

# 전력케이블(CV케이블)의 쉬스접지선 단면적 계산 및 단락용량/지락시 허용전류 개략계산 검토

초안:2021.10.18., 1차보완:2021.10.30.

검토자: 김보경([olcm@olcm.co.kr](mailto:olcm@olcm.co.kr))

## A. CV케이블의 동Tape의 유효단면적 계산

### 1. 개요

일반적으로 산업현장의 3kV이상 전력케이블에 있어 동Tape차폐층 시스를 접지하고 하고 있지만, 시스접지선에 연결되는 동Tape의 전류용량이 어느 정도인지 알지 못하고 있는 상태에서 시스접지선 Size를 결정하고 있는 것이 실정이다.

본 검토자도 케이블 제조 설계업무에 종사하지 않아 대략적으로 케이블 Size에 따라 전류용량이 다르고 대략적으로 단면적으로 환산 한 값이 3~10sqmm정도라고 알고 있었지만, 계산방법에 대해 확실하게 모르고 있었다.

최근에 케이블 쉬스접지선의 굵기를 검토할 기회가 있어, 여러 자료를 조사하여 대략적으로 계산하였고 다음과 같이 검토한 결과를 토대로 CV케이블에 대해서만 정리하고자 한다.

### 2. CV케이블의 동Tape유효단면적 계산식

CV케이블의 동Tape의 유효단면적을 계산하는 방법에 대해 기술한 자료를 조사한 결과, 다음과 같이 일본 전기서원의 전력케이블 기술핸드북과 ICEA자료 2개가 있었다.

#### 2-1. 평상시의 CV케이블의 동Tape단면적 계산식 ( 출처: 일본전선공업회)

$$A_s = \frac{\pi \cdot t \cdot ds}{1 - ks}$$

As: 동Tape 실효단면적 (sqmm)  
t: 동Tape두께 (mm) (일반적으로 0.1~0.07mm)  
ds: 동Tape감긴 평균직경(mm)  
ks: 동Tape겹침율 (일반적으로 1/4~1/5겹침)

## 2-2. 단락 또는 지락시의 CV케이블의 동Tape 유효단면적 계산식

1) 출처: 일본전력케이블 기술핸드북, 일본 전기서원 발행

$$As = \pi \cdot t \cdot ds \cdot \sqrt{\frac{1}{2(1-B)}}$$

|                                    |
|------------------------------------|
| As: 동Tape 실효단면적 (sqmm)             |
| t: 동Tape두께 (mm) (일반적으로 0.1~0.07mm) |
| ds: 동Tape감긴 평균직경(mm)               |
| B: 동Tape겹침율 (일반적으로 1/4~1/5겹침)      |

2). 출처: ICEA PUBLICATION

$$As = 4 \cdot t \cdot ds \cdot \sqrt{\frac{100}{2(100-L)}}$$

|   |
|---|
| As: 금속실드의 유효단면적 (cmils)                 |
| t: 동Tape 또는 Tube 두께 (mils) (일반적으로 5mil) |
| ds: 실드 평균직경(mils)                       |
| L: Tape의 overlap(%) (일반적으로 25%)         |

## 3. CV케이블의 동Tape유효단면적 계산방법

1) 한국에서 동Tape의 두께는 0.1~0.07mm범위내에서 , 그리고 겹침(중첩)은 25%~20% 범위내에서 적용되고 있는 것으로 파악되고 있고, 동Tape감긴 평균직경도 일반적인 카탈로 그에는 표시되어 있지 않으므로 케이블 제조사의 상세 사양 또는 구조표를 참고하여 상기 2항의 유효단면적을 정확하게 계산할 수 있을 것이다.

다만 동Tape의 두께가 0.1mm인지 0.07mm인지 그리고 겹침(중첩)값은 25%인지 20%인지 확실하게 파악할 필요가 있었다.

본 검토자가 오래전에 파악하기로는 동Tape두께가 0.1mm이고 중첩률은 25%라고 알고 있었는데, 최근에 케이블 제조사에게 문의해보니 동Tape두께는 0.07mm이고 중첩률은 20%라고 한다.

2) 본 검토자가 계산검토한 결과 다음과 같이 대략적으로 계산하여도 대략적인 동Tape의 유효단면적을 파악할 수 있을 것으로 생각한다.

카탈로그에서 도체직경과 절연체 두께만 참조하여 개략적으로 계산하고자 하는 경우에는 6~22kV CV케이블 카탈로그에 표시된 도체직경과 절연체두께 값을 사용하여 평균직경은 [도체직경 + 2x절연체두께+1.0]으로 계산하여도 큰 문제는 없을 것이다.

