

〈論 文〉

# 송배전 접속 금구류의 도전 열특성에 관한 연구

이 창 식\* · 진 양 덕\*\*

(1989년 2월 18일 접수)

## Heat Characteristics of Electric Fittings for Power Transmission Line

Chang Sik Lee and Yang Duck Chin

**Key Words:** Electric Fittings(전선 금구류), Sleeve Connector Characteristics(슬리브 커넥터 특성), Electric Resistance(전기 저항), Aluminum Stranded Conductor(알루미늄연선), Electric Fittings Temperature(전선 금구류 온도)

### Abstract

This study deals with the heat cycle characteristics of sleeve connector of aluminum stranded conductors steel reinforced(ACSR). In order to investigate the effect of heat cycle on the sleeve connector of stranded conductor, experimental study has been performed for both the temperature rising and electrical resistance of sleeve connector. Also, the effect of changes in surrounding temperature on the allowable current of sleeve connector was studied in order to investigate the influence on the connector size of conductor. Under the given test conditions of heat cycle, the temperature rising is decreased with the increase of sleeve size of conductor. The deviation of resistance of sleeve connector in conductor decreased with the increase in the size of sleeve connector.

### 1. 서 론

알루미늄 도선 접속부의 여러가지 특성 중에서 기계적 특성과 전기적 특성은 전선과 접속 금구류의 가장 중요한 설계 요인의 하나가 되고 있다. 이들 가운데서 특히 도선 접속부의 특성 중에서 접속 금구류 표면의 산화 피막의 발생, 장기간 사용에 따른 크리프의 영향, 전기 화학적 부식 등과 더불어 중요한 문제의 하나가 도선과 접속 금구류를 통하여 흐르는 전기 에너지에 의한 도전 발열에 의한 영향을 들 수 있다.

실제로 전기 에너지를 운송하는 도선은 부하가 끊임없이 변동하고 경우에 따라서는 과부하가 걸리

는 경우도 있다. 또한 주위의 온도도 일년 중 지속적으로 변화하며 특히 여름철과 겨울철에는 각각 매우 큰 온도차에 놓이게 된다. 그러므로 전기 에너지를 운송하는 도선 및 접속 금구류는 온도 변화에 대응하여 항상 그 성능이 안정되게 유지되어야 한다.

특히 접속부의 온도 변화는 도선과 접속 커넥터의 팽창 및 수축을 되풀이 하게 되어 접속 금구류의 설계는 이러한 점을 고려하여 설계되어야 한다. 이들 가운데서도 접속 금구류의 전류와 통전시의 방열 특성 등은 접속 금구류의 성능을 결정짓는 매우 중요한 과제가 되고 있다. 송배전선에 관한 전기적 특성에 관한 연구는 주로 송배전 선의 장거리 선로에 관한 서지 현상에 관한 연구<sup>(1)</sup>를 비롯하여 실용 송전선의 첩탑 및 전선의 서지 특성에 관한 연구<sup>(2)</sup>와 전력계통의 발전량 및 송전선 용량에 관

\*정회원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

\*\*한영개발주식회사

한 연구<sup>(3)</sup>등의 용량과 설계에 관한 문헌들이며, 송배전선 금구류의 기계적 특성 및 도전 열특성과 전기 저항특성에 관한 연구는 그다지 많지 않은 실정에 있다. 특히 알루미늄 연선의 접속 커넥터를 비롯한 각종 금구류의 성능 개선은 전선의 허용 전기 용량 및 안전한 전력의 송배전 설계를 위해서도 매우 중요하다. 그러나 이들 금구류의 설계에 관한 연구의 예<sup>(4)</sup>는 일부 발표가 있으나 그다지 많지 않은 실정에 있다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 도체의 접속 금구류의 도전 열특성을 규명하기 위한 연구의 일환으로 접속 금구류 중 접속 슬리브 커넥터의 적절한 허용 전류, 통전시에 발생하는 승온 특성 및 전기 저항 특성 등을 실험적으로 구하고 접속 금구류의 설계에 필요한 도전 열특성을 실험적으로 규명하는 것을 목적으로 한다.

2. 금구류의 도전 열특성

2.1 강심 알루미늄 연선의 허용 전류

강심 알루미늄의 연선은 연선의 중심부에 강선을 넣고 겹 층에는 알루미늄선을 연합한 것이며 알루미늄의 가벼운 점과 양전도성, 강의 강도를 이용한 대표적인 송배전용 도선이다.

