

전력시설물 설계를 위한 풍하중 산정식

Wind load equation for electric power facility design

최상현† 서경석* 이수형**
Choi, Sanghyun Seo, Kyungseok Lee, Su-Hyung

ABSTRACT

The wind load equation for the design of electric power facilities such as electrical pole in railroad is based on the maximum wind velocity without considering regional difference in wind velocities. Also, the use of a different equation to highspeed railroad and the possibility of higher wind speed due to climate change claims a new design equation. In this paper, a wind load equation based on wind speed measurement data to date, which is applicable to both conventional and highspeed railroad is proposed. The proposed equation considers the regional differences in wind speed for economic and effective design, and the possibility of higher wind speed due to climate change.

1. 서 론

교량, 터널 등의 구조물과 달리 전철주 등 철도 전력시설물의 설계 시 풍하중은 장기간의 사용성 및 신뢰성 유지를 위해 반드시 고려되어야 하는 주요하중이다. 풍하중의 산정 방법은 설계기준 별로 차이가 있으나 일반적으로 구조물의 위치에 따른 설계기준풍속에 구조물의 기하학적인 형상에 따른 항력계수, 변화하는 풍속에 의한 구조물의 변형 및 진동효과를 고려하기 위한 거스트계수 또는 거스트 영향계수를 고려하여 결정한다 (박홍석 등, 2006). 철도 전력시설물에 대하여 현재까지 국내에서 적용된 설계기준은 일반철도에 대한 철도설계편람 전차선편(2004)과 경부고속철도 1단계에 적용된 프랑스기준인 CM 66(1995)이 있다. 일반철도에 대한 기준은 기준 제정 시까지의 국내 최고풍속 기록값인 울진의 35m/sec를 기초로 하여 일반지역의 기준 설계풍속을 정하였으나, 풍속의 지역별 특성을 고려하지 않고 있으며 돌풍의 영향에 대한 고려가 없는 단점이 있다. 경부고속철도 1단계에 적용된 CM 66의 경우 지역별 순간풍속을 이용하여 설계풍속을 정하였으나, 지역의 구분이 경부고속철도 구간에만 국한되어 있으며 프랑스의 건축규칙인 NV 65에 따라 상위 3위에 해당하는 풍속으로 지역별 설계풍속을 정하여 전력시설물의 설계목표수명과 중요도가 고려되지 않은 단점이 있다. 특히 기후 환경변화의 영향으로 태풍의 풍속이 증가하고 있어 (문일주 등, 2007; 권원태, 2008) 새로운 풍하중 설계식의 필요성이 더욱 높아지고 있는 실정이다.

이 논문에서는 풍속의 지역별 특성, 돌풍의 영향 및 구조물의 설계목표수명과 중요도 등 기존 철도 설계기준의 풍하중 산정식의 단점을 보완하기 위하여 기존의 다른 설계기준에 제시된 풍하중 산정식과 전국의 기상관측소에서 최근까지 측정된 풍속자료 분석을 통하여 일반철도와 고속철도에 공통적으로 적용할 수 있는 풍하중 산정식을 제안하였다. 또한 최근의 한반도 기후변화를 고려하기 위하여 최대풍속 및 최대순간풍속의 변화추이 분석을 수행하여 제안된 풍하중 산정식에 반영하였다.

† 책임저자 : 정회원, 한국철도대학, 철도시설토목과, 조교수
E-mail : schoi86@nate.com
TEL : (031)460-4262 FAX : (031)462-2944
* 비회원, 한국철도대학, 철도시설토목과, 전문학사과정
** 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

2. 설계풍하중 산출식

현재 전력시설물의 설계에 사용되는 철도설계편람 전철전력편(전차선: 2004)은 여름(4~11월)과 겨울(12~3월)의 풍속의 크기와 풍향, 평균온도와 대기밀도가 다른 우리나라의 특성을 반영하기 위해 고온계와 저온계로 풍속을 구분하고 있다 (한국전력공사, 2004). 풍압하중은 기상조건에 따라 갑종, 을종 및 병종 풍압하중으로 구분하여 적용하고 있다 (김양수 등, 1999). 갑종 풍압하중은 태풍에 의한 것이므로 여름을 을종 및 병종 풍압하중은 겨울철의 온도를 적용한다. 을종 풍압하중은 기온이 -5°C 일 때 전선류의 주위에 6mm의 두께로 비중 0.9의 빙설이 부착한 경우를 예상하여 이것에 갑종 풍압하중의 1/2의 풍압을 적용한다. 병종 풍압하중은 원래 시가지와 같이 풍속이 감소되기 쉬운 지역에 적용하는 것이므로 전차선로의 경우는 겨울철의 계절풍의 영향을 고려하여 해당지역의 최저온도를 적용한다. 갑종 풍압하중은 일반개소에 기본풍속 35m/s를 특수개소(3m 이상의 제방, 교량 위, 산, 계곡 등 지형적으로 강풍이 예상되는 지역)에는 1.5배하여 50m/s로 하여 다음 식으로 계산한다.

$$P = \frac{1}{2} \rho C V_d^2 \quad (1)$$

여기서, V_d 는 설계풍속, ρ 는 공기밀도, C 는 풍력계수이며, 돌풍을 등 별도의 계수는 고려하지 않았다. 식 (1)은 개정 이전 1970년 가공송전용 철탑설계기준과 마찬가지로 전기설비기술기준(2003)에 근거한 것으로 이러한 산정방법은 일본 JEC-127(1965)을 준용한 것으로 판단된다 (한국전력공사, 2004). JEC-127(1965)의 경우 설계풍속을 고온계에서는 1961년 당시 일본에 내습했던 최대 태풍인 제2호 태풍의 오사카 공식 풍속기록인 33.3m/s(10분 평균풍속)를 기준으로 하여 일반 평야부의 풍속에서는 비공식 관측기록으로 평균 최대풍속 40m/s, 순간 최대풍속 60m/s 전후의 태풍이었다고 하여 전국에 대하여 일률적으로 40m/s를 설계풍속으로 하였다. 이것을 참조하여 우리나라의 전기설비기술기준은 기준제정 당시까지 국내 최고풍속 기록값인 포항의 34.6m/sec를 근거로 일반지역의 고온계 기본 설계풍속을 35m/sec로 정하였다. 철도설계편람 전철전력편도 마찬가지로 제정 시점까지의 최고풍속 기록값인 울진의 35m/sec를 기준으로 하였다.

