2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2007. 7. 18 - 20

송전용 풍하중 설계기준 합리화를 위한 기술검토

신구용*, 이동일*, 신태우*, 최진성**, 방항권***
* 전력연구원, **한국전력공사 송변전처, ***한국전력공사 중앙교육원

Study on the Design Standard for the Wind Resistant on Transmission Tower

Koo-Yong Shin*, Dong-IL Lee*, Tae-Woo Shin*, KEPRI
Jin-Sung Choi**, Hang-Kweon Bang***, KEPCO

Abstract - 본 논문에서는 국가의 기간 에너지원인 전력망을 구성하는 구조물인 송전철탑의 설계하중에 가장 큰 요인으로 작용하는 기준풍속 산정을 위한 연구내용을 고찰하고자 한다. 현행의 송전용 지지물 설계기준은 전기설비기술기준에 고시된 가공전선로 지지물에 관한 기준을 토대로 전력사의 실무적인 설계를 위하여 보다 구체화하여 작성된 한국전력공사 송전설계기준에 근거하고 있다. 이러한 기존 설계기준은 1985년 이전의 기상자료를 토대로 제정되어 본 논문에서는 1980년대 후반부터 약 20년간의 기상청의 풍향, 풍속자료를 추가로 확보하고 이를 분석하여 재현기간을 반영한 지역별 설계기준 풍속 Map을 제시하였다. 이러한 흐름으로 최근의 기상자료를 포함하여 보다 정확한 분석을 도모하고, 사회 환경의 급변함에 따라 우려되는 기상이변 등을 고려한 안전성과 경제성이 향상된 기준풍속 산정과정을 고찰하고, IEC 등 해외 주요국의 풍하중 설계기준에서 반영하고 있는 국부지형을 고려한 설계방법에 대한 국내 기준 적용성 평가를 위한 비교분석 결과를 소개하였다.

1. 서 론

국내의 송전선 지지물 설계는 전기설비기술기준(산업자원부 고시 제2001-146호)에 고시된 가공전선로의 지지물에 관한 기준을 토대로 보다 실무적으로 작성된 한국전력공사 송전설계기준-1111에 근거하여 수행되고 있다. 특히 풍하중 설계기준 분야는 1986년 한국전력공사 기술연구소에서 발간한「송전철탑 설계풍속에 관한 연구」에 근거하여 1987년 6월 전면 개정하였다. 이러한 국내 설계지침은 1985년 이전의 기상자료를 토대로 산정된 설계풍속을 기준으로 제정되어 있어, 최근 20년간 급속한 국토개발에 의해 설계풍속을 결정하는 지역별 조도구분이 변화되었고 매년 국내에 큰 피해를 주고 있는 태풍의 규모가 점점 증가하고 있는 상황에서 풍속자료의 갱신과 설계풍속 산정방법에 대한 재검토가 요구되었다. 따라서 본 논문에서는 현재 적용중인 설계기준을 개략적으로 이해하고 최근 20년간의 기상청의 자료를 추가하여 기상청 개설 이래의 종합 DB를 구축하고 이를 토대로 송전선로에 적용되는 풍하중 산정을 위한 설계풍속 Map을 도출하는 과정을 고찰하였다.

또한 최근 풍공학을 비롯한 관련분야의 기반기술 개발에 따라 IEC 등 해외 주요국의 풍하중 설계기준과 국내의 건축물 하중기준 등 타분야의 관련 기준이 합리적인 관점으로 보완되는 상황이다. 특히 국제 기준과 해외 주요국에서 적용하고 있는 국부적 지형 및 토지 활용상태를 고려한 설계기준은 지금까지 국내에서 적용되어 온 지역구분으로 기준 속도압을 결정하는 설계방법과 비교할 때 기술적 접근방법이 크게 다르다. 따라서 중장기적으로 해외 기준을 토대로 국내 기준에 반영할 경우 향후 송전설계 기술분야 전반에 미치는 영향이 상당히 클 것으로 전망되므로 해외의 풍하중 설계흐름을 이해하는 것은 매우 중요하다. 좀 더 구체적으로 표현하면 기준속도압을 크게 세 개의 지역구분으로 적용하던 국내의 풍하중 설계조건이 송전선로의 지지물 기별 설계조건으로 바뀌게 되며 이 경우 설계의 합리성은 제고될 수 있으나 지지물이 설치되는 경과지 예상 위치의 지형조건, 토지의 이용실태 등 설계조건에 기본적으로 전제되어야 하는 다양한 정보를 광범위하게 확보하고 이를 유체해석 시뮬레이션 등으로 분석하여 설계하중을 구하게 된다. 이는 송전지지물 설계 실무자가 활용하기 어려운 설계하중 설정 과정이 필요함을 의미하며, 이를 일반화하기 위한 이론적 정립이 요구된다. 본 논문에서는 향후 송전설계 관련 기술에 파급을 고려할 때 우선 선행되어야 하는 이러한 풍하중 설계기준의 개념적인 차이를 고찰하고자 한다.

