

KR E-02020

Rev.8, 24. August 2016

# 수전선로 구성 및 계획

2016. 08. 24



한국철도시설공단



# 목 차

1. 수전선로의 구성 .....	1
2. 수전선로의 계획 .....	1
3. 수전선로의 특성 .....	2
<b>해설 1. 수전선로의 구성 및 계획 .....</b>	<b>3</b>
1. 수전선로 .....	3
1.1 수전설비의 정의 .....	3
1.2 설비의 특징 .....	3
2. 수전선로의 계획 .....	3
<b>해설 2. 가공전선 선정 .....</b>	<b>5</b>
1. 예상 부하용량 .....	5
2. 가공 수전선로용 전선의 구비조건 .....	5
3. 전선의 종류 .....	5
4. 전선의 굵기 .....	6
5. 전선의 선정 .....	6
<b>해설 3. 가공전선 허용전류 계산 .....</b>	<b>8</b>
1. 사용전선의 제원(예) .....	8
2. 연속허용전류계산(예) .....	8
3. 단시간허용전류계산 .....	13
<b>해설 4. 가공전선 선로 임피던스 계산 .....</b>	<b>18</b>
1. 계산조건 .....	18
2. 정상 및 역상임피던스( $Z_1 = Z_2$ ) .....	18
3. 영상임피던스( $Z_0$ ) .....	19
<b>해설 5. 지상고 결정기준 .....</b>	<b>21</b>
<b>해설 6. 가선조건 및 설계 .....</b>	<b>24</b>
1. 일반사항 .....	24
2. 기본조건 .....	24
3. 설계조건 .....	25
3.1 하중조건 .....	25



3.2 장력 조건 .....	26
3.3 이도자(Sag-Template) 제작 사용 .....	26
3.4 부하계수>Loading Coefficient) .....	27
3.5 등가경간(Rulling Span) .....	27
3.6 탄성계수, 선폽창계수 .....	28
3.7 전선의 실장 .....	28
3.8 전선의 진동(Creep) .....	28
3.9 기타 .....	28
4. 가선조건 .....	28
5. 경간의 분류 및 정의 .....	28
6. 이도계산 .....	31
6.1 조건변화에 따른 장력 변환식 .....	31
6.2 파라미터(Parameter) 산출 및 이도계산 .....	32
6.3 부하계수 .....	32
6.4 탄성계수 .....	33
6.5 선폽창계수 .....	33
6.6 전선의 실장 .....	34
6.7 전선의 진동(Creep)보정 .....	34
<b>해설 7. 가공지선 설계 .....</b>	<b>35</b>
1. 설치기준 .....	35
2. 설계기준 .....	35
3. 가선조건 .....	35
4. 사용선종 .....	35
5. 가공지선과 전력선과의 이격거리 .....	36
<b>해설 8. 전선의 진동방지 설계기준 .....</b>	<b>37</b>
<b>해설 9. 애자장치 선정 .....</b>	<b>38</b>
1. 애자장치의 분류 및 적용 .....	38
2. 전압별 애자연결 표준개수 .....	38
3. 애자장치 사용구분 .....	38
3.1 현수와 내장장치의 적용구분 .....	38
3.2 공작물과 접근 또는 교차개소의 적용구분 .....	39
3.3 애자장치의 강도계열 .....	39
3.4 애자장치의 결정 .....	40
4. 애자장치 및 가공지선용 지지장치의 선정 .....	40

5. 애자장치의 보강 .....	41
6. 적용애자 및 애자장치의 강도 .....	41
7. 아킹혼 사용구분 .....	41
<b>해설 10. 지지물 설계 및 기초 .....</b>	<b>42</b>
1. 지지물 구분 .....	42
1.1 철탑과 철주의 구분 .....	42
2. 지지물의 장주결정 기본요소 .....	42
2.1 철탑 높이 결정 .....	42
2.2 수평선간 이격거리 .....	43
2.3 수직선간 이격거리 .....	43
2.4 오프셋(Off-Set)유지 .....	43
3. 철탑 설계기준 .....	44
3.1 4각 철탑의 종류 .....	44
3.2 풍압력 .....	48
3.3 불평균 장력 .....	50
3.4 강재 및 그의 허용응력도 .....	51
3.5 부재 .....	53
3.6 상정하중의 계산 .....	54
<b>해설 11. 지지물의 기초 .....</b>	<b>63</b>
1. 기초의 종류 및 선정 .....	63
2. 기초지반의 선정 .....	63
3. 기초의 설계하중 .....	63
4. 기초지반의 지지력 .....	63
5. 기초의 형상 및 지지력 검토 .....	64
6. 기초 재료의 허용응력 .....	65
7. 기초체의 설계 .....	66
8. 기초 설계시 적용공식 .....	67
9. 철주기초 설계 .....	68
<b>해설 12. 철주설계 .....</b>	<b>70</b>
1. 표준 철주의 설계조건 .....	70
2. 표준 풍압치 .....	70
3. 지선의 설계 .....	71
4. 기타 .....	71



<b>해설 13. 지지물 접지</b>	<b>72</b>
1. 지지물의 접지방법	72
2. 접지설계	72
3. 접지시공	73
4. 접지설계절차	74
5. 접지저항	75
<b>해설 14. 지중선로 케이블 설계</b>	<b>76</b>
1. 일반사항	76
1.1 설계시 유의사항	76
1.2 경과지 선정	76
1.3 지중수전선로의 적용개소	76
2. 전력 케이블(Cable)의 일반적 개요	77
2.1 케이블 호칭 및 약호	77
2.2 케이블 구조	77
2.3 절연재료의 구비조건	78
3. 케이블의 선정	78
4. 계산방법	79
5. 상시허용전류 계산의 예	79
6. 고장순시(단락시) 허용전류(I <sub>1</sub> )계산	87
7. 단시간 허용전류 계산	89
<b>해설 15. 지중수전선로 임피던스 계산의 예</b>	<b>98</b>
1. 계산조건	98
2. 정상 및 역상 임피던스( $Z_1=Z_2$ )	98
3. 영상임피던스( $Z_0$ )	101
4. 계산결과	103
<b>해설 16. 케이블 설치</b>	<b>104</b>
1. 부설방식의 종류	104
2. 부설방식의 선정	104
3. 부설위치	105
4. 매설깊이	104
5. 지중전선로의 이격거리	105
6. 케이블 포설	107
7. 관로굴착	107

8. 스페이서(간격재) 및 최소 곡률반경 유지 .....	108
9. 경고테이프의 설치 .....	108
10. PE보호판의 설치 .....	108
<b>해설 17. 케이블 접속 .....</b>	<b>109</b>
1. 일반사항 .....	109
2. 케이블 접속함의 구비조건 .....	109
3. 케이블 접속함의 종류 .....	109
<b>해설 18. 케이블 헤드 .....</b>	<b>111</b>
1. 케이블 헤드 부지의 선정 .....	111
2. 케이블 헤드의 종류 .....	111
3. 케이블헤드 부지 소요면적 .....	111
4. 케이블 헤드 설계 및 시공 .....	112
<b>해설 19. 지중관로 설계 .....</b>	<b>113</b>
1. 관로 .....	114
1.1 관제선정 .....	114
1.2 관내경 .....	114
1.3 맨홀 경간 .....	115
1.4 관로 공수의 결정 .....	115
1.5 관의 배열 .....	115
1.6 관로시설 .....	116
2. 압입 .....	117
<b>해설 20. 맨홀 .....</b>	<b>118</b>
1. 맨홀의 분류 .....	118
2. 맨홀 규격 결정 .....	118
3. 맨홀의 출입구 .....	118
4. 맨홀의 높이 .....	119
5. 맨홀의 폭 .....	119
6. 맨홀의 길이 .....	121
7. 기타시설 .....	123
8. 교통안전시설 .....	123
<b>해설 21. 지중선로 접지 및 보호 .....</b>	<b>124</b>
1. 접지 .....	124
2. 접지방식의 선정 .....	124



3. 접지 저항치 .....	124
4. 접지선 .....	125
4.1 접지선의 구비조건 .....	125
4.2 접지선의 굵기 계산 .....	125
5. 접속함 연결전선 종류 및 최소 굵기 .....	127
6. 설치방법 및 접지저항 계산식 .....	127
6.1 접지봉 타입 .....	127
6.2 매쉬(Mesh)포설 .....	128
6.3 접지판(동판) .....	129
6.4 매설지선 포설 .....	129
7. 지중토목설비 접지 .....	130
7.1 일반 .....	130
7.2 관로 맨홀 .....	130
7.3 접지 연결 리드선 .....	130
7.4 접지동봉 .....	131
7.5 접지선의 규격 .....	131
8. 케이블 보호대책 검토 .....	131
8.1 케이블의 내뢰(耐雷) 대책 .....	131
8.2 절연통 보호대책 .....	132
8.3 케이블 금속시스 유기전압 .....	134
<b>해설 22. 운반조건 검토 .....</b>	<b>138</b>
1. 가설진입도로 및 진입로 축조 .....	138
2. 삭도운반 .....	138
3. 헬기운반 .....	138
4. 산림훼손 및 복구 .....	139
4.1 진입로 .....	139
4.2 철탑 .....	139
<b>참조 1. 애자장치도 .....</b>	<b>140</b>
1. 154kV 가공선로 전선용 애자장치도 .....	140
2. 154kV 가공지선용 지지장치도 .....	147
3. 66kV 가공선로용 애자장치도 .....	150
<b>RECORD HISTORY .....</b>	<b>156</b>



## 경 과 조 치

이 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 이전에 이미 시행중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 철도설계지침 및 편람을 그대로 사용할 수 있습니다.

## 일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)을 국제적인 방식에 맞게 체계를 각 항목별(코드별)로 변경하였습니다. 또한, 모든 항목에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 항목별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별 수정되어 공단 EPMS, CPMS, 홈페이지 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- 철도설계지침 및 편람(KR CODE)에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(편람) 부분은 설계용역 업무수행에 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서로 한다.

## 1. 수전선로의 구성

수전선로는 가공수전선로와 지중수전선로로 구성한다.

## 2. 수전선로의 계획

- (1) 수전선로 건설계획은 초기투자비 보다 국토이용의 극대화와 설비의 기능성, 유지보수성, 보안성, 설비의 내구성, 민원해소 등을 감안하여 가장 유리한 방향으로 선정한다.
- (2) 수전계통의 구성에는 3상 단락전류, 3상 단락용량, 전압강하, 전압불평형률 및 전압 왜형률을 고려하여야 하며, 보호계전기는 전기사업자와 협의하여 적절한 값으로 하여야 한다.
- (3) 수전계통의 고조파 허용기준은 전철변전소 수전점에서 전압 왜형률이 규정치 이하이어야 한다.
- (4) 수전선로의 전압은 수전용량, 수전거리 및 이와 연계된 전력계통을 고려하여야 하며, 전기사업자와 협의하여 적용한다.
- (5) 수전선로는 안정적인 전철전원급전을 위하여 예비선로를 구성하여야 한다.
- (6) 수전선로 방식은 지형적 여건, 시설 조건과 지역적 특성(도심, 전원, 산간 등) 및 민원발생 요인 등을 감안하여 선정한다.
- (7) 수전 계통의 구성은 부하의 크기 및 특성·지리적조건·전압강하·운용의 합리성 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- (8) 수전선로는 부근의 약전류전선에 대한 유도장해를 방지하기 위한 대책을 수립 하여야 한다.
- (9) 가공수전선로는 다음과 같이 한다.
  - ① 경제적이고 환경보존을 위하여 수전선로 경과지의 주위환경 및 조건, 개발 전망, 국토 이용계획 등을 감안한다.
  - ② 수전선로의 사용기간 중 지상고 부족으로 인하여 이설 또는 설비의 변경 등이 발생 하지 않도록 적정한 지상고가 유지될 수 있도록 한다.
  - ③ 수전선로 등 지지물 경간은 철주 및 콘크리트주의 경우 경간 150[m]를 초과하여 사용할 수 없고, 경간이 150[m]를 초과하는 경우에는 철탑을 사용하되, 부득이한 경우를 제외하고 400[m] 이하로 한다.
  - ④ 가공수전선로는 가공지선을 설치하며, 지지물과 함께 접지 하여야 한다.
- (10) 지중수전선로는 다음과 같이 한다.
  - ① 가공선로 설치 시 도시계획 협의가 곤란하고 주택가 등으로 민원발생 요소가 많은 개소 또는 전기사업자 인출설비에서 지중인출이 유리할 경우 등에 적용한다.
  - ② 지중수전선로가 하천을 횡단할 경우에는 개착식으로 시공하며, 부득이한 경우 별도의 공법을 검토하고, 매설깊이는 선로유실, 하천 정비계획 등을 고려하여 정한다.



### 3. 수전선로의 특성

수전선로의 용량은 다음 각 호의 조건을 충족하여야 한다.

- (1) 선로의 용량은 공급범위의 부하에 대하여 충분하여야 한다.
- (2) 전선의 사용온도가 다음 표에 표시한 최고 허용온도 이하를 유지하여야 한다.

전선 종별	최고 허용온도[℃]		
	연속	단시간	순시
가공나전선	90	100	180
지중케이블(CV)	90	105	230

- (3) 수전선로는 제1항의 규정에 관계없이 단락전류 및 지락전류(이하 “사고전류”라 한다.)에 대하여 견딜 수 있는 것이어야 한다.

## 해설 1. 수전선로의 구성 및 계획

### 1. 수전선로

#### 1.1 수전설비의 정의

수전설비란 전기사업자로부터 전기를 공급받는 수점지점부터 수전변압기 2차측 차단기반 또는 동등 위치의 배전반까지의 모든 전기설비를 말한다. 배전선로와 비교해 대전력(대용량), 고전압, 장거리의 설비로서 가공선식과 지중선식으로 구분되며, 가공선로는 전선과 절연물(애자) 및 지지물로 구성되며, 지중선로는 전력케이블을 지중에 매설 송전하는 방식으로 가공대비 건설비가 많이 소요되어 경제적 측면에서 특별한 경우를 제외하고는 대체로 가공선으로 한다.

#### 1.2 설비의 특징

- (1) 수전선로는 그 경과지가 산간벽지, 평야지대 등 인가와 멀리 떨어져 있고, 폭풍우, 빙설, 낙뢰 등 자연의 위협에 노출되어 있어 이에 대한 대책이 요구된다는 점
- (2) 수전선로는 고전압, 장거리로 인한 여러 가지 이상전압의 발생으로 선로절연이나 기기 절연을 위협하게 된다. 따라서 이상전압, 보호레벨, 기기의 절연강도 등이 조화된 가장 경제적이고, 신뢰성 있는 절연설계의 절연협조가 중요시 되고 있다.
- (3) 수전선로는 고전압, 장거리이기 때문에 통신선에 대한 유도장해 문제로 전력선의 연가, 통신선과의 이격, 차폐 및 통신선의 케이블화 등 보안대책이 요구된다.

