

## 송전철탑 Compact화에 따른 전기환경 영향 연구

이정원<sup>1</sup>, 이원교<sup>1,a</sup>, 이동일<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소

### A Study on the Environmental Effects of Compact Tower in Transmission Line

Jung-Won Lee<sup>1</sup>, Won-Kyo Lee<sup>1,a</sup>, and Dong-II Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Transmission and Distribution, Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea

(Received May 28, 2010; Revised July 12, 2010; Accepted July 20 2010)

**Abstract:** The continuous increase demand for electric power leads to the additional construction of transmission facilities, but it is not easy to acquire right-of-way for transmission facilities. Therefore, there is a need for compact tower that can be built on a narrow right-of-way. The compact tower with polymer insulation arm is a solution. It can be upgrading conventional 154 kV transmission line voltages to 345 kV levels. However transmission voltage is increasing, environment interference (corona noise, radio interference, etc.) will occur gradually. This environment interference is depending on the electrical clearances of tower and configuration of conductors. Therefore the analysis of the factors of environmental interference is necessary in order to upgrading transmission voltage. This paper presents the design factor of a compact tower to meet the environmental interference standard.

**Keywords:** Corona noise, Radio interference, Voltage upgrade, Compact

#### 1. 서 론

우리나라 전력생산단지는 주로 해안가에 위치하여 전력수요지에 고품질의 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 가공송전철탑 구조물 건설이 불가피하나 국민생활 수준향상에 비례하여 자연·생활환경에 대한 관심고조로 송전철탑 구조물을 혐오시설로 인식하여 송전선로 경과지 확보가 전력산업의 최대현안으로 부각되고 있는 실정이다. 따라서 송전선로 건설시 기존의 송전선로를 이용한다면 추가적인 경과지가 필요 없어 친환경적이며 산림훼손이 적은 송전선로 건설이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 지금까지 건설되어 온 철탑은 앵글로 제작된 도전체이기 때문에 철탑과 전선 사이에 자기 애자를 사용하여 절연이격거리를

확보하기 때문에 철탑높이 및 폭을 축소하는데 한계가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 비도전체인 절연암을 이용한 컴팩트 타워 설계 및 시공기술을 확보하였다. 절연물을 활용한 컴팩트 타워기술은 절연물의 구조적 형태의 변화를 통한 송전시스템의 소형화 기술로서 환경 친화적이고 효율성과 경제성을 동시에 만족하는 특징을 가지고 있다. 코로나에 의한 전기환경 영향은 초고압송전선로 설계 시 중요하게 고려되어야 한다. 비록 송전선로에서 발생한 소음이 공공의 소음 요인에 주된 영향을 미치지 않더라도 전력회사는 송전선로 설계 시 반드시 전기환경 영향여부를 검토하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 절연암을 사용하여 기존 154 kV 송전철탑을 이용하여 345 kV 전압을 송전하기 위해서는 선간 및 상간 간격을 유지하여야 하므로 이에 따른 전기환경문제를 검토하여

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

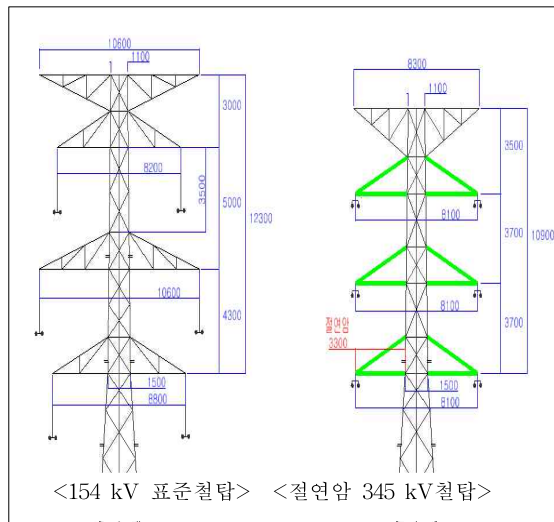


Fig. 1. Configuration of transmission tower for suspension string.

철탑설계 및 시공 시 콤팩트 타워 적용방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 기본개념

기존 154 kV 송전선로 철탑을 이용하여 345 kV 전압을 송전하기 위한 공기절연 특성은 상용주파단시간과 전압, 개폐과전압의 상-대지 간 및 상간 특성, 뇌과전압에 대한 특성을 고려하여 필요한 절연거리에 대한 검토를 하였다. 그 결과 현재 운전 중인 154 kV 철탑보다 작은 크기의 철탑으로 345 kV로 송압하는 것이 가능함을 알 수 있었다. 대표적인 절연암을 이용한 compact 현수형 철탑형상은 그림과 같다 [1].