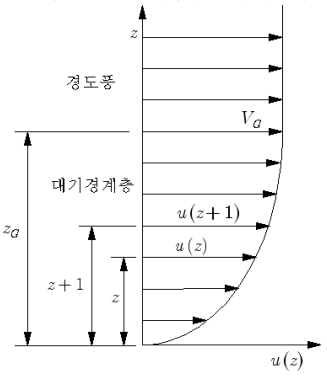
2. 본 론

2.1 풍하중 산정을 위한 기상관측 자료 [1)]

기존의 송전지지물 풍하중 기준의 보완을 위하여 기상청의 기상관측 개시 이래 2005년도까지 전체기간의 풍향, 풍속 자료를 취득하는 과정과 본 논문에서 제시하는 설계용 기준풍속의 개념을 고찰하기 위하여 우선 자연풍의 특징과 기상자료의 통계적 처리과정을 파악한다.

2.1.1 자연풍의 특성

일반적으로 기압의 차이에 따른 공기의 수평적인 움직임을 바람이라 하며, 이 수평방향의 공기의 움직임을 일으키는 주된 힘은 지표 각부의 태양열로 인한 가열이 다르기 때문에 형성되는 기압장내에서의 기압차이에 의한 힘인 기압경도력(Pressure Gradient Force), 지구의 곡률 및 자전에 의한 힘, 그리고 원심력 등이다. 이들 힘이 평형상태일 때 경도풍(Gradient Wind)이라 부른다. 이 경도풍은 지표면의 거칠기가 다름에 따른 마찰로 바람이 감속하는 정도가 달라진다. 이러한 지표상 바람의 형상을 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 V_G는 경도풍속이고, 경도풍속에 도달하는 지상고 Z_G를 경도풍높이(Gradient Height)라고 부른다. 이 경도풍높이는 지형, 시간적, 공간적 공기의 상태 등에 따라 달라지며, 지표로부터 경도풍높이까지를 대기경계층이라 부른다.



〈그림 1〉 자연풍의 형상

2.1.2 년최대풍속자료

철탑구조물의 풍압산정시 대상이 되는 것이 순간최대풍속이다. 우리나라는 10분간평균풍속의 측정기록은 많으나 순간최대풍속 기록은 적으므로 평균최대풍속을 순간최대풍속으로 환산하여 이용하는 것이 필요하고 또한 우리나라는 겨울부터 초봄의 온대성 저기압과 여름부터 가을까지의 열대성 저기압의 영향으로 나타나는 태풍의 피해가 심한 아시아 계절풍지역에 속하므로, 송전 지지물 설계를 위한 풍속자료는 풍속측정년도별, 각 기상관측소의 자료를 4~11월 고온계와 12~3월 저온계로 구별하여 풍속측정기구의 높이를 조사하여 적용하고 있다. 다음은 송전지지물 설계보완을 위하여 이용하는 2005년도까지 확보한 기상자료의 범위를 요약한 것이다.

- 조사대상 : 76개 기상관측소
- 조사년도 : 관측개시년도~2005년
- 조사구분 : 고온계(4~11월), 저온계(12~3월)
- 조사장소 : 기상청 민원실
- 조사내용 : 일최대평균풍속/풍향, 일최대순간풍속/풍향, 기상관측소 경도 및 위도, 풍속계 높이

2.1.3 지표면 조도구분

각 기상관측소마다 풍속측정을 위한 풍속계의 높이가 다르고 동일한 기상관측소라 할지라도 그 높이가 인근지역 개발 등의 사유로 변경되는 경우가 있으므로, 측정된 풍속을 비교, 분석하기 이전에 하나의 기준높이의 풍속으로 환산하는 것이 선행되어야 한다. 또한 풍속은 지표면 가까이에서는 마찰때문에 감소하고 상공으로 올라갈수록 증가한다. 풍속의 고도분포를 나타내는 관계식에는 대수법칙(Logarithmic Profile)과 지수법칙(Power Law)이 있으며, 경험적으로 유도된 식으로

