006	2007
운전자과실	졸음	765	768	668	630	585
	전방주시태만	583	459	375	325	327
	안전거리미확보	168	145	90	80	61
	과속	841	661	623	518	572
	핸들과대조작	456	439	474	434	416
차량결함	기타	201	235	201	210	198
	타이어파손	291	268	251	197	166
	제 동 장 치	69	57	55	37	46
기타	기타	79	75	58	70	58
	보행 및 횡단	13	24	9	12	23
	노면잡물	50	46	23	25	28
	적재불량	47	34	27	26	35
	도로사정	3	0	0	1	0
기타	19	31	26	18	35	

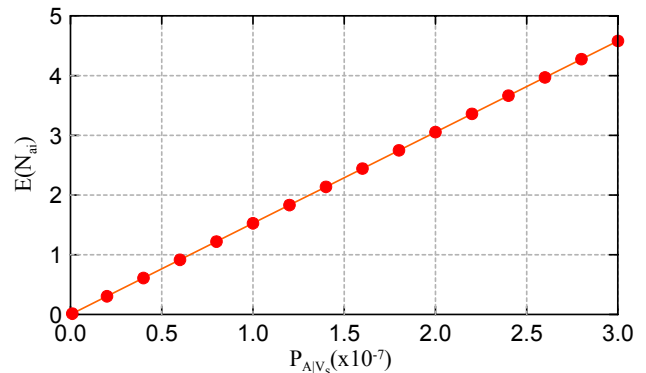


그림 9 조건부 사고확률과 전 구간 평균 사고회수

고속도로 위험구간별 연간 평균사고회수와 간에 그림 9와 같은 관계를 얻을 수 있다. 조건부 사고확률이 증가할수록 평균사고회수가 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

한편 과거 5년간 도로공사에서 집계한 고속도로 교통사고 통계는 표 2와 같다(한국도로공사, 2008). 여기에서 강풍에 의한 사고는 별도로 분리되어 관리되지 못할 만큼 그 빈도가 매우 낮다. 그러나, 사고 통계를 보수적으로 적용할 때 강풍에 의한 사고의 상한치는 대분류의 기타에서 원인명 기타로 볼 수 있다. 5년간 평균 25.8(=129/5)회의 사고를 75개소 대상구간으로 나누면 년평균 사고회수는 0.344회이다. 이를 그림 9의 결과에 적용하면  $P_{AVS}$ 는  $2.165 \times 10^{-8}$ 로 추정된다.

### 5.3 위험비용과 편익

방풍벽을 설치할 경우 설치 전에 비하여 풍속이 40% 감소되는 영역이 약 90%에 해당한다(이승호 등, 2009). 이를 근거로 방풍벽 설치로 풍속이 40% 감소하는 것으로 적용하였다. 주행 시간 편익 계산을 위해 10분 평균에 따른 차량의

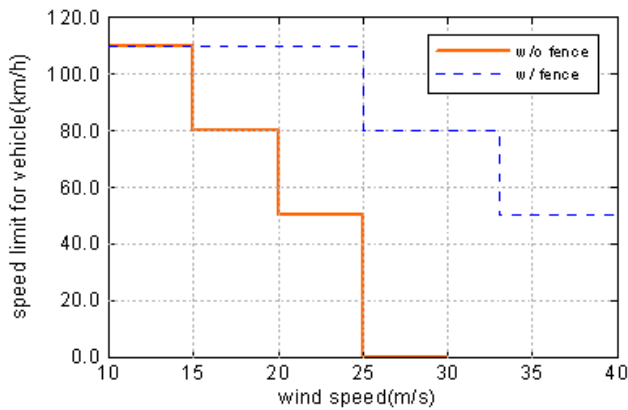


그림 10 풍속(10분 평균)에 따른 차량 제한속도

표 3 풍속지속시간

구분	방풍벽 설치 전			방풍벽 설치 후		
풍속구간(m/s)	15~20	20~25	25~41	15~25	25~33	33~41
평균지속시간(hr)	1.73	1.23	0.63	1.45	0.83	0.50

표 4 평균부상자 수

구분	승용차	승합차	트럭
평균 부상자	0.425	1.660	0.627

주행속도를 제한한다고 가정하고 방풍벽의 설치로 인해 차량에 전달되는 풍속의 40%가 저감되므로 방풍벽 설치 전과 후의 차량제한 속도는 그림 10과 같다.

방풍벽 설치 전에는 15m/s이하, 15~20m/s, 20~25m/s, 25m/s이상 구간에서 차량 주행의 제한속도가 달라지고 방풍벽 설치 후에는 25m/s이하, 25~33m/s, 33~41m/s, 41m/s 이상 구간별로 제한속도가 달라진다. 따라서 속도 구간별로 주행시간과 이로 인한 편익에 차이가 발생한다.