### 2.2 전선 선정

기존 154 kV 송전선로 철탑을 이용하여 345 kV 전압을 송전하기 위한 전선 선정 시 고려사항은 송전용량 (허용전류, 전압강하, 안정도), 기계적 강도, 경제성, 경과지의 환경장해 등을 고려하여 하며 특히 기존 송전철탑을 사용함에 따라 대용량 경량화 전선을 선정하여야 한다.

Table 1. Continuous current.

종류	규격 (mm <sup>2</sup> )	외경 (mm)		중량 (kg/m)	연속 허용 온도	연속 허용 전류
ACSR(R)	480	AL29.6	ST7.41	1.599	90℃	909 A
STACIR/AW	410	ST28.5	AL10.5	1.687	210℃	1,552 A
ACCC	414	AL25.15	CC8.13	1.238	180℃	1,527 A
TACFR	410	AL25.15	CF10.5	1.256	150℃	1,272 A
ACCR	400	AL28.65	CW10.57	1.384	210℃	1,691 A

- \* ACSR : aluminum stranded conductors steel reinforced
- \* STACIR : super thermal-resistant aluminum-alloy conductors aluminum-clad invar reinforced
- \* TACFR : thermal-resistant aluminum conductor, composite fiber reinforced (CFCC - carbon fiber composite cable)
- \* ACCC : aluminum conductor composite core (C.C - composite core)
- \* ACCR : aluminum conductor composite reinforced (C.W - composite wire)

표 1은 선종에 따른 연속허용전류 특성을 나타내며, 환경장해 요소는 전선의 외경 및 흐르는 전류에 관계된다. 본 논문에서는 410 mm<sup>2</sup> 규격의 TACFR을 기준으로 환경장해 요소를 분석하며 필요시 480 mm<sup>2</sup> 규격의 ACSR 전선의 특성 값과 상대비교를 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

송전선로 용량 및 송전거리에 따라 전압이 결정되며 이에 따라 전기적·기계적 거리가 결정된다. 송전전류의 크기를 결정하기 위해 도체방식을 결정하는데 초고압 이상 송전선로에서는 반드시 환경대책을 검토하여야 한다. 송전선로에서 발생하는 환경요인은 전기적 요소로는 audible noise, hum noise, radio interference, TV interference, ozone, electric induction, magnetic induction 등이 있으며, 기계적 요소로는 aeolian noise, TV ghost, visual impact 등을 들 수 있다. 본 논문에서는 이 요소 중 전압격상에 따른 추가 영향중 가장 큰 영향을 미치는 요소인 audible noise, radio interference, electric induction, magnetic induction에 대하여만 검토 한다.

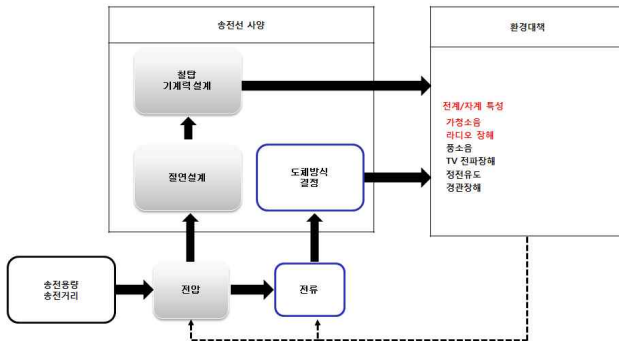


Fig. 2. Design of transmission line.

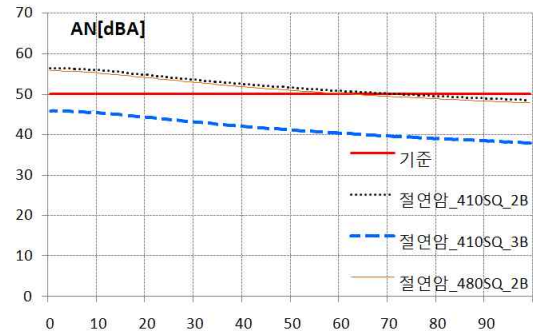


Fig. 3. Calculated result of corona noise.