### 2. 수전선로의 계획

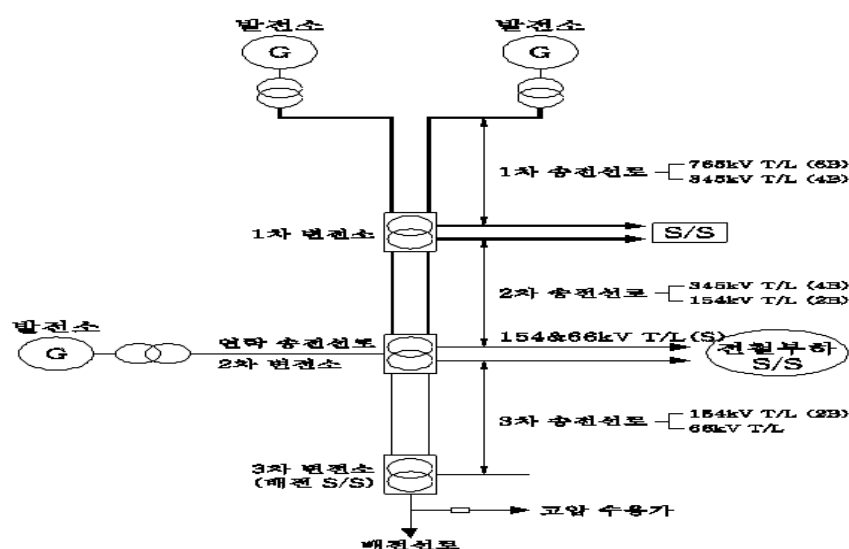


그림 1. 전력계통도 구성도



- (1) 수전선로 건설계획은 초기투자비 보다 국토이용의 극대화와 설비의 기능성, 유지보수성, 보안성, 설비의 내구성, 민원해소를 감안하여 가장 유리한 건설방식인 것을 조사·검토하여 선정한다.
- (2) 수전계통의 구성에는 3상 단락전류, 3상 단락용량, 전압강하, 전압불평형률 및 전압왜형률을 고려하여야 하며, 보호계전기는 전력공급자와 협의하여 적절한 값으로 하여야 한다.
- (3) 수전계통의 고조파 허용기준은 전철변전소 수전점에서 전압왜형률이 규정치(한국전력공사) 이하이어야 한다.
- (4) 수전선로의 전압은 수전용량, 수전거리 및 이와 연계된 전력계통을 고려하여야 하며, 전력공급자와 협의하여 적용한다.
- (5) 수전선로에는 계통에서 발생하는 지락 및 단락사고를 확실히 검출하는 장치를 설치하도록 한다.
- (6) 수전선로는 안정적인 전철전원급전을 위하여 예비선로를 구성하여야 한다.
- (7) 수전선로 방식은 지형적 여건 등 시설 조건과 지역적 특성(도심, 전원, 산간 등) 및 민원발생 요인 등을 감안하여 가공 또는 지중으로 시설한다.
- (8) 가공수전선로
  - ① 경제적성 및 환경보존을 위하여 수전선로 경과지의 주위환경 및 조건, 개발전망, 국토이용계획 등을 감안한다.
  - ② 수전선로의 사용기간 중 지상고 부족으로 인하여 이설 또는 설비의 변경 등이 발생하지 않도록 적정한 지상고가 유지될 수 있도록 한다.
- (9) 지중수전선로
  - ① 가공선로 설치 시 도시계획 협의가 곤란하고 주택가 등으로 민원발생 요소가 많은 개소
  - ② 전기사업자 인출설비에서 지중수전선로가 건설이 유리할 경우
  - ③ 기타 설계기준은 전기설비기술기준과 한국전력공사 수전선로 설계기준을 적용한다.

## 해설 2. 가공전선 선정

가공전로 선종의 선정은 경과지에 대한 조사 및 전철변전소의 예측부하 조사와 한전급전 계통 및 선로 경과지의 주변 환경여건, 기상조건, 제작사의 사양서 등을 면밀히 조사·검토 하고 전기설비기술기준 등 관계법규에 따라 전선의 허용전류 등을 계산하여 선정한다.

### 1. 예상 부하용량

최종목표년도 전철전력 수요예측기준을 반영하여 주변압기의 부하용량을 산정한다.

부하전류(예)

$$I = \frac{40MVA \times 1\text{대} \times 0.928(\text{이용율})}{\sqrt{3} \times 154 \times 0.9} \approx 154.3[A]$$

\* 스코트 결선(단상 Tr 2대 경우) M상 1PU, T상  $\sqrt{3} / 2 = 0.866PU$

스코트변압기 이용률 =  $\sqrt{3} / (1+0.866) \times 100 = 92.8\%$

### 2. 가공 수전선로용 전선의 구비조건

- (1) 도전율이 높을 것(도전성 좋을 것)
- (2) 기계적 강도가 클 것
- (3) 신축성 및 내구성이 좋을 것
- (4) 단위무게가 적을 것(비중이 적을 것)
- (5) 가선 등 작업이 용이할 것
- (6) 전선가격이 안정적일 것

### 3. 전선의 종류

가공 전선은 경동연선(HDCC)와 강심알루미늄연선(ACSR)으로 대별되지만, 상기 구비 조건에 따라 154kV이상 수전선로의 경우 일부 특수지구를 제외하고, 주로 강심알루미늄 연선 사용이 일반적이며 표와 같다.

표 1. 강심알루미늄연선

공 칭 단면적 [mm <sup>2</sup> ]	연선구성 소선수/소선경 [mm]		계산 단면적 [mm <sup>2</sup> ]		최 소 인 장 하 중 [N]	참 고			
						외 경 [mm]		계 산 무 게 [kg/km]	계 산 전기저항 [Ω/km]
	Al	St	Al	St		Al	St		
410	26/4.5	7/3.5	413.4	67.35	136,122	28.5	10.5	1,673	0.0702
330	26/4.0	7/3.1	326.8	52.84	107,114	25.3	9.3	1,320	0.0888
240	30/3.2	7/3.2	241.3	56.29	100,058	22.4	9.6	1,110	0.12
95	6/4.5	1/4.5	95.40	15.90	31,164	13.5	4.5	385.2	0.301
※97	12/3.2	7/3.2	96.51	56.29	103,880	16.0	9.6	708.9	0.301

(주) ※표는 일반적으로 가공지선에 사용함



#### 4. 전선의 굵기

##### (1) 허용전류의 충족

정상상태에서 전선에 흐르는 전류는 표의 연속허용전류를 초과하지 않도록 한다.

표 2. 강심알루미늄연선의 허용전류

공칭단면적 [mm <sup>2</sup> ]	전선구성 소선수 / 소선경 [mm]		연속 허용전류 [A]	단시간 허용전류 [A]
	Al	St		
410	26/4.5	7/3.5	835	945
330	26/4.0	7/3.1	720	810
240	30/3.2	7/3.2	595	670
95	6/4.5	1/4.5	330	360
97	12/3.2	7/3.2	321	359

##### (2) 전압별 최소 굵기

송전전압별 허용 최소 굵기는 표 이상의 것으로 한다.

표 3. 송전전압의 허용 최소 전선 굵기

송전전압 [kV]	154	66	비 고
최 소 전 선	ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 95mm <sup>2</sup>	

#### 5. 전선의 선정

전선종류의 선정은 전선의 구비조건외 선로의 경과지에 따라 아래와 같이 가장 적절한 전선을 선정한다.

- (1) 계곡, 하천횡단 및 장경간에 대한 보수난이, 공사비 등을 고려한 특수전선사용
- (2) 산악지대 등 고저차가 심한 개소에 대한 항장력이 큰 전선을 사용
- (3) 화학적 영향에 의한 사용구분
- (4) 해안 근접지대, 공장지대 등의 조풍, 유해가스 등이 발생하는 환경에 대한 전선의 선정은 표에서 표시하는 사용구분에 의한다.

표 4. 화학적 영향에 의한 사용구분

유 해 조 건		ACSR	HDCC	발생하기 쉬운 환경
염 분	해풍을 심히 받는 지역	중 방 식	○	
	해안 10km이내의 지역	경 방 식		
유 화 수 소 가 스		경 방 식	×	유황광산, 유황을 포함하는 온천지역 등
아 유 산 가 스		경 방 식	○	
염 소 가 스		경 방 식	○	
가 성 소 - 다		×	○	

- (주) 1. ○표는 무방식이며 사용가능, ×표는 사용금지를 말한다.
2. 경방식라 함은 강심판에 방식 컴파운드(Compound)를 충전 도포한 것 및 그 방식층 위에 Tape을 감아서 보강한 것을 말한다.
3. 중방식이라 함은 알루미늄 내층 및 강심전체에 방식 컴파운드(Compound)를 충전 도포한 것을 말한다.

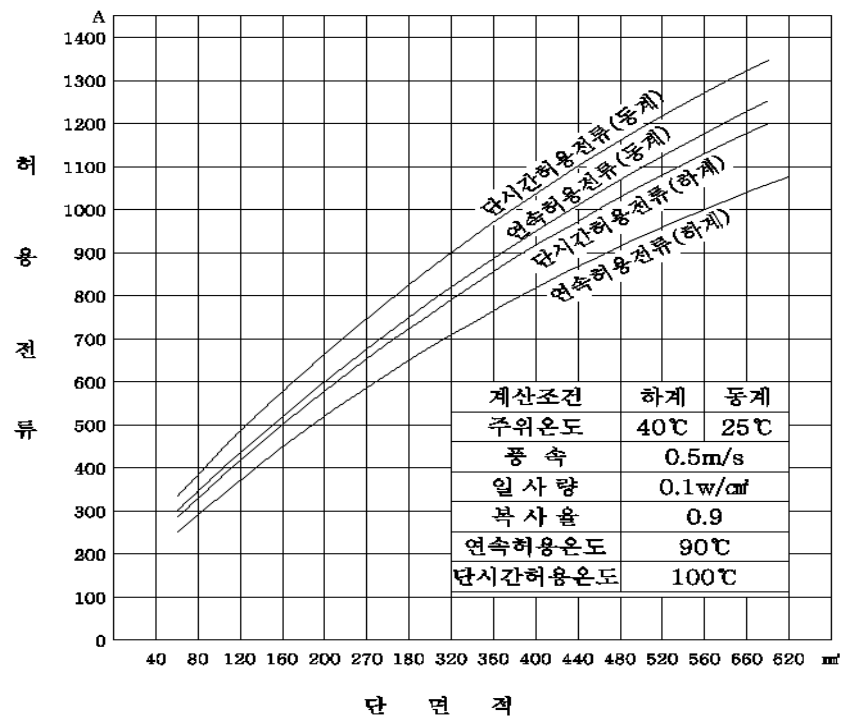


그림 2. 강심알루미늄연선의 연속 허용전류와 단시간허용전류





### 해설 3. 가공전선 허용전류 계산

연속 및 단시간 허용전류의 산정은 ANSI/IEEE 계산방식을 적용하며, 한전설계기준 1210(가공송전용 전선선정기준)에 의하여 산출한다.

#### 1. 사용전선의 제원(예)

구 분	단 위	규 격
전선규격	mm <sup>2</sup>	ACSR 240
소선구성	가닥/mm	Al : 30/3.2 St : 7/3.2
계산단면적	mm <sup>2</sup>	Al : 241.3 St : 56.29 계 : 297.59
전선직경	mm	22.4
20℃ 직류저항	Ω/km	0.12
단위중량	kg/m	1.11
인장하중(UTS)	kgf	10,210
탄성계수	kgf/m <sup>2</sup>	9,081
선팽창계수	/℃	$17.97 \times 10^{-6}$

#### 2. 연속허용전류계산(예)

한전설계기준에 따라 ANSI/IEEE 계산방식을 적용하면, 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{Q_c + Q_r - Q_s}{R_{ac}(T_c) \times 10^{-3}}} [A]$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} Q_c : \text{대류에 의한 열방산(Convected heat loss) [W/m]} \\ Q_r : \text{방사(복사)에 의한 열방산(Radiated heat loss) [W/m]} \\ Q_s : \text{태양열 흡수(Heat gain from sun)} \\ R_{ac}(T_c) : \text{온도 } T_c[^\circ\text{C}]\text{에서의 교류저항 } [\Omega/\text{km}] \end{array} \right.$

(1) 온도  $T_c[^\circ\text{C}]$ 에서의 교류저항 :  $R_{ac}(T_c)$

①  $T_c[^\circ\text{C}]$ 에서의 직류저항 :  $R_{dc}(T_c)$

$$R_{dc}(T_c) = R_{dc}(20) \times \{1 + \alpha_{20}(T_c - 20)\} [\Omega/\text{km}]$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} R_{dc}(20) : 20^\circ\text{C}\text{에서의 직류저항 } [\Omega/\text{km}] \Rightarrow 0.12 \\ \alpha_{20} : 20^\circ\text{C}\text{에서의 정질량 온도계수} \Rightarrow 0.00403(\text{Al도체}) \end{array} \right.$

$$\therefore R_{dc}(90) = 0.12 \times \{1 + 0.00403 \times (90 - 20)\} = 0.1538 [\Omega/\text{km}]$$

② 온도  $T_c[^\circ\text{C}]$ 에서의 교류저항 :  $R_{ac}(T_c)$

$$R_{ac}(T_c) = \beta \times R_{dc}(T_c) = \beta_1 \times \beta_2 \times R_{dc}(T_c)$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} \beta : \text{교직저항비} \\ \beta_1 : \text{표피효과계수} \\ \beta_2 : \text{철손계수} \end{array} \right.$

가. 표피효과계수( $\beta_1$ ):이론계산

Al 1층, 짝수층, 홀수층으로 구분하여 적용

$$\beta_1 = 0.99609 + 0.018578x - 0.030263x^2 + 0.020735x^3$$

$$x = 0.01 \times \frac{D_1 + 2D_2}{D_1 + D_2} \times \sqrt{\frac{8\pi f(D_1 - D_2)}{(D_1 + D_2)R_{dc}}}$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} D_1 : \text{도체외경[cm]} & \Rightarrow 2.24 \\ D_2 : \text{강심외경[cm]} & \Rightarrow 0.96 \\ f : \text{주파수} & \Rightarrow 60 \\ R_{dc}(20) : 20^\circ\text{C에서의 직류저항} [\Omega/\text{km}] & \Rightarrow 0.12 \times 10^5 [\Omega/\text{cm}] \end{array} \right.$

$$\begin{aligned} \therefore x &= 0.01 \times \frac{2.24 + 2 \times 0.96}{2.24 + 0.96} \times \sqrt{\frac{8\pi \times 60 \times (2.24 - 0.96)}{(2.24 + 0.96) \times 0.12 \times 10^5}} \\ &= 2.9146 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\therefore \beta_1 = 0.9961 \approx 1$$

나. 철손계수( $\beta_2$ ):Canada의 ALCAN사에서 제출한 데이터

(가) Al 짝수층

$$\beta_2 = 1$$

(나) Al 홀수층

$$\beta_2 = 0.99947 + 0.028895y - 0.0059348y^2 + 0.00042259y^3$$

$$y = \frac{I}{A}$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} I : \text{통전전류(부하전류)} [\text{A}] \\ A : \text{Al부분의 단면적} [\text{mm}^2] \end{array} \right.$

상기 수식으로부터 ACSR 240[mm<sup>2</sup>]의 경우 Al/St:30/7로서 Al 2층, St 2층 구조로 되어  $\beta_2=1$ 을 적용한다.

따라서, 온도  $90[^\circ\text{C}]$ 에서의 교류저항[ $R_{ac}(90)$ ]을 구하면

$$R_{ac}(90) = \beta_1 \times \beta_2 \times R_{dc}(90) = 0.1538 [\Omega/\text{km}]$$



(2) 대류에 의한 열방산( $Q_c$ )

대류에 의한 열방산은  $Q_{cF1}$ (저풍속영역),  $Q_{cF2}$ (고풍속영역),  $Q_{cN}$ (무풍시)중 가장 큰 값을 적용하며, 풍향각을 고려하는 경우에는 RCF1, RCF2에 풍향각 보정계수( $K\Phi$ )를 곱한다.

$$Q_{cF1} = \left\{ 1.01 + 0.0372 \left( \frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f} \right)^{0.52} \right\} \times K_f (T_c - T_a) \quad [\text{W/m}]$$

$$Q_{cF2} = 0.0119 \left( \frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f} \right)^{0.6} \times K_f (T_c - T_a) \quad [\text{W/m}]$$

$$Q_{cN} = 0.0205 \times \phi_f^{0.5} \times D^{0.75} \times (T_c - T_a)^{1.25} \quad [\text{W/m}]$$

여기서,  $\mu_f$  : 공기의 점도(Absolute viscosity of air)  $[\text{N/m} \cdot \text{s}]$

$$\mu_f = \frac{1.458 \times 10^{-6} \times (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4}$$

$\phi_f$  : 공기의 밀도(Density of air)

$$\phi_f = \frac{1.293 - 1.525 \times 10^{-4} \times H_e + 6.379 \times 10^{-9} \times H_e^2}{1 + 0.00367 \times T_{film}} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$K_f$  :  $T_{film} [^\circ\text{C}]$ 에서 공기의 열전도율  $[\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}]$

$$K_\phi = 0.02424 + 7.477 \times 10^{-5} \times T_{film} - 4.407 \times 10^{-9} \times T_{film}^2$$

$D$  : 도체의 외경 $[\text{mm}] \Rightarrow 22.4$

$V_w$  : 풍속 $[\text{m/sec}] \Rightarrow 0.5$

$T_a, T_c$  : 주위 공기온도 및 도체의 온도 $[^\circ\text{C}] \Rightarrow T_a : 40, T_c : 90$

$T_{film} = (T_c + T_a)/2 [^\circ\text{C}] = 65 [^\circ\text{C}]$

$H_e$  : 해발고도 $[\text{m}] \Rightarrow 500$

① 풍향각 보정계수( $K\Phi$ )

