

횡풍이 작용하는 속도로의 회전구간에서 도로의 편경사각이 주행차량의 전복사고에 미치는 영향에 관한 분석연구

박형수

서울과학기술대학교 나노 IT디자인 융합대학원

An Analytical Study of the Effect of Inclined Angle of Road on Turn-over Accident of a High-speed Coach running on a Curved Road under Cross-wind Condition

Hyeong-Su Park

Nano.IT Fusion Program, Graduate School of Nano IT Design Fusion, Seoul National University of
Science & Technology

요약 최근 경기도의 혼잡한 시간에 교통 문제를 해결하기 위해 2층 버스 서비스가 검토되고 있다. 2층 버스의 경우 높이와 폭의 비율이 일반 고속버스 보다 1.16배 이상 크며, 2층 버스의 C.G 점이 일반 버스보다 높다. 2층 버스가 고속 주행 시 강한 측면 바람 상태에서 차선 이탈과 같은 주행 안정성 문제가 특히 심각할 수 있다.

본 수치 해석 연구에서는 고속 주행 중 측면 바람 조건 및 편경사 조건에서 2층 버스의 주행 특성을 검토 하였다. 주어진 주행 조건에서 버스의 동적 안정성을 평가하기 위하여, CFD 수치 시뮬레이션을 이용하여 모델 버스의 롤링, 피칭 및 요잉모멘트를 계산하고, 도로 위 주어진 주행 조건하에서 모델 버스의 복구 각 모멘트 결과와 비교 하였다. 이 연구에서 모델 버스는 직선 도로를 따라 이동할 때 어떤 측면 바람 상태에서도 안정된 상태에 있다는 것을 알게 되었다. 그러나 버스가 측면 바람 상태에서 곡선 도로를 따라 이동 중에 측면 바람 (15m/s)에서 선회 반경이 100m 미만인 곡선 도로를 통과할 때 버스는 불안정한 조건에 동적으로 도달 할 수 있고 버스가 뒤집힐 가능성이 있다. 그러나 어떤 주행 조건에서도 모델 버스가 차선 이탈 가능성은 낮았다.

Abstract Kyeonggi Provincial Government is considering double decker bus service to solve the problem of heavy rush hour traffic. However, the height-to-width ratio is more than 1.16 times larger than that of a general high-speed single decker bus, and the center of gravity is higher. This could cause driving stability problems, such as turnover and breakaway from the lane, especially under strong side-wind conditions at high speed. In this numerical study, the driving characteristics of a model double decker bus were reviewed under side-wind and superelevation conditions at high driving speed. The rolling, pitching, and yawing moment of the model bus were calculated with CFD numerical simulation, and the results were compared to the recovery angular moments of the model bus to evaluate the dynamic stability under given driving conditions. As the model vehicle moves on a straight level road, it is stable under any side-wind conditions. However, on a curved road under side-wind conditions, it could reach unstable conditions dynamically. There is a chance that the bus will turn over when it moves on a curved road with a radius of gyration less than 100 m under side-wind (15 m/s). However, there is a very small chance of breakaway from the lane under any driving conditions.

Keywords : vehicle driving stability, aerodynamic design, side wind, rotational moment, CFD, superelevation

본 논문은 2016년 서울과학기술대학교 교내 연구비 지원 사업에 의해 수행된 연구 과제

*Corresponding Author : Hyeong-Su Park (Seoul National University of Science & Technology)

Tel: +82-10-5251-8057 email: autocar_sos@hanmail.net

Received November 29, 2016

Revised December 26, 2016

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

1. 서론

최근 국내에서도 도시 간 대량 인원 수송의 수단으로 2층 버스의 도입이 진행되고 있다. 기존의 단층 버스에 비해 상대적으로 차량의 무게 중심점이 높고, 차체 측면의 면적이 넓어짐에 따라 외기에 따른 차량의 주행안전성 평가문제는 매우 중요한 관점이 되고 있다.

일반적인 차량의 외형 설계 시 공기역학적 주행 안전성 문제, 진동소음 문제에 초점을 두고 설계한다. 하지만 2층 버스의 경우 일반버스 보다 훨씬 높은 무게중심과 넓은 측면 면적으로 인해 외기에 의한 영향이 크게 나타난다.^[1] 때문에 공기역학적 공력특성이 일반 버스에 비해 주행안전성에 큰 영향을 끼친다.

본 연구에서는 2층 버스 모델을 대상으로 편경사가 없는 곡선도로와 편경사가 있는 곡선 도로를 선회 시 측풍을 받았을 때 차체에 발생하는 회전모멘트와 차량 자체의 회전 저항모멘트 값의 산출을 통해 어떠한 운행 조건에서 차량의 도로이탈, 전복의 가능성이 있는지를 알아보는 목적이다.

