

가공송전철탑 경량화 설계에 관한 연구

이정원¹, 이원교^{1,a}

¹ 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소

A Study of the Slim Design of Overhead Transmission Tower

Jung-Won Lee¹ and Won-Kyo Lee^{1,a}

¹ Transmission and Distribution, Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea

(Received May 24, 2010; Revised June 17, 2010; Accepted June 23, 2010)

Abstract: This paper presents the design factor of an overhead transmission tower structure in order to reduce the tower weight. The behaviour of transmission tower structures are affected by the horizontal angle of the tower structure, the equivalent wind pressure group, the slope of the main post of the tower, the separation of the internode and the use of high-strength materials in their construction. Tower weight can be reduced by approximately 30% reduce weight by means of optimal design based on a consideration of all the above factors. In addition, the design of the foundation of the tower with the shear key installation to increase horizontal support together with a modified angle of inclination to the ground can reduce by about 37% the amount of concrete used during construction. The area of ground disturbed by the construction of the tower foundation can thus be reduced by approximately 33%. Therefore it is possible to build an environmentally-friendly T/L tower with the mechanical properties of existing towers.

Keywords: Slim tower, Tower slope, Horizontal angle, Angle of inclination of ground

1. 서론

전력수요의 성장률은 국가의 경제발전에 대한 직접적인 척도로서 오늘날의 국민생활 및 경제활동에서 전력은 직접재료 또는 직접매개체로서 막중한 사명을 가지고 있으며 그 어느 때보다 고품질의 전력 에너지 공급이 강조되고 있으며 이를 위해서는 경제적이면서도 안전한 가공 송전선로 철탑 구조물 건설이 필연적이라 할 것이다. 그러나 전력수요의 지속적인 증가와 수요의 지역적 불균형으로 송전선로 건설은 불가피하나 국민생활 수준 향상에 비례하여 자연·생활환경에 대한 관심고조로 송전철탑 구조물을 혐오·위해설비로 인식하여 송전선로 경관지 확보가 전력산업의 최대현안으로 부각되고 있는 실정이며 사업기간 장기화로 인한 전력공급 지장 및 투자비 증가로 국가

경제에 막대한 지장을 초래하고 있다. 따라서 송전선로 건설시 필요한 경관지의 점유를 최소화하고 친환경적이며 산림훼손이 적은 새로운 기술의 도입이 절실히 요구되고 있다 [1]. 지금까지 건설되어온 철탑은 1970년에 제정된 가공송전용 철탑설계기준을 근간으로 하여 송전철탑 설계 표준화를 시행하여 현재까지 적용하고 있다. 그러므로 기존 철탑 설계기준을 조사, 분석하고 설계조건을 재검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 송전철탑 구조물 설계 세부 분석 (tear down)을 통한 최적화 (downsizing)로 철탑을 재설계 (redesign)하여 경제성과 안전성을 구비한 최적화 철탑설계 방안을 제시하고 새로 설계한 철탑과 기존철탑을 비교 분석하고자 한다.

2. 실험 방법

철탑의 형상은 그림 1과 같이 암 (arm), 주주재 및

a. Corresponding author; leewonkyo@kepco.co.kr

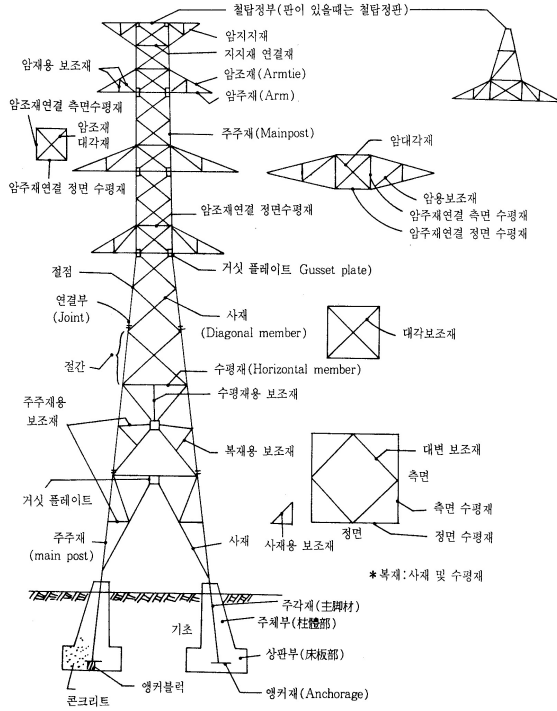


Fig. 1. Configuration of T/L tower.

