

동남아시아 송전철탐 풍하중 설계에 관한 연구

민 병 옥* 최 한 열* 박 재 웅** 김망우* 노우소콘** 쿠운***
 *한국전력공사 **한밭대학교 *미얀마전력청 **캄보디아전력회사 ***라오스전력회사

A Study on the Wind Load Design for Transmission Tower in Southeast Asia

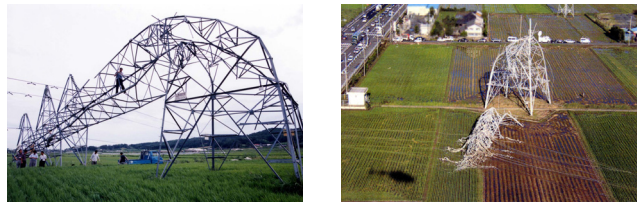
Byeong-Wook.Min* Han-Yeol.Choi* Jae-Ung.Park** Khin Maung Oo* Nou Sokhon** Khoune Bouapheng***
 *KEPCO **Hanbat National University *MEPE, Myanmar **EDC, Cambodia ***EDL, Laos

Abstract - Korea, for the first time in the world, constructed 765 kV double circuits transmission lines, which has 3 phases and 6 bundles with vertical arrangement using steel pipes in 1998. Also in 2002, we developed 765kV outdoor full GIS substation with self-developed technology. KEPCO accumulated a wealth of technologies for 765kV system construction and operation, and are listed 5th in technology field in the world. With this advanced technologies, we are developing oversea business. We started with a projects, 'Development Study on the Power System Network Analysis in Myanmar' in 2001, and continued the project to transmission design, consulting for transmission technology including the education of foreign trainees in south-east and middle east asia. Currently, 12 overseas businesses including 330kV transmission system consulting in Ghana, are in progress. In 2007, beginning with 750 kV transmission consulting in China, we are operating ATT(Advanced Transmission Technology) training program, which educate engineers of government and utilities company from China, Myanmar, Cambodia, Laos and Cambodia. However, for the successful development study on the power system, design of the power system and the training service, it is essential to standardize load design criteria in consideration of temperature, wind speed, air pressure and density, etc. of the other countries. Therefore, in this paper, standardized load design criteria for Cambodia, Laos, Myanmar is explained.

같이 철탐이 도괴되거나 파손되는 사고로 직결되므로 태풍영향권에 있는 14개국 중 우리나라와 캄보디아, 라오스가 포함되어 있어 정확한 풍하중 설계는 매우 중요하다.

<표 1> 송전철탐 설계하중 중 풍압하중 점유율 (단위:%)

지역별	철탐형 하 중 별	각도철탐 (내장형 철탐)			
		직선철탐 A-Type	B-Type	C-Type	D-Type
II 지역	풍압하중	91.4	48.9	32.0	25.1
	기타하중	8.6	51.1	38.0	74.9
III 지역	풍압하중	89.0	40.4	25.3	20.3
	기타하중	11.0	59.6	74.7	79.7



<그림 1> 태풍으로 인한 철탐 도괴

표1에서와 같이 직선철탐인 현수철탐(suspension tower)은 철탐의 총 설계하중의 약 90%가 풍압하중이며 각도철탐인 내장철탐(tension tower) 중 B-Type은 약 1/2, C-Type은 약 1/3, D-Type은 약 1/4이 풍압하중으로 설계되고 있으며 특히 직선철탐은 거의 풍압하중이 점유하고 있다. 따라서 풍압하중이 정확히 설계되지 않으면 사고와 직결되게 된다.[2]