도체와 풍향사이의 각도 $\Phi$ 가  $90^\circ$  이므로,

$$\begin{aligned} K\Phi &= 1.194 - \cos(\Phi) + 0.194 \times \cos(2\Phi) + 0.368 \times \sin(2\Phi) \\ &= 1.194 - \cos 90^\circ + 0.194 \times \cos 180^\circ + 0.368 \times \sin 180^\circ \\ &= 1 \end{aligned}$$

② 공기의 점도( $\mu_f$ )

$$\begin{aligned} \mu_f &= \frac{1.458 \times 10^{-6} \times (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4} = \frac{1.458 \times 10^{-6} \times (65 + 273)^{1.5}}{65 + 383.4} \\ &= 2.02054 \times 10^{-5} \quad [\text{N/m} \cdot \text{s}] \end{aligned}$$

③ 공기의 밀도( $\phi_f$ )

$$\begin{aligned}
 (\phi_f) &= \frac{1.293 - 1.525 \times 10^{-4} \times H_e + 6.379 \times 10^{-9} \times H_e^2}{1 + 0.00367 \times T_{film}} \\
 &= \frac{\{1.293 - (1.525 \times 10^{-4} \times 500) + (6.379 \times 10^{-9} \times 500^2)\}}{1 + 0.00367 \times 65} \\
 &= 0.9837 \quad [\text{kg/m}^3]
 \end{aligned}$$

④ 열 전도율( $K_f$ )

$$\begin{aligned}
 (K_f) &= 0.02424 + 7.477 \times 10^{-5} \times T_{film} - 4.407 \times 10^{-9} \times T_{film}^2 \\
 &= 0.02424 + 7.477 \times 10^{-5} \times 65 - 4.407 \times 10^{-9} \times 65^2 \\
 &= 0.0291 \quad [\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}]
 \end{aligned}$$

따라서, 풍향각을 고려할 경우 대류에 의한 열방산( $Q_c$ )를 구하면,

$$\begin{aligned}
 Q_{cF1} &= \{1.01 + 0.0372 \left( \frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f} \right)^{0.52}\} \times K_f (T_c - T_a) \quad [\text{W/m}] \\
 &= 53.063 \quad [\text{W/m}] \\
 Q_{cF2} &= 0.0119 \left( \frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f} \right)^{0.6} \times K_f (T_c - T_a) \quad [\text{W/m}] \\
 &= 47.905 \quad [\text{W/m}] \\
 Q_{cN} &= 0.0205 \times \phi_f^{0.5} \times D^{0.75} \times (T_c - T_a)^{1.25} \quad [\text{W/m}] \\
 &= 27.835 \quad [\text{W/m}] \quad \text{이므로,}
 \end{aligned}$$

대류에 의한 열방산( $Q_c$ )는 가장 큰 값을 적용하므로, 53.063[W/m]로 한다.

(3) 방사에 의한 열방산( $Q_r$ )

$$\begin{aligned}
 Q_r &= 0.0178 \times D \times \epsilon \left\{ \left( \frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right\} \\
 &= 15.481 \quad [\text{W/m}]
 \end{aligned}$$

여기서,

D	: 도체의 외경[mm]	$\Rightarrow 22.4$
$\epsilon$	: 방사계수	$\Rightarrow 0.5$
$T_c$	: 도체의 온도[ $^\circ\text{C}$ ]	$\Rightarrow 90$
$T_a$	: 주위 온도[ $^\circ\text{C}$ ]	$\Rightarrow 40$

(4) 태양열 흡수( $Q_s$ )

$$Q_s = \alpha \times q_s (\sin \theta) A' \quad [\text{W/m}]$$



여기서,

$$\Theta : \text{태양광선의 입사각}$$

$$\Theta = \cos^{-1}\{\cos(H_c) - \cos(Z_c - Z_L)\} = 103.779[^\circ]$$

$$H_c : \text{태양의 고도}$$

$$H_c = \sin^{-1}\{\cos(Lat)\cos(\delta)\cos(w) + \sin(Lat)\sin(\delta)\}[^\circ] = 72.275[^\circ]$$

$$\delta : \text{태양의 경사각}$$

$$\delta = 23.4583 \times \sin\left\{\frac{(284+N)}{365} \times 360\right\}[^\circ] = 23.02[^\circ]$$

$$N : \text{연일수} \Rightarrow 161$$

$$Z_c : \text{태양의 방위각}$$

$$Z_c = c + \tan^{-1}(x)[^\circ] = 180 + \tan^{-1}1.256 = 231.474[^\circ]$$

$$x : \text{태양의 방위각 변수}$$

$$x = \frac{\sin(w)}{\sin(Lat)\cos(w) - \cos(Lat)\tan(\delta)} = 1.256 \quad [^\circ]$$

$$q_s : \text{해발 500m에서의 일사량 [w/m}^2] \Rightarrow 1080.5$$

표 5. 태양의 방위각 상수C

시간각도 $\omega$ [도]	$x \geq 0$	$x < 0$
$-180 \leq \omega < 0$	0	180
$0 \leq \omega < 180$	180	360

$x = \frac{\sin(15)}{\sin(35)\cos(15) - \cos(35)\tan(23.02)} = 1.256 [^\circ]$  이므로 <표 5>에 의하여 상수 C는 180을 적용한다.

따라서, 도체가 태양으로부터 흡수하는 열( $Q_s$ )를 구하면 다음과 같다.

$$Q_s = \alpha \times q_s (\sin\theta) A'$$

$$= 0.5 \times 1080.459 \times \sin 103.779 \times 22.4 \times 10^{-3} = 11.753 [W/m]$$

그러므로, ACSR 240m<sup>2</sup> 전선의 90℃에 대한 연속허용전류를 구하면 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{Q_C + Q_r - Q_s}{R_{ac}(90) \times 10^{-3}}}$$

$$= \sqrt{\frac{53.063 + 15.481 - 11.753}{0.1538 \times 10^{-3}}} = 607.66[A]$$

$$\approx 608[A]$$

### 3. 단시간허용전류계산

선로의 일부정지 등으로 특별한 계통구성으로 된 경우에 상기 연속허용전류 이상의 전류를 흘리도록 특별히 요구되는 경우 그 계속시간과 빈도가 그다지 크지 않으면 허용할 수 있는 전류로서 2회선 가공전선에서 1회선 정지의 경우나 계통간의 예비 연락선을 사용하는 경우가 여기에 해당된다.

또한, 전류의 크기, 주위온도, 풍속, 일사량 등의 환경조건에 따라 그 수명에 미치는 영향이 다르며, 전선의 허용온도 상승은 100[℃]로 한다.

$$I = \sqrt{\frac{Q_c + Q_r - Q_s}{R_{ac}(T_c) \times 10^{-3}}} [A]$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} Q_c : \text{대류에 의한 열방산(Convected heat loss) [W/m]} \\ Q_r : \text{방사(복사)에 의한 열방산(Radiated heat loss) [W/m]} \\ Q_s : \text{태양열흡수(Heat gain from sun)} \\ R_{ac}(T_c) : \text{온도 } T_c[\text{℃}] \text{에서의 교류저항 } [\Omega/\text{km}] \end{array} \right.$

(1) 온도  $T_c[\text{℃}]$ 에서의 교류저항 :  $R_{ac}(T_c)$

①  $T_c[\text{℃}]$ 에서의 직류저항 :  $R_{dc}(T_c)$

$$R_{dc}(T_c) = R_{dc}(20) \times \{1 + \alpha_{20}(T_c - 20)\} [\Omega/\text{km}]$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} R_{dc}(20) : 20\text{℃에서의 직류저항 } [\Omega/\text{km}] \Rightarrow 0.12 \\ \alpha_{20} : 20\text{℃에서의 정질량 온도계수} \Rightarrow 0.00403(\text{Al도체}) \end{array} \right.$

$$\therefore R_{dc}(90) = 0.12 \times \{1 + 0.00403 \times (100 - 20)\} = 0.1586 [\Omega/\text{km}]$$

② 온도  $T_c[\text{℃}]$ 에서의 교류저항 :  $R_{ac}(T_c)$

$$R_{ac}(T_c) = \beta \times R_{dc}(T_c) = \beta_1 \times \beta_2 \times R_{dc}(T_c)$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} \beta : \text{교직저항비} \\ \beta_1 : \text{표피효과계수} \\ \beta_2 : \text{철손계수} \end{array} \right.$

가. 표피효과계수( $\beta_1$ ):이론계산

Al 1층, 짝수층, 홀수층으로 구분하여 적용

$$\beta_1 = 0.99609 + 0.018578x - 0.030263x^2 + 0.020735x^3$$

$$x = 0.01 \times \frac{D_1 + 2D_2}{D_1 + D_2} \times \sqrt{\frac{8\pi f(D_1 - D_2)}{(D_1 + D_2)R_{dc}}}$$



$$\text{여기서, } \begin{cases} D_1 : \text{도체외경[cm]} & \Rightarrow 2.24 \\ D_2 : \text{강심외경[cm]} & \Rightarrow 0.96 \\ f : \text{주파수} & \Rightarrow 60 \\ R_{dc}(20) : 20^\circ\text{C에서의 직류저항} [\Omega/\text{km}] & \Rightarrow 0.12 \times 10^5 [\Omega/\text{cm}] \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \therefore x &= 0.01 \times \frac{2.24 + 2 \times 0.96}{2.24 + 0.96} \times \sqrt{\frac{8\pi \times 60 \times (2.24 - 0.96)}{(2.24 + 0.96) \times 0.12 \times 10^5}} \\ &= 2.9146 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\therefore \beta_1 = 0.9961 \approx 1$$

나. 철손계수( $\beta_2$ ): Canada의 ALCAN사에서 제출한 데이터

(가) Al 짝수층

$$\beta_2 = 1$$

(나) Al 홀수층

$$\beta_2 = 0.99947 + 0.028895y - 0.0059348y^2 + 0.00042259y^3$$

$$y = \frac{I}{A}$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} I : \text{통전전류(부하전류)} [A] \\ A : \text{Al부분의 단면적} [\text{mm}^2] \end{cases}$$

상기 수식으로부터 ACSR 240[mm<sup>2</sup>]의 경우 Al/St:30/7로서 Al 2층, St 2층 구조로 되어  $\beta_2=1$ 을 적용한다.

따라서, 온도 100[°C]에서의 교류저항[R<sub>ac</sub>(100)]을 구하면

$$R_{ac}(100) = \beta_1 \times \beta_2 \times R_{dc}(100) = 0.1586 [\Omega/\text{km}]$$

(2) 대류에 의한 열방산( $Q_c$ )

대류에 의한 열방산은  $Q_{cF1}$ (저풍속영역),  $Q_{cF2}$ (고풍속영역),  $Q_{cN}$ (무풍시)중 가장 큰 값을 적용하며, 풍향각을 고려하는 경우에는 RCF1, RCF2에 풍향각 보정계수(K $\Phi$ )를 곱한다.

$$Q_{cF1} = \{1.01 + 0.0372 \left( \frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f} \right)^{0.52}\} \times K_f (T_c - T_a) [\text{W/m}]$$

$$Q_{cF2} = 0.0119 \left( \frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f} \right)^{0.6} \times K_f (T_c - T_a) [\text{W/m}]$$

$$Q_{cN} = 0.0205 \times \phi_f^{0.5} \times D^{0.75} \times (T_c - T_a)^{1.25} [\text{W/m}]$$

여기서,

$$\begin{aligned} \mu_f &: \text{공기의 점도(Absolute viscosity of air) [N/m} \cdot \text{s]} \\ \mu_f &= \frac{1.458 \times 10^{-6} \times (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4} \\ \phi_f &: \text{공기의 밀도(Density of air)} \\ \phi_f &= \frac{1.293 - 1.525 \times 10^{-4} \times H_e + 6.379 \times 10^{-9} \times H_e^2}{1 + 0.00367 \times T_{film}} \quad [\text{kg/m}^3] \\ K_f &: T_{film}[\text{}^\circ\text{C}] \text{에서 공기의 열전도율 [W/m} \cdot \text{}^\circ\text{C]} \\ K_\phi &= 0.02424 + 7.477 \times 10^{-5} \times T_{film} - 4.407 \times 10^{-9} \times T_{film}^2 \\ D &: \text{도체의 외경[mm]} \quad \Rightarrow 22.4 \\ V_w &: \text{풍속[m/sec]} \quad \Rightarrow 0.5 \\ T_a, T_c &: \text{주위 공기온도 및 도체의 온도[}^\circ\text{C]} \quad \Rightarrow T_a: 40, T_c: 100 \\ T_{film} &= (T_c + T_a)/2[\text{}^\circ\text{C}] = 70[\text{}^\circ\text{C}] \\ H_e &: \text{해발고도[m]} \quad \Rightarrow 500 \end{aligned}$$

① 풍향각 보정계수( $K\Phi$ )

도체와 풍향사이의 각도 $\Phi$ 가  $90^\circ$  이므로,

$$\begin{aligned} K\Phi &= 1.194 - \cos(\Phi) + 0.194 \times \cos(2\Phi) + 0.368 \times \sin(2\Phi) \\ &= 1.194 - \cos 90^\circ + 0.194 \times \cos 180^\circ + 0.368 \times \sin 180^\circ \\ &= 1 \end{aligned}$$

② 공기의 점도( $\mu_f$ )

$$\begin{aligned} \mu_f &= \frac{1.458 \times 10^{-6} \times (T_{film} + 273)^{1.5}}{T_{film} + 383.4} = \frac{1.458 \times 10^{-6} \times (70 + 273)^{1.5}}{70 + 383.4} \\ &= 2.04276 \times 10^{-5} \quad [\text{N/m} \cdot \text{s}] \end{aligned}$$

③ 공기의 밀도( $\phi_f$ )

$$\begin{aligned} (\phi_f) &= \frac{1.293 - 1.525 \times 10^{-4} \times H_e + 6.379 \times 10^{-9} \times H_e^2}{1 + 0.00367 \times T_{film}} \\ &= \frac{\{1.293 - (1.525 \times 10^{-4} \times 500) + (6.379 \times 10^{-9} \times 500^2)\}}{1 + 0.00367 \times 70} \\ &= 0.9693 \quad [\text{kg/m}^3] \end{aligned}$$

④ 열 전도율( $K_f$ )

$$\begin{aligned} (K_f) &= 0.02424 + 7.477 \times 10^{-5} \times T_{film} - 4.407 \times 10^{-9} \times T_{film}^2 \\ &= 0.02424 + 7.477 \times 10^{-5} \times 70 - 4.407 \times 10^{-9} \times 70^2 \\ &= 0.0295 \quad [\text{W/m} \cdot \text{}^\circ\text{C}] \end{aligned}$$





따라서, 풍향각을 고려할 경우 대류에 의한 열방산( $Q_c$ )를 구하면,

$$Q_{cF1} = \{1.01 + 0.0372(\frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f})^{0.52}\} \times K_f(T_c - T_a) \quad [W/m]$$

$$= 63.492 \quad [W/m]$$

$$Q_{cF2} = 0.0119(\frac{D \times \phi_f \times V_W}{\mu_f})^{0.6} \times K_f(T_c - T_a) \quad [W/m]$$

$$= 57.385 \quad [W/m]$$

$$Q_{cN} = 0.0205 \times \phi_f^{0.5} \times D^{0.75} \times (T_c - T_a)^{1.25} \quad [W/m]$$

$$= 34.702 \quad [W/m] \quad \text{이므로,}$$

대류에 의한 열방산( $Q_c$ )는 가장 큰 값을 적용하므로, 63.492[W/m]로 한다.