일반적으로 설계풍속은 신뢰성있는 자료에 근거하여 설계 대상 구조물의 가설 지역의 풍속 특성이 반영되어야 하며, 설계목표수명 동안 발생할 수 있는 돌풍에 대해서도 충분한 안전성이 확보될 수 있도록 결정되어야 한다 (박홍석 등, 2006). 그러나 현행 기준은 급작스런 돌풍의 영향이나 중요도, 설계목표수명과 기능성 등이 고려되지 않은 단점이 있다. 경부고속철도 1단계에 적용된 바 있는 CM 66(1995)의 경우도 지역별 순간풍속을 이용하여 설계풍속을 정하였으나, 지역의 구분이 경부고속철도 구간에만 국한되어 있으며 프랑스의 건축규칙인 NV 65에 따라 상위 3위에 해당하는 풍속으로 지역별 설계풍속을 정하여 전력시설물의 설계목표수명과 중요도가 고려되지 않은 단점이 있다.

이 연구에서는 현행 설계기준의 문제점을 해결하기 위하여 표 1에서와 같이 국내외 내풍 설계기준을 비교·검토하였으며, 최근 개정된 한국전력의 배전설계기준 (2004) 및 고속철도설계기준 노반편을 참고하여 다음과 같이 풍하중 산정식을 제안하였다.

$$P = \frac{1}{2} \rho C (G V_d)^2 \quad (2)$$

여기서, V_d 는 설계기준풍속이다. 제안된 풍하중 산정식에서 설계기준풍속은 설계목표수명과 풍속의 지역별 특성 및 최근의 기후변화 특성을 고려하기 위하여 통계적 기법에 기반한 기본풍속을 근거로 결정하도록 하였으며, 돌풍의 영향과 전주의 형식에 따른 차이를 고려하기 위하여 돌풍계수 및 중요도계수를 도입하였다.

표 1. 국내외 설계 풍하중 기준

설계기준	기본풍속			계산식	돌풍계수	중요도계수
	측정시간	측정높이	재현기간			
철도설계편람 (전차선)	10분	10m	실측풍속	$\frac{1}{2}\rho CV_d^2$	없음	미반영
고속철도설계기준 (노반)	10분	10m	100년	$\frac{1}{2}\rho GCV_d^2$	1.9	미반영
한국전력 배전설계기준	10분	10m	50년	$\frac{1}{2}\alpha\beta K_i\rho C I(GV)^2$	1.35~1.5	반영
도로교설계기준	10분	10m	100년	$\frac{1}{2}\rho GCV_d^2$	1.9	미반영
도로표지관련규정집	10분	10m	100년	$\frac{1}{2}\rho GCIV^2$	1.9	반영
건축구조설계기준	10분	10m	100년	$\frac{1}{2}\rho GC(\alpha K_t IV)^2$	1.8~2.5	반영
미국 ASCE 7-05	3초	10m	50년	$0.613K_dK_zK_tGCV^2I$	기준 참조	반영
일본 표지표준도집	10분	10m	20년	$\frac{1}{2}\rho GCV^2$	1.2	미반영
프랑스 NV65	3초	10m	실측풍속	$\frac{10V^2}{16.3 \times 9.81} \times 1.75$		미반영

V : 기본풍속, α : 고도분포계수, β : 구조규모에 따른 저감계수, ρ : 공기밀도, G : 돌풍계수, C : 풍력계수, I : 중요도계수, K_i : 차폐계수, K_t : 지형에 의한 풍속할증계수, V_d : 설계기준풍속, K_d : 풍향계수, K_z : 노출계수

3. 기본풍속

바람은 지역과 시간 및 고도에 따라서도 달라지므로, 일반적으로 구조물의 설계를 위하여 기본풍속을 정하고 고도, 중요도 및 지형 등을 고려하여 풍압을 결정하고 있다. 기본풍속은 설계기준별로 상이하나 대체로 10분 또는 3초간의 평균풍속을 사용하고 있으며, 우리나라의 경우 10분을 사용하고 있다 (권순덕, 2004). 설계기준에 따른 기본풍속은 표 1에 수록되어 있다. 표 1에서 실측풍속을 이용한 철도설계편람 및 NV65의 경우를 제외한 모든 기준이 통계적인 추정법에 근거한 재현기간의 개념을 이용하여 기본풍속을 정하고 있음을 알 수 있다. 우리나라의 경우 1904년 부산, 인천, 목포에 기상관측소가 개소하여 측정을 시작한 이래 많은 기상관측소가 세워져 현재 총 76개 지점에서 관측이 이루어지고 있으나 (기상연보, 1952~2006), 1961년 이전은 인력에 의존한 관측으로 자료의 정확도가 떨어져 신뢰성있는 기록이 50년 미만이므로 단순히 최대치에 근거하여 기본풍속을 적용하는 것 보다 통계적 추정기법의 적용하는 것이 합리적이다 (조남식 등, 1994).