시가지와 같이 지표면조도가 큰 곳은 물론 지상 150m 정도까지의 실측 결과와도 잘 일치하여 세계 각국에서 이를 널리 채용하고 있는 지수법칙을 이번 연구에서는 적용하였으며 다음 식으로 주어진다.

$$V(Z) = V_{Z_0}\left(\frac{Z}{Z_0}\right)^{\alpha}$$

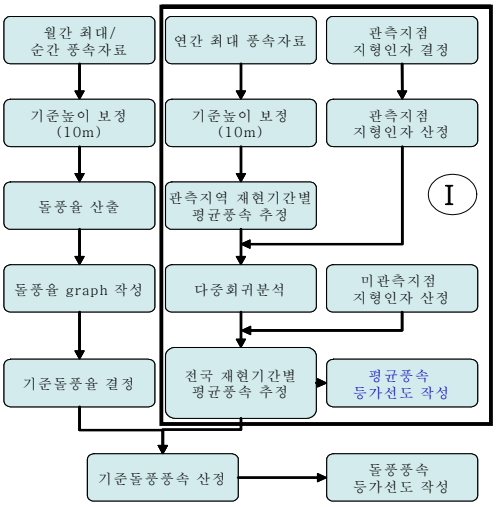
여기서, $V(Z)$: 높이 Z에서의 평균풍속(m/s)

V_{Z_0} : 기준이 되는 높이 Z_0에서의 평균풍속(m/s)

α : 풍속의 고도분포지수, 지표면조도에 따라 결정되는 정수[2)]

2.2 재현기간별 전국 평균풍속등가선도 개정

본 절에서는 위와 같이 파악된 기상청의 기상관측 자료를 바탕으로 국내의 송전철탑의 설계풍속을 산정하는 과정을 그림 2와 같은 흐름도와 같이 소개한다.[3)] 이번 논문에서는 연간최대풍속을 취득하여 기준높이로 보정하고 다중상관회귀분석을 적용하여 미관측지역의 예상풍속을 추정함으로서 전국재현기간별 평균풍속을 구해 작성한 평균풍속등가선도 작성과정과 그 결과를 고찰한다.



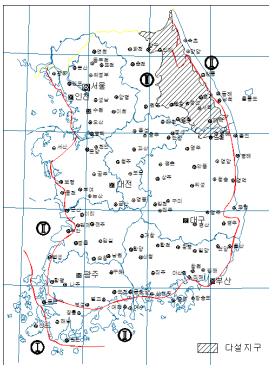
〈그림 2〉 송전용 지지물 설계풍속 산정 흐름도

2.2.1 기존의 송전 지지물 풍하중 설계기준

현재 적용되고 있는 지역별 풍하중 설계기준을 보면 아래 표 1과 같다. 기존의 송전용 지지물 풍하중 설계기준은 주로 태풍에 의하여 최대풍속이 결정되는 4~11월 고온계와 지지물 및 송전선에 착빙에 의하여 수풍면적이 증가하는 12~3월 저온계로 구분하여 최대풍압을 검토하고 돌풍풍속(순간최대풍속)의 크기에 따라 Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ 및 울릉도 지역으로 구분하여 정하고 있다.

〈표 1〉 송전철탑 지역별 풍하중 설계기준

지역구분		기준 속도압 (kg/㎡)	최대풍속 (㎧) 10분 평균	최대풍속 (㎧) 순간	돌풍율
고온계	1지역	117	40.0	54.0	1.35
	2지역	100	36.6	50.0	1.37
	3지역	76	31.7	43.7	1.38
	울릉도	150	46.4	62.7	1.35
저온계	다설지역	30	-	26.3	-
	기타지역	38	20.2	29.5	1.46