다음 표의 계산값은 6kV CV케이블에 대해 대략적으로 계산해본 결과이다.

| 도체 Size [sq] | 도체 직경 [mm] | 절연체 두께 [mm] | 가산 계수 [mm] | 동Tape 감긴평균 직경 [mm] | 동Tape 두께 [mm] | 동Tape 중첩률 | 단락 또는 지락시의 동Tape 유효단면적 [sq] | 평상시 동Tape 단면적 [sq] |
|--------------|------------|-------------|------------|--------------------|---------------|-----------|-----------------------------|--------------------|
| 50           | 8.1        | 3.4         | 1          | 15.9               | 0.1           | 0.25      | <b>4.08</b>                 | 6.66               |
| 50           | 8.1        | 3.4         | 1          | 15.9               | 0.1           | 0.2       | <b>3.95</b>                 | 6.24               |
| 50           | 8.1        | 3.4         | 1          | 15.9               | 0.07          | 0.25      | <b>2.85</b>                 | 4.66               |
| 50           | 8.1        | 3.4         | 1          | 15.9               | 0.07          | 0.2       | <b>2.76</b>                 | 4.37               |
| 150          | 14.4       | 3.4         | 1          | 22.2               | 0.1           | 0.25      | <b>5.69</b>                 | 9.30               |
| 150          | 14.4       | 3.4         | 1          | 22.2               | 0.1           | 0.2       | <b>5.51</b>                 | 8.72               |
| 150          | 14.4       | 3.4         | 1          | 22.2               | 0.07          | 0.25      | <b>3.99</b>                 | 6.51               |
| 150          | 14.4       | 3.4         | 1          | 22.2               | 0.07          | 0.2       | <b>3.86</b>                 | 6.10               |
| 500          | 26.4       | 3.4         | 1          | 34.2               | 0.1           | 0.25      | <b>8.77</b>                 | 14.33              |
| 500          | 26.4       | 3.4         | 1          | 34.2               | 0.1           | 0.2       | <b>8.49</b>                 | 13.43              |
| 500          | 26.4       | 3.4         | 1          | 34.2               | 0.07          | 0.25      | <b>6.14</b>                 | 10.03              |
| 500          | 26.4       | 3.4         | 1          | 34.2               | 0.07          | 0.2       | <b>5.95</b>                 | 9.40               |

단락 또는 지락시에는 동Tape의 도전율이 감소하기 때문에 동Tape유효단면적은 평상시의 동Tape 단면적에 비해 약 60%정도 수준이다.

#### 4. 일본 계산식과 ICEA계산식 검토

일본 계산식에서 mm와 sq를 단위로 사용하고 있고, ICEA에서는 mil과 cmil단위를 사용하고 있어 계산식의 계수 3.14와 4차이가 있는 것으로 보이지만, 1,000mil= 1인치(25.4mm)와 1,000kcmil은 1인치(25.4mm)의 원면적과 같으므로 sqmm로 변환하면 1kcmil=506.70747sq이고, 1cmil=0.00050670748sq이다.

다음과 같이 일본 계산식과 ICEA계산식을 검증한 결과 동일한 계산식임을 알 수 있다.

| 일본<br>계산식 | 절연체외경<br>[mm] | 동tape두께<br>[mm] | 중첩률  | 동tape단면적<br>[sq mm] |
|-----------|---------------|-----------------|------|---------------------|
|           | 20            | 0.1             | 0.25 | 5.15585             |
|           | 20            | 0.07            | 0.2  | 3.48928             |
|           | 29.7          | 0.1             | 0.25 | 7.64400             |
|           | 33.147        | 0.127           | 0.25 | 10.83959            |

| ICEA<br>계산식 | 절연체외경<br>[mil] | 동tape두께<br>[mil] | 중첩률<br>[%] | 동tape단면적<br>[cmil] | sqmm 환산  |
|-------------|----------------|------------------|------------|--------------------|----------|
|             | 787.40         | 3.94             | 25         | 10,175             | 5.15585  |
|             | 787.40         | 2.76             | 20         | 6,886              | 3.48928  |
|             | 1,169.29       | 3.94             | 25         | 15,086             | 7.64400  |
|             | 1,305.00       | 5.00             | 25         | 21,392             | 10.83959 |

## B. 전력케이블 도체의 단락용량 전류 개략 계산

### 1) 일본 전선공업회 자료

| 절연체            | T1(°C) | T2(°C) | 단락용량(A)                  |                         | 대상케이블<br>예      |
|----------------|--------|--------|--------------------------|-------------------------|-----------------|
|                |        |        | 동도체                      | 알루미늄도체                  |                 |
| 가교폴리에틸렌        | 90     | 230    | $134 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | $90 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | CV<br>6kV EM-FP |
| 에틸렌<br>프로필렌 고무 | 80     | 230    | $140 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | $94 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | PNCT            |
| 폴리에틸렌          | 75     | 140    | $98 \frac{S}{\sqrt{t}}$  | $66 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | 600V EM-FP      |
| 비닐             | 60     | 120    | $97 \frac{S}{\sqrt{t}}$  | $64 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | VV              |

S: 도체 단면적(mm<sup>2</sup>), t: 단락전류의 지속시간(sec)

### 2) ICEA 자료

| 절연체       | T1(°C) | T2(°C) | 단락용량(A)                  |                         |
|-----------|--------|--------|--------------------------|-------------------------|
|           |        |        | 동도체                      | 알루미늄도체                  |
| XLPE, EPR | 105    | 250    | $134 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | $87 \frac{S}{\sqrt{t}}$ |
| XLPE, EPR | 90     | 250    | $142 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | $93 \frac{S}{\sqrt{t}}$ |
| PVC, PE   | 75     | 150    | $104 \frac{S}{\sqrt{t}}$ | $68 \frac{S}{\sqrt{t}}$ |