재현기간에 근거한 우리나라의 대표적인 설계기준은 도로교설계기준과 건축구조설계기준으로 재현기간 100년을 기준으로 하고 있으나, 두 기준 모두 1990년 대 중반까지의 풍속관측자료를 근거로 작성되어 최근의 기후환경 변화를 고려하고 있지 않다 (하영철 등, 1998, 한국도로교통협회, 2005). 특히 최근 태풍 강도가 강화됨과 동시에 빈도가 늘어나는 추세이고 (문일주 등, 2007; 김영덕, 2009) 2000년 프라피룬 (최대순간풍속 58.3m/s), 2002년 루사 (최대순간풍속 56.7m/s), 2003년 매미 (최대순간풍속 60m/s), 2005년 나비 (최대순간풍속 47.3m/s) 등 강력한 태풍이 한반도에 출현함에 따라 최근까지의 풍속기록을 고려

한 지역별 기본풍속의 결정이 필요한 상황이다.

이 논문에서는 2008년까지 전국 76개 관측소에서 측정된 풍속자료를 기초로 통계적 수법을 이용하여 기본풍속을 구하였다. 기본풍속을 추정하기 위한 자료는 전국 76개 관측소 중 통계년수가 20년 미만인 곳을 제외한 67개 지점에 대하여 1971년부터의 관측자료(최대통계년수 38년, 최소통계년수 20년)를 사용하였다. 또한 기상청의 기상연보(1952-2006)를 참조하여 관측소가 이전하거나 풍속계의 높이가 변경된 경우 (표 2 참조) 보정을 행하였고, 기상관측소가 산중턱이나 산위에 위치하는 지역 (서울, 인천, 군산, 목포, 여수, 통영, 부산, 울진, 추풍령, 울릉도)에 대하여는 다음 식으로 주어지는 지표면으로부터의 유효높이를 고려하여 풍속을 보정하였다 (하영철 등 1998). 표 2의 두 번째 줄에서 괄호 밖의 숫자는 변경이 일어난 년도이고 괄호 안은 해당년도의 관측소의 해발높이 및 풍속계의 높이이다.

$$Z_e = (H_a - \overline{H_a}) - (\overline{H} - \frac{Z_0}{k}) \quad (3)$$

여기서, Z_e 는 지표면으로부터의 유효높이 (m), H_a 는 지점의 해발높이 (m), $\overline{H_a}$ 는 지표면의 평균해발높이 (m), \overline{H} 는 건축물의 평균높이 (m), Z_0 은 주변지역의 조도장 (m), k 는 카르만정수(≒0.4)이다. 기본풍속은 하영철 등(1998)의 연구를 참조하여 다음과 같은 단계를 통하여 결정하였다.

- ① 지표면의 조도를 구분한다. 지표면의 조도는 하영철 등(1998)의 연구를 참조하여 결정하였다.
- ② 각 지점의 지표면조도구분에 따른 풍속의 연직분포계수 K_z 를 사용하여 위① 풍속을 경도풍높이 Z_G 의 값으로 환산한다 (4절 참조).
- ③ 지표면조도구분 C의 연직방향분포계수 K_z 를 사용하여 ②에서 구한 경도풍높이에서의 풍속을 지상높이 10m의 풍속으로 환산한다 (4절 참조).
- ④ ③의 풍속자료를 사용하여 우리나라의 풍속에 가장 적합한 분포형으로 알려진 (김노동 등, 1988) Gumbel의 적률법에 의해 각 지점의 100년 재현기대값을 구한다.(지표면 조도구분 C인 경우 지상10m에 있어서 100년 재현풍속으로 $V_C(100)$ 으로 나타낸다.)

Gumbel의 누적분포함수는 다음식과 같다.

$$F(V) = \exp[-e^{-a(V-b)}] \quad (4)$$

여기서, V 는 연최대풍속(m/s), a 와 b 는 분포형의 특성값으로 다음 식으로 구할 수 있다 (김영호 등, 1991).

$$a \approx \frac{1}{0.78 \times \sigma} \quad (5)$$

$$b \approx \mu - 0.45\sigma \quad (6)$$

여기서, μ 는 연최대풍속의 평균, σ 는 표준편차이다. 연최대풍속의 분포가 Gumbel의 분포형을 따른다고 가정할 때, 임의의 재현기간 T 년에 발생 가능한 기댓값과 식(2)의 누적분포함수 $F(V)$ 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$F(T) = 1 - \frac{1}{T} \quad (7)$$

식(4)를 식(7)에 대입하여 정리하고 재현기간 T 년에 발생 가능한 재현기대풍속 $V(T)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V(T) = -\frac{1}{a} \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] + b \quad (8)$$

표 3은 식(8)을 이용하여 구한 최대풍속의 재현기대값이다. 표에서 줄2는 관측소별 연최대풍속 자료의 개수, 줄3, 4는 연최대풍속 자료의 평균 및 표준편차, 줄5는 Hazen방법에 의해 도출한 관측값과 Gumbel 적률법에 의해 얻어진 누적분포함수에 의한 값 간의 오차, 줄6, 7은 이 연구를 통해 구한 재현기간 100년 및 200년의 풍속값, 줄8, 9는 이 연구에 적용된 자료를 1995년 까지와 1995년 이후로 나누어 계산했을 때의 재현기간 100년 풍속값, 줄10은 건축구조설계기준(대한건축학회, 2005)에 제시된 재현기간 100년 풍속값이다.