앞에서 추정된 조건부 사고확률을 이용하여 중앙선 백운 1교(연장: 180m, 고도: 30.4m)와 동해선 노동4교(연장: 90m, 고도: 37.1m)에 대한 방풍벽 설치 여부를 판단하였다. 풍속의 고도보정을 통해 교량 위에서의 풍속 확률분포를 추정하였다. 교통량은 일평균교통량(AADT)을 이용하였으며 승용차, 버스 및 트럭의 혼입비는 0.67:0.03:0.3이다. 또한 위험풍속의 지속시간은 황진득 등(1995)이 제안한 풍속과 지속시간과의 관계에서 최소지속 시간을 0.3으로 하고 고려하는 최대 풍속을 40m/s로 할 경우 풍속구간별 평균 지속시간을 표 3과 같이 구할 수 있다. 차종별 사고에 의한 평균 부상자 수는 통계치에 의하여 표 4(한국도로공사, 2008)와 같이 적용하였다.

사고시 발생비용은 31,750천원을 적용하였으며 차종별 시간당 편익비용은 승용차, 버스, 트럭이 각각 11천원, 44천원 및 12천원으로 하였다(건설교통부, 2007). 방풍벽의 설치비용은 길이당 810천원을 사용하였다. 또한 인플레이션율과 할

표 5 백운1교(중앙선) 편익산정 결과

구분	방풍벽 설치 전	방풍벽 설치 후
풍속확률분포 변수	$\mu=12.899, \sigma=4.187, k=-0.0433$	
위험풍속 초과확률( $P_{V_s}$ )	승용, 트럭	$2.317 \times 10^{-2}$
	버스	$6.634 \times 10^{-2}$
사고위험비용( $C_a$ )	264,716천원	1,236천원
주행시간비용( $C_t$ )	283,280천원	130,193천원
편익합계( $B_a + B_t$ )	416,567천원	
방풍벽 설치비용( $C_f$ )	291,600천원	
$R_{B/C}$	1.429	

표 6 노동4교(동해선) 편익산정 결과

구분	방풍벽 설치 전	방풍벽 설치 후
풍속확률분포 변수	$\mu=7.687, \sigma=3.098, k=0.0513$	
위험풍속 초과확률( $P_{V_s}$ )	승용, 트럭	$5.391 \times 10^{-3}$
	버스	$1.385 \times 10^{-2}$
사고위험비용( $C_a$ )	53,876천원	1,194천원
주행시간비용( $C_t$ )	58,748천원	24,473천원
편익합계( $B_a + B_t$ )	86,957천원	
방풍벽 설치비용( $C_f$ )	145,800천원	
$R_{B/C}$	0.596	

인율은 1999년~2007년 사이의 평균인 2.72%와 6.96%를 적용하여 실질할인율이 4.13%가 되도록 하였다(조효남 등, 2008).

중앙선 백운 1교에 대한 편익과 비용산정 결과는 표 5와 같다. 방풍벽 설치로 인한 위험비용과 주행시간 비용의 감소로 얻을 수 있는 편익의 합계는 416,568천원으로 설치비용 291,600천원의 1.429배로 나타났다. 또한, 동해선 노동 4교에 대한 평가에서는 편익의 합이 86,957천원이며, 설치비용이 145,800천원으로 설치비용이 더 높은 것으로 평가되었다.

### 5.4 민감도분석

조건부 사고확률은 위험비용의 산정에 가장 중요한 영향을 미치는 요소 중의 하나이다. 이 값을 어떻게 적용하느냐에 따라 방풍벽의 설치 여부에 대한 판단이 달라질 수 있다. 본 절에서는 조건부 사고확률의 변화에 따라 방풍벽 설치여부에 대한 판단이 어떻게 영향을 받는지를 알아보기 위하여 이 값을 변화시켜가면서 대상지 75개소 중 몇 개의 지역에 방풍벽 설치가 권장되는지를 평가하였다. 그 결과 그림 11에서 보는 바와 같이 조건부 사고확률이 증가함에 따라 설치개소의 수가 완만하게 증가하며  $P_{AV_s}$ 를  $3.0 \times 10^{-7} (\beta=4.991)$ 까지 증가시킨 경우 전체 대상지 75개소 중 48%인 36개소에 방



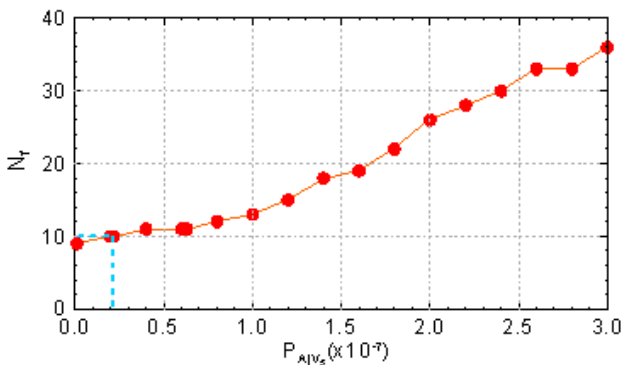


그림 11 조건부 확률에 따른 방풍벽 설치 개소 수

풍벽 설치가 권장되고 있다.