(3) 방사에 의한 열방산( $Q_r$ )

$$Q_r = 0.0178 \times D \times \epsilon \left\{ \left( \frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right\}$$

$$= 19.455 \quad [W/m]$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} D & : \text{도체의 외경} [\text{mm}] \\ \epsilon & : \text{방사계수} \\ T_c & : \text{도체의 온도} [^\circ\text{C}] \\ T_a & : \text{주위 온도} [^\circ\text{C}] \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{ll} 22.4 \\ 0.5 \\ 100 \\ 40 \end{array} \right.$

(4) 태양열 흡수( $Q_s$ )

$$Q_s = \alpha \times q_s(\sin\theta)A' \quad [W/m]$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} \theta & : \text{태양광선의 입사각} \\ \theta & = \cos^{-1}\{\cos(H_c) - \cos(Z_c - Z_L)\} = 103.779 [^\circ] \\ H_c & : \text{태양의 고도} \\ H_c & = \sin^{-1}\{\cos(Lat)\cos(\delta)\cos(w) + \sin(Lat)\sin(\delta)\} [\text{도}] = 72.275 [\text{도}] \\ \delta & : \text{태양의 경사각} \\ \delta & = 23.4583 \times \sin\left\{ \frac{(284 + N)}{365} \times 360 \right\} [\text{도}] = 23.02 [\text{도}] \\ N & : \text{연일수} \Rightarrow 161 \\ Z_c & : \text{태양의 방위각} \\ Z_c & = c + \tan^{-1}(x) [\text{도}] = 180 + \tan^{-1}1.256 = 231.474 [\text{도}] \\ x & : \text{태양의 방위각 변수} \\ x & = \frac{\sin(w)}{\sin(Lat)\cos(w) - \cos(Lat)\tan(\delta)} = 1.256 \quad [\text{도}] \\ q_s & : \text{해발 500m에서의 일사량} [w/m^2] \Rightarrow 1080.459 \end{array} \right.$

표 6. 태양의 방위각 상수C

시간각도 $\omega$ [도]	$x \geq 0$	$x < 0$
$-180 \leq \omega < 0$	0	180
$0 \leq \omega < 180$	180	360

$x = \frac{\sin(15)}{\sin(35)\cos(15) - \cos(35)\tan(23.02)} = 1.256$  [도] 이므로 <표 6>에 의하여 상수 C는 180을 적용한다.

따라서, 도체가 태양으로부터 흡수하는 열( $Q_s$ )를 구하면 다음과 같다.

$$Q_s = \alpha \times q_s (\sin\theta) A'$$

$$= 0.5 \times 1080.459 \times \sin 103.779 \times 22.4 \times 10^{-3} = 11.753 [W/m]$$

그러므로, ACSR 240m<sup>2</sup> 전선의 100℃에 대한 단시간허용전류를 구하면 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{Q_C + Q_r - Q_s}{R_{ac}(90) \times 10^{-3}}}$$

$$= \sqrt{\frac{63.492 + 19.455 - 11.753}{0.1586 \times 10^{-3}}} = 669.99[A]$$

$$\approx 670[A]$$

표 7. 적 용 계 수

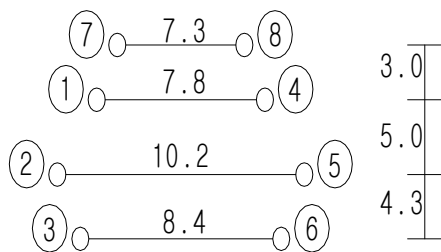
기 호	항 목	적 용	비 고
$T_a$	주위온도[℃]	40	선로에 직각방향
$T_c$	도체의 최고허용온도[℃]	90	
$V_w$	풍속[m/sec]	0.5	
$\phi$	도체와 바람의 각도	90	
$H_e$	해발고도[m]	500	
$\epsilon, \alpha$	방사계수 및 흡수계수	0.5	동서선로 남한 : 33~38° 6월 11일
$Z_L$	선로의 방위각	90	
Lat	위도[°N]	35	
N	연일수	161	
	태양시간	13:00(15°)	



## 해설 4. 가공전선 선로 임피던스 계산

### 1. 계산조건

- (1) 가공선로 : ACSR 240mm<sup>2</sup> × 2회선
  - 직경 : 22.4 [mm], 소선수 : 30/3.2 [mm]
- (2) 가공지선 : ACSR 97mm<sup>2</sup> × 2조
  - 직경 : 16.0 [mm], 소선수 : 12/3.2 [mm]
- (3) 전선배열



$$\begin{aligned}
 D_{47} &= 8.12m & D_{57} &= 11.86m & D_{67} &= 14.59m \\
 D_{12} &= 5.14m & D_{23} &= 4.39m & D_{31} &= 9.3m \\
 D_{14} &= 7.8m & D_{36} &= 8.4m & D_{26} &= 10.25m \\
 D_{25} &= 10.2m & D_{15} &= 10.3m & D_{34} &= 12.33m \\
 D_{78} &= 7.3m & D_{17} &= 3.01m & D_{27} &= 8.13m \\
 D_{37} &= 12.31m
 \end{aligned}$$

### 2. 정상 및 역상임피던스 ( $Z_1 = Z_2$ )

- (1) 계산식(단도체 기준)

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= R + j0.46052 \times 10^{-3} \omega \log_{10} \frac{GMD}{GMR} \\
 &= R + j0.17365 \log_{10} \frac{GMD}{GMR} [\Omega/\text{km}] \\
 &= 0.0786 + j0.17365 \log_{10} \frac{5.9425}{0.0115} \\
 &= 0.0786 + j0.4712 [\Omega/\text{km}]
 \end{aligned}$$

여기서,  $R$  : 도체저항(50℃기준) ⇨ 사용온도에서의 저항값임.(일반적 50℃)  
 $GMD$  : 각 상 전선간의 기하학적 평균거리[mm] =  $\sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{31}}$   
 $GMR$  : 도체의 기하학적 평균반경[mm]  
     -  $a$  : 전선의 반지름[mm]  
     소선수 : 12가닥1층 ⇒ 0.75a  
     (강심제외) 26가닥2층 ⇒ 0.809a

#### ① 도체저항

여기서,  $R_{20}$  : 200℃ 기준의 도체 저항값 ⇒ 0.12[Ω/km]  
 $\alpha$  : 저항온도계수(Al 도체) =  $4.03 \times 10^{-3}$   
 $T$  : 기준온도 ⇒ 50℃

$$R_{50} = R_{20}[1 + a(T - 20)] = 0.1345 \text{ } [\Omega/\text{km}]$$

$$\textcircled{2} \text{ } GMD = \sqrt[3]{D_{12} \times D_{23} \times D_{31}} = 5.9425[m]$$

③ GMR(소선수 26가닥 2층적용)

$$GMR = 0.809a = 0.809 \times \frac{22.4}{2} \times 10^{-3} = 0.0092[m]$$

$$\begin{aligned} \therefore \%Z_1 &= \frac{100 \times 1000}{10 \times [kV]^2} \times Z_1 [\%] \Rightarrow 100[MVA]_{Base} \\ &= \frac{100 \times 1000}{10 \times 154^2} \times (0.1345 + j0.488) \\ &= 0.0567 + j0.20577 \text{ } [\%] \end{aligned}$$

### 3. 영상임피던스(Z0)

(1) 계산식(2회선, 가공지선2조 경우)

$$Z_0 = \frac{1}{2} \times [Z_{11} + 2 \times Z_{12} + 3 \times Z_{14} - 6 \times \frac{2 \times (Z_{17})^2}{Z_{77} + Z_{78}}] [\Omega/km]$$

여기서,

$$\textcircled{1} \text{ } Z_{11} = (0.000988f + \frac{R}{n}) = j(0.002894f \log \frac{D_e}{GMR \text{ bundle conductor}})$$

De : 등가 대지 귀로까지의 거리  $\Rightarrow 852.056[m]$

n : 1 (단도체)

$$\begin{aligned} \therefore Z_{11} &= (0.000988 \times 60 + \frac{0.1345}{1}) + j(0.00289 \times 60 \times \log \frac{852.056}{0.0092}) \\ &= 0.1938 + j0.8624 \text{ } [\Omega/km] \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \text{ } Z_{12} = 0.000988f + j0.002894f \log \frac{D_e}{D_1} [\Omega/km]$$

$$\begin{aligned} &= (0.000988 \times 60) + (j0.002894 \times 60 \times \log \frac{852.056}{5.9425}) \\ &= 0.0593 + j0.3745 \text{ } [\Omega/km] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \text{ } Z_{14} &= 0.000988f + j0.002894f \log \frac{D_e}{\sqrt[9]{D_{14} \cdot D_{25} \cdot D_{36} (D_{15} \cdot D_{26} \cdot D_{34})^2}} \\ &= (0.000988 \times 60) + (j0.002894 \times 60 \times \log \frac{852.056}{10.1391}) \\ &= 0.0593 + j0.3342 \text{ } [\Omega/km] \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \textcircled{4} \quad Z_{17} &= 0.000988f + j0.002894f \log \frac{D_e}{D_7} [\Omega/\text{km}] \\
 &= (0.000988 \times 60) + (j0.002894 \times 60 \times \log \frac{852.056}{8.665}) \\
 &= 0.0593 + j0.346 [\Omega/\text{km}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \textcircled{5} \quad Z_{77} &= 0.000988f + j0.002894f \log \frac{D_e}{\text{GMR}_{\text{GW}}} [\Omega/\text{km}] \\
 &= (0.000988 \times 60) + (j0.002894 \times 60 \times \log \frac{852.056}{0.006}) \\
 &= 0.0593 + j0.8946 [\Omega/\text{km}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \textcircled{6} \quad Z_{78} &= 0.000988f + j0.004657f \log \frac{D_e}{D_{78}} [\Omega/\text{km}] \\
 &= (0.000988 \times 60) + (j0.004657 \times 60 \times \log \frac{852.056}{7.3}) \\
 &= 0.0593 + j0.5776 [\Omega/\text{km}]
 \end{aligned}$$

그러므로, 상기 계산에 의해 영상임피던스  $Z_0$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= \frac{1}{2} \times [Z_{11} + 2 \times Z_{12} + 3 \times Z_{14} - 6 \times \frac{2 \times (Z_{17})^2}{Z_{77} + Z_{78}}] \\
 &= \frac{1}{2} \times (0.4903 + j2.614 - 0.2562 - j0.9678) \\
 &= 0.1171 + j0.8231 [\Omega/\text{km}]
 \end{aligned}$$

따라서 % $Z_0$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \therefore \%Z_0 &= \frac{100 \times 1000}{10 \times 154^2} \times (0.1171 + j0.8231) \\
 &= 0.0494 + j0.3471[\%]
 \end{aligned}$$

## 해설 5. 지상고 결정기준

66kV 이상 수전선로의 설계에 있어서 전기설비기술기준을 준용하고 수전선로의 사용기간 중 지상고 부족으로 인한 설비의 변경을 예방하고 적정한 지상고가 유지될 수 있도록 경제적인 설계 및 환경보전을 위하여 경과지의 주위환경 및 조건, 개발전망, 국토이용계획 등을 감안 본 지침 적용에 신축성을 기한다.

지상고 결정기준은 아래와 같이 정하고 본 기준점으로부터 전기설비기술기준에 명시된 각 공작물별 이격거리를 가산하여 최저 지상고를 결정하고 동 기준에 의한 각 공작물별 이격거리는 사용전압에 의하여 산출한다. 단, 특별고압 가공수전선로의 지상고는 정전유도 전압을 고려하여 사람의 출입이 빈번한 곳에서는 지표상 1m 지점의 송전선하 전계강도가 3.5kV/m, 기타(산악지)는 7.0kV/m 이하로 하며, 자계강도는 833mG<sup>1)</sup> 이하가 되도록 하고 2회선 가선 시에는 역상 배치한다.

### (1) 일반평지

준도시지역 및 준농림지역, 자연환경 보전지역내의 평탄지를 말하며 일반평지 개발시 가장 많이 사용되고 있는 중장비 중 굴삭기의 지상 작업반경인 12.2m에 전기설비기술 기준상 가공전선과 다른 시설물과의 이격거리를 가산한 값

### (2) 철도 및 전철

철도 및 전철용 가공선로의 표준장주 중 최고점 12m에 가공전선로간 이격거리를 가산한 값

### (3) 도로

#### ① 고속국도

고속국도의 도로점용허가 등 대관 인허가 조건인 노면으로부터 지상고 15m를 기준으로 한다.

#### ② 일반국도 및 일반도로

국도 및 특별시도, 광역시도, 지방도, 시도, 군도, 구도를 횡단하는 수전선로의 지상고는 배전선로(가공지선지지대 취부 16m 전주 기준) 높이 14.8m에 가공전선로간 이격거리를 가산한 값

단, 그 외 도로는 개발전망을 고려하여 일반평지 또는 상기 도로에 준함

### (4) 수목지역

자연보호 및 환경보전을 위하여 선하지 및 산복지역의 수목은 무벌채를 기본으로 수전선로의 지상고를 결정한다. 수목지역의 수전선로 지상고는 수령 35년을 기준으로 수종별(리기다 소나무, 낙엽송, 기타 수목) 평균지위지수(平均地位指數)에 의한 수고에 가공전선로와

1) 지식경제부 고시 제2009-35호



식물사이의 이격거리를 가산한 값으로 한다.

단, 765kV 수전선로의 수고는 수종별 지위지수를 측정(실지위지수)하여 지위지수분류 곡선에 의해 산출한 수고로 한다.

(5) 농경지

농림지역 중 농업을 위하여 보전할 필요가 있는 농업진흥지역에 적용하며 영농의 기계화 및 시설영농을 고려하여 비닐하우스용 작업높이10m(파이프길이8m+작업높이2m)에 전기 설비기술기준상 가공전선과 건조물과의 이격거리를 가산한 값

(6) 택지개발예정지구 및 공단지역

도시지역내의 도시계획구역, 택지개발예정지구, 국가공단 및 지방공단지역에 적용하며 건조물의 고층화에 대비하여 5층 기준 20m를 기준점으로 하여 건조물과 이격거리를 가산한 값

(7) 가공전선로 및 타공작물과의 이격거리

- ① 66kV T/L과 66kV이하 전선로 및 타공작물과의 이격거리 : 3m
- ② 154kV T/L과 66kV이하 전선로 및 타공작물과의 이격거리 : 4m
- ③ 154kV T/L과 154kV T/L이하의 이격거리 : 4m
- ④ 345kV T/L과 66kV이하 전선로 및 타공작물과의 이격거리 : 6.5m
- ⑤ 345kV T/L과 154kV T/L과의 이격거리 : 6.5m
- ⑥ 345kV T/L과 345kV T/L과의 이격거리 : 8.5m

(8) 가공약전류전선 횡단

가공전선로가 가공약전류전선을 횡단할 경우에는 가공약전류전선과의 이격거리에 별도 가산치를 적용하여 보호망 미설치에 따른 전기설비기술기준의 수직거리를 확보한다.

(9) 특수지역 횡단

해협, 강, 비행구역 등 특수지역을 횡단할 경우에는 관련법 및 관련기관 협의조건에 의한 지상고를 우선적으로 적용한다.

(10) 상기 기준이 복합적으로 적용되는 곳에서는 상기 기준 중 가장 높은 값을 적용한다.

(11) 수전선로 지상고 기준

표 8. 수전선로 지상고 기준

[단위 : m]

수명 수령(년)	소나무	리기다소나무	잣나무	참나무	낙엽송
25	12.4	12.6	11.6	12.9	17.1
30	14.5	15.2	13.9	13.7	18.9
35	16.0	17.9	16.2	14.4	20.6
40	17.4	20.6	18.2	15.0	22.0
45	18.4	23.2	20.2	15.4	23.4
50	19.3	25.9	22.2	16.0	24.7

(12) 설비별 지상고 기준

표 9. 지상고 기준표

[단위 : m]

구 분 전 압		일반 평지	철도 및 전철	도 로		수 목			농 경 지	택지 개발 예정 지구 및 공단 지역 (5층)	선로간 이격거리			
				고 속 도 로	일반 국도 및 일반 도로	리기다 소나무	낙 엽 송	기 타 수 목			66kV이하 가공 전선로 및 타공작물	154kV 가공 송전 선로	345kV 가공 송전 선로	가공 약전류 전선로
66 kV	기준치	2.12	3	6	3	2.12	2.12	2.12	3.6	3.6	2.12	3.2	5.48	2.12
	가산치	12.2	12		14.8	17.9	20.6	16.2	10	20	1	1	1	
	설계치	14	15	15	18	20	23	18	14	24	3	4	6.5	6
154 kV	기준치	3.2	4	6.12	4	3.2	3.2	3.2	4.8	4.8	3.2	3.2	5.48	3.2
	가산치	12.2	12		14.8	17.9	20.6	16.2	10	20	1	1	1	
	설계치	16	16	15	19	21	24	19	15	25	4	4	6.5	6





## 해설 6. 가선조건 및 설계

### 1. 일반사항

송전선 설계시 전선의 이도(Sag) 및 장력계산은 지지물(TW) 설계의 하중조건이 될 뿐만 아니라 지지물 높이결정 및 전선의 적정 안전을 유지할 위한 매우 중요한 설계 사항으로서 이에 대한 충분한 검토가 요구되고 있으며 사용전선별, 장소별 전선의 이도설계의 설계기준 및 계산방법 등은 다음과 같다.