표 2. 전국의 관측소의 풍속관측 높이 변동 이력

관측소	변동년도 (관측소의 해발높이/풍속계 높이)
속초	71(25.8/14.4) 85(25.8/8.9) 89(17.6/11.9) 05(22.9/11.8)
철원	88(130/12.3) 89(154.9/15) 00(154.2/12.9)
동두천	98(112.5/10) 00(112.5/14.1) 06(112.5/10)
문산	02(30.1/10)
대관령	78(820/10) 86(842/10) 06(772.4/10)
춘천	71(74/10.0) 95(74/11) 98(76.8/13) 99(76.8/9.8)
백령도	01(144.4/10) 06(145.5/9.4)
강릉	71(26/9.8) 98(25.9/14.5) 00(25.9/13.8) 06(26.1/17.9)
동해	92(34.5/10) 98(39.6/10)
서울	71(85.5/11.5) 81(85.5/10.6) 00(85.5/10)
인천	71(68.9/14) 85(68.9/11) 00(68.9/14) 05(54.6/11)
원주	85(160.2/16) 87(149.5/10) 06(150.7/10)
울릉도	71(221.1/7.7) 81(221.1/10.3) 06(222.5/10)
수원	71(38.1/9.8) 87(36.9/10.6) 98(33.6/14.7) 00(33.6/20) 06(34.5/18.7)
영월	95(241.2/10) 98(239.8/10)
충주	85(50/6) 92(50/10) 95(69.4/10) 02(114.1/10)
서산	71(19.7/12.5) 81(19.7/11.8) 98(25.9/14) 00(25.2/20.2)
울진	78(49.5/13.6) 06(49.4/13)
청주	71(59/11) 98(57.4/18.7) 03(57.4/10)
대전	71(77.1/8)83(77.1/10)85(77.1/10.4)98(68.3/17.9)00(68.3/22.8)05(62.6/22.8)
추풍령	71(245.9/13.8) 87(245.9/16.3) 00(242.5/20.7) 06(242.2/9.5)
안동	86(139.3/15.5) 00(139.4/10)
상주	02(99.9/10) 05(98/10)
포항	71(5.6/10.8)87(5.6/15.5)93(2.5/13.2)98(1.9/13.2)00(1.9/15.2)04(1.3/13.2)06(1.3/15.4)
군산	71(26.3/14.5) 00(25.6/18) 03(26.9/15.3) 04(26.9/18)
대구	71(57.8/22.1)87(57.8/23.6)98(57.6/18.2)00(57.6/10)04(57.6/18.2)06(57.3/10)
전주	71(51.2/8.9) 98(53.5/18.4) 05(61.1/18.4)
울산	71(31.5/10.8) 98(34.7/16.4) 00(34.6/12.2)
마산	85(7.4/12.3) 86(4.5/19.5) 98(3.3/19) 00(11.3/17.6) 04(36.8/10)
광주	71(70.9/15.4) 92(70.3/17.5) 05(74.5/17.5)
부산	71(69.2/17.8)
통영	71(32.2/14.9) 81(32.2/11.5) 98(30.8/15.2)
목포	71(53.4/15.8) 98(37.9/15.5)
여수	71(67/10.5) 98(66.1/20.8)
흑산도	97(73.8/13.2) 00(79.4/10) 04(79.4/25) 05(68.5/25) 06(68.5/9)
완도	85(14.7/15.4) 98(34.9/15.4) 05(27.7/15.4)
진도	02(476.4/10)
제주	71(22/10.5) 85(22/11.5) 87(22/12.3) 98(20/14.4) 04(19.9/12.3)
제주고산	88(70.9/10)
서귀포	71(51.9/8.9) 81(51.9/9.2) 85(51.9/10) 98(50.4/10.0)
진주	71(25.0/6) 81(21.5/10) 05(27.1/10)
강화	85(25/6) 90(46.4/6) 92(46.1/10)
양평	85(80/6) 87(45/6) 92(49/10.3) 00(47.4/10)
이천	85(75/6) 92(75/10.1) 98(68.5/10) 00(77.8/10) 05(90/10)
인제	85(199.7/6) 92(198.7/10)
홍천	85(134/6) 90(141/6) 92(141/10) 00(140.6/12.5) 05(146.2/13)
태백	87(710/10) 98(710/13) 00(714.2/16)
제천	85(220/6) 92(220/10) 98(264.4/10) 00(263.2/13.3)
보은	85(170/6) 92(170/10) 00(173/10)
천안	85(24.5/6) 92(24.5/10) 98(22.2/10) 00(24.9/22) 06(21.3/10)
보령	85(33/6) 92(33/10.5) 00(15.3/22) 06(17.9/9.8)
부여	85(16/6) 92(16/10) 00(11/9.5)

표 2. 전국의 관측소의 풍속관측 높이 변동 이력 (계속)

관측소	변동년도 (관측소의 해발높이/풍속계 높이)
금산	85(140/6) 87(170.7/6) 92(170.6/10.1)
부안	85(6/6) 88(7/6) 92(7/10.1) 00(10.7/10.1) 05(3.6/10)
임실	85(225/6) 87(244/6) 92(244/11) 00(248/10)
정읍	85(30/6) 92(40.5/10.4) 00(44.1/18.4) 05(39.5/10)
남원	85(115/6) 92(115/10) 95(89.7/10)
장수	89(409.3/6) 92(407/10)
순천	85(74/10) 00(74.4/14) 04(74.4/12)
장흥	85(40/6) 92(40/10) 00(44.5/14.3)
해남	85(37.5/6) 92(37.5/10) 95(22.1/10) 00(13.7/10) 05(4.6/10)
고흥	85(32.5/6) 92(32.4/10) 95(60/10) 00(53.3/10) 05(62.8/10)
성산포	85(10.7/6) 92(17.5/10.2) 00(18.4/10)
봉화	88(305.0/6) 92(305/10) 00(321.5/13) 04(320.9/10)
영주	85(170/6) 92(210.5/10)
문경	85(91/6) 92(170.8/10)
영덕	85(55/6) 92(55/10) 93(41.2/10)
의성	85(73/6) 92(73/10) 00(82.6/10)
구미	85(40/6) 92(40/9.6) 98(47.4/10)
영천	85(80/6) 92(91.3/10) 00(93.3/10)
거창	85(224.9/6) 92(221.4/10)
함천	85(30.9/6) 92(30.9/10) 95(33/10)
밀양	85(12.5/6) 92(10.7/10)
산청	85(106.6/6) 92(141.8/10) 00(138.6/16.5) 06(138.7/10)
거제	85(12/9.6) 92(12/12.3) 98(41.5/10) 00(44.5/10)
남해	85(15/16) 92(49.8/10) 00(43.2/10)

