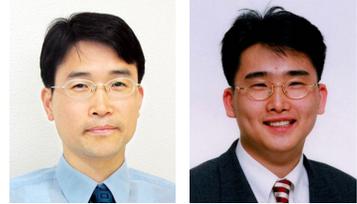


강풍지역 차량주행 안전성 확보를 위한 도로안전시설



이 일근 | 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
조 준상 | 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

1. 서론

서해안고속도로 서해대교와 같은 해상교량을 지나거나 영동고속도로 대관령구간과 같은 산악지역 통과노선을 주행하면서 강풍으로 인해 차량의 흔들림(yawing) 경험을 한 두번 가졌으리라 생각한다.

일반적으로 해안지역의 도로는 해안선과 나란히 있는 경우가 대부분이므로 바다에서 불어오는 바람을 차량의 옆면에 바로 받게 된다. 최근 해안에 건설된 많은 교량들이 이에 해당한다. 산악지대에 위치한 강원도, 충북, 경북 지역의 도로와 같은 경우에는 국부적인 지형의 영향으로 특정 지역에서 심한 바람이 불 수 있다.

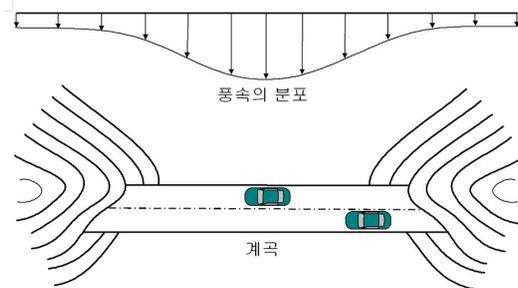


그림 1. 계곡에서의 풍속분포

계곡을 가로지르는 교량이나 터널 부근, 또는 높은 능선의 도로 등의 지역에서는 바람이 모아져서 풍속이 빨라지는 현상이 발생하므로, 이러한 지역을 지나는 차량은 지형적인 영향으로 발생하는 강한 횡풍에 의하여 주행 안전성을 위협받을 수 있다.

선진국의 경우 도로구조의 개선이나 차량성능의 향상 등으로 많은 발전이 있었음에도 도로에서 발생한 사고의 약 2%가 바람에 의한 것이라는 통계도 있다(Smith and Barker, 1998).

표 1은 강풍에 의해 발생한 공개된 자료를 근거로 정리된 사고 사례로서 전체 사고의 일부분에 불과할 거라 생각한다. 이러한 차량 사고는 운전자의 사망 또는 상해로 인한 인적 피해, 도로시설물의 파손, 보수 및 추가 설치로 인한 직접적인 비용과 함께 교통지체로 인한 물류비용, 심리적인 영향으로 인한 간접비용을 발생시킨다.

본고에서는 강풍으로 인해 발생할 수 있는 차량사고의 메카니즘을 알아보고, 각국의 방풍대책, 우리나라의 방풍대책 및 도로안전시설 설치기준에 대해 살펴보기로 한다.

표 1. 강풍으로 인한 차량 사고 사례

국 내 사 례		국 외 사 례(일본)	
위 치	내 용	위 치	내 용
동해고속도로 N교 (2006)	- 액티온 차량 난간 및 중앙분리대 충돌	반노슈 고가교 (1988)	- 고교각 중앙 고풍속 - 방풍벽 설치
경부고속도로 울주군(2005)	- 트레일러 컨테이너 추락 - 차량 3대 사고/2명 사망	후루카와 IC (1980)	- 북서계절풍 영향(평균풍속 23m/s) - 강풍사고 다수
영동고속도로 (2001)	- 지프차량 터널 통과 후 가드레일 충돌	우라카와교 (1979)	- 리무진 버스 전도 - 순간풍속 37m/s
광안대교 (2005, 2006)	- 트레일러 컨테이너 추락 - 차로통제, 교통지장	카미와교 (1977)	- 소형 트럭 전도 - 순간풍속 25m/s

2. 횡풍에 의한 차량 거동 매카니즘

횡방향 강풍에 의한 차량의 영향은 크게 전도(Rollover)와 주행성 상실(Path Deviation)로 구분할 수 있다.

탐차, 트레일러 등과 같이 높이가 높고 옆면적(풍면적)이 넓은 차량의 경우 전도에 의한 사고가 발생할 수 있다.