### 2. 기본조건

#### (1) 기온

- ① 최고온도 :  $40^{\circ}\text{C}$
- ② 평균온도 :  $10^{\circ}\text{C}$
- ③ 최저온도 :  $-20^{\circ}\text{C}$

#### (2) 전선적용온도

##### ① 지상고 검토시 적용온도

- 가. 일반전선(ACSR, 연속허용온도  $90^{\circ}\text{C}$  기준) :  $75^{\circ}\text{C}$
- 나. 내열전선(TACSR, 연속허용온도  $150^{\circ}\text{C}$  기준) :  $110^{\circ}\text{C}$
- 다. 초내열전선(STACIR, 연속허용온도  $210^{\circ}\text{C}$  기준) :  $150^{\circ}\text{C}$

##### ② EDS 검토시 : $10^{\circ}\text{C}$

##### ③ 고온계 유풀시 : $10^{\circ}\text{C}$

##### ④ 저온계 유풀시 적용온도 : $-5^{\circ}\text{C}$ (다설지역의 경우 $0^{\circ}\text{C}$ )

##### ⑤ 저온계 무풍시 : $-20^{\circ}\text{C}$

#### (3) 전선장력

##### ① 전선 최대사용장력

전선의 최대사용장력은 아래의 안전율을 확보하여야 하며 전선별 제원은 표를 참조한다.

가. 알루미늄계 전선 : 2.5 이상

나. 동계 전선 : 2.2 이상

여기서, 알루미늄계 전선은 알루미늄, 알루미늄합금, 내열알루미늄합금선 등을 말하며, 동계 전선은 동, 동합금선 등을 말한다.

표 10. 전선제원

구 분 \ 선 종	ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	ACSR 480mm <sup>2</sup>	
				Rail	Cardinal
무 계 [kg/m]	1.110	1.320	1.673	1.599	1.829
외 경 [mm]	22.40	25.30	28.50	29.61	30.42
인 장 하 중 [N]	100,058	107,114	136,122	115,640	149,940
최대사용장력 [N]	35,770	38,710	49,000	41,650	53,900
탄 성 계 수 [10 <sup>3</sup> N/m]	88.994	81.791	81.918	71.079	78.273
선팽창계수 [10 <sup>-6</sup> /℃]	17.97	18.97	18.95	20.84	19.53
연 선 구 성 [AL/ST]	30/3.2 7/3.2	26/4.0 7/3.1	26/4.5 7/3.5	45/3.7 7/3.1	54/3.38 7/3.5
형 상 계 수	1/7	1/6.3	1/6.3	1/8	1/9

## ② 가공지선 장력

가공지선 장력은 저온계 무풍시 전력선 이도의 80% 해당하는 장력을 표준으로 한다.

## 3. 설계조건

### 3.1 하중조건

#### 3.1.1 고온계 하중조건(Summer Loading Condition)

하계(4~11월)에서 전선에 작용하는 최대하중으로 태풍을 고려한 강풍시 조건으로 한다.

- (1) 풍압 : 지역별 기준 속도압 및 최대풍속, 가설선의 표준 풍압치를 참조
- (2) 기온 : 10℃
- (3) 피빙 : 고려하지 않음

#### 3.1.2 EDS 하중조건(Every Day Stress Condition)

전선수명에 관련되는 하중조건으로 상시 진동으로 인한 전선피로 현상을 억제하기 위하여 아래 조건으로 사용한다.

- (1) 풍압 : 무풍
- (2) 기온 : 10℃
- (3) 피빙 : 고려하지 않음



#### (4) 사용범위

- 알루미늄계 전선 : 인장하중의 25%이하
- 동계 전선 : 인장하중의 30%이하

#### 3.1.3 저온계 하중조건(Winter Loading Condition)

동계(12월~3월)에서 전선에 작용하는 최대하중으로 아래와 같이 2개의 조건으로 한다.

##### (1) 유풍시 조건

- 풍압 : 지역별 기준 속도압 및 최대풍속, 가섵선의 표준 풍압치를 참조
- 기온 : -5
- 피빙 : 착빙설 참조

##### (2) 무풍시 조건

- 풍압 : 무풍
- 기온 : -20℃
- 피빙 : 고려하지 않음

### 3.2 장력 조건

#### 3.2.1 초기조건(제1상태)

이도·장력 계산에 필요한 기준조건 설정을 위하여 임의 상정하는 하중조건으로 나항의 하중조건 중 1개 조건을 선택할 수 있다.

#### 3.2.2 변환조건(제2상태)

초기조건(제1상태)을 기준으로 제반조건에 있어서 전선의 사용 장력, 이도 등을 검토하는 조건으로 아래와 같이 열거할 수 있다.

- (1) 최고온도시의 지상고 검토
- (2) EDS 하중조건
- (3) 고온계 하중조건
- (4) 저온계 하중조건
- (5) 기타 필요하다고 인정되는 조건

### 3.3 이도자(Sag-Template) 제작 사용

이도자는 지역별, 등가경간별, 전선종류별로 표의 파라미터(Parameter)를 적용하여 제작 사용한다.

표 11. 지역, 등가경간 및 선종별 파라미터(Parameter)

	I 지역				II 지역				III 지역				다설지역			
	250 미만	250- 349	350- 499	500 이상	250 미만	250- 349	350- 499	500 이상	250 미만	250- 349	350- 499	500 이상	250 미만	250- 349	350- 499	500 이상
ACSR480 mm <sup>2</sup>	800	900	950	1000	800	1000	1050	1100	800	1100	1200	1300	700	850	900	950
ACSR410 mm <sup>2</sup>	900	1050	1100	1150	900	1150	1200	1250	900	1250	1400	1500	850	1000	1050	1100
ACSR330 mm <sup>2</sup>	850	950	1000	1050	900	1100	1150	1150	900	1200	1350	1400	800	900	950	1000
ACSR240 mm <sup>2</sup>	950	1050	1050	1100	1000	1150	1200	1250	1000	1300	1400	1500	850	950	1000	1000

- (주) 1. 전선지상고 검토시 적용하는 75℃ 무풍무설 조건을 기준으로 하였음.  
 2. 발·변전소의 인·출입구간은 구내 구조물 내하중을 고려하여 별도 검토하여 적용함.  
 3. 등가경간 150~700m를 대상으로 검토하였으므로 이 범위를 벗어나는 특수한 단·장경간 개소는 별도 검토를 요함.  
 4. 이도자 제작시는 장경간에서 오차를 줄이기 위하여 커티너리식을 적용할 것.

$$\text{이도 계산식} \left[ \begin{array}{l} \text{간 이 식} : D=S^2/8P \\ D : \text{이도}, P : \text{파라미터(Parameter)}, S : \text{경간} \\ \text{커티너리식} : D=P(\text{Cosh}(S/2P)-1) \end{array} \right.$$

5. 상기와 같이 제작된 이도 곡선자로 측량결과에 의한 종단도에 전선의 가선상태를 그려 전선의 지상고의 약전선의 타 공작물과의 이격거리 확인은 물론 지지물의 높이, 경간 등을 결정하는데 사용한다.

### 3.4 부하계수(Load Coefficient)

전선에 작용하는 합성하중과 전선자중과의 비로 나타낸다.

- (1) 수평하중 : 풍압하중  
 (2) 수직하중 : 전선자중 및 피빙하중

### 3.5 등가경간(Rulling Span)

1개 내장구간의 장력, 이도, 계산시 적용 경간은 아래 식에 의거 산출한 등가경간으로 한다.

$$\text{등가경간} = \sqrt{\frac{\sum(\text{각경간장})^3}{\sum(\text{각경간장})}} \quad (\text{※ 참조 : 경간의 분류 및 정의})$$



### 3.6 탄성계수, 선팽창계수

장력 · 이도계산에 필요한 전선의 탄성계수 및 선팽창계수 산출식은 “이도설계 계산식”을 참조한다.

### 3.7 전선의 실장

전선의 처짐에 의한 각 경간에서의 전선실장 산출식은 “이도설계 계산식”을 참조한다.

### 3.8 전선의 진동(Creep)

전선의 내용연수를 고려하여 전선의 진동특성에 대한 보정을 하여야 하며 적용방법은 “이도설계 계산식”을 참조한다.

### 3.9 기타

- (1) 강 횡단 등 장경간 개소의 설계조건은 기후조건 및 계통운용 조건 등을 고려하여 지상고 적용온도를 하향 적용할 수 있다.
- (2) 저온계 강풍지역, 응결고도지역 등의 설계조건은 본 지침의 취지를 참조하여 별도 적용할 수 있다.

## 4. 가선조건

- (1) 애자련의 하중 및 횡진
  - ① 애자련에 작용하는 제반 하중계산
  - ② 현수애자련의 횡진에 따른 현수, 내장형 검토
- (2) 커티너리각(Catenary Angle)
  - ① 현수장치인 경우 현수클램프의 허용곡률각도 검토
  - ② 내장장치인 경우 잠파와 암(Arm)과의 이격거리 검토 등

## 5. 경간의 분류 및 정의

- (1) 경간 및 경간장(Span)

인접한 두 지지물 중심선 사이의 수평거리를 말한다.
- (2) 경간 분류
  - ① 표준 경간(Basic or Normal Span)<sup>2)</sup>

사용전선의 종류 및 규격에 따른 최대허용장력과 지지물의 강도, 기상 및 지형조건 외 제반규정상 적합성이 검토된 가장 안전하고 경제적으로 선정된 경간을 표준 경간이라 한다.

---

2) 한국전력 가공송전용 철탑 설계기준 개정(10.8.27)

표 12. 적용 표준 경간의 예

154kV 송전선로	345kV 송전선로
400m	450m

② 장 경간 및 단 경간

가. 장경간

표준 경간 + 250m 이상을 장 경간이라 정의하며, 600m 이상의 개소는 특수처리 설계함이 바람직하다.

나. 단경간

특별한 경우 외에는 200m 미만의 경간을 말한다.

③ 하중 경간

하중 경간에는 사용 목적에 따라 수평하중 경간과 수직하중 경간으로 구분한다.

가. 수평하중 경간(Wind Span)

지정된 지지물의 풍압하중 계산에 필요한 자료로서 그 지지물 양측 경간 합의 2 등분 값(Span)을 보통 풍압하중 경간이라 칭한다.

즉, 수평하중 경간(풍압하중 경간) :  $S_m$

$$\text{산출식 : } S_m = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

( $S_1, S_2$  : 양측경간)

나. 수직하중 경간(Weight Span)

지정된 지지물에 대한 자중계산에 필요한 자료로서 그 지지물 양측 경간의 정점(Vertex)까지 수평거리 합의 값을 수직하중 경간이라 칭한다.

즉, 수직하중경간 :  $S_w$

산출식 :  $S_w = a_1 + a_2$ 로 표시 됨.

[ $a_1, a_2$  : 지지점 기준 양측 정점(Vertex)까지의 수평거리]

④ 평균 경간(Average Span)

양측(내장개소) 지지물 사이 각각의 경간 합의 값을 그 경간 수로 나눈 값(경간장)을 말한다.

$$\text{즉, } S_A = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \cdots + S_n}{n}$$

⑤ 등가 경간(Rulling & Equivalent Span)

선로의 한 구간(Section : 내장형 지지물 사이) 또는 전 구간에 대하여 각 경간별 가선장력이 동일하여야 함으로, 이 경우 어느 정도의 장력으로 가선하는 것이 이상



적인가 즉, 가장 합리적인 장력에 해당하는 경간 장(長)으로써 그 산출방식은 아래와 같이 두 가지가 있다.

가.  $S_R = \sqrt{\frac{S_1^3 + S_2^3 + \dots + S_n^3}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}} = \sqrt{\frac{\sum(\text{각경간장})^3}{\sum(\text{각경간장})}}$  ----- Still식

나.  $S_R = \text{평균경간} + \frac{2}{3}(\text{최대경간} - \text{평균경간})$  ----- Ideel식

#### ⑥ 임계 경간(Critical Section)

전선은 어느 조건(고·저온계)에서도 안전하게 가선되어야 하므로, 주어진 조건 중에서 가장 가혹한 조건으로 만족할 수 있는 설계를 하지 않으면 안 된다. 즉, 어떤 조건으로 이도 설계를 해야 할 것인가를 결정하기 위한 기준이 되는 경간을 임계 경간장이라 한다.

일반적 전선가선 장력변화의 특성은 다음과 같다.

구 분	장 경 간	단 경 간
가혹조건	고온계 하중시	저온계 하중시
이도 장력에 미치는 영향	하중의 영향은 크고, 전선실장의 변화가 이도에 미치는 영향은 작다.	장경간의 경우와 상반된 현상임

결론적으로 어떤 경간을 기준으로 장 경간에서는 고온계 하중, 단 경간에서는 저온계 하중이 가혹한 조건이 되는 경간이 존재함을 알 수 있는데 이 경간장을 임계 경간이라 한다.

임계 경간 식  $S_c = \frac{f}{\delta} \sqrt{\frac{720a}{q_a^2 - q_b^2}}$

여기서,  $S_c$  : 임계경간

$f$  : 단위 면적당의 최대 사용장력 [Ts/A]

$a$  : 선팽창계수

$\delta$  : 전선 단위장, 단위 넓이당 무게

$q_a$  : 고온계 부하계수

$q_b$  : 저온계 부하계수

즉,  $q_a > q_b$  인 경우는 임계 경간이 존재하고

$q_a < q_b$  인 경우는 임계 경간이 존재하지 않는다.

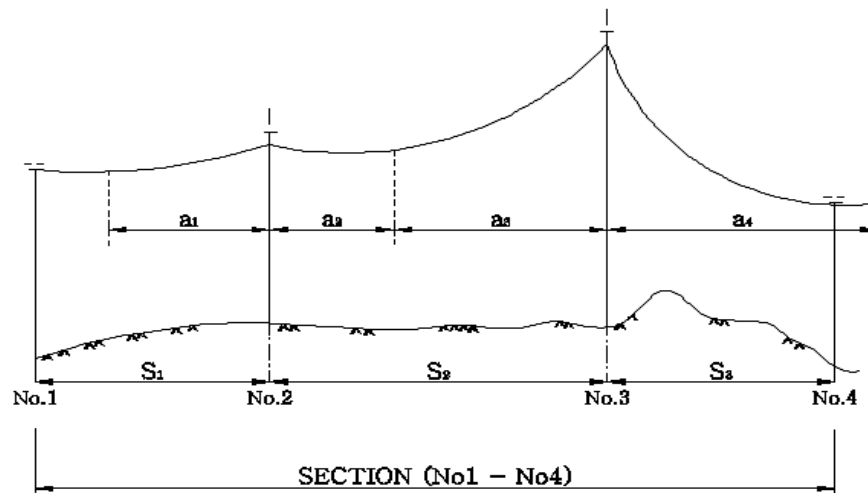


그림 3. 경간 분류정의 개념도

S1 : 지지물 No.1 ~ No.2간의 경간

S2 : 지지물 No.2 ~ No.3간의 경간

※ No.2 지지물(Tw)을 기준 할 경우

▷ 수평하중 경간(Wind Span) :  $S_m$

$$S_m = \frac{1}{2} (S_1 + S_2)$$

▷ 수직하중 경간(Weight Span) :  $S_w$

$$S_w = a_1 + a_2$$

$a_1, a_2$  : No.2 지지물 기준 양측 경간내 정점(Vertex)까지의 거리

※ No.3 지지물 기준의 경우

▷  $a_3$  : S2 경간(Span)내 정점(Vertex)이 있으나,

▷  $a_4$  : S3 경간(Span)을 벗어난 No.4호 이후 S4 경간(Span)내 있음에 유의하여야 한다.