Hazen의 방법은 Gumbel 확률지를 이용하여 분포형의 특성값을 구할 때 비초과확률을 추정하는 방법 중 하나로 Gumbel 분포와 가장 잘 부합되는 것으로 알려져 있으며 (김영호 등, 1991) 다음과 같다.

$$F(V_i) = 1 - \frac{2i-1}{2N} \quad (9)$$

표 3의 줄5는 Hazen방법에 의해 도출된 관측값과 Gumbel의 적률법에 의해 구한 누적분포함수에 의한 값 간의 오차로서 다음 식 (10)으로 구하였다.

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} / \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right) \quad (10)$$

표 3에서 1995년을 기준으로 자료를 분류한 것은 대한건축학회의 재현기대값이 1995년까지의 자료를 근거로 작성되었기 때문이다. 표에서 1995년 이후 풍속의 증가로 인하여 총 29개 위치에서 대한건축학회의 재현기대값보다 높은 값이 구해졌으며, 이는 재현기대 풍속을 구한 전체 67개의 43%에 해당한다. 기대풍속이 상승한 지역은 대체로 남부지방이었으며, 통영, 여수, 보령, 부안, 고흥을 포함한 해안지역에서는 대한건축학회의 재현기대값보다 20% 이상 높은 값이 구해졌다.

표 3. 연최대풍속의 재현기대값

지명	N	\bar{V}	σ	E	V (100)	V (200)	95이전 (v100)	95이후 (v100)	건축학회 (v100)
속초	38	18.25	4.27	0.082	31.67	33.99	30.30	31.15	34.97
철원	21	11.43	2.19	0.121	18.30	19.49	20.46	16.99	
대관령	38	18.52	4.07	0.136	31.34	33.52	32.43	28.06	
춘천	38	12.03	2.97	0.129	21.37	22.98	22.54	15.66	22.83
강릉	38	20.21	3.23	0.075	30.35	32.11	31.45	26.96	35.29
서울	38	13.91	2.46	0.067	21.66	23.00	21.82	18.13	25.19
인천	38	15.22	2.61	0.059	23.44	24.86	24.09	20.39	27.72
원주	38	9.40	1.58	0.082	14.38	15.24	14.23	13.78	
울릉도	38	21.80	5.07	0.104	37.73	40.49	38.69	32.07	41.90
수원	38	14.60	2.66	0.101	22.95	24.40	22.24	23.26	23.45
충주	37	11.40	2.43	0.148	19.04	20.36	18.02	16.55	17.78
서산	38	18.29	2.97	0.124	27.64	29.26	28.51	24.44	30.07
울진	38	15.59	3.92	0.073	27.90	30.03	26.76	29.09	27.98
청주	38	16.47	4.31	0.090	30.01	32.36	30.59	25.09	31.14
대전	38	16.81	3.22	0.165	26.94	28.70	25.51	27.06	28.75
추풍령	38	14.35	2.65	0.097	22.68	24.12	22.79	20.09	19.44
안동	33	11.27	3.68	0.105	22.85	24.85	25.97	15.68	
포항	38	19.57	4.99	0.111	35.24	37.95	34.70	26.39	40.24
군산	38	22.89	4.48	0.113	36.97	39.41	35.88	28.66	37.77
대구	38	16.59	2.65	0.079	24.94	26.38	23.54	26.20	24.06
전주	38	13.75	2.99	0.093	23.14	24.77	24.72	19.51	23.49
울산	38	12.78	2.79	0.088	21.57	23.09	22.52	18.79	32.24
마산	24	17.49	5.39	0.113	34.41	37.33	33.62	35.63	33.82
광주	38	17.85	3.16	0.058	27.77	29.49	25.72	31.02	29.46
부산	38	23.04	3.94	0.119	35.42	37.56	35.28	33.72	36.49
통영	38	25.07	5.16	0.103	41.27	44.08	38.43	42.88	33.03
목포	38	20.22	3.42	0.098	30.96	32.81	31.24	30.10	30.24
여수	38	22.74	4.65	0.064	37.35	39.88	34.00	40.87	30.13
완도	38	17.18	5.55	0.143	34.62	37.63	31.36	34.37	30.84
제주	38	24.64	5.41	0.107	41.64	44.58	35.73	49.32	36.10
고산	21	29.92	7.67	0.113	54.01	58.17	28.81	57.53	
서귀포	38	17.19	4.12	0.069	30.14	32.38	31.13	27.52	32.08
진주	38	12.94	2.40	0.080	20.50	21.80	19.74	20.84	19.44
강화	36	10.36	1.95	0.062	16.50	17.56	17.12	15.40	
양평	36	14.17	2.80	0.136	22.98	24.50	22.77	21.25	23.21
인제	36	15.40	2.28	0.064	22.57	23.81	22.82	19.91	23.41
홍천	36	11.47	1.66	0.069	16.70	17.60	16.60	17.07	16.50
태백	24	14.63	2.75	0.070	23.26	24.75	23.37	23.15	
제천	36	10.45	1.85	0.086	16.27	17.28	16.91	14.99	16.70
보은	36	10.52	1.64	0.129	15.68	16.58	13.75	17.46	13.58
천안	36	14.09	2.42	0.100	21.69	23.00	20.41	23.76	
보령	36	14.11	2.93	0.134	23.31	24.90	23.86	21.31	17.26
부여	36	11.13	2.52	0.104	19.05	20.42	17.63	21.16	
금산	36	9.75	1.93	0.062	15.84	16.89	15.26	16.31	15.70
부안	36	12.10	1.97	0.063	18.30	19.38	16.77	20.15	13.48
임실	36	9.68	2.21	0.081	16.64	17.85	13.90	19.83	15.04
정읍	36	9.03	2.69	0.155	17.49	18.96	15.24	20.82	15.58
남원	36	11.10	2.72	0.145	19.64	21.12	15.93	24.03	15.82
장수	21	10.90	1.85	0.156	16.72	17.72	14.17	17.99	
순천	36	9.79	1.62	0.072	14.91	15.79	14.57	15.60	14.84
장흥	36	13.58	3.24	0.075	23.78	25.54	20.95	26.74	20.94
해남	36	14.27	3.13	0.065	24.11	25.81	18.97	26.57	20.79
고흥	36	11.76	4.38	0.177	25.53	27.91	24.99	26.86	19.48
봉화	21	9.13	1.12	0.180	12.67	13.29	12.14	13.07	
영주	36	15.30	2.50	0.080	23.16	24.52	22.30	24.28	21.93