보조재와 절간 절점으로 구성된 철탁 탑체 (body), 콘크리트를 포함한 기초 (leg)로 분류할 수 있으며 전기적 안전성과 기계적 강도성이 동시에 만족되도록 설계하여야 한다. 암 (arm)은 3각을 원칙으로 하나 송전선의 처짐으로 인해 발생하는 각인 카테나리 각 (catenary angle)의 합이 50°를 초과하는 경우와 전선 수평각이 30°를 초과하고 60°미만의 수평각 외측 암 (arm)은 4각 암 (arm)을 사용한다.

철탁의 탑체는 강도, 경제성, 제작 및 시공 등 모든 조건에 가장 알맞은 형상을 선택하여야 하므로 철탁 탑체부의 폭, 주주제 및 복재 응력의 크기, 시공 강제의 응력과 단면의 성질, 제작, 가공, 운반, 조립의 난이도, 구조 및 외관 등을 고려하여야 한다. 기초 (leg)의 길이는 bracing (사재)의 각도, 탑체의 폭, 지형적인 경사도 등을 고려하여 결정하여야 한다 [2].

2.1 송전철탁 설계 요인 분석

송전철탁 설계에 영향을 미치는 주된 요인을 조사하여 정리하면 그림 2와 같이 철탁이 건립된 위치의 지형조건이 83%로 가장 큰 비중을 차지고, 철탁 하중이 14%로 그다음을 차지하고 있다. 그 이유는 설계 시

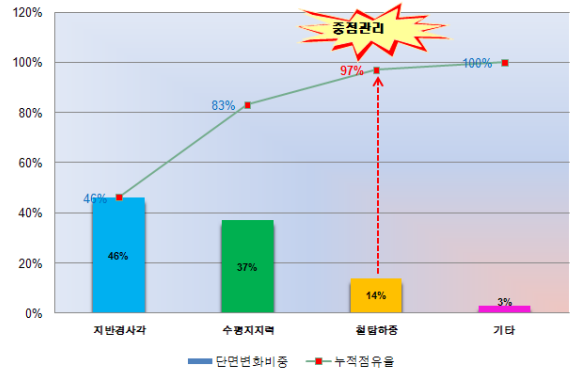


Fig. 2. Weighting factor of T/L tower.

Table 1. Design factor of T/L tower.



철탁건립 부지의 원 지반 최대 경사각을 반영하여 경사지의 수평지지력 감소로 기초 구조물 단면이 증가하기 때문이다 [3].

이 부분이 철탁 슬림화 설계를 통해 개선 가능한 부분이며, 표준화 설계 요인 중 철탁 하중에 영향을 미치는 요인에 대하여 논리·효과적인 분석을 위해 MECE (mutually exclusive and collectively exhaustive)의 사고방식에 따라 주요항목을 tree 형태로 분해하여 개선항목을 도출하면 표 1과 같이 8가지로 분류하여 정리할 수 있고, 구매규격서 개선과 안전율 적정성 검토 부분을 제외한 6가지 설계 요인을 분석하면 다음과 같다.

2.2 철탁 설계방법 검토 (K1)

가공송전 철탁 표준화 설계 요소 중 전기적인 절연거리 등을 고려하여 철탁의 최하단 암을 기준으로 결정된

Table 2. Normal weighting load according to horizontal angle. 단위 : kg

구분 \ 철탑형	B (20°)	C (30°)	E (40°)	D (60°)
ACSR480 mm ² × 4B II 지역 저온계	5557	8282	10945	16000
ACSR410 mm ² × 2B II 지역 저온계	3369	5021	6635	9700
ACSR120 mm ² II 지역 고온계	1146	1708	2257	3300
ACSR97 mm ² II 지역 고온계	1146	1708	2257	3300

상부의 형상은 전압에 의해서만 영향을 받으므로 철탑 슬림화 설계 대상에 해당하지 않으며, 슬림화 설계 대상은 철탑의 최하단 압을 기준으로 철탑 하부가 그 대상이 된다.