본 연구의 결과는 연구대상 모델차량의 외부 운행 조건 변화에 따른 주행안전성의 판단 근거로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 차량의 공기역학적 특성

2.1 차량의 공기역학적 특성

도로를 주행하는 차량은 주행저항(Running Resistance)을 받게 된다. 주요 주행저항으로는 도로와 타이어사이의 마찰력에 의한 구름저항 (Rolling Resistance), 외부 바람에 의한 공기저항(Aerodynamic Resistance), 그리고 도로의 경사도에 따른 등판저항(Gradient Resistance)등이 있다.^[3] 주행차량 차체에 작용하는 공기역학적 힘과 모멘트는 차량의 무게 중심점(C,G)에서 Fig. 1과 같이 3가지 힘과 3가지의 회전모멘트의 성분으로 발생하게 된다.

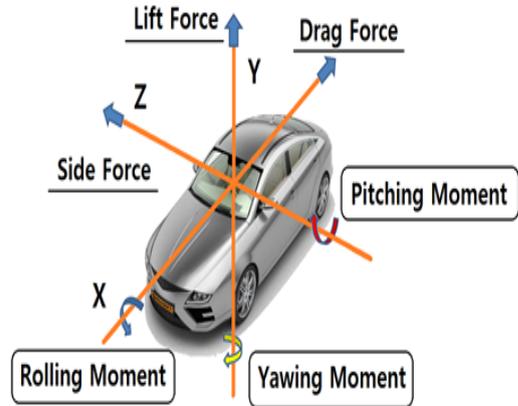


Fig. 1. Aerodynamic axis system of a vehicle^[2]

2.2 외기와 편경사에 의한 회전모멘트 산출 이론

차량의 외기에 의한 회전모멘트는 차량의 무게 중심점(C,G)과 압력 중심점(C,P)의 불일치에 의해 발생하게 되며 주행 차량의 압력 중심점은 유체동력학의 이론을 바탕으로 하는 CFD 해석을 통해 다음과 같은 식으로 산출된다.

$$X_m = \frac{M_{yz}}{Ft_z}, Y_m = \frac{M_{zx}}{Ft_x}, Z_m = \frac{M_{xy}}{Ft_y} \quad (1)$$

where (X_m, Y_m, Z_m) is the centre of pressure, M_{yz}, M_{zx}, M_{xy} are the moments, and Ft_x, Ft_y, Ft_z are the aerodynamic force components^[4]

여기서, X_m, Y_m, Z_m : 압력 중심

M_{yz}, M_{yx}, M_{xy} : 회전 운동 모멘트

$Ft_{i(x,y,z)}$: 공기력

공력 해석을 통해 산출된 Total Force (Ft_x, Ft_y, Ft_z)과 C.P의 위치 값을 이용하여 외기에 의해 차량에 발생하는 요잉모멘트(Yawing Moment), 롤링모멘트(Rolling Moment), 피칭모멘트(Pitching Moment)의 값을 산출할 수 있다. 또한 도로의 편경사 각에 의한 각 힘의 방향은 Fig. 2와 같다.

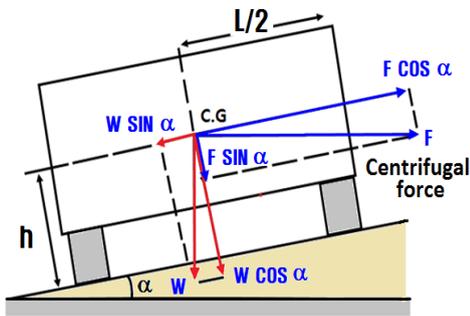


Fig. 2. The forces and their directions on a superelevated road^[2]

Fig. 2 개념을 이용하여 편경사면을 주행하는 차량의 요잉모멘트, 롤링모멘트, 피칭모멘트의 산출 식은 다음과 같이 정리된다.