일반적으로 보통 나가공전선(裸架空電線)의 허용 전류  $I(A)$ 는 다음 식<sup>(5,6)</sup>으로 표시된다.

$$I = \sqrt{\frac{\{h_w + (h_r - \frac{W_s}{\pi \Delta \theta} \eta)\} \pi D \Delta \theta}{r}} \tag{1}$$

여기서  $h_r$ 은 복사에 의한 열전달 계수( $W/cm^2C$ )이고,  $h_w$ 는 대류 열전달 계수( $W/cm^2C$ )이다.

$$h_r = 0.000567 \frac{\left(\frac{T + \Delta \theta}{100}\right)^4 - \left(\frac{T}{100}\right)^4}{\Delta \theta} \tag{2}$$

$$h_w = 0.00572 \frac{\sqrt{\frac{V}{D}}}{\left(T + \frac{\Delta \theta}{2}\right)^{0.123}} \tag{3}$$

여기서  $D$ 는 전선의 직경(cm),  $\Delta \theta$ 는 허용 온도 상승( $^{\circ}C$ ),  $T$ 는 주위 온도( $^{\circ}K$ ),  $V$ 는 풍속(m/s)는  $r$ 은 사용 온도에 대한 도체의 교류 저항( $\Omega/cm^2$ ),  $W_s$ 는 일사량( $W/cm^2$ ),  $\eta$ 는 전선의 완전 흑체에 대한 방산 계수의 비(0.9)이다.

2.2 금속 금구류의 성능 특성

접속 금구류의 도선을 서로 연결하여 필요로 하는 전기 에너지를 운송해야 하는 기능을 가져야 하므로 전기적으로나 기계적으로 그 성능이 만족되어야 한다. 본 연구에서 적용한 강심 알루미늄 연선의 최고 허용 온도는  $90^{\circ}C$ 로 하였고, 주위 온도는  $40^{\circ}C$ , 풍속은 12m인 곳에서 0.5m/s, 일사량은  $0.1W/cm^2$ 을 적용하였다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 접속 금구류의 실험 장치

(1) 열사이클(heat cycle) 시험 장치

알루미늄 연선 접속 슬리브 커넥터의 사용시

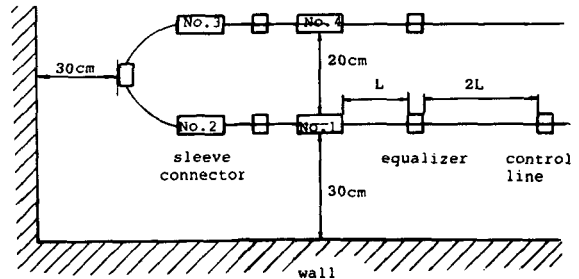


Fig. 1 Heat cycle loop

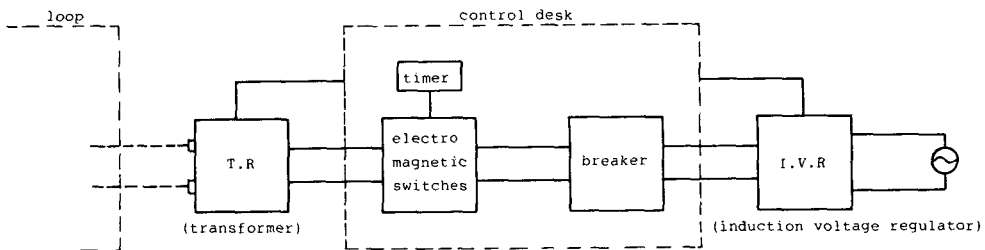


Fig. 2 Schematic diagram of heat cycle circuit

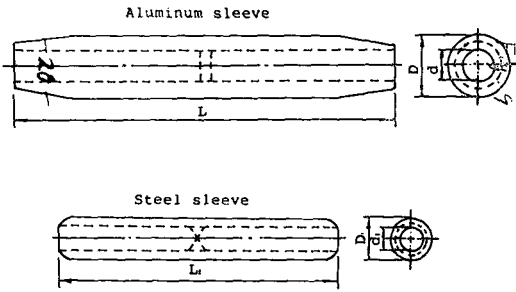


Fig. 3 Sleeve connector

전기적 안정성의 양부를 판정하기 위한 열사이클 시험 장치는 Fig. 1과 같은 사이클 루프를 형성하게 하고 동일 통전 전류의 시료 4개를 1조로 직렬 배치한다. 루프의 지지점은 가급적 균압 장치 가까이 오도록 배치하였다.