1. 서 론

우리나라는 1998년 세계 최초로 3상 2회선 수직배열 6도체 방식의 강관형 철탐으로 구성된 765kV 1 route 2회선 송전선로를 건설하여 운전 중에 있으며 또한 2002년에는 송전부가 전혀 노출되지 않는 765kV 옥외 Full GIS(Gas Insulated Switchgear) 변전소를 순수 국내기술로 건설하여 현재 765kV 4 route 송전선로 762C-km와 4개의 765kV 변전소가 운전 중에 있으며, 향후 765kV 4 route 송전선로와 2개의 변전소가 추가로 건설될 예정이다. 이에 따라 765kV 전력망 건설 및 운영기술을 정립, 축적함으로써 현재 세계 5위권의 송변전 기술력을 확보하고 있으며 이렇게 축적된 선진기술을 이용하여 해외사업을 활발히 추진하고 있다. 2001년도 '미얀마 전력망 진단 및 개발조사사업'을 시작으로 리비아, 아프가니스탄, 중국, 부탄, 캄보디아, 라오스, 미얀마 등 동남아시아와 중동 지역을 중심으로 송전망 기본설계와 전력망 기술진단, 해외교육 등을 시행하였다. 그리고 현재 가나 330kV 송전망 건설등 12개 해외사업을 개발 중에 있으며, 2007년에는 중국의 750kV 송전기술교육을 시작으로 미얀마, 캄보디아, 라오스, 리비아의 정부와 전력회사 기술자를 대상으로 전력시스템 5개 교육과정과 송전분야 4개 교육과정, 변전분야 7개 교육과정 등 총 16개 과정의 교육프로그램인 해외 송변전 특화교육(ATT/Advanced Transmission Technology Training Program)을 시행하고 있다. 그러나 전력망 진단 및 송전망 설계와 이에 대한 기술교육 등 해외사업을 원활히 추진하기 위하여 외국의 기온, 풍속, 기압, 공기밀도 등 정확한 기상조건을 적용한 설계하중의 표준화가 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 현재 해외사업이 활발히 추진되고 있는 동남아시아의 개발도상 국가인 캄보디아, 라오스, 미얀마의 기상조건을 적용하여 송전철탐 풍하중을 설계하고 표준화하여 향후 해외사업에 적용할 수 있도록 하였다.[1]

2.2 송전설계 기상조건

송전선로의 풍압하중을 정확히 설계하기 위하여 해당국가의 기온, 풍속, 기압, 공기밀도 등 기상조건은 매우 중요하다. 송전설계에 적용되는 국가별 기상조건은 표2와 같다.[3]

<표 2> 국가별 송전설계 기상조건

기상 조건		한 국	캄보디아	라 오 스	미 안 마
기온(℃)	최 고	40	45	45	45
	최 저	-20	0	0	0
	평 균	10	13.3	25	25
최대순간풍속(%)		43.7	40.0	40.0	34.5
10분평균풍속(%)		31.7	30.0	35.0	25.0
공기밀도(kg · S ² /m ⁴)		0.1195	0.12	0.12	0.1137
돌 풍 륜		1.379	1.333	1.143	1.380

(주) 한국은 내륙지역인 III지역 고온계(10℃, wind), 지상 10m 기준

2. 송전선로 설계조건

2.1 송전철탐 설계하중

송전선로를 설계하기 위한 기본조건인 해당 국가의 기상조건은 정확한 설계하중을 계산하는 기초 자료로 매우 중요하다. 특히 송전철탐 설계하중 중에서 풍압하중이 차지하는 비율이 표1과 같이 매우 높아 풍압하중 설계가 잘못되었을 경우에는 태풍이나 강풍으로 인하여 그림1과

3. 송전선로 신뢰도와 재현기간

3.1 송전선로 신뢰도

송전선로가 주어진 기간과 조건하에서 기능을 수행할 수 있는 확률을 신뢰도계급(reliability level)이라고 하며 연간 신뢰도는 재현기간(return period)에 의해 식1 및 식2와 같이 산출된다. IEC 60826에서 규정하고 있는 신뢰도 계급별 연간신뢰도와 재현기간은 표3과 같다.[2]

$$\text{연간신뢰도 } P_s = 1 - \frac{1}{2T} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{재현기간 } T = \frac{1}{2(1 - P_s)} \dots\dots\dots (2)$$

<표 3> 신뢰도 계급 (IEC 60826 / Loading and Strength)

신뢰도 계급	I 등급	II 등급	III 등급
P_s (연간신뢰도)	$1 - 1/10^2$	$1 - 1/10^{2.5}$	$1 - 1/10^3$
T (재현기간)	50년	150년	500년

3.2 재현기간과 철탍중요계수

재현기간은 1년 동안 최대순간풍속이 초과될 수 있는 확률의 역수로 송전선로 설계용 최대순간풍속을 초과한 풍속이 1번 발생할 수 있는 기간을 말하며 재현기간에 대한 초과확률은 표4와 같이 재현기간 50년으로 설계하면 1년에 설계용 최대순간풍속이 초과할 확률은 2%를 의미한다.