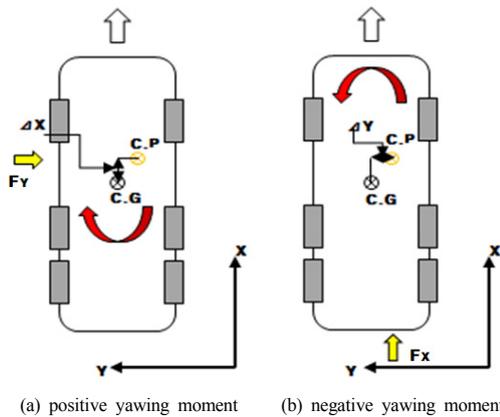


Fig. 3. Yawing moment by the forces acting on the vehicle

$$M_y = F_y \cos \alpha \times \Delta X + (-)F_x \times \Delta Y \quad (2)$$

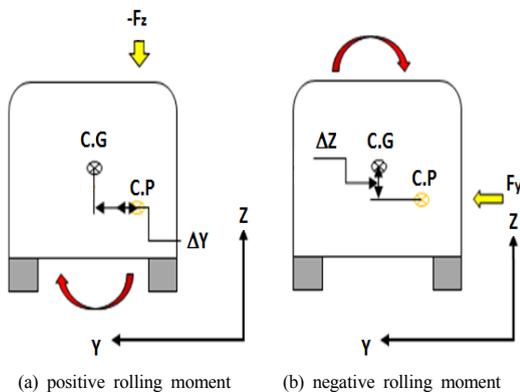


Fig. 4. Rolling moment by the forces acting on the vehicle

$$M_r = (F_y \cos \alpha - W \sin \alpha) \times \Delta Z + F_z \cos \alpha \times \Delta Y \quad (3)$$

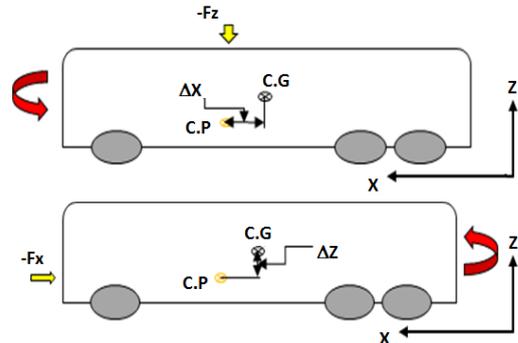


Fig. 5. Pitching moment by the forces acting on the vehicle

$$M_p = (-)F_x \times \Delta Z + (-)F_z \cos \alpha \times \Delta X \quad (4)$$

여기서, $\Delta x, \Delta y, \Delta z$: distance between C.G and C.P in x, y, z direction, m

2.3 주행 안전성 평가이론

2.3.1 차량의 복원저항모멘트 산출이론

차량이 주행 중 측풍과 차체의 원심력에 의해 차체에 회전모멘트가 발생하게 되면 차량의 중력에 의해 이를 극복하기 위한 복원 저항모멘트 (resistance moment)가 발생하게 된다. 복원 저항모멘트의 크기는 차량의 중량, 타이어 점착계수, 차량 무게중심과 타이어 축간거리, 편경사 각 힘의 방향에 영향을 받게 된다. 복원 저항모멘트의 산출 이론은 다음과 같이 정리된다.

1) Yawing Resistance Moment

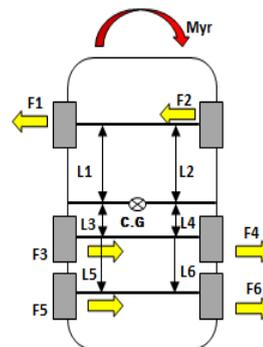


Fig. 6. Dynamic energy balance of yawing moment on the model vehicle

$$\begin{aligned}
 M_{Yfa} &= \mu \times (\cos \alpha W_{Front} - F_{Lift}) \times L_{Front} \\
 M_{Yda} &= \mu \times (\cos \alpha W_{Drive} - F_{Lift}) \times L_{Drive} \\
 M_{Yta} &= \mu \times (\cos \alpha W_{Tag} - F_{Lift}) \times L_{Tag} \\
 M_{Yr} &= M_{Yfa} + M_{Yda} + M_{Yta} \quad (5)
 \end{aligned}$$

where μ is friction coefficient of road
 여기서, μ : Friction Coefficient of Road

2) Rolling Resistance Moment

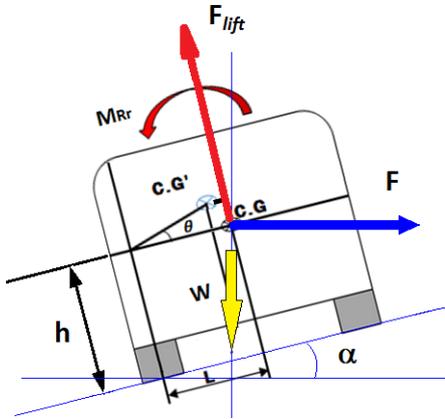


Fig. 7. Dynamic energy balance of rolling moment on the model vehicle

$$M_{Rr} = (W \cos \alpha + F \sin \alpha - F_{Lift}) \times L \quad (6)$$

where W is the gross weight of the vehicle, F is the centrifugal force.