기존 철탑 설계 방법 중 설계 하중 저감을 위한 수평각 세분화(K11) 및 등가 풍하중 개선(K12)과 표준형 철탑 하부 형상 변경(K13)을 통한 개선은 다음과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표준 각도철탑 수평각 세분화(K11)

각도철탑이라 함은 수평각도가 발생하는 개소에 사용하는 내장애자장치의 철탑을 말하며 그 철탑형의 기호를 B, C, E, D로 한다. 수평각 변화에 따라 가섭선(전력선, 가공지선)의 수평각 하중이 작용하며 이에 따른 수평각 하중 계산은 식 (1)을 이용해서 산출한다.

$$\text{수평각하중} = 2 T \sin(\theta/2) \tag{1}$$

단, T : 가섭선 최대 사용 장력
 θ : 수평각도

3.1.1 표준철탑 및 기설철탑 수평각도 비교

한진 설계기준에서 규정하고 있는 표준철탑 수평각도와 현재 설치되어 있는 송전선로 철탑의 수평각도를 조사하여 비교해 보면 B형 철탑의 경우 3°에서 20°까지는 수평각 하중을 20°로 동일하게 적용하는 등의 문제점이 있어 표준철탑 수평각도 세분화로 철탑에 작용하는 수평각 하중을 최소화할 필요가 있다 [2].

Table 3. Classification of horizontal angle.

철탑형	설계기준 수평각도	기설철탑 수평각도	세분화 수평각도
B	20°	07° 03′	10°, 20°
C	30°	24° 32′	25°, 30°
E	40°	30° 14′	35°, 40°
D	60°	46° 08′	45°, 50°, 55°, 60°

Table 4. Tower height according to equivalent wind pressure group.

구분	154 kV급 이하	345 kV급
I 그룹	60 m 미만	70 m 미만
II 그룹	60 ~ 100 m	70 ~ 110 m
III 그룹	100 m 초과	110 m 초과
기설 철탑 실제 조사 높이	42 m	52 m

Table 5. Tower height according to new equivalent wind pressure group.

구분	154 kV급 이하		345 kV급	
	현재	개선	현재	개선
I 그룹	60 m 미만	50 m 미만	70 m 미만	60 m 미만
II 그룹	60~100 m	50~90 m	70~110 m	60~100 m
III 그룹	100 m 초과	90 m 초과	110 m 초과	100 m 초과

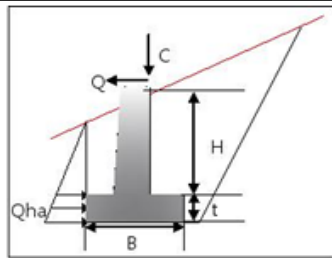
3.1.2 표준철탑 실제 높이 풍압치 적용(K12)

철탑의 가장 높은 최고점인 탑정까지의 높이(지표~철탑 정부간)에 따라 표 4와 같이 구분하고, 표준철탑의 경우 그룹별로 최대 높이의 풍압하중으로 설계함에 따라 현재 건설되어 운영하고 있는 기설철탑의 실제 조사된 높이보다 과하게 적용하여 설계 되는 것을 알 수 있다 [4].

그러므로 철탑 설치높이별 풍압을 적용할 경우 매 철탑마다 설계를 시행하여야 하는 문제점이 발생하여 전압별, 높이별로 등가풍압을 묶어서 설계 시 적용하고 있으나 실제 조사된 철탑 높이를 고려해 볼 때 10 m 축소하여 조정된 값을 적용한 철탑 등가 풍압 적용 group 개선이 가능하다.

Table 6. Before and after improvement in quantity.