이와 같이 조건부 사고확률은 방풍벽 설치로 인한 위험비용에 결정적인 영향을 미치며 결과적으로 방풍벽 설치 여부를 판단하는 중요한 요인 중의 하나이다. 따라서, 방풍벽 설치 여부를 위험비용에 근거하여 산정할 경우에는 합리적인 사고확률에 대한 정보가 필요하며 오랜 기간 동안의 교통사고 자료에 대한 정밀 분석으로부터 그 값을 추정할 필요가 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 고속도로에서 강풍시 주행안정성을 향상시키기 위해 필요한 방풍벽의 설치여부를 판단하기 위한 방법을 제안하였다. 수치해석을 통해 주행차량이 인접차선을 침범하게 되는 위험풍속을 산정하였으며, 기상청 관측자료를 이용하여 위험풍속을 초과할 확률을 산정하였다. 방풍벽 설치로 얻을 수 있는 위험감소 편익과 주행시간 편익이 방풍벽 설치 비용보다 클 때 방풍벽 설치를 권장함으로써 투자한 건설비가 확률적으로 투자가치를 발휘할 수 있도록 하였다. 차량의 강풍에 의한 사고확률을 추정함에 있어 위험풍속 초과시 사고로 이어질 확률은 방풍벽 설치여부에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 파악되었으며 장기간의 사고통계 자료를 확보함으로써 방풍벽 설치 여부 평가의 객관성을 높이는 것이 중요하다.

## 감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

건설교통부 (2007) 교통시설 투자평가지침.  
 권순덕, 정운용 (2005) 강풍시 도로의 주행안정성을 확보하기

위한 종합적인 방풍대책, 한국강구조학회 논문집, 17(3).  
 권순덕, 정운용 (2003) 강풍에 의한 차량 주행 안전성 평가. 대한토목학회 논문집, 23(5A).  
 이승호, 송호성, 조준상, 권순덕 (2009) 고속도로 방풍벽 설계 변수에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, (심사중).  
 정운용, 권순덕, 정봉조, 박태규 (2003) 도로의 주행안전성 확보를 위한 팽창메탈형 방풍벽, 한국강구조학회지, 15(1).  
 정운용, 박태규 (2002) 다공성 방풍벽의 방풍성능에 대한 실험적 평가, 대한토목학회 논문집, 22(6A).  
 조효남, 지광습, 윤정현, 김이현, 최현호 (2008) 구조신뢰성 공학, 구미서관.  
 한국도로공사 (2003) 고속도로 강풍지역 차량주행 안정성 확보 방안 연구, 연구보고서.  
 한국도로공사 (2008) 업무통계(2003-2007년 실적분).  
 황진덕, 하영철,곽윤근 (1995) 강풍 시 풍속의 지속시간 추정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 11(2).  
 Baker, C.J. (1986) A Simplified Analysis of Various Types of Wind Induced Road Vehicle Accidents, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 22, pp.69~85.  
 Mechanical Simulation Corporation (2007) <http://www.carsim.com/>.  
 Emmelman, H.J. (1981) Driving Stability in Side Winds, *Aerodynamics of Road Vehicles*, Hucho (ed.), *Vargel Verlag*, pp.201~221.  
 Gawthorpe, R.G. (1994) Wind Effects on Ground Transportation *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, pp.52.  
 Gillespie, T.D. (1992) *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers.  
 Smith, B.W., Barker, C.P. (1998) Design of Wind Screens to Bridges, Experience and Application on Major Bridges, *Bridge Aerodynamics*, Balkema, pp.289~298.  
 Sorgats, U. (1976) Simulation of Directional Behavior of Road Vehicles, *Vehicle System Dynamics*, pp.47~66.  
 Wyatt, T.A. (1992) Recent British Developments: Wind Shielding of Bridges for Traffic, *Aerodynamics of Large bridges*, Balkema, pp.159~170.

- 논문접수일 2009년 7월 9일
- 논문심사일 2009년 7월 24일
- 게재확정일 2009년 10월 21일

**부록(해석에 사용된 차량의 제원)**

	전장(mm)	전고(mm)	전폭(mm)	축거(mm)	전/후 윤거 (m)	중량(Kg)	무계중심높이(mm)
D-Sedan	3800	1471	1795	2776	1550/1550	1370	540
E-Sedan	4225	1480	1880	3048	1600/1602	1653	590
F-Sedan	3800	1475	1870	3165	1605/1605	1823	589
A-Hatchback	2660	1160	1780	2347	1416/1375	747	540
B-Hatchback	2860	1535	1695	2600	1481/1486	1111	540
C-Hatchback	3800	1478	1739	2578	1539/1539	1274	540
D-Minivan	3800	1776	1958	3000	1695/1775	1837	711
D-SUV	3800	1679	1820	2619	1565/1565	1429	670
E-SUV	3800	1800	1875	2950	1575/1575	1592	719
Conventional Van	6000	3200	2500	5000	2030/1863	4457	1173
Delivery Truck	5500	2600	2438	4300	2070/1863	4457	1173
LCF Van	6000	2800	2438	5000	2030/1863	4457	1173