3) Pitching Resistance Moment

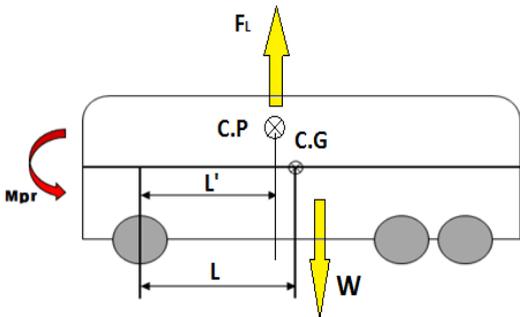


Fig. 8. Dynamic energy balance of pitching moment on the model vehicle

$$M_{pr} = (W \times L - F_{Lift} \times L') \quad (7)$$

2.3.2 주행안전성 판단 이론

본 연구에서는 공기력과 윈십력에 의해 차체에 발생하는 회전모멘트와 회전 저항모멘트의 근거로 차량의 주행안전성을 판단하였으며, 그 기준은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{|M_{rotation}|}{|M_{resistance}|} > 1 \text{ --- Unstable}$$

$$\frac{|M_{rotation}|}{|M_{resistance}|} \leq 1 \text{ --- stable} \quad (8)$$

3. 본 론

3.1 모델차량의 제원

본 연구의 대상 모델 차량인 영국 Alexander Dennis 사의 Enviro500 2층 버스가 15m/s의 측풍 하에서 60km/h~120km/h의 속도로 곡률반경 100~300m, 편경사 0~10%인 도로를 선회 시 차량의 운동학적 특성을 분석하였다.

Table 1. Specification of the model double decker bus^[3]

Overall length(m)	14.00
Over width(m)	2.55
Body height(m)	4
Curb weight(ton)	23.13
Weight of loaded carton	27.80
Frontal area(m ²)	9.44
Side area(m ²)	48.8

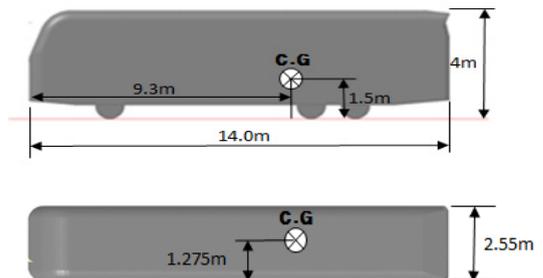


Fig. 9. Geometry of the model double decker bus and its center of gravity

본 연구에서는 모델 차량의 적재차량 중량인 27.8ton 을 기준으로 주행 안전성 평가를 진행하였으며, 차량의 제원과 무게 중심점의 위치는 Table 1과 Fig. 9에 주어진 바와 같다.

3.2 수치해석기법

3.2.1 수치해석을 위한 지배방정식

차량 주변의 공기 유동현상 예측을 위해 유한체적법(Finite Volume Method)을 적용하는 범용 CFD코드인 PHOENICS (Ver.2014)^[4]을 사용하였다. 해석을 위한 공기 유동장의 특성은 다음과 같이 정의하였다.

- 3차원 난류유동 (3D Turbulent Flow)
- 비압축성 유동(Incompressible Flow)
- 등은 유동(Isothermal Flow)

검사 체적내의 비압축성 난류 유동장의 해석을 위해 3차원 정상유동 Navier-Stokes방정식^[5]을 풀었으며, 난류해석을 위해 표준($\kappa - \epsilon$)모델^[5]을 사용하였다. 압력 저항에 비해 공기 점성에 의한 표면 마찰저항이 미미하므로 마찰저항에 의한 대류 열전달의 현상은 무시하여 에너지 방정식은 풀지 않았다. 비압축성, 난류 유동장의 해석을 위한 지배방정식은 다음과 같다.

(1) 연속방정식(continuity equation)

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_j}{\partial y_j} + \frac{\partial U_k}{\partial z_k} = 0 \quad (9)$$

(2) 운동방정식(momentum equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (U_i U_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] - g_i \quad (10)$$

(3) 난류운동에너지방정식(turbulent kinetic energy equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G - \epsilon \quad (11)$$

(4) 소산 방정식(energy dissipation equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} G - C_{\epsilon 2} \epsilon) \quad (12)$$

$$\text{where } -\overline{u_i u_j} = v_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$$

$$G = -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad v_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

$$(C_\mu = 0.09, C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.92, \sigma_\epsilon = 1.0)$$

3.2.2 수치해석 연구를 위한 격자 생성법

해석 공간에서의 격자생성을 위해 CAD - to - CFD 격자 생성법^[5]을 이용하였다. 범용 3-D CAD 프로그램을 이용하여 모델링한 2층 버스모델을 해석 공간인 수치 해석 도메인(numerical domain)으로 불러와 직각 좌표계 상에서 Fig. 10과 같은 정방격자(rectangular grid)를 생성하였다.