### 3.1 전기환경 장애 예측 계산

송전 첩탑에서의 전기환경을 비교하기 위해 BPA의 알고리즘을 사용하였다. BPA 프로그램은 미국 전력회사인 Bonneville Power Administration (BPA)에서 개발해 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 전력설비 전기환경 장애검토 프로그램이다. BPA 프로그램은 audible noise (청정시/우천시), radio interference (청정시/우천시), TVI (우천시), ozone (우천시), 지표면 전계강도, 자계강도를 계산하는 각각의 부 프로그램으로 구성되어 있다. 이 프로그램을 통해 송전선로의 첩탑형상, 도체 규격, 선로배열 및 해석 대상의 배치도 등을 고려하여 송전선로로부터 거리에 따른 전계 및 자계의 최대 발생량을 계산할 수 있다 [2].

### 3.2 Audible noise

코로나 소음은 코로나 방전시 생기는 에너지가 순간적으로 공기중에 방출되기 때문에 생기는 일종의 불규칙적 폭발음이며 선로주변에 있는 사람들에게 잠재적인 불평을 유발시킬 수 있다. 청명한 날씨상태에서는 희미한 딱딱거리는 소리 (crackling noise)를 발생하나 그 정도가 낮아 괴롭힘을 줄 정도는 아니므로 일반적으로 불평은 거의 없다. 그러나 강우 등으로 전선이 젖었을 때에는 부착된 물방울이 선로를 따라 광범위한 코로나 소음원이 되어 더 강한소리 즉 기름 튀기는 소리와 같은 지글거리는 소리 (sizzling noise)를 발생한다. 우천시의 코로나 소음레벨은 강우시 (降雨時)에 가장 높지만 이때는 강우소음이 높게 존재하므로 실제 코로나 소음은 높게 들리지 않는다. 그러나 이슬비, 안개 등이나 강우 후 도체가 젖었을 때 (wet conductor)의 코로나 소음은 강우소음도 존재하지도 않고 사람들이 옥외활동이 가능한 대신 소음

레벨은 높으므로 가장 불평정도가 높게 된다. 따라서 코로나 소음에 대해서는 이 상태를 기준으로 예측하고 평가하는 것이 일반적이다. 소음의 영향을 평가하기 위해서는 소음의 특성뿐만 아니라 사회의 특성, 자연환경 등 많은 요인을 고려할 필요가 있어 매우 어려운 문제라 할 수 있다. 코로나 소음은 교통소음과 비교하면 소음 level이 낮으나 고압송전선이 주로 교외 주택지, 산림지 등을 통과하기 때문에 암소음 (주위소음)이 낮고 또 소음이 상공에서 전달되기 때문에 소음이 발생하면 그 범위가 넓게 된다. 특히 코로나 소음에 대한 불안감은 발생원이 전기설비라는 점과 주민에 따라서는 처음 경험하는 현상으로 소음이 지각되는 점 자체가 문제이고 소음레벨과 대응시켜 평가하는 것은 곤란하다. 코로나 소음은 BPA 알고리즘에 사용된 식 (1)과 같은 상관관계가 있으며, 평균 도체 표면 전위 정도에 가장 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.

$$AN(rain L50) = -164.4 + 120\log(g) + 55\log(Deg) - 11.4D - 5.8 - Alt/300 \quad (1)$$

- \*  $g(kV/cm)$  : 평균도체 표면 전위정도
- \*  $Deg(cm)$  : 등가 직경
- \*  $D(m)$  : 기준 상으로부터 계산점까지의 방사거리
- \*  $Alt(m)$  : 해발

코로나 소음의 예측지점은 선하지 보상경계지 에서 3 m인 지점을 택하였고 코로나 소음 목표치는 환경정책기본법 소음환경기준 (R.O.W)로 현행 용지매수요령에 의거 최외측상에 주거지역 50 dB(A) 이하 및 기타 지역 60 dB(A)이하로 되어있다.

계산결과는 그림 3과 같으며 표 2와 같이 소도체 수를 3도체 (3B)로 채택하여야 코로나 소음 규제치를

**Table 2.** Calculated result of corona noise.

평가항목	평가기준	410 mm <sup>2</sup> ×2B	410 mm <sup>2</sup> ×3B
코로나 소음	50 dB(A)이하	55 dB(A)	44 dB(A)

**Table 3.** Regulation value of corona noise.

국명(전력회사)	기준치
일본(TEPCO)	50 dB(A)이하(Rain시 L50) 최외측상 선하
BPA	50 dB(A)이하(Rain시 L50) R.O.W경계
미국	
NYPA	52 dB(A)이하(Rain시 L50) R.O.W경계
AEP	55 dB(A)이하(Rain시 L50) R.O.W경계
ITALY(ENEL)	56 dB(A)이하(Rain시 L50) 최외측상에서 15m
인도	18.8 dB(A)이하
남아공(ESCOM)	53.3 dB(A)이하(Rain시 L50)

만족한다.