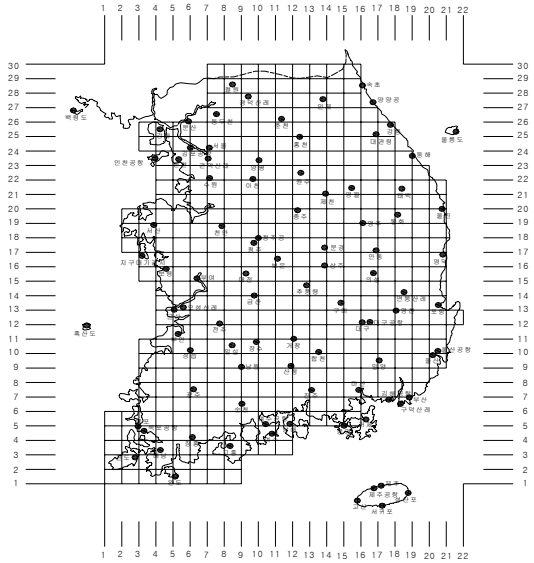
2.2.2 재현기대값의 추정 및 미관측지역의 풍속추정

년최대풍속의 관측자료에 의거하여 임의의 재현기간에 대한 풍속을 산정하는 방법에는 몇 가지 이론이 있으나 우리나라의 경우 건축물하중기준 등 관련규정에서 주로 년최대풍속의 누적분포함수로 Gumbel 2중지수분포가 적용되었다.[4)] 구조물의 설계용 재현기간은 10년 이상이 보통이므로 충분히 긴 기간의 관측자료가 필요하고 최저 20개의 년최대풍속의 관측자료가 요구되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서도 통계년수가 20미만인 기상관측소를 제외하고 나머지 기상관측소의 기상자료를 이용하여 재현기대값을 추정하였다.

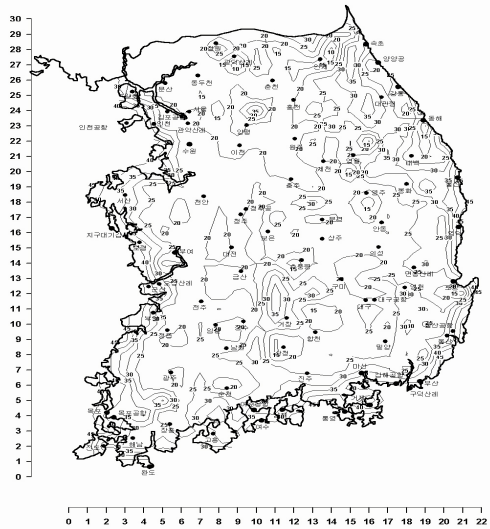
또한 우리나라 전국에 대한 풍속등가선도를 작성하기 위해서는 기상관측소가 없는 지역, 즉 미관측지역에 대한 풍속을 추정하여야 한다. 우리나라에 있는 기상관측소는 모두 76개소에 불과하므로 관측자료만을 이용해서 풍속도를 작성하는 것은 부정확하므로 각 기상관측소에서의 풍속과 풍속에 가장 지배적인 영향을 미치는 18개의 지형인자를 설정하고 이들 간의 상관계수를 구하여 미관측지역에 대한 풍속을 추정하게 된다.[5)] 이러한 상관계수를 구하기 위한 해석은 종속변수와 독립변수 간의 선형모형으로 계수화하는 방법으로 독립변수가 2개 이상임으로 다중회귀분석을 적용하였다. 회귀분석방법으로는 비교적 단순한 최소자승법을 적용하였으며, 기존 기준에 따라 독립변수는 18개의 지형인자로 채택하고 종속변수는 풍속으로 하는 다중선형회귀분석(Multiple Linear Regression Analysis)으로 분석하였으며, 구해진 지형인자와 추정 풍속값간의 회귀분석에 대한 결과의 정밀도 검증은 분산분석표에 의한 F-검증법과 중상관계수 R에 의한 검증 등이 있으며 본 연구에서는 중상관계수를 적용하여 회귀식의 정밀도를 검증하였다.[6)]

2.2.3 지역별 풍속분포도

지역별 풍속에 지배적인 지형인자를 기상관측소별로 조사하고 이를 이용하여 미관측지역의 지형인자와의 상관관계를 도출하기 위하여 그림 3와 같이 미관측 지점 격자점을 정하고 각 재현주기 풍속별로 다중회귀분석에 의한 추정치에 대한 상관계수를 구하였다. 격자점 별로 구하여진 미관측지역과 기상대의 평균풍속을 Gumbel 분포식에 적용하여 재현주기별 풍속을 구하고 이를 근거하여 재현기간 25년 50년 100년의 풍속등가선도를 작성하였으며 그림 4는 100년 재현주기의 고온계 전국 지역별 풍속등가선도이다.