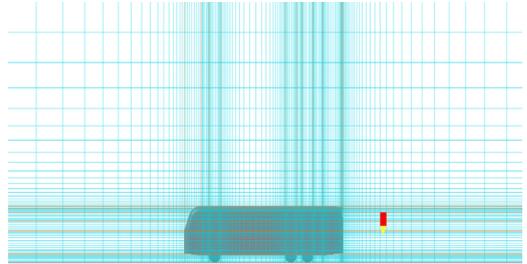


Fig. 10. Typical numerical grid of the model bus with the grid size of (179x 83 x 69)

검사 체적 내 해석 격자의 크기는 (179 x 83 x 69)으로 총 102만개의 격자로 형성하였다. 또한 차량 후방부와 측면부의 유동장이 충분히 발달되도록 해석 도메인의 크기를 (252m x 62.55 x 30m)로 설정하였다.

3.2.3 수치해석의 경계 및 초기조건

본 연구에서는 차량의 주행 안전성을 판단하기 위해 수치해석을 설정한 초기 경계조건 및 곡률반경을 다음과 같이 적용했다.

회풍의 속도를 15m/s로 고정하였으며 차량속도를 60km/h, 80km/h, 100km/h, 120km/h, 그리고 곡률반경을 100m, 150m, 200m, 250m의 4단계로 선정하여 연구를 진행하였다. 또한 각각의 경우에 대하여 편경사가 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%일 경우 차량에 발생하는 회전모멘트의 크기와 복원 저항모멘트의 크기 변화를 분석하였다.

Table 2. Initial and boundary condition for the numerical analysis

Inlet1	velocity boundary condition ($V_{BUS}=60\sim120\text{km/h}$)
Inlet2	side-wind condition ($V_{\text{side wind}}=15\text{m/s}$)
Outlet1	$P_{\text{out}} = 1\text{atm}$
Outlet2	$P_{\text{out}} = 1\text{atm}$
Surface of Vehicle	No-slip condition
Low wall	same velocity as inlet1
Radius of Gyration	100~300m
Superelevation	0 ~ 10 %

4. 수치해석의 결과분석

4.1 측풍이 없을 시 모델버스의 공력특성 분석

Fig. 11은 2층 버스 모델이 측풍이 없는 도로를 100km/h의 속도로 주행할 때 차체 주위에서 발생하는 공기의 압력분포와 속도분포를 2차원적으로 보여준다.

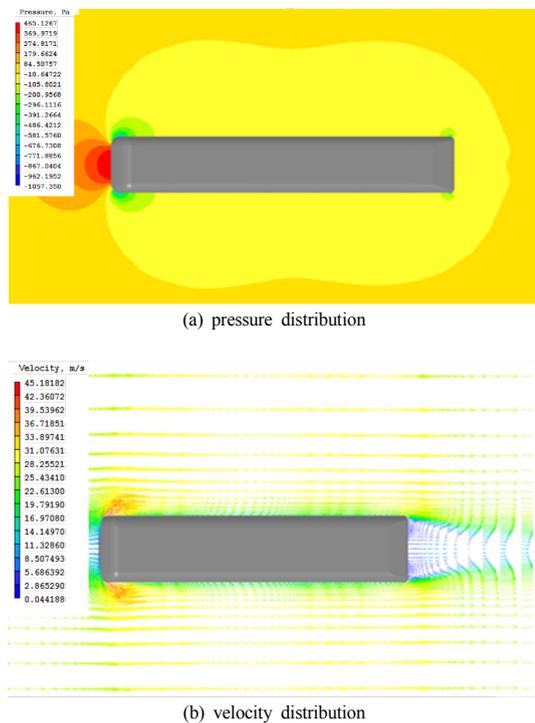


Fig. 11. Top view of the Aerodynamic characteristics around the Double Decker Bus model at $V_{BUS} = 100\text{km/h}$ without Side-wind

차량의 전방에 정체점이 형성되어 최대의 압력 혹은 형상저항(Pressure or Form drag)이 발생한다는 사실을 알 수 있다. 모델 차량의 후면에 발생하는 강한 와류(vortex)로 인해 압력이 대기압 이하로 떨어져 유도 압력 저항(induced pressure drag)이 발생한다. 측풍이 없기 때문에 좌우 대칭으로 와류 및 압력저항이 발생하여 요잉모멘트를 발생시키지 않는다.

4.2 15m/s 측풍 시 공력특성 분석

Fig.12는 15m/s 측풍 시 모델 차량 주변의 공력특성을 보여준다. 측풍으로 인해 차량 후방의 와류현상이 측풍 진행 방향으로 많이 휘어져 발생한다. 또한 측풍으로 인해 차량전방의 측면부에 큰 압력이 발생한다.