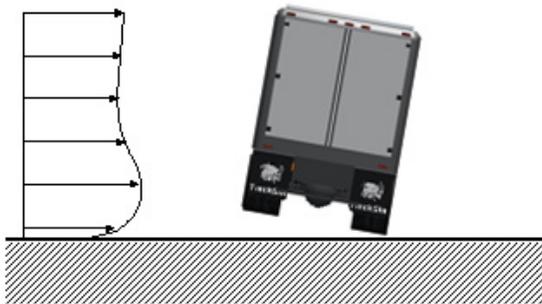


그림 2. 횡풍에 의한 차량의 전도

롤링모멘트(Rolling moment)와 양력(Lifting force)이 차량을 전복시킬 수 있는데 이러한 전도 풍속(Overturning wind speed)에 대해 다음과 같이 간단한 힘-저항 관계를 활용하여 모델화 할 수 있다.

$$V_o = \sqrt{\frac{mgw}{\rho A(C_{roll}^{CG}l + C_L w/2)}} \quad (1)$$

ρ : 공기밀도

m : 차량의 질량

g : 중력가속도

A : 차량의 앞면 면적(Frontal area)

l : 차량의 축거(Wheel base)

w : 차량의 윤거(Tread)

C_{roll}^{CG} : 무게중심에서 정의된 롤링모멘트 계수

C_L : 횡력 계수

횡풍에 의한 주행 안전성 문제는 차량의 전도에 의한 위협보다는 주행성 상실에 의한 주행경로 이탈의 경우가 더욱 자주 제기되고 있다. 즉, 횡풍에 의하여 운전 중인 차량이 직진성을 상실하여 인접차선에서 주행 중인 차량과 접촉하거나 도로시설물과 충돌하는 경우이다.

주행하는 차량은 자신의 속도와 동일한 주행방향 풍속과 횡풍의 벡터를 합성한 상대 수평 입사각을 가진 상대풍속을 받게 된다.