Fig. 2는 본 실험에 사용한 열사이클 시험 장치의 계통도를 도시한 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 시험 장치는 유도 전압 조정 장치, 전자 스위치와 차단기로 구성된 컨트롤 장치, 변압기 및 루프 시험부로 구성하였다.

한편 본 실험에 사용한 알루미늄 슬리브 및 강 슬리브 커넥터의 모양은 Fig. 3과 같고, 실험에 사용된 커넥터의 주요 치수는 Table 1과 같다.

슬리브 커넥터의 압축은 두쪽의 다이스가 외부를 감싸면서 눌러 압축하는 방식의 진동 유압식 100톤 압축 프레스를 사용하였다.

### 3.2 실험 방법

접속 금구류의 도전 열특성을 실험적으로 규명하기 위하여 접속 금구류의 열사이클 시험에서 시료는 KSC 3119에서 제시하는 방법에 따라 직접 압축 슬리브 커넥터를 동일한 4개를 1조로 하여 열사이클 실험 루프내에 조립하여 직렬 배치한 다음 규정된 전류로 통전하여 실험하였다. 열사이클 루프는 제어선 규격이 200mm 미만일 때에는 60분 통전 60분 정지를 1사이클로 하고, 200mm 이상일 경우는 90분 통전 90분 정지를 1사이클로 하였다. 전류는 Table 2에 제시된 전류로 하여 25사이클에서 제어선의 온도가  $100 \pm 2^\circ\text{C}$  되게 하여 제어선의 온도상승 여하에 관계없이 통전 전류를 일정하게 유지하도록 전원을 조정하여 500사이클까지 시험 하였다. 또한 슬리브 커넥터의 저항과 온도 측정은 사이클 주기 125사이클까지는 25 사이클마다, 500사이클까지는

Table 1 Dimensions of sleeve connector

Conductor area(mm <sup>2</sup> )	Dimension(mm)					
	L	D	d	L <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>
32	259	16.6	8.8	—	—	—
160	566	29.0	20.0	219	17.9	9.1
240	600	38.0	24.0	200	22.0	10.2
330	640	42.0	26.6	200	24.0	11.1
410	740	48.0	29.9	240	24.0	11.1
Tolerance	+3.0 -0.1	$\pm 0.6$ -0.2	0.4	+1.0 -2.0	+0.6 -0.2	+0.4 -0.2

Table 2 Test current of sleeve connector

Conductor area(mm <sup>2</sup> )	Current(A)
32	160
95	160
160	530
240	720
330	865
410	1,000

80사이클마다 측정하였다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 강심 알루미늄 연선의 허용 전류

Fig. 4는 강심 알루미늄 연선의 허용 전류 I와 주위 온도 T와의 관계를 도시한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 허용 전류 I는 주위 온도가

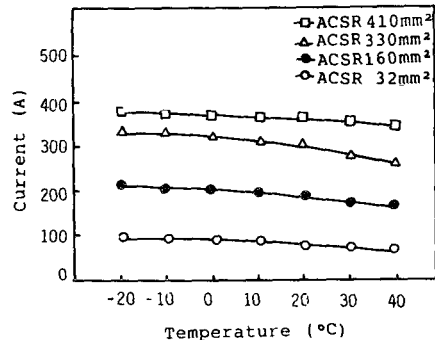


Fig. 4 Effect of conductor size on the allowable current and surrounding temperature

증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있으며, 연선의 단면적이 증가함에 따른 영향을 살펴보면 단면적이 증가함에 따라 큰 차이는 나타나지 않았으나 대체로 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 도체 주위의 온도가 상승함에 따라서 허용 전류가 저하 하므로 연선 및 슬리브 커넥터 등의 금구류의 설계는 허용 전류 범위를 온도 변화의 영향을 고려하여 허용 전류치 범위 내에 존재하도록 설계하여야 함을 알 수 있다.