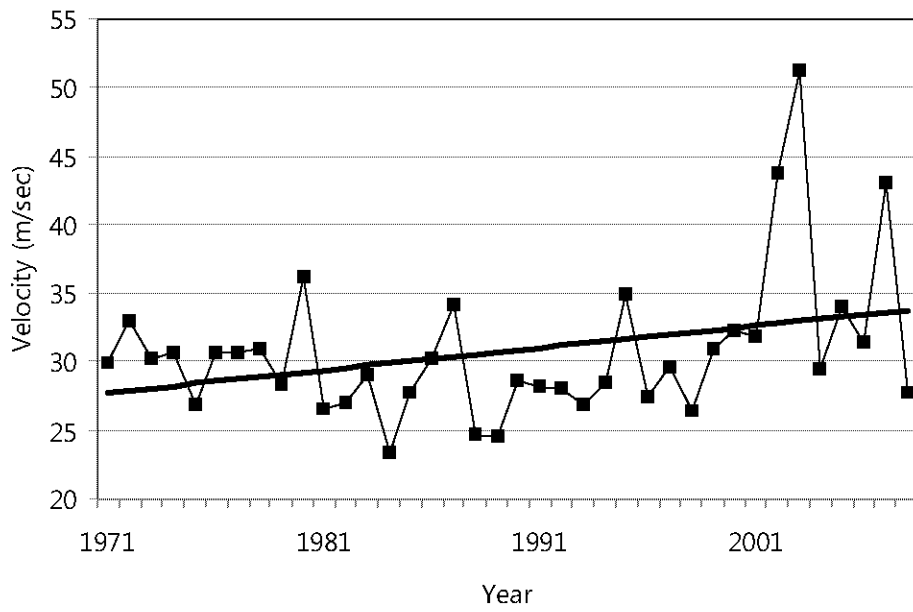
표 3. 연최대풍속의 재현기대값 (계속)

지명	N	\bar{V}	σ	E	V (100)	V (200)	95이전 (v100)	95이후 (v100)	건축학회 (v100)
문경	36	11.85	2.60	0.067	20.03	21.45	21.43	16.39	
영덕	36	14.35	2.74	0.076	22.97	24.47	23.34	22.13	23.72
의성	36	11.16	1.66	0.141	16.38	17.29	16.59	15.46	17.40
구미	36	12.85	3.46	0.187	23.71	25.59	22.29	16.20	21.81
영천	36	15.67	3.07	0.070	25.33	27.00	24.94	25.87	24.43
거창	36	10.52	2.10	0.064	17.14	18.29	17.26	18.00	16.28
합천	36	10.57	2.66	0.090	18.95	20.39	15.58	23.29	15.33
밀양	36	12.40	2.92	0.083	21.57	23.16	19.77	24.13	19.47
산청	36	11.49	2.10	0.074	18.08	19.22	17.68	18.06	17.43
거제	36	15.50	3.53	0.076	26.61	28.53	27.45	23.68	31.75
남해	36	12.56	3.01	0.115	22.02	23.66	23.22	19.48	25.93
이천	36	8.47	1.91	0.111	14.77	15.81	13.44	16.72	12.14