## 6. 이도계산

### 6.1 조건변화에 따른 장력 변환식

설계조건 변화에 따른 장력은 아래와 같이 산출한다.

$$t_2^2 \left[ t_2 + \frac{K m^2 S^2}{t_1^2} + K' (\theta_2 - \theta_1) - t_1 \right] = K m^2 S^2$$

$$K = \frac{E \cdot W^2}{24 a^2}, \quad K' = aE$$





여기서,  $t_1$  : 제1상태(초기)의 전선장력 [N/mm<sup>2</sup>]

$t_2$  : 제2상태(변환)의 전선장력 [N/mm<sup>2</sup>]

$\Theta_1$  : 제1상태의 전선온도 [°C]

$\Theta_2$  : 제2상태의 전선온도 [°C]

$m$  : 제1상태의 부하계수

$m'$  : 제2상태의 부하계수

$a$  : 전선의 단면적 [mm<sup>2</sup>]

$E$  : 전선의 탄성계수 [N/mm<sup>2</sup>]

$\alpha$  : 전선의 선팽창계수 [1/°C]

$S$  : 경간 [m]

$W$  : 전선의 단위무게 [kg/m]

## 6.2 파라미터(Parameter) 산출 및 이도계산

이도계산 및 파라미터는 아래 식에 의거 산출한다.

$$D = \frac{WS^2}{8T} + \frac{W^3 S^4}{384 T^3} = \frac{S^2}{8P} + \frac{S^4}{384 P^3}$$

$$P = \frac{T}{W} = \frac{S^2}{8D}$$

여기서,  $P$  : 파라미터(Parameter)상수

$T$  : 상정최고온도, 무풍,  $a$  설시의 전선 수평장력[kgf]

(상정최고온도는 일반전선 75°C, 내열전선 110°C, 초내열전선 150°C)

$W$  : 전선의 단위무게 [kg/m]

$D$  : 전선의 이도 [m]

## 6.3 부하계수

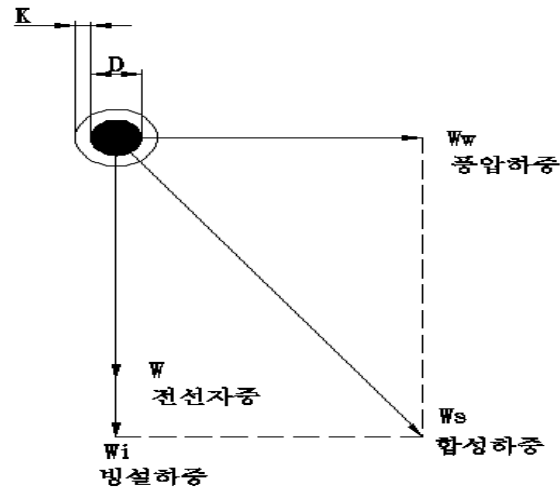
부하계수는 아래 식에 의거 산출한다.

$$m = \frac{W_s}{W} = \sqrt{\frac{(W + W_i)^2 + W_w^2}{W}}$$

$$W_w = P(D + 2K) \times 10^{-3}$$

$$W_i = \pi \cdot \rho \cdot K(D + K) \times 10^{-3}$$

$$= \left[ \frac{\pi}{4} (D + 2K)^2 - \frac{\pi}{4} D^2 \right] \times 0.9 \times 10^{-3}$$



여기서,  $m$  : 부하계수

$W$  : 합성하중 [N/m]

$W$  : 전선자중 [N/m]

$W_i$  : 전선의 빙설하중 [N/m]

$W_w$  : 전선의 풍압하중 [N/m]

$P$  : 전선의 단위길이에 대한 풍압 [N/m<sup>2</sup>]

$D$  : 전선의 외경 [mm]

$K$  : 빙설의 두께 [mm]

$\rho$  : 빙설의 밀도(비중) [g/cm<sup>3</sup>]

#### 6.4 탄성계수

합성연선의 탄성계수는 아래와 같이 산출한다.

$$E = \frac{mE_a + E_s}{m + 1}$$

여기서,  $E$  : 탄성계수

$E_a, E_s$  : 알루미늄 및 강(鋼)의 탄성계수 [N/mm<sup>2</sup>]

$m$  :  $A_a/A_s$

$A_a, A_s$  : 알루미늄 및 강(鋼)의 단면적 (mm<sup>2</sup>)

#### 6.5 선팽창계수

합성연선의 선팽창계수는 아래와 같이 산출한다.

$$\alpha = \frac{m\alpha_a E_a + \alpha_s E_s}{mE_a + E_s}$$



여기서,  $\alpha$  : 선팅창계수 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$E_a, E_s$  : 알루미늄 및 강 의 탄성계수 [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]

$\alpha_a, \alpha_s$  : 알루미늄 및 강 의 선팅창계수 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$m$  :  $A_a/A_s$

$A_a, A_s$  : 알루미늄 및 강 의 단면적 [ $\text{mm}^2$ ]

## 6.6 전선의 실장

이도를 고려한 전선의 실장은 아래와 같이 산출한다.

$$L = S + \frac{W^2 S^3}{24 T^2} + \frac{h^2}{2S} = S \left[ 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{D}{S} \right)^2 \right] + \frac{h^2}{2S}$$

여기서,  $L$  : 전선의 실장 [ $\text{m}$ ]

$S$  : 경간거리 [ $\text{m}$ ]

$W$  : 전선의 자중 [ $\text{kg}/\text{m}$ ]

$T$  : 정점(vertex)에서의 전선 장력 [ $\text{N}$ ]

$h$  : 고저차 [ $\text{m}$ ]

$D$  : 전선의 이도 [ $\text{m}$ ]

## 6.7 전선의 진동(Creep)보정

전선(ACSR)의 Creep특성에 대한 보정은 긴선 후 시간이 경과됨에 따라 전선의 늘어짐 정도를 보정하기 위해 등가보정온도를 적용한다.

○ 가선시 적용온도 = 가선시 대기온도 - 등가보정온도

선 종	등가보정온도	가 긴선 조건
ACSR 330 $\text{mm}^2$ , 410 $\text{mm}^2$	10 $^{\circ}\text{C}$	○ 장력 : 긴선 이도의 100%
ACSR 480	15 $^{\circ}\text{C}$	○ 시간 : 최소 1시간

(주) 1. 기타 전선은 상기 전선에 준하여 등가보정온도를 적용한다.

2. 가 긴선 시간이 길어진 경우에는 등가보정온도를 하향 적용할 수 있다.

## 해설 7. 가공지선 설계

### 1. 설치기준

66kV이상의 모든 특별고압 가공 수전선로에는 가공지선을 설치한다.

발·변전소에 접속되어 있는 송전선은 필요한 경우 그 발·변전소로부터 약 1km의 구간 전압 66kV이상 지중선 분기점의 양측 약 1km이상의 구간

- (1) 가공지선은 너격으로부터 변전소를 완전차폐할 수 있도록 설치한다.
- (2) 가공지선은 기계적 강도, 부식환경 및 내식성, 경제성 등을 고려하여 선정한다.
- (3) 가공지선을 설치하기 곤란한 경우 또는 가공지선 설치로 피보호 대상을 보호범위내로 배치할 수 없는 경우는 피뢰침을 설치할 수 있다.
- (4) 가공지선은 철탑중심으로 부터 최외측의 전력선 도체위치와 같게 설치한다.

### 2. 설계기준

가공지선의 조수 및 차폐각도는 표에 의한다.

표 13. 가공지선의 조수 및 차폐각도

구 분	전 압 별	조 수	차 폐 각
철탑선로의 경우	154kV	1조의 경우	30°이내
		2조의 경우	5°이내
	66kV	1조	30°이내
목주, CP, 철주의 경우	50°이내		

(주) 1. 수직배열의 경우 차폐각도는 최상단 압에 설치하는 전력선의 기하학적 중심점을 기준으로 함

### 3. 가선조건

최저온도, 무풍, 무설시에 가공지선의 이도는 동일 조건하에서 본선 이도의 80%를 표준으로 하며, 최악조건의 안전율을 2.8이상으로 한다.

### 4. 사용선종

가공지선은 표의 강심알루미늄연선 사용을 표준으로 한다.

표 14. 가공지선용 강심알루미늄연선(ACSR)

공칭단면적 [mm <sup>2</sup> ]	소선수/소선경		외 경 [mm]	인장하중 [N]	중 량 [N/km]	전기저항 [@/km]
	Al	St				
97	12/3.2	7/3.2	16.0	103,880	6,947	0.301

(주) 유도 및 염해대책 등 특수한 경우는 이외의 전선을 적용할 수 있다.



## 5. 가공지선과 전력선과의 이격거리

전압	33kV 이하	66kV	154kV	345kV
소요이격	1.2m이상	2.2m이상	3.2m이상	5.8m이상

## 해설 8. 전선의 진동방지 설계기준

강심알루미늄 전선이 진동(미풍)으로 인한 기계적 강도열화 및 소선, 단선방지를 위하여 사용하는 스톡크 브릿지 댐퍼 및 아마로드 취부기준은 아래와 같이 정한다.

(1) 다음 개소에는 프리폼드아마로드(Preformed Armor Rod)를 설치한다.

- ① 현수형 클램프를 사용하는 개소
- ② 항공장애 표시구 설치개소

(2) 스톡크 브릿지 댐퍼 설치수량 및 간격은 표와 같으며 다음 개소에 설치한다.

- ① 단도체 및 복도체 가공송전선로의 전력선
- ② 345kV용 가공지선
- ③ OPGW(Optical Fiber Composite Overhead Ground Wire)

SB댐퍼 기호	적용 전선 (mm <sup>2</sup> )	설치간격 (cm)	허용최대경간(m)			댐퍼 중량 (kg)	비고
			1개	2개	3개		
SB- 6	95	85	300	600	900	2.7	
SB-12	240	125	350	650	1000	5.5	
SB-14	330, 410	140	350	650	1000	6.4	

(주) 댐퍼간격은 현수애자 장치에서는 현수크랩프 중심에서 내장애자 장치에서는 압축 크랩프 또는 내장크랩프 끝에서 담과 중심까지의 간격이다.

(3) 장경간이 인접되거나 지형상 불평형 장력이 심한 곳 또는 기타 특수지역은 설치수량 및 간격을 재조정한다.

(4) 지지물의 강도 또는 기타 이유로 전선의 안전율을 2.5보다 크게 하여 사용장력을 적게 적용하는 경우에는 스톡브리지댐퍼의 사용수량을 줄일 수 있다.

(5) 베이트댐퍼 (Bate Damper)

154kV용 가공지선의 지지점에는 설계기준 DS-1310(가공송전선 애자장치 설계기준) 부도의 154kV 가공지선용 지지장치도에 따라 베이트댐퍼를 설치한다.

(6) 아마로드 취부

경간이 200m를 초과하는 전선로의 현수형(애자런) 크랩프에 접촉되는 전선부분에는 아마로드를 취부한다.

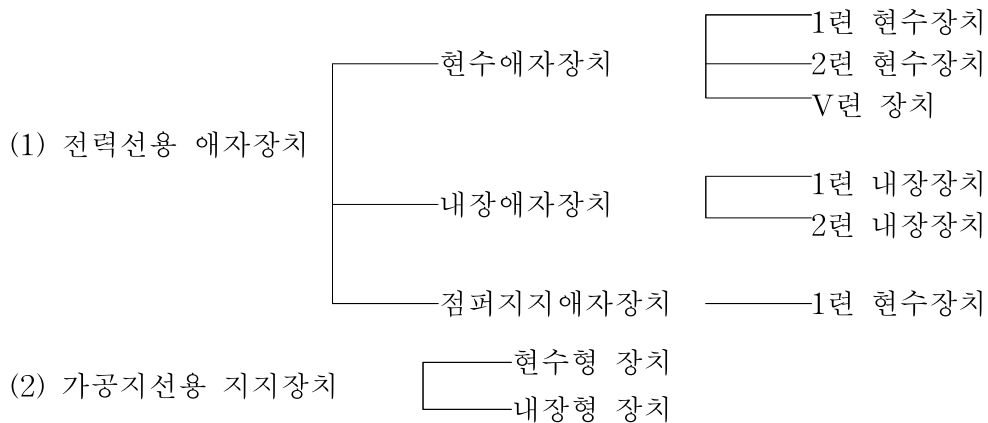
※ 단경간 등 아마로드를 사용치 않아도 무방한(하중이 적은) 개소는 아마테이프를 사용한다.



## 해설 9. 애자장치 선정

### 1. 애자장치의 분류 및 적용

가공 수전선로에 대한 전력선 및 가공지선의 애자(지지)장치는 일반적으로 다음과 같이 분류, 적용한다.



### 2. 전압별 애자연결 표준개수

지지장치별 애자 1련의 연결개수는 지역별 오손구분에 따라 표를 표준으로 하여 적용한다.

표 15. 전압, 지구 및 장치별 표준애자 연결개수

전 압	사용애자	애자련형	청정지구	A	B	C	D
154kV	표준애자	현 수	10	11	12	14	16
		내 장	10	11	12	14	16
	내무애자	현 수	-	-	10	11	12
66kV	표준애자	현 수	4	5	6	6	7
		내 장	5	5	5	6	6
	내무애자	현 수	-	-	4	4	5

(주) 1. 사용애자는 250mm 볼소켓형 현수애자 및 250mm 볼소켓형 내염용 현수애자 기준임.

2. 지구별 오손등급의 적용은 별도 설계기준(내오손기준)에 의한다.

### 3. 애자장치 사용구분

#### 3.1 현수와 내장장치의 적용구분

현수장치는 일반적으로 직선형 지지물에 적용하고, 그 이외의 경우에는 내장장치를 적용한다.

(단, 다음의 경우는 직선형 지지물에서도 내장장치를 적용함)

(1) 풍압 및 수평각에 의한 횡진각을 검토하여 현수애자련의 허용횡진각을 초과할 경우

- (2) 커티너리각의 합이 사용 현수클램프의 허용 커티너리각을 초과할 경우
- (3) 양측 경간의 심한 고저차로 전선의 수직하중이 현수클램프의 허용하중을 초과할 경우
- (4) 현수장치용 지지물의 연속적 10기 이상일 때 선로보강용 지지물을 시설할 경우

### 3.2 공작물과 접근 또는 교차개소의 적용구분

공작물과 접근 또는 교차개소에서 현수와 내장장치의 1련과 2련 적용구분은 표에 의한다.

표 16. 공작물과 접근 또는 교차개소에서 1련, 2련 적용 구분표

대상 공작물	관 계	애자장치	비 고
건 조 물	1차 접근상태	1련	
	2차 접근상태	2련	
	교 차	2련	
도로, 횡단보도, 철도, 궤도	1차 접근상태	1련	
	2차 접근상태	2련	
	교 차	2련	보호망 설치시는 1련
삭 도	1차 접근상태	1련	
	2차 접근상태	2련	
	교 차	2련	보호망 설치시는 1련
약전선, 고저압의 전차선, 고저압의 가공전선 (22.9kV-Y 포함)	1차 접근상태	1련	
	2차 접근상태	2련	
	교 차	2련	보호망 설치시는 1련
특고압 상호 (22.9kV-Y 제외)	1, 2차 접근상태	1련	
	교 차	1련	
기타 공작물	1차 접근상태	1련	
	2차 접근상태	1련	
	교 차	1련	

(주) 2련 적용 개소 중 다음의 원칙에 의하여 1개의 애자증결로 2련에 대응할 수 있다.

- 건조물, 도로, 횡단보도, 삭도의 경우
- 철도, 궤도의 경우 : 복선 또는 5회이상/1시간 교통빈도의 중요한 철도를 제외한 기타개소
- 고압가공전선 : 고압 3회선 이상의 간선을 제외한 기타개소
- 약전선 : 가공 Cable 및 5회선 이상의 통신간선 제외한 기타개소

### 3.3 애자장치의 강도계열

애자장치에 대한 강도계열과 최대사용하중은 표와 같다.





표 17. 애자장치 강도계열별 최대사용 하중표

강도계열	애자장치	최대 사용하중	비 고
117,600 [N]계	1련형 장치	39,200 [N]	현 수
	2련형 장치	47,040 [N]	
161,700 [N]계	1련형 장치	53,900 [N]	내 장
	2련형 장치	64,680 [N]	

(주) 1. 본표의 안전율은 애자 : 3.0, 금구 : 2.5를 기준으로 하였음.

2. 사용애자에는 파괴하중 161,700[N] 및 파괴하중 117,600[N]을 사용할 경우임.

### 3.4 애자장치의 결정

애자장치의 결정에 있어서는 다음 사항을 고려한다.

- (1) 가선금구, 현수애자 및 전선의 강도 등의 협조관계를 고려함.
- (2) ACSR 전선의 현수장치 개소에는 아마로드를 사용한다.
- (3) 전선 지지점의 조건상 애자런이 위로 향한 각이 약 5°이상될 경우는 애자장치를 거꾸로(역조) 설치한다. 단, 해안측일 경우는 절연성능 저하를 최소화 하기 위하여 수평축 기준 해안측은 아래로 10°, 반대측은 위로 10°보다 애자런이 위로 향할 경우 거꾸로 설치함.
- (4) ACSR의 경우 공칭단면적 200mm<sup>2</sup>이상은 압축형 인류클램프를 사용 한다.
- (5) 154kV 이상의 선로에서 접퍼선 지지용 애자장치를 제외한 모든 애자장치에는 아-크혼 (Arc-Horn)을 설치를 한다.