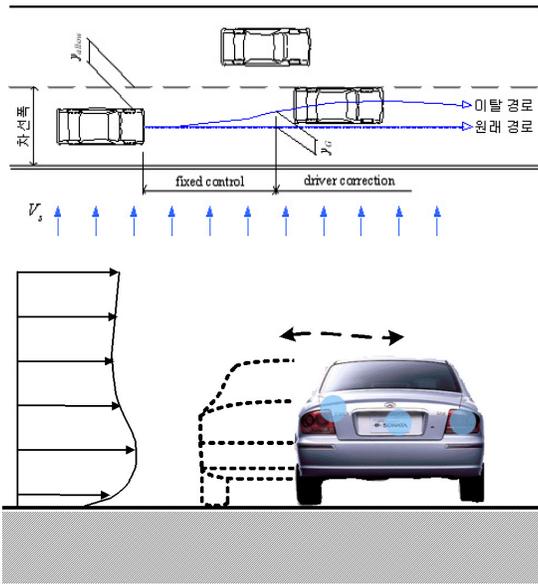


그림 3. 횡풍에 의한 차량의 주행경로 이탈

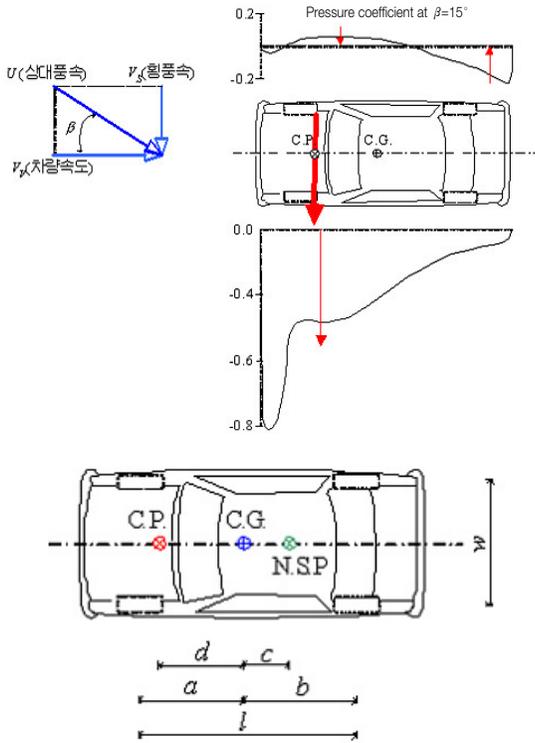


그림 4. 횡력에 의한 풍압분포

그림 4에서와 같이 바람이 부는 쪽에서의 양압과 반대쪽 면에는 큰 음압의 차이로 인해 차량에 횡방향 힘이 작용하게 된다. 아울러 바람에 의한 횡력의 작용점(CP : center of pressure)은 차량 무게중심(CG : center of gravity)과 일치하지 않으므로 차량 수직축에 대한 흔들림 모멘트(Yawing moment)를 발생시키며, 결국 차량을 횡풍이 부는 반대쪽으로 돌아가게 만든다. 이러한 횡풍에 의한 민감도에 특히 중요한 특성을 가지는 것은 횡력의 작용점(CP)과 차량 중립조향점(NSP : neutral steering point)의 거리이다. 횡력 작용점이 중립조향점과 가까이 있고 차량 뒤쪽에 있는 것이 보다 유리할 것이다. 이를 표현한 식은 다음과 같다.

$$\frac{\psi}{\beta} = \frac{1}{2} \rho U^2 C_s A \frac{1}{m V_v} \frac{c+d}{c+x_M} \quad (2)$$

ψ : 요율(yaw rate)

β : 풍각(wind angle)

C_s : 횡력계수(side force coeff.)

C_{yaw} : 흔들림 모멘트(yawing moment coeff.)

A : 전방면적(frontal area)

V_v : 주행속도(vehicle velocity)

m : 차량질량(vehicle mass)

a : 전륜과 무게 중심 거리

b : 후륜과 무게 중심 거리

c : 무게 중심과 중립조향점 거리

d : 무게 중심과 횡력중심 거리

$$\left(= a - \frac{1}{2} + l C_{yaw} \right)$$

x_M : 타이어 힘에 비례하는 모멘트암

$$\left(= \frac{l^2 C_f C_r}{m v^2 (C_f + C_r)} \right)$$

C_f, C_r : 전륜과 후륜 선회강성

3. 주요 선진국 도로 강풍 대책

주요 선진국의 경우 1980년대부터 이 분야에 대한 연구를 수행하여 많은 성과를 보여 주었다. 대부분 각 관리주체별로 현장 특성을 감안하여 대책을 마련하고 있다.

우선 속도제한을 통한 주행안전성 확보 방안은 주행속도를 감속시킴으로써 경로 이탈로 인한 사고위험을 낮추게 하고 전도의 위험이 있는 경우 풍속에 따라 위험차량 혹은 모든 차량을 통제하는 방식을 취하고 있다.

표 2. 주요 선진국 속도제한 풍속

기 관		속도규제	전면 통제	비 고
일본	일본도로공단	5-10 : 주행주의 10-15 : 80Km/h 15-25 : 50Km/h	25	10분 평균
	수도고속도로	20이상 : 50Km/h	25	5분 평균
	한신고속도로	15-20 : 주행주의 20-25 : 진입제한 25이상 : 통행금지	25	10분 평균
	혼슈-시코쿠	15이상 : 50Km/h	25	10분 평균
미국	NewPort Brdg	22.5이상 (Mobile home, 고측면차량 제한)	30	순간풍속
	Verazano Narrows Brdg	노면 흡윤 : 17 노면 건조 : 22.5 (Mobile Home, 유리운반, 고측면차량 제한)		10분 평균
영국	Humber	18 : 48Km/h 32 : 32Km/h	36	순간풍속
	Forth Road	16 : 64Km/h	36	순간풍속
	Severn Crossing	15 : 64Km/h	20	순간풍속
	Earlswood	16 : 48Km/h 20 : 32Km/h	22	10분 평균
	Britannia Brdg	16 : 48Km/h 21 : 32Km/h	32	10분 평균
	Queen Elizabeth II Brdg	22 : 48Km/h 25 : 차선통제	27	10분 평균

강풍에 의한 주행안전성 확보 대책으로는 속도제한과 같은 수동적인 대책과 함께 도로안전시설 설치와 같은 능동적인 방풍대책이 있을 수 있다.