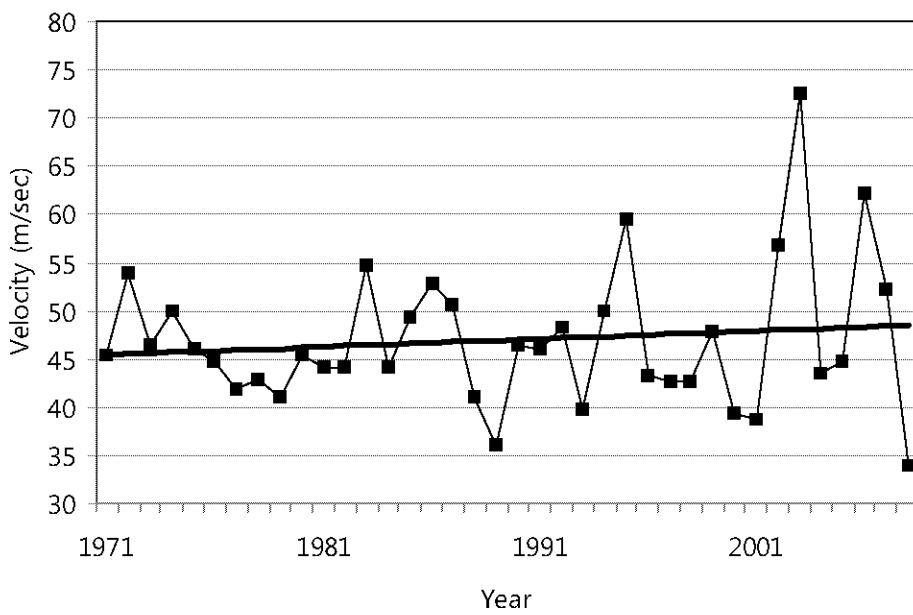
최근의 기후환경변화에 따른 풍속의 증가는 최대풍속 및 최대순간풍속의 극값의 변화추이를 나타낸 그림 1에서도 확인할 수 있다. 이러한 풍속의 증가추세를 감안할 때 연최대풍속의 재현기간은 한국전력의 배전설계기준의 50년 보다는 고속철도설계기준의 100년이 합리적일 것으로 판단된다. 그러므로 기본 풍속은 재현기간 100년, 최대풍속비초과확률 60% 이상에 대응되는 지상 10m에서의 10분간 평균풍속으로 하였으며, 표 3의 재현기대풍속값을 이용하여 표 4와 같이 주요지역의 기본풍속을 결정하였다.

표 4. 주요지역의 기본풍속

Zone	기본풍속 (m/s)	지 역	
I	30	내륙	철원, 춘천, 서울, 수원, 원주, 충주, 대전, 추풍령, 안동, 대구, 전주, 울산, 광주, 진주, 강화, 양평, 인제, 홍천, 태백, 제천, 보은, 천안, 부여, 금산, 임실, 정읍, 남원, 장수, 순천, 장흥, 해남, 고흥, 봉화, 영주, 문경, 영덕, 의성, 구미, 영천, 거창, 합천, 밀양, 산청, 이천
II	35	동해안 서해안	울진, 속초, 대관령, 강릉, 인천, 서산, 보령,
III	40	서남해안 남해안 동남해안	목포, 완도, 군산, 부안, 진도, 해남, 장흥, 고흥 마산, 여수, 남해 포항, 부산, 울산
IV	45	남해안, 제주지역 특수지역	통영, 거제, 제주도 울릉도



(a) 최대풍속



(b) 최대순간풍속

그림 1. 최대풍속 및 최대순간풍속의 극값의 변화추이

4. 설계기준풍속: 고도 및 노출환경에 따른 영향의 보정

3절의 기본풍속은 개활지에서 지상으로부터 10m를 기준으로 하므로 구조물의 높이가 높아지거나

노출환경이 변화할 경우 적절한 보정이 필요하다. 고도와 노출환경에 대한 보정은 국내외 여러 내풍 설계기준에서 고려되고 있으며 이 중 도로교설계기준, 건축구조설계기준, 항공송전용 철타설계기준 및 미국 ASCE 7-05를 비교한 결과 고도 및 노출환경계수는 정성적으로 고도에 따라 증가하는 동일한 경향을 보였으나 고도가 높아질수록 각 기준에 따라 다소 큰 차이를 보이는 것으로 보고된 바 있다 (박홍석 등, 2006). 이 논문에서는 노출환경 측면에서 가장 유사할 것으로 판단되며 고속철도설계기준과 동일한 도로교설계기준에 제시된 계수값을 다음과 같이 적용하였다.

$$K_z = 1.925 \left(\frac{Z}{Z_G} \right)^\alpha, \quad Z \geq Z_b \quad (11a)$$

$$K_z = 1.925 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha, \quad Z < Z_b \quad (11b)$$

여기서, Z_G , Z_b , α 는 가설지점 주변지역의 지표면의 거친정도, 즉 지표조도에 따라 달라지며 선로에 가설되는 전주 등의 구조물의 경우 표 5로부터 결정된다. 식 (2)의 설계기준풍속 V_d 는 식 (11)을 이용하여 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$V_d = K_z V \quad (12)$$

표 5. 지표조도 구분에 의한 Z_G , Z_b , α

지표조도	Z_G (m)	Z_b (m)	α
I	500	5	0.12
II	600	10	0.16

5. 공기밀도

공기밀도는 기온과 기압에 따라 달라지며 식 (13)에 따라 산출하거나 고온계 0.1195 kgf·s²/m⁴, 저온계 0.131 kgf·s²/m⁴, 울릉도 0.115 kgf·s²/m⁴ 를 표준으로 한다 (한국전력, 2004).

$$\rho = \frac{1.293 \times 273}{T + 273} \times \frac{H}{760} \times \frac{1}{9.8} \quad (12)$$

여기서, $T(^{\circ}\text{C})$ 는 기온이며 $H(\text{mmHg})$ 는 기압이다.