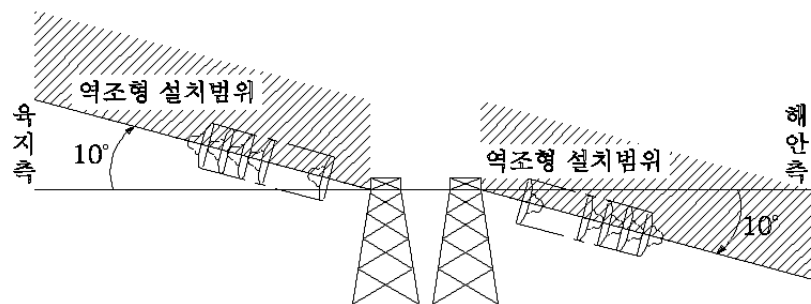


그림 4. 해안지역에서의 역조형 설치범위

### 4. 애자장치 및 가공지선용 지지장치의 선정

현수애자장치는 직선형 지지물에 설치하며, 그 이외의 경우에는 내장애자장치를 사용한다.

단, 풍압에 의한 횡진각 및 수평각에 의한 상시 횡진각이 허용횡진각을 초과하여 현수 애자런 유도범위를 초과하는 경우에는 애자런의 강도를 증가시키거나 내장애자장치를 사용한다.

## 5. 애자장치의 보강

- (1) 애자련의 보호를 위하여 아킹혼을 설치하며, 중요개소(철도, 고속도로, 4차선이상 국도 등)와 교차하는 경우는 아킹혼이 부착된 2련 애자장치를 설치한다.
- (2) 아킹혼을 설치하지 않는 경우, 공작물과 접근 또는 교차되는 개소에서 애자장치 보강은 해설에 따른다.  
단, 전선의 최대 사용장력에 의하여 2련이 사용되는 경우는 제외한다.

## 6. 적용애자 및 애자장치의 강도

전압별 애자장치에 적용되는 애자의 강도 및 애자장치의 강도는 <표 18>을 기준으로 한다.

표 18. 적용애자 및 애자장치의 강도

전압	장치종류	전선종류 및 소도체수	애자련수	애자강도	애자장치의 최대사용하중(kgf)
154kV	현 수	330mm <sup>2</sup> 단도체	1련	25,000lbs	4,000
			2련		4,800
		410mm <sup>2</sup> 단도체	1련	25,000lbs	4,000
			2련		4,800
	내 장	330mm <sup>2</sup> 단도체	1련	25,000lbs	4,000
			2련		4,800
		410mm <sup>2</sup> 단도체	1련	36,000lbs	5,500
			2련	25,000lbs	4,800
	점퍼 지지형	330mm <sup>2</sup> 단도체	1련	25,000lbs	4,000
		410mm <sup>2</sup> 단도체			

비고 1. ( )의 애자 강도값은 중다설 및 장경간용

비고 2. 애자장치의 최대사용하중은 애자의 안전율 3.0, 가선금구의 안전율은 2.5를 기준으로 산정한 것이다.

## 7. 아킹혼 사용구분

점퍼선 지지용 애자장치를 제외한 모든 애자장치에는 아킹혼을 설치한다.



## 해설 10. 지지물 설계

### 1. 지지물 구분

가공수전선로에 사용하는 지지물은 철탑, 철주이외에 목주 및 콘크리트주가 있으며, 그 사용목적 또는 용도에 따라 아래와 같이 구분한다.

- (1) 철탑 : 철탑에 작용하는 힘의 강도가 전선로의 방향과 그 직각방향에 동일하게 설계하는 4각철탑(철탑주체가 4면 동형구성)과 동일하지 않게 설계하는 방형철탑(철탑주체가 2면 동형구성)이 있다. 본 기준은 가공수전선로에 사용하는 4각철탑의 설계에 적용한다.
- (2) 철주 : 철주에는 상기 철탑의 예와 같이 4각철주(4면 동형구성), 원형단주(강관주) 및 갠트리(gantry)철주가 있다.
- (3) 목주 및 콘크리트주 : 66kV수전선로에 사용되는 외 특수개소(임시 설비등)에 주로 사용하고 있다.

#### 1.1 철탑과 철주의 구분

- (1) 철탑 : 각 주주재(주각재)마다 각각 4개의 단독기초로 구성된 지지물을 말한다.
- (2) 철주 : 각 주주재(주각재) 공통의 기초, 즉 1개의 기초로 구성된 지지물을 말한다.

표 19. 지지물에 대한 설계기준

구 분	표준경간	지지물 근개(지지물 다리폭)	적용장소
철탑	200m이상	지지물 전장의 1/5 - 1/8	일반적인 장소
철주	200m이하	" 1/9 - 1/12	협소한 특수 장소

※ 철탑이외의 철주 등 모든 지지물은 지선보강이 가능함

### 2. 지지물의 장주결정 기본요소

철탑의 장주를 결정하기 위해서는 우선 첫째 수직선간 이격거리, 둘째 수평선간 이격거리, 셋째 철탑과의 크리어런스 다이어그램(Clearance Diagram) 및 오프셋(Off-Set) 유지에 대하여 충분한 검토내용을 종합하여 아래와 같이 결정한다.

#### 2.1 철탑 높이 결정

##### (1) 철탑높이(H)

철탑높이 = 철탑의 최저암(하단arm)까지의 높이로 표시함

최저 암까지의 높이 = 최하단 전선의 지상고 + 애자런 길이 + 최대이도 +  $\alpha$

여기서,  $\alpha$  = 측량오차 및 기타 여유값을 1.0m로 가정할 경우 154kV급에서 일반평지에

대한 최저암까지의 높이를 산정하면 다음과 같다.

※ 전선의 최저 지상고(16.0m) + 애자런 길이(2.0m) + a(1.0m) = 19.0m

즉, 철탑높이 = 19.0m임(단, 지지물간 최대 이도는 고려하지 않았음)

따라서, 154kV급 일반 평지의 철탑높이는 최소 19.0m로 결정된다.

## (2) 철탑 전장(H')

철탑 전장 = 최저암까지의 높이(철탑높이) + 철탑상부높이

※ 철탑상부라 함은 최저암 이상의 상부로 1회선, 2회선, 4회선 등 특수철탑의 경우 철탑높이보다 상부높이가 큰(가분수)경우도 있다.

## 2.2 수평선간 이격거리

$$C_h = K_1 \frac{D}{S} + 0.003V + 0.5L \quad [\text{m}]$$

여기서,  $C_h$  : 최소수평거리 [m]

$D$  : 최대이도 [m]

$S$  : 철탑의 경간 [m]

$V$  : 공칭전압 [kV]

$L$  : 애자런의 길이 [m]

$K_1$  : 정수(50~70) AI선 70, 동선 50

### (1) 1회선 수평배열의 경우

$$C_h = 0.4 + \frac{V}{K_2} \quad K_2 : \text{정수}(20 \sim 30)$$

### (2) 2회선 수직배열의 경우

$$C_h = 1.5 + \frac{V}{K_3} \quad K_3 : \text{정수}(20 \sim 30)$$

## 2.3 수직선간 이격거리

$$C_v = 1 + \frac{V}{K_4} \quad K_4 : \text{정수}(40 \sim 50)$$

$C_v$  : 2회선 수직배열의 선간거리(상중선과 중하선과의 평균)

## 2.4 오프셋(Off-Set)유지

전력선 상·중·하전선 수평간격의 차를 오프셋(Off-Set)이라 하며, 이는 빙설에 의하여 전선이 너무 처지거나 빙설 탈락 시 전선의 도약(Sleet Jump) 또는 바람이 밑에서 위로 치솟아 불때 전선의 혼축을 방지하기 위한 예방조치의 필수조건이다.

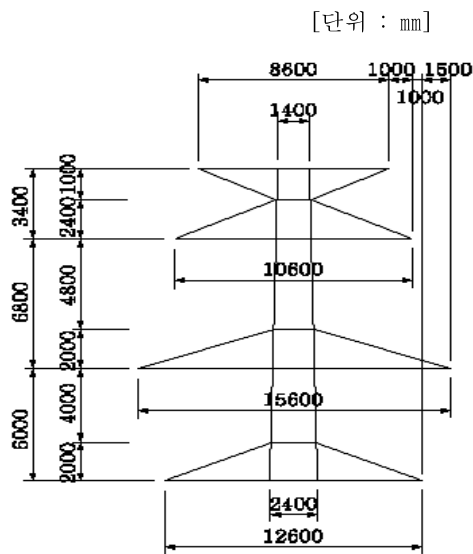


그림 5. 2회선철탑 장주

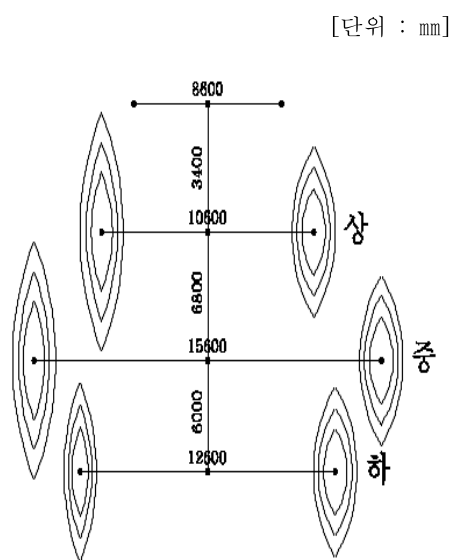


그림 6. 전선의 이동범위

### 3. 철탑 설계기준

#### 3.1 4각 철탑의 종류

4각철탑(이하 “철탑”이라함)은 그 사용목적에 따라 표준철탑과 특수철탑으로 구분하여 설계에 대한 기준을 아래와 같이 분류 적용한다.

##### 3.1.1 표준철탑

① 전선로의 표준경간에 대하여 설계(적용)하는 지지물로 아래 5종류로 세분한다.

- 직선철탑
- 각도철탑
- 보강철탑
- 인류철탑
- 내장철탑

(주) 1. 표준경간이라 함은 전선로의 설계상 표준으로 정하는 경간을 말하며 345kV의 경우 450m, 154kV의 경우 400m로 한다.

2. 경간(Span)이라 함은 철탑 중심간의 수평거리임.

② 표준철탑의 사용범위

표준철탑을 현지에 사용하는 경우 철탑 및 가섭선의 기계적 강도와 아울러 선간거리 및 전선과 탑체간의 거리를 고려하고 이를 허용하는 범위에서 전선로의 수평각에 따라 철탑의 경간을 상관적으로 증감할 수가 있다.

(1) 직선철탑

전선로의 수평각도가 적은 개소 (3°미만)에 사용하는 현수형 애자장치의 철탑으로 그 기호를 “A”, “SF”, “F”라 함.

(2) 각도철탑

각도철탑이라 함은 수평각도가 발생하는 개소에서 사용하는 내장애자장치 철탑을 말하며 그 철탑형의 기호를 “Ba, Bb, C, E, D”로 한다.

(3) 보강철탑

보강철탑이라 함은 전선로를 보강하기 위하여 사용하는 내장애자장치 철탑을 말하며 그 철탑형의 기호를 “Bua, Bub, Cu, Eu, Du”로 하며, 전선로의 보강은 다음과 같다.

- ① 전선로 중 양측 경간의 경간차가 매우 큰 경우(지지물의 좌우 경간비가 2 이상)
- ② 전선로의 장경간(표준경간에 150m를 가산한 값을 초과) 개소의 당해 지지물 또는 인접 지지물
- ③ 직선철탑이 연속하는 경우 10기 이하마다 1기
- ④ 좌우경간의 불평형장력률이 10% 이상인 경우

(4) 인류철탑

인류철탑이라 함은 전체의 가섭선을 인류하는 개소에 사용하는 내장애자장치 철탑을 말하며 그 철탑형의 기호를 “D0”로 한다.

(주) 가섭선이라 함은 전선 및 가공지선등을 총칭함.

(5) 내장철탑 : 선로의 전체를 보강하기 위하여 사용하는 철탑으로 그 기호를 “E”라 함.

### 3.1.2 특수철탑

송전선로의 분기개소, 하천·계곡횡단 등의 장경간개소, 표준철탑의 허용 수평각도를 초과하는 중각도개소 등의 특수성으로 표준철탑을 사용할 수 없는 개소에 적용하도록 특수 설계된 것을 말하며, 기호는 표준철탑의 기호 뒤에 S자를 표기하며 연가철탑 기호는 “TC”로 한다.

- (1) 수평각 30°를 초과하는 경우는 보통 인류철탑을 사용한다.
- (2) 각도 또는 인류철탑의 설계하중이 내장철탑의 설계조건 범위이내로 별도 설계하지 않고 각도 및 인류철탑으로 대신한다.
- (3) 전기설비기술기준에 직선철탑이 연속되는 경우 매 10기 이하마다 내장철탑을 1기씩 사용하여 전선로를 보강하도록 규정하고 있다.
- (4) 인접경간의 경간차가 매우 크고, 현저하게 불평균장력이 발생할 염려가 있는 개소는 내장철탑을 사용한다.

### 3.1.3 철주설계

별도의 발주(주문)사항 이외의 모든 조건은 철탑설계기준에 준한다.

### 3.1.4 철탑의 높이

철탑의 높이는 가섭선의 수직선간 거리, 전선의 최대이도, 최하전선의 지상고 등에 의하여 결정한다. 최하전선의 지상고는 설계기준 1020(송전선로 지상고기준)에 의한다.



### 3.1.5 전선의 배치

전선의 배치는 전선이 정지상태에서 표준절연간격을 유지하고 바람에 의하여 철탑에 접근하는 최악상태에서 이상시 절연간격 이상을 유지하도록 한다.

이의 표준 및 최소의 절연간격은 계통의 기준절연레벨(B.I.L), 애자에 대한 염분부착량 상정, 애자장치의 50% 충격섬락전압, 개폐써지 전압의 배율(개폐써지 전압의 상시 대지전압에 대한 비율) 등에 의하여 구한다.

표 20. 표준절연간격

공칭 전압	전선과 철탑과의 간격 (mm)			내장장치의 경우 점퍼선과 암과의 간격 (mm)
	표준	최소	이상시	
66kV	650	400	-	800
154kV	1,300	1,150	450	1,650
345kV	2,700	2,200	1,000	3,300

(주) 설계기준-1031(직접접지방식 송변전설비 절연협조기준) 참조

### 3.1.6 철탑근개의 크기

철탑근개의 크기는 철탑종류, 철탑높이, 강재의 종류, 기초의 종류, 용지의 상황 및 미관 등을 종합하여 적절하게 정하여야 한다.

표 21. 근개의 개략치

직선철탑 및 경각도 철탑	철탑높이의 1/8~1/6
중각도 철탑 및 인류철탑	철탑높이의 1/7~1/5

(주) 1. 4각철탑의 경우이며 여기서 철탑높이는 지표에서 철탑정부(頂部)까지임.

2. 경각도 철탑은 수평각도 20° 이하의 각도철탑 및 보강철탑을 말하며, 중각도철탑은 수평각도 20°를 초과하는 각도철탑 및 보강철탑을 말한다.

### 3.1.7 표준철탑 설계조건

표준철탑의 설계조건은 표와 같이 하며 특수철탑에 대하여는 이를 기본으로 적절히 조정하여 정한다.

표 22. 표준철탑 설계조건

철탑형	수 평 각 도 [°]	수평하중 경 간 [m]	수직하중 경 간 [m]	주 주 재 기 울 기 [D-Slope]	최 하 단 암 폭 [mm]	철탑종류별 구 분
A	1	300	500	18%	1,500	직선철탑
SF	3	500	1,200	18%	1,700	장경간 철탑
F	3	300	700	18%	1,500	공용 철탑
B	20	300	700	20%	1,700	경각도 철탑
C	30	300	700	23%	1,700	중각도 철탑
E	40	300	700	23%	1,700	내장 철탑
D	60 및 인류	300	700	26%	1,700	인류 철탑

- (주) 1. 주주재 기울기는 최하단암이 취부되는 부분부터 기초까지의 철탑정면에서 본 주주재의 기울기임.  
2. TC형 철탑의 설계조건은 C형에 준한다.

### 3.1.8 철탑암(Arm)

철탑암은 3각암을 표준으로 하며 다음의 경우에는 4각암으로 한다.