구분	단위	현재	개선	증감	증감율	
설계조건 (154 kV B2-30 m)		수평각도 : 20° 풍압높이 : 60 m	수평각도: 10° 풍압높이 : 50 m			
철탑하중	Ton	115	86	-29	-25%	
콘크리트량	m ³	69	59	-10	-15%	
굴착량	m ³	1,003	778	-225	-22%	
기초 규격	H	m	4.6	4.0	-0.6	-13%
	B	m	3.6	3.4	-0.2	-6%
	t	m	1	1		



3.1.3 수평각도 및 등가풍압 변경에 따른 비교

154 kV (B2-30 m) 철탑을 선정하여 가설선 수평각도 및 철탑 등가풍압을 변경하여 적용한 결과는 표 6과 같고, 수평각도 및 풍압높이 조정에 따라 최대 25%에서 최소 6%까지 철탑 하중 및 기초콘크리트 물량이 감소됨을 알 수 있다.

3.1.4 최적화 철탑 설계 방안(K13)

표준화 철탑 하부의 철탑 슬림화 설계 대상 중 수평각도 세분화 및 설계 등가 풍압 그룹 개선 이외에 슬림화 할 수 있는 요인은 철탑의 형상 중 철탑 하부 기울기 (slope)조정, 절간 수 조정, 고강도 부재 사용을 적용한 철탑 설계 조건을 고려해 볼 수 있다 [5].

3.1.5 철탑 하부 기울기 (slope) 조정

철탑 하부 기울기 (slope) 조정에 의한 철탑 중량 설계량 감소분은 154 kV 현수형(F2-30 m, 14.63 톤) 철탑을 기준으로 산출 정리하면 표 7과 같으며, 최적 slope는 기존 적용되던 18%가 아닌 17%가 된다.

3.1.6 철탑 절간 조정

철탑 절간 조정에 의한 철탑 중량 설계량 감소분은 154 kV 현수형(F2-30 m, 14.63 톤) 철탑을 기준으로

Table 7. Tower weight according to tower slope.

Slope	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%
철탑 중량	13.7	13.8	13.2	13.3	13.4	13.3	13.2
감소율	6%	5%	10%	9%	8%	9%	9%
압축력	76.3	73.2	69.7	67.1	64.8	62.6	60.3

Table 8. Tower weight according to tower internode.

구분	절간수				
	7	8	9	10	11
중량(톤)	13.5	13.2	13.6	14.6	14.3
증감율	8%	10%	6%	0%	2%

Table 9. Tower high strength materials ratio.

구분	개선 전	개선 후	증가율
ANGLE	52% (L90x7이상)	100% (전부재)	48% ↑

산출 정리하면 표 8과 같으며, 최적 절간은 기존 10개가 아닌 8개가 됨을 알 수 있다.

3.1.7 고강도 부재 사용

철탑 기울기 (slope)개선 및 절간수 저감을 보완하기 위해서는 고강도 부재 사용 확대가 필요하며 154 kV 현수형(F2-30 m, 14.63 톤) 철탑을 기준으로 그 수량을 산출 정리하면 표 9와 같다.

3.1.8 최적화 설계 검토 결과 및 형상

표준화 철탑 하부의 기울기 (slope)조정, 절간 수 조정, 고강도 부재 사용을 적용한 철탑 설계 검토 결과를 154 kV 현수형(F2-30 m, 14.63 톤)철탑을 선정하여 최적 조합을 검토하여 공사비를 적용하여 비교한 결과는 표 10과 같으며, 최적화 설계 적용 전후 철탑 형상은 그림 3과 같다.

3.2 기초 설계방법 검토 (K2)

가공송전 철탑의 기초설계 요소 중 기초 설계 프로그램을 사용한 분석 중 기초 안전율 적용 적정성 부분을 제외한 경사지 수평지지력 증대 부분 중 수평지지력

Table 10. Optimal design of TL tower. 단위 : 억원

Slope	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%
철탑	10.2	8.9	16.6	15.3	13.9	15.0	16.1
기초	-3.6	-1.9	-0.0	0.0	0.5	1.7	2.9
용지	2.2	1.6	1.0	0.0	-0.7	-1.4	-2.5
연간 절감액	8.8	8.6	17.6	15.3	13.6	15.2	16.5

Table 11. Results of shear key installation.