해의 전력회사의 코로나 소음 규제치는 표 3과 같다 [3].

### 3.3 Radio interference

라디오 장애는 가공송전선의 코로나에 의한 잡음전류가 선로를 따라 전파 되고 또 잡음전계에 의해 송전선로 주변으로 방사되면서 방송수신에 영향을 주는 현상이다. 라디오 잡음량은 측정주파수에 따라 변하며 주파수 분포 형태는 코로나전류와 이들이 선로를 따라 진행, 감쇄하는 특성에 의해 변한다. 일반적으로 라디오 잡음은 주파수가 높아짐에 따라 잡음발생 정도가 크게 감소하는 특성이 있어 라디오 수신에는 표준주파수대 (AM : 535~1,605 kHz)에서 장애가 크며 FM라디오 방송에서는 수신 상 영향은 거의 없는 것으로 보고 되고 있다. 국제무선장애 특별위원회 (CISPR)에서는 식 (2)와 같이 신호와 잡음강도의 차를 나타내는 신호대 잡음비 (signal to noise ratio, SNR)를 방송수신품질의 평가기준으로 채택하고 있어 일반적으로 SNR을 평가기준으로 사용 한다.

$$SNR = 20\log(\text{신호전계강도/잡음전계강도})dB \quad (2)$$

\* 신호전계강도 : 방송전계강도(mv/m 또는 dB)

\* 잡음전계강도 : 라디오 및 TV 잡음강도(mv/m 또는 dB)

**Table 4.** The standard of radio interference.

기관명	SNR(dB)	상태	비 고
FCC	24	Satisfactory	Federal Communication Commission
TTU	30	Recommended	The International Telecommunication Union
NABRA	26	Recommended	The North American Regional Broadcasting Agreement

송전선로에서 발생하는 잡음의 허용 가능한 SNR에 관해서는 각 국가 및 기관별로 권고치, 기준치의 형태로 다양하게 제시되어 있다. 전파수신환경의 보호를 목적으로 각 나라에서는 라디오 잡음의 영향을 받지 않는 SNR을 약 24 dB 이상으로 권장하고 있으며 측정주파수는 일본의 경우 1 MHz를, ANSI/IEEE Std의 경우 0.5 MHz 표준으로 정하고 있다 [4].

측정 기준거리의 최외상 도체의 15 m 이격된 지점으로 선정한다. 이러한 이유는 선로의 높이에 따라 방사잡음의 중방향 감쇠특성이 다르게 나타나지만 실제로 15 m 부근에서는 선로의 높이가 변화해도 방사잡음의 크기가 거의 영향을 받지 않기 때문이다.

전력선과 고전압 설비에 의한 라디오 장애는 일반적으로 기상조건 청명 (fair weather)시의 50% 측정값으로 평가한다. 기상조건에 따라 잡음량은 변화가 심한데 청명시의 장애량을 평가하는 이유는 강우 시가 보다 크지만 청명 시 라디오 장애는 기타 다른 장애와는 달리 인지될 정도로 크기 때문이고, 1년 중 맑은 날의 비율이 약 95% 이상 되기 때문이며, 강우 시 측정값은 강우 조건별로 기준을 설정하여야 하므로 강우 시 라디오 장애는 측정과 평가가 어렵기 때문이다. 따라서 이러한 이유 때문에 라디오 장애는 청명 시 50% 장애량을 평가하고 있다. 라디오 장애는 BPA 알고리즘에 사용된 식 (3)과 같은 상관관계가 있으며, 코로나 노이즈의 경우에서 처럼 평균 도체 표면 전위 경도에 가장 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.

$$RI(\text{Fair } L50) = -48 + 120\log(g/17.56) + 41\log(d/35.1) + 10[1 - (\log f)^2] + Alt/300 + K \quad (3)$$

\*  $g(kV/cm)$  : 평균도체 표면 전위경도

\*  $d(cm)$  : 소도체 직경 \*  $f(MHz)$  : 주파수(0.5 MHz)

\*  $Alt(m)$  : 해발

\*  $K$  : 상수

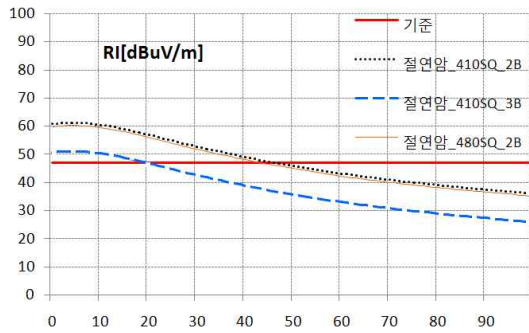


Fig. 4. Calculated result of radio interference.