4.2 접속 금구류의 통전 방열 특성

Fig. 5는 ASCR 32mm의 접속 금구류의 온도 상승 곡선을 도시한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 제어 전류의 증가와 더불어 제어 전선의 온도가 100°C 정도 상승하는 동안 슬리브의 온도 상승은 약 50°C까지 상승하였다. 이 때 시험 전류 통전시간은 60분이며 60분 통전 후 전류를 차단하면 제어 전선의 온도는 그림과 같이 100분 경과하였을 때 급격히 상온인 20°C에 도달하나 슬리브에서는 120분이 경과할 때까지 제어선에 비하여 상당히 높은 온도 분포를 나타내었다. 이러한 현상은 접속 금구류인 커넥터는 제어 전선을 내부에 삽입한 상태로 가공 상태를 유지하고 있으므로 방열 면적이 제어선의 경우보다 넓기 때문에 온도 상승은 완만하며, 온도 상승도 전자에 비하여 낮은 것으로 볼 수 있

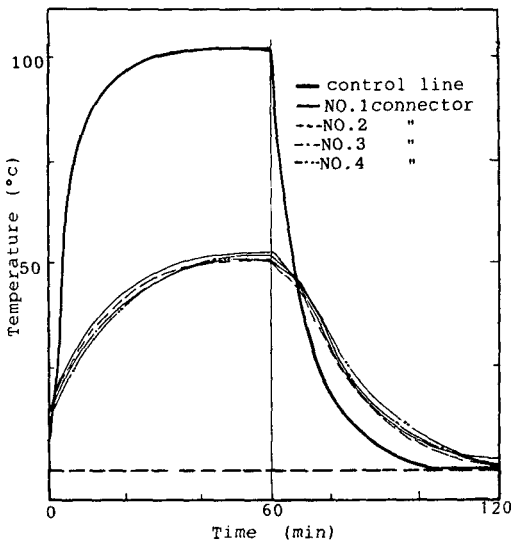


Fig. 5 Temperature rising curve of joint sleeve(ACSR 32mm)

다. 그러므로 제어 전선의 통전 시험후 전류를 차단한 경우에도 냉각곡선은 슬리브 커넥터에 비하여 매우 완만하게 나타나고 있는데 이러한 현상도 냉각 전열 면적이 슬리브에 비하여 작기 때문인 것으로 볼 수 있다.

이러한 경향은 4개의 시료가 약간의 차이가 있으나 그 경향은 모두 동일한 것으로 나타났으며, 전선의 단면적이 95mm<sup>2</sup>, 160mm<sup>2</sup>일 경우에도 그 경향은 대체로 비슷한 것으로 나타났다.

한편 Fig. 6과 Fig. 7은 각각 전선의 단면적이 160mm<sup>2</sup>일 때와 단면적 330mm<sup>2</sup>일 때의 제어선의 온도와 저항 및 온도의 측정치의 평균치를 도시한 것이다. 저항과 온도의 변화를 살펴 보면 대체로 제어 온도 변화와 유사한 경향을 나타내고 있으며 이러한 경향은 330mm<sup>2</sup>과 410mm<sup>2</sup>에서도 대체로 동일한 경향으로 나타났다. 단면적의 변화에 따른 온도 및 저항의 변화를 알아보기 위하여 160mm<sup>2</sup>과 410mm<sup>2</sup>일 때에 대하여 비교하여 보면 160mm<sup>2</sup>에서는 약 50~60°C 정도의 온도 범위에 존재하나 410mm<sup>2</sup>일 때

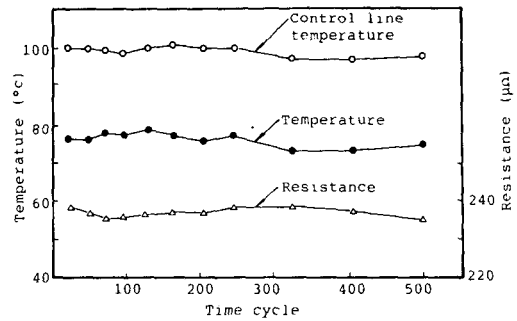


Fig. 6 Comparison of temperature and resistance of sleeve connector(ACSR 160mm<sup>2</sup>)