〈그림 3〉 미관측지역 격자점



〈그림 4〉 풍속 분포도(100년 재현주기, 고온계)

2.3 해외 풍하중 설계개념과의 비교[6]

국내 송전철탑 설계기준의 산정개념은 지형적으로 인접하였고 뚜렷한 계절풍인 태풍의 동일 영향권에 있는 일본의 설계기준과 매우 유사하다. 또한 국내 건축물 풍하중기준과 상이한 현 기준에 대한 국내 풍공학의 발전에 따른 국지풍을 고려한 설계기준 반영 필요성이 제기되어 이를 고려한 해외 자료 중심의 송전용 철탑의 국내외 설계지침 또는 기준류 (IEC 60826, ASCE No. 74, 전기설비기술기준(통상, 전기(電技)라고 한다), JEC-127)의 풍하중산정 기본개념을 비교하여 아래 표 2에 요약하였다. 각국에서 적용중인 원래의 지침, 기준에 정확히 일치하는 것은 아니지만 비교자료에 제시된 각국의 풍하중 산정에 적용된 기호 등의 표기가 다른 부분을 기본풍속에 대한 속도압을 기본으로 하여 본질적인 의미에서 요약하여 비교하였다. 표 2에서 보는바와 같이 기본적인 평가법이 한국과 일본의 경우만 지금까지 정적설계에 의한 지역별 설계하중등급을 분류하고 IEC, ASCE는 조도 등 국부적 지형조건을 고려한 가스트 영향계수법(Gust Effect Factor)을 적용하고 있음을 알 수 있다.

<표 2> 송전 지지물 설계풍속 관련 국외 기준 비교

항목		한전 설계기준	JEC-127 (일본)	IEC60826 (유럽)	ASCE No.74 (미국)
평가법		정적설계/ 순간최대풍속	정적설계/ 순간최대풍속	가스트 영향계수법	가스트 영향계수법
설계풍속	재현기간	100/200년	50년	신뢰성 레벨 1~3 레벨 1 :50년 레벨 2 : 150년 레벨 3 : 500년	재현기간 50년기본 신뢰도별 구분 100년,200년,400년
	조도구분	구별없음	구별없음	A,B,C,D(A의 조도가 큼)	B,C,D(D의 조도가 큼) ASCE-88에준거,조도 A는 적용하지 않음
	기본풍속	높이: 10m 풍속:순간최대	높이 : 10m 풍속:순간최대	조도구분: B 높이 : 10m 풍속 : 10분간 평균	조도구분: C 높이 : 10m 재현기간 : 50년 풍속 : 1Fastest-mile
	맵의 유무	있음 (고온계,저온계)	있음 (고온계,저온계)	없음	없음
	지수	α=1/8 설계하중 : 1/4	α=1/8 설계하중 : 1/4	불명확(가스트 영향계수에 포함)	B : α=1/4.5 ZG=1,200ftC : α=1/7.0 ZG= 900ftD : α=1/10 ZG= 700ft
	지형 영향	특수지역 증속은 설계자 판단	특수지역 증속은 설계자 판단	바람의 수속, 산 및 언덕, 계곡의 증속 고려(걸계자 판단)	바람의 수속, 산 및 언덕, 계곡ㅇ의 증속 고려 (설계자 판단)

<표 3> 송전 지지물 설계 풍하중 국외 기준 비교

항목		한전 설계기준	JEC-127	IEC60826	ASCE No.74
풍하중	풍압하중 (철탑, 전선 금구류 등)	$P_T=q0E^2C_TA_TG^2n_T$ G : 돌풍률 (P=1/2·ρ·V2·α·β·K1·K2·C·A)	$P_T=q0E^2C_TA_TG^2n_T$ G : 돌풍률 (P=1/2·ρ·V2·α·β·K1·K2·C·A)	$P_T=q0KR^2C_TA_TGR_Tn_T$ GR_T : 조도구분, 철탑의 중심위치의 함수 KR : 지표면조도계수 (조도B에 대한 각 조도의 비)	$P_T=q0E^2C_TA_TGRTn_T$ GR_T : 기준높이, 조도구분의 함수로서 그림과 식을 부여하고 있음.
	가섭선 장력에 관한 하중	선로직각방향하중 (수평각도하중) : 가섭선 풍압하중에 대한 수평장력의 선로직각방향성분	선로직각방향하중 (수평각도하중) : 가섭선 풍압하중에 대한 수평장력의 선로직각방향성분	가섭선 풍압하중에 대응하는 장력 (구체적인 기제 없음)	가섭선 풍압하중에 대응하는 장력 (구체적인 기제 없음)
		선로진행방향 (상시불평균장력) : 보강철탑 : 33.3% 각도철탑 : 10%직선철탑 : 3%	선로진행방향 (상시불평균장력): 보강철탑 : 15~30% 내 장 형 : 10%현수 형 : 3%		