Table 5. Calculated result of radio interference.

항목	기준 신호 강도	평가기준	410 mm <sup>2</sup> ×2B	410 mm <sup>2</sup> ×3B
라디오 수신(475 kHz)	71 dBuV/m	47 dBuV/m 이하	57 dBuV/m	47 dBuV/m

계산결과는 그림 4와 같으며 측정 기준거리인 최외상 도체의 15 m 이격된 지점에서의 결과값은 표 5와 같다.

### 3.4 Electric induction

교류 송전선하의 절연된 금속에 사람이 접촉하면 금속에서 사람으로 과도적인 불꽃방전이 일어나고 연속하여 전류가 흐른다. 이것은 송전선의 전계에 의하여 금속에 전압이 유기되고 있기 때문이며 반대로 절연된 사람이 접지 물체에 접촉할 때에도 같은 현상이 발생한다. 연속하여 흐르는 전류는 자동차와 같이 비교적 큰 물체에서도 약 1 mA 정도 이므로 인체에 장해를 주는 것은 거의 없지만 접촉시의 과도적인 방전이 사람에게 불쾌감을 줄 가능성이 있다. 국내의 전계 기준치는 산업자원부령으로 공포된 법적 규제치가 있는데 전기설비기술기준에 관한 규칙 (산업자원부령 제 98호, 1988. 6. 10)에 따라 특별고압 가공전선로에 대하여 3.5 kV/m 이하로 규제하고 있다. 한국을 포함한 국제방사선보호협회 (IRPA/ICNIRP) 및 일본의 전계 제한 기준을 표 6에 요약하였다.

전계강도는 이러한 해외 사례의 경우와 국내 기준을 비교하여 국내 전기설비기술기준에서 규정하고 있는 지표면 1 m 위치에서 주거지역 3.5 kV/m, 기타 지역은 7.0 kV/m이하가 되는지 조건을 기준으로 검토

Table 6. E-field exposure standard of international agency, Japan and South Korea.

기 관	전 계 (kV/m)	조 건	비 고
IRPA/ ICNIRP	4.16	일반인	60Hz 기준 권고안
	8.33	직업인	
일본 (MITI)	3	보행자, 차량통행이 빈번한 지역, 선하	전기설비 기술기준
	5	상기 이외 지역	
한국	3.5	사람 출입이 빈번한 곳, 선하	KEPCO 설계기준 전기설비기 술기준 2회선시 역상 배열
	7	산악지 등 기타지역	

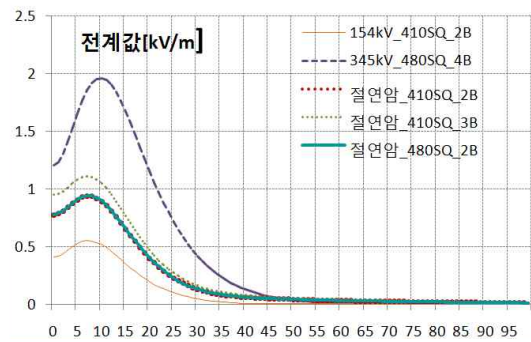


Fig. 5. Calculated result of electric field.

Table 7. Calculated result of electric field.

평가 항목	평가 기준	410 mm <sup>2</sup> ×2B	410 mm <sup>2</sup> ×3B
전계	3.5 kV/m 이하	0.9 kV/m	1.1 kV/m

하였다. 계산결과는 그림 5와 같으며 전계의 최대값은 표 7과 같이 기준을 모두 만족한다.