그림 5. 일본내 방풍벽 설치사진

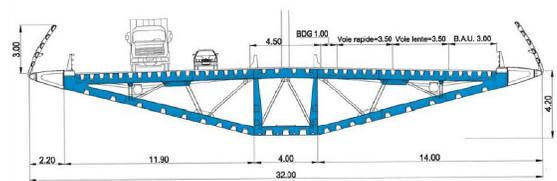


그림 6. Millau Viaduct(프랑스) 방풍시설

4. 강풍구간 도로안전시설

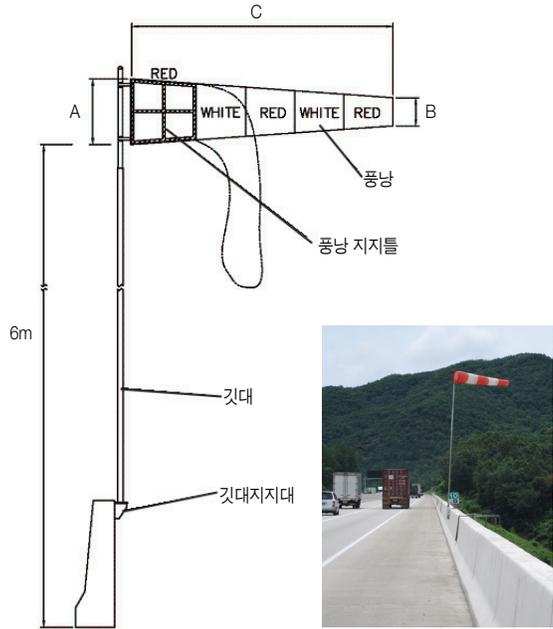
횡풍에 의한 주행 안전성을 확보하기 위한 대책으로는 주행속도의 제한과 도로안전시설의 설치가 필요하다. 특히 주행성 상실에 따른 사고 위험은 주행속도를 제한함으로써 위험도를 낮출 수 있다. 태풍과 같이 광역적으로 영향을 주는 경우 자발적으로 속도를 줄이게 됨으로써 사고 위험을 낮출 수 있다. 그러나 산악지역을 통과하는 높은 교량의 경우 국지적으로 발생하기 때문에 계도를 통한 방법으로는 한계가 있다.

도로교통법에서는 폭우, 폭설, 안개에 대한 자동차 속도 감소 규정은 있지만 강풍으로 인한 감소 규정은 없다. 그리고 고속국도법 시행령에 10분 평균 풍속 25m/s 이상(순간풍속 약 38m/s) 시 통행제한을 실시할 수 있도록 규정하고 있지만 특정 구간의 문제로 인해 노선 전체를 통행제한 하기에는 많은 부담이 있기 때문에 실제 통행제한 사례는 없다. 그리고 순간풍속 38m/s 이하에서도 사고 위험은 상존하고 있다. 따라서 도로 관리주체에서는 보다 적극적인 대책이 필요하다 할 것이다.

먼저 횡풍 예고 표지판이 가장 일반적으로 많이 볼 수 있는 시설로서 운전자에게 시각적인 정보를 통해 안전성을 도모하고자 설치된다. 그러나 주행구간의 현 풍속 수준을 알 수 없는 단점이 있다.

강풍구간에 운전자에게 풍향과 풍속에 대한 시각적인 정보를 제공하기 위한 시설로서는 흔히 바람자루(Windcone or Windsock)라 부르는 도로풍향지시기(Windcone assemblies)가 있다. 도로풍향지시기는 풍낭, 풍낭지지틀, 깃대, 깃대지지대 등으로 구성되어 바람의 방향을 시각적으로 알려주는 기구로서 현재 도로공사에서 규정하는 도로풍향지시기의 개략 도면은 그림 7과 같다.

가장 적극적인 방풍대책으로 다공성 방풍벽을 들 수 있다. 현재 고속도로에 설치된 방풍벽은 17개소(15km)로서 설치 현황은 표 3과 같다.



- 높이 : 6m 이상
- 풍낭 : $\phi 450 \times 350 \times 2,500\text{mm}(A \times B \times C)$

그림 7. 도로풍향지시기 개략도

표 3. 고속도로 방풍벽 설치 현황

(단위 : 개소 / m)

구분	계	영동선	동해선	중앙선
계	17/15,000	12/8,800	2/2,900	3/3,300
2002	1/1,000	1/1,000		
2003	2/1,900	2/1,900		
2004	3/2,800	3/2,800		
2005	5/3,500	3/1,700		2/1,800
2006	3/3,800	1/200	1/2,100	1/1,500
2007	2/1,600	1/800	1/800	
2008	1/400	1/400		

고속도로의 방풍벽은 방호벽에 설치된 구조로서 노면에서 대략 4.0m 정도로 설치되고 있다. 대부분이 그림 8과 같이 팽창메탈형과 유공절판형으로 이루어져 있다. 방풍벽의 효과는 대략 50% 이상의 풍속저감 효과가 있다고 알려져 있다(한국도로공사, 2008).