본 연구의 수행과정에서 한전의 송전철탑설계기준에 많은 영향을 미친 일본 철탑설계 분야의 새로운 지침 「송전용 철탑의 풍하중지침(안)」의 주요사항을 파악하여 향후 국내기준 적용성을 검토하였으며 기존에 전 풍향을 고려하지 않은 년평균 최대풍속의 통계처리를 통한 설계풍하중 산정을 보다 합리적으로 분석하기 위하여 제안된 일본의 신지침(안)과 표4와 같이 요약 비교하였다. 표 4에서 보는 바와 같이 향후 일본의 풍하중 설계개념 또한 IEC 및 ASCE와 같이 각각 철탑이 위치하는 지형을 고려하기 위하여 그림 5의 조도를 반영한 기별설계 개념으로 변경될 것으로 전망된다.

조도 (II) 지역

조도 (III) 지역

조도 (IV) 지역

<그림 5> Exposure Category II, III, IV의 사례

<표 4> 일본 신지침(안) 비교

항목		한전 설계기준	일본 설계기준 신지침
평가법		최대순간 (3~5)에 의한 정적설계	가스트 영향계수법 (10분간 평균풍속)
설계풍속	재현기간	100/200년	풍향별(8풍향)에 150년 (전풍향에 대하여 50년에 대응)
	조도구분	구별없음	I ,II, III, IV, V (일반적인 산악지를 III으로 한다
	기본풍속	지상높이 10m 최대순간풍속	조도구분 II, 지상높이10m,풍향별(8풍향)재현기간 150년, 10분간 평균풍속
	맵의 유무	있음 (속도압에 의한 구분, 고온계, 저온계별))	있음(전산화⇨ 위도,경도 입력) (고온기, 저온기, 8풍향)
	지수α 상공풍 높이Z_g	α=1/8	일본건축학회 건축물하중지침에 준거
	지형 영향	특수지역은 설계자 판단으로 풍하중 증가	증속률도 or 기류해석에 의한 할증계수로 평가

3. 결 론

본 논문에서는 기상관측소의 관측 이래 현재까지 풍속자료를 이용하여 Gumbel 극치분포함수로부터 25년, 50년 및 100년 재현주기에 대한 고온계, 저온계에서의 평균풍속을 산출하고 지형인자를 이용한 다중회귀분석법으로 미관측지역에 대한 풍속을 추정한 후 우리나라 전국 지역별 풍속등가선도의 작성과정을 고찰하였다. 지금까지의 결과에서 보면 대부분의 기상관측소에서의 재현주기별 풍속에서 1987년 기준과 다소의 차이점이 발생하였으며 이는 20년간의 기상데이터 추가와 기상청의 측정 조건 변화에 기인한 것으로 예상된다. 향후 돌풍율에 의한 지역별 돌풍(순간최대)풍속을 산정하여 송전 지지물 설계자에게 제시하는 설계속도압을 산정할 계획이다.

또한 해외사례의 경우 송전철탑의 풍하중기준 개정작업이 이루어지고 있으며 현재 국내의 건축물 풍하중기준에서 제시하고 있는 국부지형에 의한 할증요인을 중심으로 풍하중 설계 합리화를 위한 지속적인 연구가 수행중인 것으로 조사되었다. 이러한 풍공학 기술의 진보와 주변 기술기준의 수준이 높아지는 시점에 국내의 송전철탑 풍하중 기준에 대한 전반적인 검토가 필요한 시기라고 사료되어 본 논문에서 풍하중 설계기준의 개념적인 차이를 고찰하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 한전전력연구원 연구보고서 : 송전용 지지물 풍하중설계기준에 관한 연구, 2005. 8

[2] A. G. Davenport : Rational for Determining Design Wind Velocities, Journal of Structural Division, Proceeding of ASCE, May, 1960

[3] 한국전력공사 기술연구소 : 송전철탑 설계풍속에 관한 연구, 1986.1.

[4] 하영철, 조남식 : 설계용 기본풍속의 추정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 1994. 11., 제10권 제11호, pp. 247~251

[5] 日本 氣象學會 : 送電線 支持物設計 標準(JEC-127-1979), 電氣書院, 1979

[6] 日本 電氣協同研究 보고서(제62권) : 송전용 철탑의 설계하중 - 현상과 장래전망, 2006.11