### 3.5 Magnetic induction

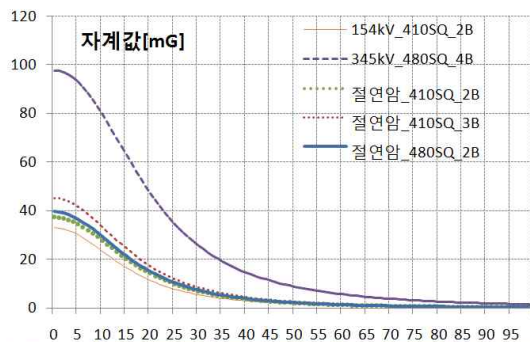
우리나라에서는 전기설비 기술기준 제119조(유도장해의 방지)에 특별고압 가공전선로는 지표상 1 m에서 자계강도가 83.3 uT이하가 되도록 시설하는 이외에 정전(靜電)·전자유도(電磁誘導)작용에 의하여 사람에게 위험을 줄 우려가 없도록 시설하여야 한다. 다만 논·밭·산림 기타 사람의 왕래가 적은 곳에서

**Table 8.** Calculated result of magnetic field.

평가 항목	평가 기준	410 mm <sup>2</sup> ×2B	410 mm <sup>2</sup> ×3B
자계	833 mG 이하	38 mG	45 mG

**Table 9.** M-field exposure standard of international agency, japan and South Korea.

기관	자계 (mG)	조건	상태	비고
IRPA/ICNIRP	833	일반인	권고안	
	4166	직업인		
일본(MITI)	50000	일반인	권고안	WHO 환경보건기준(1969)
		작업자		
한국	833	일반인	KEPCO 설계기준 전기설비기술기준	IRPA/ICNIRP 권고치 준용
		작업자		



**Fig. 6.** Calculated result of magnetic field.

사람에 위험을 줄 우려가 없도록 시설하는 경우는 제외하도록 규정하고 있다. 자계에 관한 기준은 현재 전 세계적으로 가장 신뢰도가 높은 국제 비방사선 보호위원회 (IRPA/ICNIRP) 권고안 중 일반 주민을 대상으로 24시간 연속 노출인 경우의 권고치인 1 G (상용주파 50 Hz 경우)를 준용하고 있다. 그러나 최근 전원주파수 별로 기준치를 달리하도록 하여 국내의 60 Hz를 고려하면 833 mG가 된다. 해외 규제 사례의 경우와 국내 기술기준은 표 8과 같이 요약할 수 있으며 본 논문에서는 자계강도가 전기설비기술기준에서

규정하고 있는 지표면 1 m 위치에서 83.3 uT 이하가 되는지 검토하였다. 계산결과는 그림 6과 같으며 자계의 최대값은 표 9과 같이 모두 기준을 만족한다.

#### 4. 결론

전력을 수송하기 위한 송전철탑에 가해지는 전압과 전류에 의해 주변에 여러 가지 환경장해 (코로나 소음, 라디오 장애 등)가 발생하게 된다. 이 장애발생량은 철탑의 절연간격, 전력선의 종류 및 도체구성방식에 따라 변화하게 되는데 본 논문에서는 기존 154 kV 송전철탑을 이용하여 345 kV 전압을 송전 할 때의 환경장해 요인이 되는 철탑의 절연간격, 전력선의 종류 및 도체구성방식에 따른 변화량을 살펴보고 국내 환경장해 규제에 적합한 조건을 예측 계산식 및 프로그램을 활용하여 분석하였다.

345 kV 송전철탑이 154 kV 크기의 철탑으로 compact 화 되면서 전계 및 자계의 발생량이 증가가 되지만 평가기준을 만족한다. 하지만, 코로나 소음 및 라디오 장애 부분에서는 평균 도체 표면 전위 경도 증가 영향을 받아 평가기준을 초과함을 확인하였으며, 전력선에 의한 영향은 크지 않은 것도 확인하였다. 절연간격 증대로 평가기준을 만족하기 위해서는 철탑의 크기가 154 kV 철탑에 비해 상대적으로 커져야 하기 때문에 compact화의 의미가 퇴색이 되며, 도체 구성 방식을 2도체에서 3도체를 변경하는 것이 유일한 해결방법임을 확인 하였다.

#### REFERENCES

- [1] W.-K. Lee, J.-W. Lee, Y.-W. Kang, and D.-I. Lee, *J. KIEEME* **22**, 870 (2009).
- [2] H.-J. Song, W.-K. Lee, S.-Y. Lee, I.-H. Choi, D.-I. Lee, and K.-S. Byeon, *Trans. KIEE* **58**, 349 (2009).
- [3] K. Y. Shin, D. I. Lee, J. Y. Yoon, S. B. Kim, and J. B. Kim, *Journal of KIIEE* **13**, 24 (1999).
- [4] International Standard CISPR 18-2: *Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment, Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits*, 1986.