(a) 팽창메탈형(XS-33, 공극률 55%)



(b) 유공철판형(MCP-50, 공극률 50%)

그림 8. 고속도로 설치 방풍벽 사진

5. 강풍 대비 도로안전시설 설치지역

특정 구간의 도로에 방풍벽 설치 가 필요하지 여부를 결정하기 위해서는 매우 공학적인 판단이 요구되는 부분이다. 바람에 의하여 차량의 주행안전성이 위협받았다고 민원이 발생하거나 유지관리를 담당하는 부서의 판단에 의하여 도로안전시설을 설치할 수 있다. 하지만 이러한 경우에는 안전시설이 과다하게

설치될 가능성을 배제할 수 없다.

한국도로공사에서는 전국 고속도로 중에서 7개 노선, 86개소에 대해 1년간의 풍속 측정(25개소) 또는 수치모형(61개소)을 통해 강풍 위험도 분석을 실시하여 강풍 위험 지도를 작성하였다.

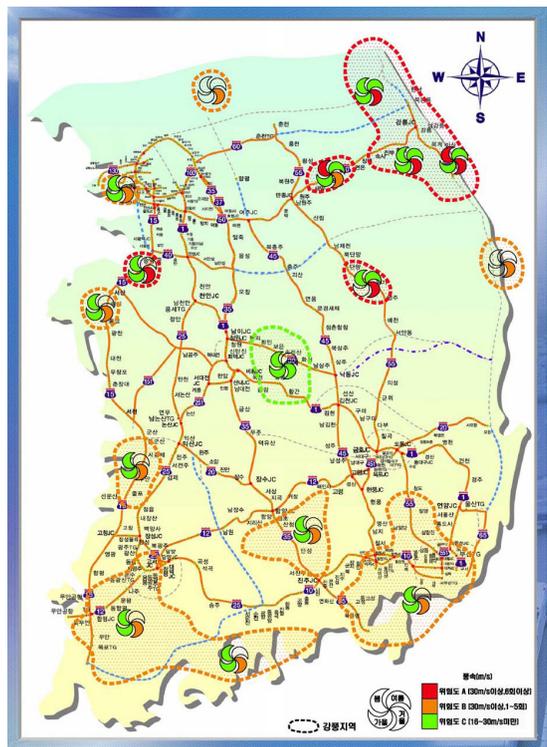


그림 9. 고속도로 강풍 위험 지도

강풍 대비용 도로안전시설 설치구간 선정을 위해서는 주행위험풍속 정의, 현장 장기 풍속 추정, 풍속 확률모형 및 재현주기풍속 선정이 중요하다. 다음은 한국도로공사 연구결과(한국도로공사, 2008)를 참고로 하여 기술하고자 한다.

① 주행위험풍속

주행위험풍속은 차량이 횡풍에 의해 경로를 이탈하여 옆 차선을 침범할 때인 최대 순간풍속인 30m/s 를 기준으로 하였다. 단, 바람이 급격히 변하는 구간인 터널 출구, 교량 주탑 주변 등은 25m/s를

기준으로 하였다.

② 현장 장기풍속 추정

현장의 장기풍속을 추정하기 위하여 현장의 단기 풍속 측정, 인근 기상대의 장기풍속자료 활용, 현장과 기상대의 상관분석에 의한 현장의 장기풍속을 추정하는 절차(MCP : Measure Correlation Predict)를 따르게 된다.

③ 풍속확률모형

장기간 일최대순간풍속은 극치분포 형태를 취하는데 극치분포 중 가장 적합도가 높은 일반 형태인 GEV(Generalized Extreme Value)분포를 사용하였다.

④ 재현주기풍속

일 년 중 주행위험풍속을 넘는 기간이 얼마 이상일 때 대책을 강구해야 하느냐와 관련된 재현주기 문제는 상당히 어려운 문제이다. 해당 기준에서는 고속도로 강풍 위험도 분석 결과의 수준을 참고로 재현주기 1/6년 풍속(연중 6회 발생)으로 규정하였다.