구분	단위	현재 (25° 적용 시)	개선 (25° 적용 시)	증감	증감율	
콘크리트량	m³	59	43	-16	-27%	
굴착량	m³	778	598	-180	-23%	
훼손지면적	m²	1,566	1,340	-266	-17%	
기초 규격	H	m	4.0	4.0		
	B	m	3.4	3.1	-0.3	-9%
	t	m	1	0.65	-0.35	-35
	st	m		0.5	+0.5	

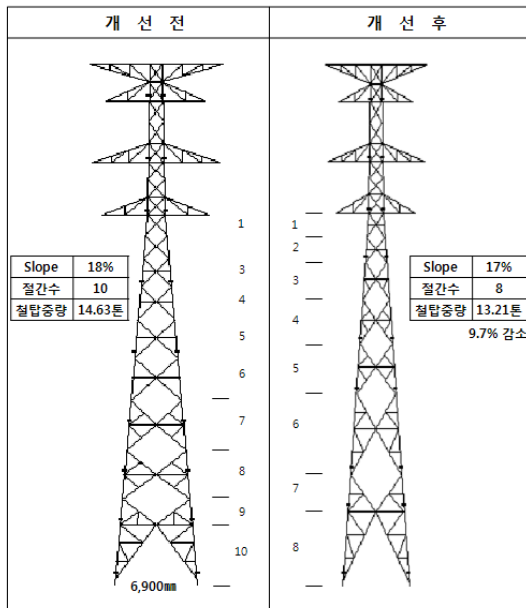


Fig. 3. Configuration of optimal design T/L tower.

보완용 전단 키 (key) 설치(K22) 부분과 기초 시공 방법 중 경사지 최대경사각 적정성 검토에서 복구 후 경사각 적용(K21)하는 부분과 암반면 콘크리트 일체 타설 시공(K23)을 고려한 개선은 다음과 같다[6].

3.2.1 허용 수평지지력 증대 방안

기초에 작용하는 하중에는 철탑 상부로부터 가해지는 압축력과 인양력, 복재응력의 수평분력, 전수평력이 있다. 압축력과 인양력은 철탑설계시 각 응력조합에 의하여 구할 수 있으며 복재의 수평분력은 최하 주주재의 복재 취부점에 작용하는 복재의 축방향력을 주주재 방향과 수평방향으로 분해하여 구한다. 기초설계 시 압축각에 대한 기초는 압축력만으로 설계하고(인양력=0), 인양각에 해당하는 기초는 인양력만으로 설계(압축력=0) 한다.

Table 12. Analysis of tower foundation design program.

	FDND('07, 7이전)	T/L SPREAD			
수평력 대한 검토	허용수평지지력×Kp >= 전수평력 Kp=수동토압계수 [지반경사각 미반영]	허용수평지지력×Kp >= 전수평력 Kp=수동토압계수 [지반경사각 반영]			
검토식 분석	지반경사각 미반영 - 토압계수 : 평지와 경사지 동일	지반경사각 반영 - 토압계수 : 경사지 에서 감소 (기초물량 증대)			
기초물량 비교	구분	경사각 15° 미만	25°	30°	35°
	FDND	1	1	1	1
T/L SPREAD	1	1.5배	2배	3배	

3.2.2 수평지지력 보완용 전단 키 (key) 설치(K22)

경사지에 건립된 송전철탑 구조물의 기초는 경사지 허용 수평지지력 감소로 기초단면이 증대되므로 수평 지지력 증대시키는 방안으로 저 판폭의 0.1~0.15배 높이로 기초 전판부에 전단 키를 설치한다. 전단 키 (key) 설치를 통한 기초단면 축소 결과는 표 11과 같다.

3.2.3 기초 설계 프로그램

현재 기초설계에 사용하는 기초설계프로그램은 표 12와 같이 허용수평지지력은 지반경사각을 반영하여 설계함으로서 과거 지반경사각을 반영하지 않은 방식 보다 기초물량이 커지게 된다.

3.2.4 복구후 경사각 적용(K21)

개선프로그램인 T/L SPREAD은 주각재 반경 15 m의 원지반 최대 경사각을 적용하므로 지반경사각이 크면

Table 13. Angle of inclination of ground.