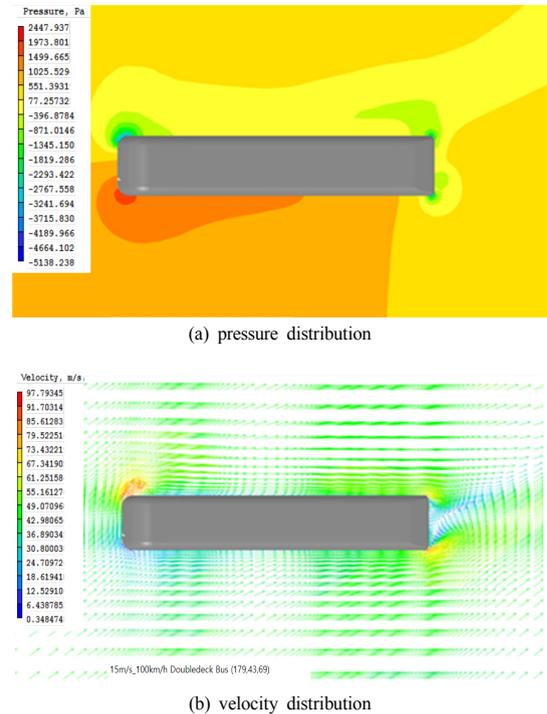


Fig. 12. Top view of the Aerodynamic characteristics around the Double Decker Bus model at $V_{BUS}=100\text{km/h}$ and $V_{\text{side wind}} = 15\text{m/s}$

Fig. 13은 모델 차량 표면에서의 정압분포를 나타낸다. 측풍으로 인해 모델 차량 우측 전면에 높은 압력이 형성되는 것을 알 수 있으며 이는 모델 차량의 요잉모멘트를 유발하는 원인이 된다. 또한 측풍으로 인한 차량 상부면 후방에서의 와류형성으로 인해 모델 차량 상부면의

압력이 차량 하부면의 압력보다 상대적으로 낮게 발생하기 때문에 차체에 양력을 유발하게 된다. 이와 같은 양력의 발생은 차량 롤링모멘트를 유발하는 원인이 된다.

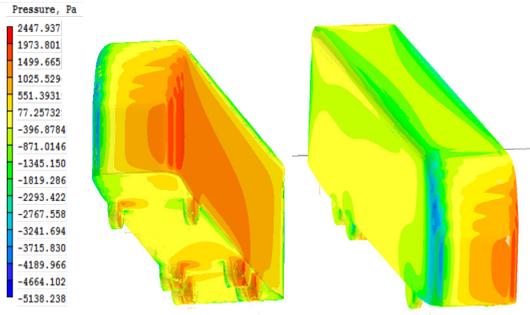


Fig. 13. The pressure distribution on the surface of the model BUS at $V_{BUS}=100\text{km/h}$ and $V_{side\ wind} = 15\text{m/s}$

Table 3은 15m/s 측풍 하에서 60~120km/h로 주행 시 차량의 C.G.점과 C.P.점 사이의 거리를 나타낸다. 모델 차체의 C.G.점과 C.P.점의 위치 차로 인해 모델 차량에 회전모멘트가 발생하게 된다.

Table 3. Distance(m) between C.G and C.P of the model vehicle

velocity	Distance between C.G and C.P (m)		
	ΔX	ΔY	ΔZ
60km/h	2.4	1.165	0.84
80km/h	2.4	0.735	0.69
100km/h	2.49	0.617	0.47
120km/h	2.5	0.566	0.29

Table 4는 CFD 모델 차량이 15m/s 측풍 하에서 60~120km/h로 주행 시 C.P.에 작용하는 F_x , F_y , F_z 의 힘의 크기를 산출한 값이다.

Table 4. Force acting on the C.P of the model vehicle

Velocity	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)
60km/h	-1888.7	-37493.0	24069.6
80km/h	-3462.9	-52945.2	33527.5
100km/h	-6572.7	-62518.6	38877.5
120km/h	-9640.3	-70051.3	42851.7

4.3 차량의 주행안전성 판단기준

본 연구에서는 회전모멘트와 회전 저항모멘트의 비율을 계수화 하여 모델 차량의 주행 안전성을 아래와 같이 판단하였다. 회전모멘트 계수(C_m)를 아래와 같이 정의하였다.

$$C_m = \frac{M_{rotation}}{M_{resistance}} \quad (13)$$

- 주행안전성 판단기준

$$C_m \leq 1(stable), \quad C_m > 1(unstable) \quad (14)$$

15m/s 측풍 하에서 도로의 곡률반경 및 경사도의 변화에 따른 차량의 주행 안전성을 회전모멘트 계수(C_m)로 표현한 그래프는 다음과 같다.

4.3.1 Yawing Moment

Fig. 13은 도로의 곡률반경 및 경사도의 변화에 따른 요잉모멘트 계수(C_{my})의 변화를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 모든 운행조건에서 차량의 차선이탈을 유도할 수 있는 요잉 회전모멘트는 충분히 안전한 범위에 있다는 사실을 알 수 있다.