<표 4> 재현기간과 초과확률

재현기간	50년	100년	200년	500년
초과확률	0.02	0.01	0.005	0.002

철탍중요계수(K_t)는 송전선로에 사고가 발생하였을 경우 제3자에게 미치는 영향과 계통의 중요도를 결정하는 계수로서 IEC에서 230kV 이상의 송전선로로서 중요부하 단독 공급선로와 간선선로는 신뢰도 계급 III 등급(재현기간 500년)을 적용하도록 권고하고 있다. 그러나 송전선로 신뢰도 계급을 높으면 투자비가 과다하게 소요되어 경제성이 적어지므로 국가별로 계통의 중요도에 따라 재현기간과 철탍중요계수를 표5와 같이 적용하여 설계하고 있다.[2]

<표 5> 국가별 철탍중요계수 및 재현기간

선로중요도	한 국		일 본		대 만		미 국		
	설계계수	765	일반	중요	500/1000	일반	중요	일반	중요
철탍중요계수	1.15	1.3	1.0	1.15	1.3	1.0	1.15	1.0	1.15
사고재현기간(년)	50	50	50	50	50	100	100	50	50
총재현기간(년)	100	200	50	100	200	100	200	50	100

(*) 총재현기간 : 상정사고 재현기간에 철탍 중요도 계수를 적용한 값

4. 송전선로의 설계 풍압하중

4.1 송전선로 기준 속도압

송전선로 설계에 적용하는 기준 속도압은 식3과 같이 계산한다.

$$q_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{G10}^2 \text{ [kgf/m}^2\text{]} \dots\dots\dots (3)$$

여기서, 공기밀도 (ρ) : 공기의 온도와 기압에 의해 결정되는 밀도
 최대순간풍속(V_{G10}) : 지상 10m 지점의 최대순간풍속 [m/s]

공기의 경우 0°C에서 부피가 22.4ℓ이며 무게가 28.95g으로 밀도는 1.293g/ℓ이다. 기온이 올라가면 공기의 부피가 늘어나기 때문에 공기밀도는 낮아지게 된다. 또한 같은 온도에서 상대습도가 증가하면 물(분자량 18)이 공기의 주성분인 질소(분자량 28)와 산소(분자량32)보다 가볍기 때문에 밀도가 감소하게 되어 습기가 높은 공기가 무게가 가벼워서 저기압이 된다. 또한 기준 속도압은 공기밀도에 비례하게 되어 공기밀도가 높을수록 송전설비에 가해지는 풍압하중이 증가하게 되며 공기밀도는 식4와 같이 계산한다.[4]

$$\rho = \frac{1.293 \times 273}{T + 273} \times \frac{H}{760} \times \frac{1}{9.8} \text{ [kg} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4\text{]} \dots\dots\dots (4)$$

여기서, T 는 기온[°C], H 는 기압[mmHg]

4.2 송전선로 풍압하중 설계계수

송전선로 설계용 풍압하중은 식5와 같이 계산한다.

$$q = q_0 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot K_1 \cdot K_2 \text{ [kgf/m}^2\text{]} \dots\dots\dots (5)$$

상공체중계수 (α) : 철탍높이에 따라 풍속이 체증되는 계수
 규모저감계수 (β) : 경간 길이에 따라 전선 수평면적이 저감되는 계수
 철탍중요계수(K_1) : 사고시 제3자에게 미치는 영향, 계통 중요도 계수
 철탍차폐계수(K_2) : 건물, 수목 등에 의해 바람이 차폐되는 계수

4.2.1 상공체중계수

철탍높이에 따라 풍속이 체증되는 계수로서 기준 지상고이하의 경우와 다설지역 저온계 속도압을 계산할 경우에는 1로 하며 식6과 같이 계산한다.