6. 돌풍계수

자연상태의 바람은 풍속 및 풍향이 수시로 변화하는 난류이므로 평균풍속에 의한 항력외에도 변화하는 풍속에 의한 변동항력이 작용한다 (박홍석 등, 2006). 우리나라는 1900년대 초부터 10분간 평균풍속을 측정하여 왔으며 순간풍속은 1960년대부터 측정하기 시작하였다. 가공송전용 철탑기준은 소규모 지지물의 경우 2초간의 풍속, 대규모 지지물의 경우 5초간의 순간풍속에 취약한 것으로 조사되어 풍압설계식에 순간풍속이 고려되어야 함을 기술하고 있다. 일반적으로 10분간의 평균풍속을 사용하는 설계풍압식은 순간풍속을 돌풍계수(또는 거스트계수)로 고려하고 있으며 (표 1 참조), 순간풍속과 10분간의 평균풍속(또는 최대풍속)의 비율(돌풍률)로 돌풍계수값을 결정하고 있다 (권순덕, 2004). 이러한 돌풍계수 값은 표 1에서 보이는 것과 같이 도로관련 기준과 고속철도설계기준은 1.9, 가공송전용 철탑기준은 1.8에서 2.25 사이, 건축구조설계기준은 1.8에서 2.5 사이의 값을 제시하고 있다. 윤성원 등(2008)은 가공송전용 철탑기준이 제시한 바와 같이 최대풍속이 증가함에 따라 돌풍률이 감소하는 경향이 있음을 제시한 바 있다. 이 연구에서는 이러한 연구결과를 참조하여 가공송전용 철탑기준에 따라 다음과 같이 돌풍률 산정식을 제안하였다.

표 6. 기본풍속별 돌풍률

기본풍속(V, m/s)	돌풍률(G)
20이하	1.50
20~30	1.70-0.01V
30~40	1.55-0.005V
40이상	1.35

7. 풍력 및 중요도계수

풍력계수는 구조물의 기하학적 형상에 따라 결정되는 값이므로 기존의 철도설계편람의 값을 그대로 적용하는 것으로 제안하였다. 중요도계수는 적용된 설계풍속이 설계 대상 구조물의 기능성, 사회성, 경제성 등에 따른 설계목표수명 만큼의 재현기간에 부합되도록 보정하기 위하여 적용한다. 전차선로 지지물의 경우 크게 단주식과 문형식이 있으나 설계수명 목표에 차이가 없으므로 중요도계수를 적용하지 않는 것이 합리적인 것으로 판단하였다.

8. 결 론

이 논문에서는 최근까지 전국의 기상관측소에서 측정된 풍속자료와 국내외 여러 풍하중 산정기준을 참조하여 전력시설물의 설계에 적용할 수 있는 풍하중 산정식을 제안하였다. 제안된 식의 기본풍속은 재현기간 100년, 최대풍속비초과확률 60% 이상에 대응되는 지상 10m에서의 10분간 평균풍속으로 하였으며 지역별 편차를 감안하여 4개의 권역으로 구분하였다. 설계기준풍속은 고도 및 노출환경에 따른 영향을 감안하여 결정하는 것으로 하였으며, 돌풍계수는 최대풍속의 평균값과 돌풍률 간의 관계를 이용하여 최대풍속의 평균값에 따라 결정할 수 있도록 하였다. 이외 설계목표수명의 차이를 고려하기 위한 중요도계수는 적용하지 않는 것으로 하였다.

제안된 풍하중 산정식은 전차선로 지지물을 포함한 전력시설물의 설계에 적용될 수 있도록 가능한 자료를 참조하여 작성하였으나, 기본풍속 결정 시 지표면의 조도에 관한 자료 등 대부분의 자료를 15년 이전의 것에 의존할 수 밖에 없어 불가피하게 불확실성이 포함되었다. 보다 합리적인 설계식을 위해서 추

후 이러한 부분에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 기상청 (1952~2006), “기상연보.”
2. 대한건축학회 (2005), “건축구조설계기준.” 건설교통부 고시.
3. “전기설비기술기준.” 산업자원부고시 제 2003-24호.
4. 한국도로교통협회 (2005), “도로교설계기준.” 국토해양부.
5. 한국전력공사 (2004), “가공송전용 철탑설계기준.” 송전편 설계기준-1111.
6. 한국철도시설공단 (2004), “철도설계편람 (전철전력편: 전차선).”
7. 한국철도시설공단 (2007), “호남고속철도 설계지침 (노반편).”
8. Korea TGV Consortium (1995), “Basic Environmental Data for Catenary Design.”
9. 권순덕 (2004), “태풍 매미에 대한 몇가지 오해.” 대한토목학회지, Vol. 52, No. 2, pp. 32-34.
10. 권원태 (2008), “국제적 기후변화 현황.” 국제평화, Vol. 5, No. 1, pp. 37-65.
11. 김노동, 최영규 (1988), “풍하중 산정시의 설계기본풍속에 관한 연구.” 대한건축학회논문집, Vol. 4, No. 2, pp. 123-129.
12. 김양수, 유해출 (1999), “전기철도구조물공학.” 동일출판사.
13. 김영덕 (2009), “기본풍속도 정비 및 돌풍에 의한 풍환경 방지대책.” 이상기후에 대비한 시설기준 강화 연구단: 4차년도 성과발표회, pp. 251-267.
14. 김영호, 김하림, 이광열, 김규석 (1991), “확률밀도함수에 의한 재현기대 풍속의 산정.” 대한건축학회학술발표논문집, Vol. 11, No. 2, pp. 433-436.
15. 문일주, 최의수, 심재설, 박광순 (2007), “기후변화에 따른 한반도상륙 태풍강도 변화.” 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, pp. 312-313.
16. 박홍석, 구현본 (2006), “도로표지의 구조안전성 확보를 위한 설계개선방안.” 건설기술정보, Vol. 11, No. 7.
17. 윤성원, 김도현, 김동원, 김영문 (2008), “고층건물 현장계측을 통한 거스트 계수 제안.” 한국공간구조학회지논문집, Vol. 8, No. 1, pp. 69-76.
18. 조남식, 하영철, 정수일 (1994), “설계용 기본풍속분포도의 추정에 관한 연구.” 대한건축학회논문집, Vol. 10, No. 10, pp. 247-258.
19. 하영철, 김종락, 김규석 (1998), “건축물 설계용 기본풍속분포도.” 대한건축학회논문집, Vol. 14, No. 8, pp. 75-83.