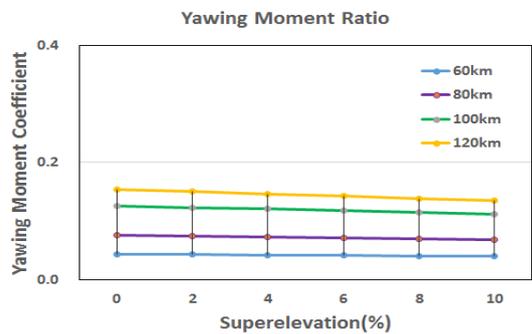


Fig. 13. Variation of the yawing moment stability with the superelevation and curvature of the road under the side-wind(15m/s) condition

4.3.2 Pitching Moment

Fig. 14는 피칭 모멘트 계수(C_{mp})의 변화를 보여준다. 모든 운행조건에서 차량의 진동을 유도할 수 있는 피칭 회전모멘트가 진동을 안정화시키는 범위에 있음을 알 수 있다.

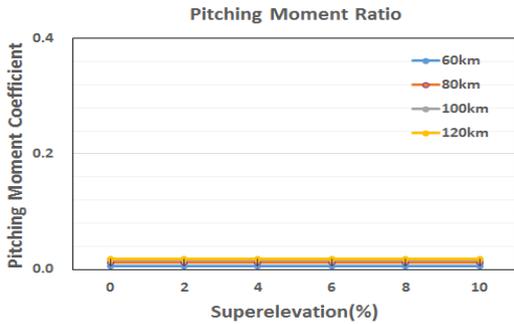


Fig. 14. Variation of the pitching moment stability with the superelevation and curvature of the road under the side-wind(15m/s) condition

4.3.3 Rolling Moment

Fig. 15는 롤링모멘트 계수(CmR)의 변화를 보여준다. 차체의 전복사고와 연계되는 롤링 회전모멘트의 경우 도로의 경사도가 없는 수평도로에서 차량이 100km/h의 속도로 이동 시에 도로의 곡률반경이 150m 이하의 도로에서 또한 120km/h의 속도에서는 도로의 곡률반경이 200m이하인 도로에서는 차체가 전복될 수 있는 가능성이 있음을 보여준다.

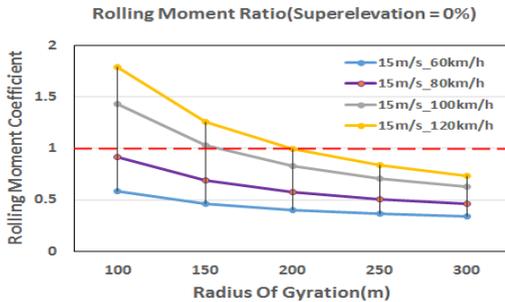


Fig. 15. Variation of the rolling moment stability with the curvature of road and speed of the vehicle under the side-wind (15m/s) condition

Fig. 16은 도로의 경사도와 곡률반경의 변화에 따른 롤링모멘트 계수(CmR)의 변화를 보여준다. 차량의 속도를 80km/h이하로 유지할 경우 도로의 경사도에 상관없이 곡률반경이 100m인 도로상 에서도 롤링모멘트 계수가 1.0이하로 차량 전복의 가능성 없음을 보여준다. 그러나 100km/h이상의 속도에 도달할 경우 도로의 경사도가 10%이며 곡률반경이 300m이하의 도로에서는 차량의 전복 가능성이 있음을 예측할 수 있다. 차량의 속도가 120km/h의 속도에 도달할 경우 도로 경사도가 10%이며

곡률반경이 300m이하 도로에서는 모델 차량이 전복될 가능성이 있음을 보여준다.