$$\alpha = (h/h_0)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (6)$$

여기서, α 는 상공체중계수, h 는 지상고(m), h_0 는 기준 지상고(10m)
 n 는 체증의 정도를 나타내는 지수로 $n=4$ 를 표준으로 함

4.2.2 구조규모에 의한 저감계수

경간에 따라 전선의 수평면적을 감하는 계수로서 전선 풍하중을 산출할 경우 구조규모에 의한 저감계수(β)와 상공체중계수(α)를 동시에 고려하지 않는 것을 표준으로 한다. 단, 철탍 간 경간길이가 짧고 지상고가 현저히 높게 되는 특수지역 건립 철탍에 있어서 저감계수와 상공체중계수를 동시에 고려하는 것이 지지물의 안정도 증대를 기할 수 있는 경우에는 이를 고려하며 식7과 같이 산출한다.

$$\beta = 0.5 + \frac{40}{S} \dots\dots\dots (7)$$

여기서, β 는 저감계수, S 는 경간(m), 단 $0.55 \leq \beta \leq 0.9$

4.2.3 철탍 중요계수

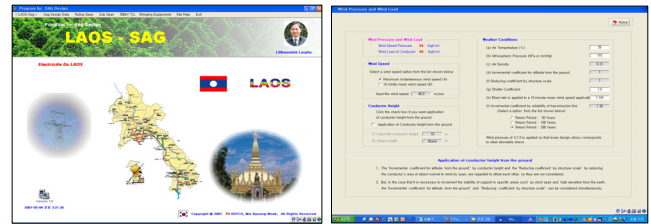
송전선로에 사고가 발생하여 제3자에 미치는 영향과 계통의 중요도에 따라 결정되는 계수(K_1)로서 1.15를 표준으로 하며 중요 송전선로인 경우 표5d와 같이 국가별로 계수값을 증가하여 적용한다.

4.2.4 철탍 차폐계수

건물, 수목 등에 의하여 철탍과 전선에 가해지는 바람이 차폐될 경우 그 정도를 나타내는 계수(K_2)로서 1.0을 표준으로 한다.

5. 동남아시아 송전선로 풍하중 설계기준

동남아시아 국가별 송전선로 설계용 풍압하중을 표준화하기 위하여 해당 국가의 기상조건과 재현기간을 적용한 송전선로 풍하중 설계프로그램을 그림2와 같이 국가별로 개발하였다.



<그림 2> 국가별 송전선로 풍하중 설계프로그램

상정사고 재현기간을 50년 기준으로 하여 송전선로 풍하중 설계프로그램으로 설계한 국가별 송전선로 풍하중 설계기준은 표6과 같다.

<표 6> 국가별 송전선로 풍압하중 설계기준 (단위: kgf/m²)

총재현기간	철탍중요계수	한 국	캄보디아	라 오 스	미 안 마
50년	1.00	115	96	96	68
100년	1.15	133	111	111	79
200년	1.30	150	125	125	89

6. 결 론

우리나라 전력수요 증가율은 2015년경부터 둔화될 것으로 예상되고 있어 전력산업을 지속적으로 발전시키기 위하여 획기적으로 해외전력사업을 추진해 나가야할 것이다. 우선 해외전력사업이 용이한 개발도상국을 대상으로 해당 국가의 전력기술을 선점하는 것이 필요하다. 따라서 동남아시아의 기상조건과 전력설비의 신뢰도를 적용한 캄보디아, 라오스, 미얀마의 송전선로 풍하중 설계기준을 정립하였다. 동남아시아의 송전선로 풍하중 설계기준은 외국의 송전기술 컨설팅 및 공사설계, 건설사업 등 향후 해외전력사업에 적용할 수 있게 표준화하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 민병욱, "해외사업용 송전선로 설계시스템 개발", 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집, pp.129~131, 2006.11.
 [2] 민병욱, "송전철탍 풍하중 설계기준 개정", 한국전력, pp.12~13, 2003.12.
 [3] Feasibility study and basic designs for the 500kV transmission system in Myanmar, KOICA, KEPCO, pp.160~207, 2005.1.
 [4] 가공송전용 철탍설계기준, 한국전력공사, pp.9~12, 2005.5.