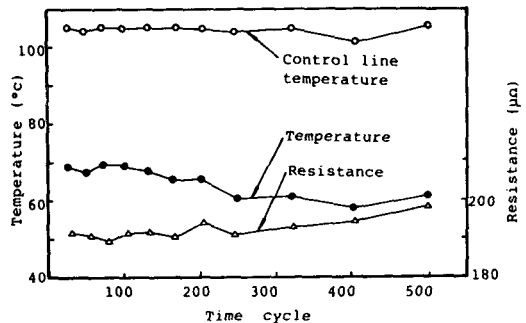


Fig. 7 Comparison of temperature and resistance of sleeve connector(ACSR 330mm<sup>2</sup>)

에는 40~50℃로 나타났다. 이러한 경향은 슬리브 단면적이 전선의 단면적과 더불어 증가하여 방열 성능이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

4.3 접속 금구류의 도전 승온 특성의 비교

앞에서는 접속 금구류의 도전 방열 특성을 알아보기 위하여 저항 및 온도 변화를 여러가지 크기에 대하여 비교하여 보았다. 여기서는 이들 온도 및 저항의 변화를 그온도차, 즉 제어 전선에 대한 온도와 금구류의 온도와의 차이를 사이클수의 변화에 대하여 비교하기로 한다.

Fig. 8은 ACSR 160mm<sup>2</sup>, 240mm<sup>2</sup>, 330mm<sup>2</sup>, 410mm<sup>2</sup>인 접속 금구류에 대한 온도차 특성을 비교한 것이다.

이들 선도에서 보는 바와 같이 단면적이 증가함에 따라 ACSR 330mm<sup>2</sup>에서는 저사이클의 경우에는 약간 낮게 나타났으나 접속 슬리브 커넥터의 온도는 증가하는 경향으로 나타났다.

한편 Fig. 9는 도선의 제어 전선의 온도를 100±2℃로 일정하게 유지하고 ACSR 단면적의 변화에 따른 슬리브 커넥터의 온도 평균치를 도시한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 슬리브 커넥터의 온도는 앞에서 지적한 바와 같이 단면적이 증가할수록 저하하는 경향을 나타내었다.

이러한 경향은 단면적이 증가할수록 접속 금구류의 방열 면적이 증가하고 도전 성능이 단면적이 증가함에 따라 작아져서 온도차는 증가하는 것으로 생각할 수 있다. 이와 같은 저항차를 단락 사이클 변화에 대하여 표시하여 비교하면 Fig. 10, 11, 12와 같다.

Fig. 10은 도선의 단면적이 32mm<sup>2</sup>일 경우에 관한 것이고, Fig. 11은 160mm<sup>2</sup>, Fig. 12는 410mm<sup>2</sup>에 관한

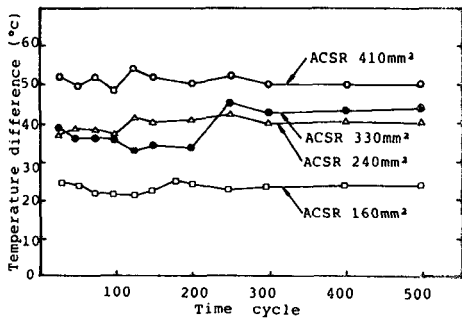


Fig. 8 Effect of time cycle on temperature difference with different connector sizes