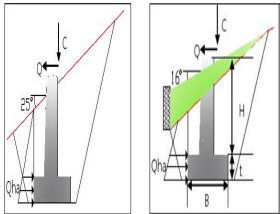
구분	경사각					
원지반경사각	15° 미만	15°	20°	25°	30°	35°
복구 후 경사각	0	3°	9°	16°	22°	30°
완화각	0	12°	11°	9°	8°	5°
	원지반사진			복구 후 사진		
비고						

Table 14. Results of reduce angle of inclination of ground.

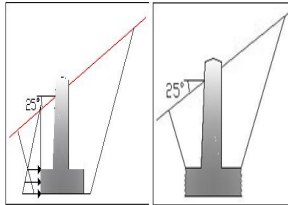
구분	단위	현재 (25°적용시)	개선 (16°적용시)	증감	증감율	
콘크리트량	m ³	59	37	-22	-37%	
굴착량	m ³	778	561	-217	-28%	
훼손지면적	m ²	1,566	1,374	-192	-12%	
기초 규격	H	m	4.0	3.8	-0.2	-5%
	B	m	3.4	2.9	-0.5	-15%
	t	m	1	0.75	-0.25	-25%
비고						

허용수평지지력이 적고, 지반경사각이 적으면 허용수평지지력이 크게 되므로 표 13에서와 같이 원지반 경사각 대신 훼손지 복구 후 완화 지반경사각을 적용한다. 지반경사각 완화를 통한 기초 단면 축소 결과는 표 14와 같이 정리 할 수 있다.

3.2.5 암반면 콘크리트 일체 타설 시공(K23)

철탐 기초 설계시 인장지지력을 검토할 때는 대수나선법을 사용하나 이는 기초저판측면 마찰저항력을 미반영하고 있어 기초 암반지역 기초저판측면 콘크리트 일체 타설로 암반지역 마찰저항력을 반영하였으면 그 결과는 표 15와 같다.

Table 15. Results according to side friction.

구분	단위	현재 (25°적용시)	개선 (25°적용시)	증감	증감율	
콘크리트량	m ³	59	58	-1	-2%	
굴착량	m ³	778	740	-38	-5%	
훼손지면적	m ²	1,566	1,374	-192	-12%	
기초 규격	H	m	4.0	3.85	-0.15	-3%
	B	m	3.4	3.4	0	0
	t	m	1	1	0	0
비고						

4. 결론

본 논문에서 제안된 가공송전철탐 구조물 slim화 방안 중 철탐 수평각도 세분화, 철탐 실제높이를 고려한 등가풍압 적용 그룹 조정 등으로 철탐 중량을 약 25% 절감이 가능하며 철탐 주주재 slope조정, 부재 절간 간격 조정, 고강도 부재 사용등으로 철탐 중량 약 16% 절감이 가능하며 기초 설계시 수평지지력 증대를 위한 전단 키(key)설치, 복구 후 경사각 적용, 암반면 콘크리트 일체 타설 시공시 콘크리트 타설량을 약 37%, 훼손면적은 약 33%를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 탐체 크기의 감소로 인해 법적 용지매입이 감소하고 환경친화형 탐체가 가능할 뿐만 아니라 철탐의 형상설계를 달리하여 기계적 특성을 만족하면서 고효율의 송전선을 구축할 수 있는 기술개념을 확립하였다.

REFERENCES

[1] W.-K. Lee, *J. KIEEME* **22**, 870 (2009).
 [2] Korea Electric Power Corporation, Design Standard of Tower for Overhead Transmission Line DS-1111, (2008).
 [3] J. W. Jang, *J. Kor. Soc. Steel Constr.* **19**, 367 (2007).
 [4] H.-J. Jung, D.-S. Shin, B.-W. Moon, J.-H. Park, S.-K. Lee, and K.-W. Min, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Kor.* **19**, 369 (2006).
 [5] W. B. Kim, *J. Kor. Soc. Steel Constr.* **9**, 47 (1997).
 [6] Korea Electric Power Corporation, Design Standard of Tower for Overhead Transmission Line DS-1110, (2008).