$$V_{1/6} = \mu + \frac{\sigma}{k} [(0.01658)^{-1} - 1]$$

여기서,

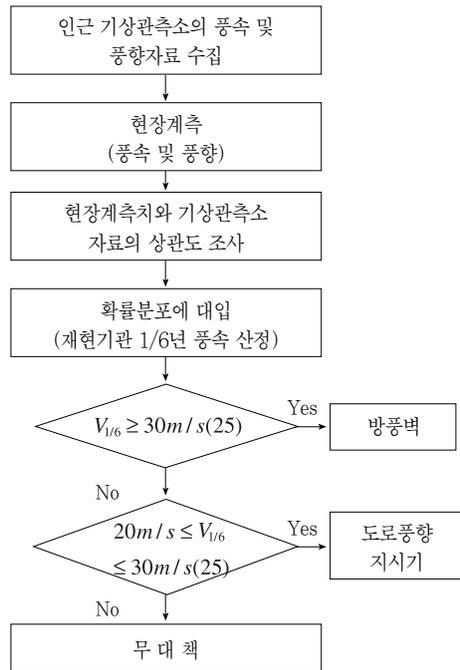
μ : 위치변수(location parameter)

k : 형상변수(shape parameter)

σ : 크기변수(scale parameter)

⑤ 도로안전시설 설치지역 선정

강풍으로 인한 주행안전성 확보를 목적으로 고속도로 구간 중 “재현주기 1/년 풍속이 주행위험풍속(30m/s) 이상인 지역”에 방풍벽을 설치할 수 있으며, 주행위험풍속 이하이면서 20m/s 이상인 구간에는 도로풍향지시기를 설치하여 주행안전성을 확보하도록 하고 있다.



※ () 터널 출구 등 풍속이 급격히 변하는 구간

그림 10. 강풍대비 도로안전시설 설치여부 기준

6. 결론

해안지역이나 산악지대를 통과하는 도로의 경우에 국부적인 지형의 특성상 강풍으로 인하여 주행 안전성을 위협받는 경우가 발생하고 있다. 특히 일부 지역의 경우에 주행 안전성에 대한 우려가 언론매체를 통하여 보도됨으로써 도로 안전성에 대한 신뢰감을 저하시키는 요소로 작용하고 있다. 따라서 바람에 의한 차량의 주행성을 향상시키기 위한 대책이 필요하다.

본고에서는 횡풍작용을 받는 차량의 주행경로 이탈 및 차량 전복 매카니즘을 설명함으로써 강풍에 따른 차량의 사고위험성을 확인하였으며, 이러한 도로환경 하에서 주행 안전성을 확보하기 위해선 속도 제한을 실시하는 방법과 도로안전시설을 설치하는 방법을 소개하였다. 그리고 특정 도로구간에서 도로

안전시설의 설치여부를 판단할 수 있는 절차도 기술하였다.

그러나 도로안전시설 설치로 주행 안전성을 완전히 보장할 수는 없다. 관리주체에서는 도로환경변화에 따라 적절한 대처(강풍 정보제공, 속도제한 등)를 실시하고 운전자는 이에 적극적으로 동참함으로써 주행 안전성이 보장될 것이다.

참고 문헌

정운용 등 (2003), “고속도로 강풍지역 차량주행 안정성 확보방안 연구”, 연구보고서, 한국도로공사
 이일근 등 (2008), “고속도로 시설물 내풍 설계 연구”, 연구보고서, 한국도로공사

Smith, B. W. and Baker, C. P. (1998), “Design of wind screens to bridges, experience and applications on major bridges”, Pro. the International symposium on advances in bridge aerodynamics, A. A. Balkema, Rotterdam
 H.J. Emmelman (1981), Driving stability in side winds, Aerodynamics of Road Vehicles, Hucho (ed.), Vargel Verlag, pp. 2201-221
 C.J. Baker (1986), A simplified analysis of various types of wind induced road vehicle accidents, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 22, pp.69-85

학회지 원고접수 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

컬 럼	내용 및 형식	비 고
권두언/축사/제언/격려사	시사성 있는 내용으로 A4 2쪽이내 분량으로 작성	편집위원회 주관
특집	회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재	게재원고료 지급 심의 후 게재
기술기사	도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내외 관련연구소 소개 등	심의 후 게재
기술위원회 세미나 주요내용	기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼	기술위원회 제공
해외기술동향	도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내	
국내의 학술회의	도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개	E-mail 이용 가능
문화산책(교양)	교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용	게재원고료 지급 심의후 게재
국내의 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 찬평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외의 소개	게재분량 엄수
학회소식	정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등	학회 사무국 제공
Q/A	도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변	E-mail 이용 가능
회원동정	주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등	E-mail 이용 가능

* 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : ksre1999@hanmail.net