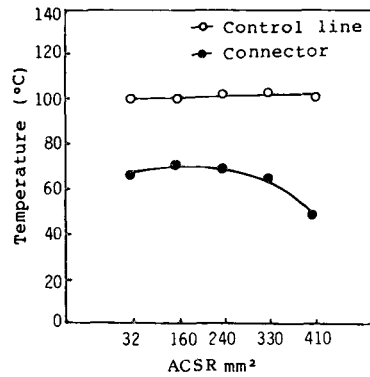


Fig. 9 Mean temperature of sleeve connector

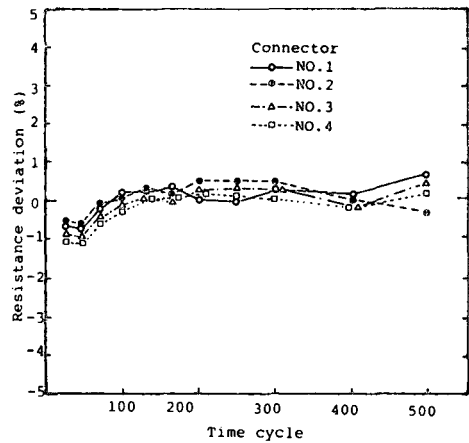


Fig. 10 Resistance deviation of sleeve connector

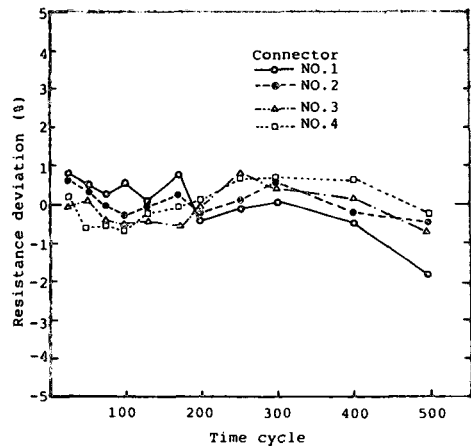


Fig. 11 Resistance deviation of sleeve connector(ACSR 160mm<sup>2</sup>)

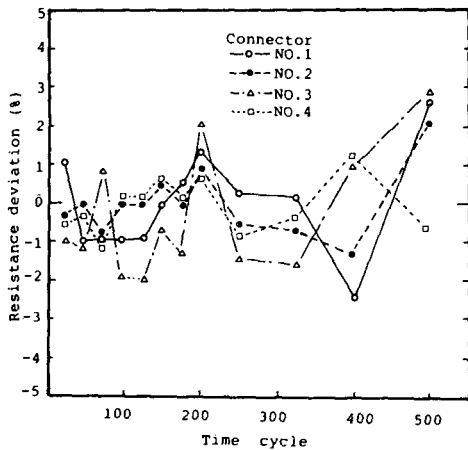


Fig. 12 Resistance deviation of sleeve connector(ACSR 410mm<sup>2</sup>)

저항차를 도식한 것이다. 이들 선도에서 보는 바와 같이 저항의 차는 단면적이 증가함에 따라 그 폭은 점차로 커지는 현상을 나타내었다. 특히 도체의 단면적이 32mm<sup>2</sup>의 것과 410mm<sup>2</sup>를 비교하여 보면 그 차의 기복이 현저하게 증가됨을 볼 수 있다. 이러한 경향은 앞에서 지적한 바와 같이 슬리브 커넥터의 도전 면적이 증가할수록 온도 상승이 저하하며, 또한 저항의 차의 기복은 그림과 같이 커지는 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

송 배전선의 접속 금구류의 도전 방열 특성을 그 온도 상승 및 저항 특성에 대하여 실험적으로 연구한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 주위 온도 변화에 따른 강심 알루미늄 연선의

허용 전류는 주위 온도의 상승에 따라 감소하는 경향을 갖는다.

(2) 접속 슬리브 커넥터의 온도 상승 특성을 도선의 단면적에 대하여 비교한 결과 도선의 단면적이 증가할수록 온도 상승은 완만하다. 한편 1사이클당 슬리브 커넥터의 최고 온도는 알루미늄연선 32mm<sup>2</sup>에서는 66.36°C이며 냉각 속도는 제어 전선이 슬리브 커넥터 보다 큰 것으로 나타났다.

(3) 접속 슬리브 커넥터의 열사이클 시간에 따른 온도 변화를 비교한 결과 사이클 시간에 따른 승온 특성의 변화는 그다지 크게 나타나지 않고 거의 일정하였다.

(5) 접속 슬리브 커넥터의 온도와 저항 편차를 사이클 시간에 대하여 비교한 결과 도선의 단면적이 증가함에 따라 그 저항 편차는 커진다.

## 참 고 문 헌

- (1) Battison, M.J., 1970, "Calculation of Transients of Transmission Lines with Sequential Switching", Proc. Instn Elect. Engs, Vol. 117, No. 3, pp. 587~590.
- (2) 安生, 岸嶋, 1970, "實用電線の鐵塔および電線のサージ特性", 電氣學會雜誌 第90卷, 第2號, pp. 2514~2522.
- (3) Garver, L.L., Van Horne, P.R. and Wirgau, K.A., 1979, "Load Supplying Capability of Generation-Transmission Networks", IEEE Trans., Vol. PAS-98, No. 3, p. 957.
- (4) 진양덕, 1988, "송배전 금구류의 도전 방열 특성에 관한 연구", 한양대학교 산업대학원.
- (5) 電氣協同研究會, 1967, "アルミニウム配電線", 第23卷, 第2號 pp. 29~34.
- (6) James, R. Welty, 1978, "Engineering Heat Transfer", p. 303.