S: 도체 단면적(mm<sup>2</sup>), t: 단락전류의 지속시간(sec)

### C. 전력케이블 Shield의 단락용량 / 지락시 허용전류 개략 계산

1) 일본 전선공업회 자료

$$I_4 = \sqrt{\frac{Q_s \times A_s}{\alpha \times r_s \times t_s} \times \ln \left[ \frac{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_5}{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_4} \right]} \times 10^{-2}$$

|  |
|--|
| I4 : 지락시 시스 또는 차폐층 허용전류 (A)                                |
| Qs : 동차폐층의 단위체적당 열용량 (J/°C·cm³)<br>[동의 경우: 3.4 (J/°C·cm³)] |
| As: 동Tape 전체단면적 (mm²)                                      |
| α : 저항온도계수(1/°C) [동의 경우: 0.00393]                          |
| rs : 차폐층의 20°C에 있어 교류도체저항(Ω/cm)                            |
| ts : 지락전류의 지속시간 (sec)                                      |
| T4 : 지락전 차폐층온도 (°C)  |
| T5 : 지락시 차폐층온도(°C)   |

2) ICEA 자료

| 절연체       | 외피              | T1(°C) | T2(°C) | Shield 단락용량(A)             |
|-----------|-----------------|--------|--------|----------------------------|
| XLPE, EPR | PVC,PE,LSZH,CPE | 85     | 200    | $124 \frac{As}{\sqrt{ts}}$ |
|           | Hypalon         |        | 350    | $176 \frac{As}{\sqrt{ts}}$ |
| PVC, PE   | PVC,PE,LSZH,CPE | 70     | 200    | $134 \frac{As}{\sqrt{ts}}$ |

As: Shield 단면적(mm²), ts: 단락전류의 지속시간(sec)

3) 일본 전선공업회 계산식과 ICEA 계산식을 CV케이블에 대해 검토한 결과,  
T4(°C)=T1(°C), T5(°C)=T2(°C)값을 적용하여 계산하면 거의 같은 값이 산출되었다.

#### D. 전력케이블 Shield의 단락시 / 지락시 단면적 개략 계산

$$I_4 = \sqrt{\frac{Q_S \times A_S}{\alpha \times r_S \times t_S} \times \text{Ln} \left[ \frac{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_5}{\frac{1}{\alpha} - 20 + T_4} \right]} \times 10^{-2}$$

상기 식에서 정수를 적용하면 다음과 같은 계산식이 된다.

$$I_4 [A] \doteq 224 \times \frac{A_S}{\sqrt{t_S}} \times \sqrt{\text{Ln} \left[ \frac{234 + T_5}{234 + T_4} \right]} \quad \text{또는}$$

$$I_4 [A] \doteq 340 \times \frac{A_S}{t_S} \times \sqrt{\text{Log} \left[ \frac{234 + T_5}{234 + T_4} \right]}$$

|  |
|--|
| <p>I4 : 지락시 시스 또는 차폐층 허용전류 (A)<br/>         As: 동Tape 전체단면적 (mm<sup>2</sup>)<br/>         ts : 지락전류의 지속시간 (sec)<br/>         T4 : 지락전 차폐층온도 (°C)<br/>         T5 : 지락시 차폐층온도(°C)</p> |
|--|

그리고 상시 식에서 단면적As를 계산하면

$$A_S [sqmm] \doteq \frac{0.004464 \times I_4 \times \sqrt{t_S}}{\sqrt{\text{Ln} \left[ \frac{234 + T_5}{234 + T_4} \right]}} \quad \text{또는} \quad A_S [sqmm] \doteq \frac{0.002941 \times I_4 \times \sqrt{t_S}}{\sqrt{\text{Log} \left[ \frac{234 + T_5}{234 + T_4} \right]}} \quad \text{이다.}$$

2page에서 기술한 다음 계산식을 적용하면 d(동Tape감긴 평균직경)을 계산할 수 있고,

$$A_S = \pi \cdot t \cdot ds \cdot \sqrt{\frac{1}{2(1-B)}}$$

|  |
|--|
| <p>As: 동Tape 실효단면적 (sqmm)<br/>         t: 동Tape두께 (mm) (일반적으로 0.1~0.07mm)<br/>         ds: 동Tape감긴 평균직경(mm)<br/>         B: 동Tape겹침율 (일반적으로 1/4~1/5겹침)</p> |
|--|

3page에서 기술한 평균직경(ds)=(도체직경 + 2x절연체두께+1.0) 계산식을 적용하여 도체직경을 구할 수 있고, 도체직경 값이 계산되어지면 케이블 카탈로그에서 케이블size를 선택할 수 있다. 그리고 절연체두께의 일반적인 값은 6kV급 CV는 3.4mm, 22kV급 CV는 6.6mm이다.

-끝-