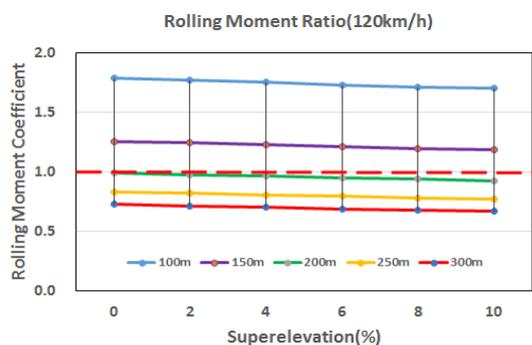
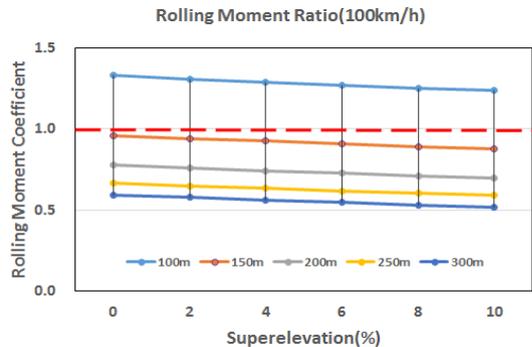
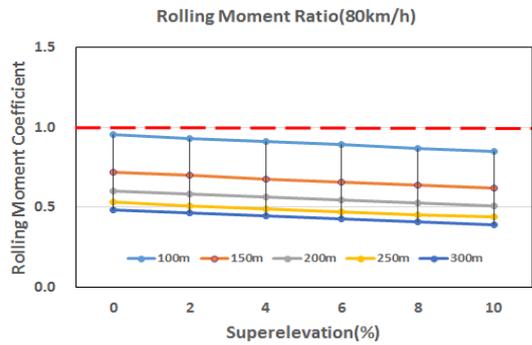
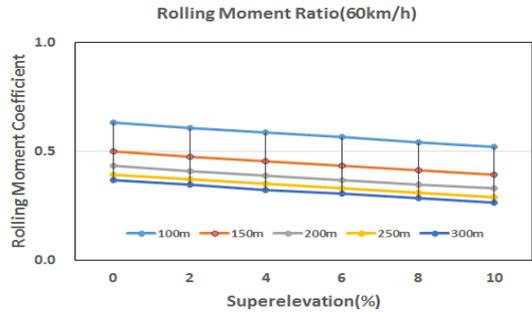


Fig. 16. Variation of the rolling moment stability with the superelevation and curvature of the road under the side-wind(15m/s) condition

5. 결 론

차량이 측풍 하에서 곡선도로를 선회할 경우 차체에 작용하는 공기역학적 힘과 원심력은 차량에 회전모멘트를 발생시키게 된다. 본 연구는 측풍과 원심력에 의해 발생한 회전운동모멘트와 차량의 중력에 의한 운동학적 회전 저항모멘트 값을 산출하여 상호 비교를 통해 차량의 주행 안전성여부를 판단하기 위해 본 연구를 진행했습니다. 본 연구 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 측풍으로 인한 차량의 우측 전면에 높은 압력이 형성되고, 차량 상부면 후방에서의 와류 형성으로 인해 모델 차량 상부면의 압력이 차량 하부면의 압력보다 상대적으로 낮게 발생하기 때문에 차체에 양력이 발생하여 차량 롤링모멘트를 유발하는 원인을 알 수 있다.
- (2) 도로의 경사도가 없는 수평도로에서 차량이 100km/h의 속도로 이동 시에 도로의 곡률반경이 150m 이하의 도로에서 또한 120km/h의 속도에서는 도로의 곡률반경이 200m이하인 도로 조건에서 복원 저항모멘트보다 큰 회전 운동 모멘트가 발생하여 차량의 전도현상을 예측할 수 있다.
- (3) 도로에 2~10%의 편경사를 적용할 경우 차량의 롤링 회전모멘트의 크기가 줄어들어 결과적으로 차량은 편경사가 없을 경우보다 주행 안전성이 상승하는 것으로 확인되었다.

본 연구의 결과는 버스차량이 도로 주행 시 곡률반경과 측풍의 세기에 따라 운동학적으로 안정된 적정 속도를 판단하여 전복 사고 및 차선이탈로 인한 사고 예방에 도움이 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Chul-Ho Kim, J.W.Han., "A Numerical study on the aerodynamic performance of a Double Decker Bus for the driving stability analysis", Korean Society of Computational Fluids Engineering, pp. 21-24, 2015.
- [2] Alexander Dennis Inc., Enviro500 Brochure, <http://www.alexander-dennis.com/products/enviro500/>.
- [3] Le Good, G. and Garry, K., "On the Use of Reference Models in Automotive Aerodynamics," SAE Technical Paper 2004-01-1308, 2004. DOI: <http://doi.org/10.4271/2004-01-1308>

- [4] Chang-Sun Kim., Chul-Ho Kim., Seung-Hyun Lee, "Development of a numerical algorithm for the evaluation of aero dynamic driving stability of a vehicle", KSAE, pp. 991-1000, 2014.
- [5] PHOENICS Technical Report (TR/326), Concentration Heat And Momentum Limited, 2014.
- [6] Douglas J. F., Fluid Mechanics, Prentice Hall, New Jersey, pp. 406-447, 2001.
- [7] Patankar S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Co, New York, 1980.

박 형 수(Hyeong-Su Park)

[정회원]



- 2012년 2월 : 서울과학기술대학 자동차공학과 (공학석사)
- 2016년 8월 : 서울과학기술대학 나노·IT융합프로그램(공학박사수료)
- 2000년 2월 ~ 2012년 2월 : 나래손해사정(주)
- 2012년 3월 ~ 2015년 12월 : 서경대학교 겸임교수
- 2016년 3월 ~ 현재 : 여주대학교 겸임교수

<관심분야>

나노유체, 열유체학, 자동차공학, 자동차배출가스