#### (1) 현수 철탑의 경우

Catenary Angle의 전후 합계가 50°를 초과하는 경우

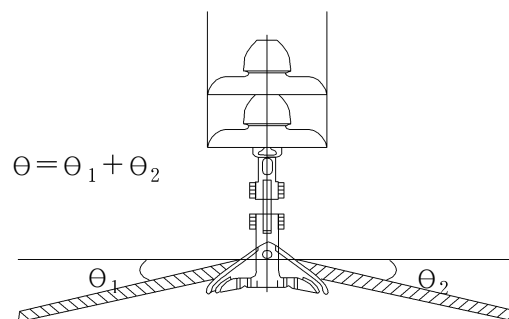


그림 7. 카테나리 각

#### (2) 전선 수평각이 30°를 초과하고 60° 미만인 철탑의 외측암

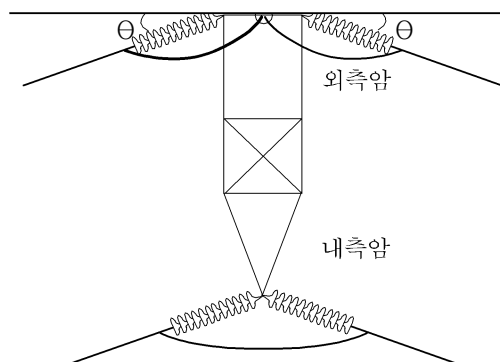


그림 8. 수평각 외측암





### 3.1.9 철탑설계 그룹(Group)

철탑전체의 높이(전장 : 지표-철탑정부간)에 따라 표와 같이 구분하고 그 그룹별로 형별 최대높이의 철탑을 선정하여 설계한다.

표 23. 철탑설계 그룹 철탑전체의 높이

구 분			154kV급이하
I	그	룹	60m미만
II	그	룹	60~100m
III	그	룹	100m초과

### 3.1.10 착빙설

저온계 하중 산출시 기준속도압에 따라 구분된 각 지역별로 다음의 착설 조건을 고려 각 선종의 중량, 풍압력, 장력 등을 계산한다.

단, 착설이 현저히 많은 장소를 통과하는 선로에 대해서는 예외로 한다. 또한, 응결 고도(해발 800m) 이상의 지역을 통과하며 계절풍이 심하여 전선로에 착빙이 현저히 심한 경우는 착빙 조건을 별도로 고려할 수 있다.

- 다설지구 : 착설두께 20mm, 비중 0.6
- 기타지구 : 착설두께 6mm, 비중 0.9

### 3.1.11 기온

가섭선의 이도, 장력 등을 계산하는데 사용하는 기온은 특수한 지역을 제외하고는 다음의 4종을 표준으로 한다.

- 최고기온 : 40℃
- 최저기온 : -20℃
- 저온계 평균온도 : -5℃
- 고온계 평균온도 : 10℃

고온계 및 저온계 상정 하중시에 있어서의 기온은 전자에 대하여는 “고온계 강풍시 기온”을 후자에 대하여는 “저온계 평균기온”을 취하는 것으로 한다.

단, 다설지구 저온계 평균기온은 0℃

### 3.1.12 가섭선의 상정최대장력

가섭선의 상정최대장력은 다음 값을 표준으로 한다.

- (1) 경동연선 및 내열동합금선은 그의 항장력의 1/2.2 이하
- (2) 기타의 연선은 그의 항장력의 1/2.5 이하

## 3.2 풍압력

### 3.2.1 지역별 기준 속도압 및 최대풍속

기준 속도압 및 최대풍속은 지상 10m에서의 값을 표준으로 하고 지역별 기준치는

다음과 같다.

표 24. 지역별 기준 속도압 및 최대풍속

지 역 구 분		기준속도압 [N/m <sup>2</sup> ]	최 대 풍 속 [m/s]		돌 풍 율
			10분 평균	순 간	
고 온 계	I 지 역	1,146	40.0	54.0	1.35
	II 지 역	980	36.6	50.0	1.37
	III 지 역	744	31.7	43.7	1.38
저 온 계	다 설 지 역	294	-	26.3	-
	기 타 지 역	372	20.2	29.5	1.46

(주) 순간최대풍속=10분평균 최대풍속×돌풍율

### 3.2.2 수풍넓이

철탑의 풍압력을 계산함에 있어서의 수풍넓이는 철탑을 구성하는 골조면의 경사를 무시하고 골조 1면만의 수직투영 넓이를 취한다.

가섭선 및 애자 등의 수풍넓이는 그의 수직투영 넓이를 취하고 가섭선에 착빙설이 있는 경우에는 착빙설의 두께로 인하여 전선의 직경이 증대되었다고 본다.

### 3.2.3 철탑의 표준 풍압치

철탑에 가해지는 풍압력을 계산시는 “철탑 표준등가풍압치”에 철탑부재의 투영넓이를 곱하여 산출함을 표준으로 하며 “풍압력의 계산”에서 표준으로 한 각종계수의 가감이 필요한 경우에는 이에 비례하여 표준등가풍압치를 가감할 수 있다.

또한, 철탑높이는 탑정까지의 높이를 말하며 이 높이에 해당하는 등가풍압치를 택하여 철탑 전 부분에 동일하게 적용한다.

표 25. 철탑표준 등가 풍압치

[단위 : N]

기준속도압[N/m <sup>2</sup> ] 철 탑 높 이	372	744	980	비 고
60	1,833	3,685	4,851	154kV I Group
70	1,931	3,851	5,076	345kV I Group
100	2,146	4,283	5,635	154kV II Group
110	2,234	4,449	5,860	345kV II Group

### 3.2.4 가섭선의 표준 풍압치

가섭선에 적용하는 풍압력을 계산시는 다음의 풍압치에 가섭선의 수풍넓이를 곱하여 산출함을 표준으로 한다.



표 26. 가접선의 표준 풍압치

[단위 : N]

형 상 지 수 \ 기준속도압[N/m <sup>2</sup> ]	294	372	744	980	1,146	1,470
1/8 이하	323	412	813	1,068	1,254	1,607
1/8 초과 ~ 1/6 이하	343	431	862	1,127	1,323	1,695
1/6 초과	363	451	902	1,186	1,392	1,774

### 3.2.5 애자의 표준 풍압치

애자 장치에 가해지는 풍압력을 계산시는 지역별 기준속도압에 따라 아래 표준 풍압치(10m 기준)를 기준으로 하여 풍압산정 높이까지의 상공 체중을 고려한 풍압치에 애자장치의 수풍넓이를 곱하여 산출함을 표준으로 한다.

표 27. 애자의 표준 풍압치

기준속도압 [N/m <sup>2</sup> ]	294	372	744	980	1,146	1,470
표준 풍압치 [N]	408	608	1,205	1,578	1,852	2,372

(주) 애자장치 및 압의 풍압산정 높이라 함은 지선 압을 포함하여 각 압 높이의 평균치를 말한다.

### 3.2.6 압(arm)의 표준 풍압치

압에 가해지는 풍압력을 계산시는 지역별 기준 속도압에 따라 아래 표준 풍압치(10m 기준)를 기준으로 하여 풍압산정 높이까지의 상공체중을 고려한 풍압치에 압의 수풍넓이를 곱하여 산출함을 표준으로 한다.

표 28. 압의 표준 풍압치

기준속도압 [N/m <sup>2</sup> ]	294	372	744	980	1,146	1,470
표준 풍압치 [N]	921	1,127	2,234	2,950	3,440	4,420

(주) 삼각형 압의 풍력계수는 산형강 2.5, 강관 1.6을 각각 표준으로 한다.

## 3.3 불평균 장력

### 3.3.1 직선 및 각도철탑의 불평균 장력

상시 상정하중에서는 가접선이 절단되지 않는다고 가정하여 현수애자장치의 지지물에서는 불평균 장력을 고려하지 않으나 내장애자장치의 지지물에서는 양측 경간에서 발생하는 가접선의 불평형 장력을 고려하여 10%의 불평형 장력을 적용하는 것으로 한다.

- (1) 가접선의 상의 총수가 12 이하인 경우에는 각 부재에 생기는 응력이 최대로 될 수 있는 1상(다도체에 있어서는 1상중 2조)

- (2) 가접선의 상의 총수가 12를 넘는 경우((3)에 규정하는 경우는 제외)는 각 부재에 생기는 응력이 최대가 되는 회선을 달리하는 2상(다도체에 있어서는 1상마다 2조)
- (3) 가접선의 종으로 9상 이상이 걸리고 또한 횡으로 2상이 걸리어 있는 경우에는 당해종으로 걸린 9상 이상 중 상부 6상에서 1상(다도체에 있어서는 1상 중 2조) 및 기타의 상에서 1상(다도체에 있어서는 1상중 2조)으로서 각 부재에 생기는 응력이 최대가 되는 것이 절단되는 것으로 하고 또한 그 가접선의 절단에 의하여 생기는 각 부재에 대한 불평균 장력의 크기는 가접선의 상정 최대장력과 같은 값(가접선의 취부하는 방법에 의하여 가접선이 절단된 때에 그 지지점이 이동하거나 가접선이 지지점에서 활동하는 경우에는 상정 최대장력의 0.6배의 값)으로 하여 계산한다. 이 경우에는 가공지선은 전선과 동시에 절단되지 아니하는 것으로 하고 또한 1조가 절단되는 것으로 하며, 지지점은 이동 또는 활동을 하지 않는 것으로 한다.

### 3.3.2 인류철탑 불평균 장력

인류철탑의 상시 상정하중에서 불평균 장력은 동일 경간에서 좌우 양측의 가접선 전부가 인류되는 것으로 가정한다.

단, 이 경우의 불평균 장력의 크기는 고온계, 저온계에서 각각의 상정장력으로 한다.

이상시 상정하중에서 불평균 장력 및 염력은 상시 상정하중에 “직선철탑 및 각도철탑의 불평형 장력”에 의한 염력을 가산한다.

단, 다도체의 경우의 1상당 단선조수는 전조로 한다.

### 3.3.3 내장철탑의 불평균 장력

내장철탑의 상시 상정하중에서 불평균 장력은 동일 경간에서 좌우 양측의 가접선 전부에 불평균 장력이 생기는 것으로 가정한다. 단, 이 경우에 있어서 불평균 장력의 크기는 고온계, 저온계에서 각각 상정장력의 1/3로 한다.

이상시 상정하중에 있어서 불평균장력 및 염력은 “직선철탑 및 각도철탑의 불평형 장력”에 의한다.

### 3.3.4 특수철탑의 불평균 장력

특수철탑의 가접선의 불평균 장력 및 절단은 상시 상정하중 및 이상시 상정하중에 있어서 각각 표준철탑의 규정에 준하는 것으로 한다.

## 3.4 강재 및 그의 허용응력도<sup>3)</sup>

### 3.4.1 강재

철탑에 사용하는 강재는 아래와 같이 SS400(KSD 3503) 또는 이에 준하는 품질 이상의 적절한 구조용 강재를 사용하여야 한다.

### 3.4.2 재질 및 적용규격

3) 환전 설계기준-1111 가공송전선용 철탑설계기준



표 29. 재질 및 적용규격

재질구분	재 질	적 용 규 격
ㄱ형강	SS400	KSD 3503 일반구조용 압연강재
	SS490	
	SS540	
강 판	SS400	KSD 3503 일반구조용 압연강재
	SM400	KSD 3515 용접구조용 압연강재
	SM490	
	SM570	
볼 트	SS490	KSD 3503 일반구조용 압연강재

### 3.4.3 허용응력도

상시 설계응력에 대한 구조용 강재의 허용응력도는 다음의 각 항에 의함을 표준으로 하고 이상시 설계응력에 대하여는 이의 1.5배를 표준으로 한다.

#### (1) 허용인장응력도

$\sigma_Y/1.5 \leq 0.7\sigma_B/1.5$ 의 경우 :  $\sigma_Y/1.5$  [N/cm<sup>2</sup>]

$\sigma_Y/1.5 > 0.7\sigma_B/1.5$ 의 경우 :  $0.7\sigma_B/1.5$  [N/cm<sup>2</sup>]

#### (2) 허용압축응력도 : $\sigma_Y/1.5$ [N/cm<sup>2</sup>]

#### (3) 허용굽힘응력도 : $\sigma_Y/1.5$ [N/cm<sup>2</sup>]

#### (4) 허용전단응력도

$\sigma_Y/1.5 \leq 0.7\sigma_B/1.5$ 의 경우 :  $\sigma_Y/1.5 \sqrt{3}$  [N/cm<sup>2</sup>]

KSD 3503에 의한 일반구조용 압연강재 중 SS400 또는 SS 490을 볼트재에 사용하는 경우는 1.25배의 값

$\sigma_Y/1.5 > 0.7\sigma_B/1.5$ 의 경우 :  $0.7\sigma_B/1.5 \sqrt{3}$  [N/cm<sup>2</sup>]

#### (5) 허용지압응력도 : $1.1 \sigma_Y$ [N/cm<sup>2</sup>]

송전용 표준화 철탑설계에 사용하기 위해 첨가한 부재와 기존 부재에 대한 허용응력도는 각각 아래와 같다.

#### ① 강재 허용응력도

강재의 재 질	두께 t [mm]	항복점 [N/mm <sup>2</sup> ]	인장강도 $\sigma_B$ [N/mm <sup>2</sup> ]	허 용 응 력 도 [N/cm <sup>2</sup> ]				
				인 장	압 축	휨	전 단	지 압
SS400	$t \leq 16$	245	401	16,170	16,170	16,170	9,310	26,950
	$16 < t \leq 40$	235	401	15,680	15,680	15,680	8,820	25,480
SS490	$t \leq 16$	284	490	18,620	18,620	18,620	10,780	30,870
	$16 < t \leq 40$	274	490	18,130	18,130	18,130	10,290	29,890
SS540	$t \leq 16$	401(377)	539	24,990	26,460	26,460	14,210	44,100
	$16 < t \leq 40$	392(377)	539	24,990	25,970	25,970	14,210	43,120

## ② 볼트의 기계적 성질 및 허용응력도

강도 구분	기계적 성질 [N/mm <sup>2</sup> ]		허용응력도 [N/cm <sup>2</sup> ]			재 질
	인장강도 최소치 σ <sub>B</sub>	항복점 또는 내력최소치	인 장	전 단	지 압	
5.8	490	392(343)	22,540	12,740	43,120	SS50
6.8	588	470(412)	27,440	15,680	51,450	SM 45C
8.8	784	627(549)	36,260	21,070	68,600	SM 55C, SMn 3
9.8	882	706(617)	41,160	23,520	77,420	SCr 440, SCM 435

### 3.5 부재

#### 3.5.1 부재의 유효단면적

부재의 유효단면적은 다음 각 항에 의함을 표준으로 한다.

- (1) 인장재는 볼트구멍을 뚫어서 상정되는 각종의 파단선에 대해서 산출되는 단면적 중 최소의 것을 취하고 부재 끝부분의 접합상태로부터 전 넓이로 균등하게 인장력이 걸리지 않는 경우는 부재의 유효단면적을 더한 총 적당히 저감한다.

콘크리트 충전 강관재는 강관의 유효단면적을 취하고 콘크리트를 무시한다.

- (2) 압축재는 전 단면적을 취하는 것으로 하고 볼트 구멍의 공제를 요하지 않는다.

콘크리트 충전, 강관재는 콘크리트를 강으로 환산하여 등가 단면적을 취한다.

- (3) 볼트의 절단에 관해서는 나사의 유효지름에 의한 단면적을 취하고 인장에 관해서는 유효지름과 곡경의 평균치에 의한 단면적을 취한다.

- (4) 볼트 및 볼트구멍의 지압에 관해서는 볼트나사의 유효지름에 의한 지압넓이를 취한다.

#### 3.5.2 압축재의 세장비 제한

압축재의 세장비( $\ell/r$ )는 다음 각 항의 제한을 받는다.

- (1) 주주재는 200 이하
- (2) 주주재 이외의 압축재는 220 이하
- (3) 압축재를 보강하기 위하여 사용하는 보조재는 250 이하

단, 이 경우  $\ell$ 은 부재의 지지점간 거리[cm]이고,  $r$ 은 좌굴축에 관한 부재단면의 회전반경[cm]임.

(주) 압주재는 주주재와 동일하게 취급함

#### 3.5.3 부재의 최소 두께

부재의 최소 두께는 주주재 및 압주재는 5mm, 기타의 부재는 3mm로 한다. 단, 부재에 강관을 사용하는 경우는 주주재 및 압주재는 2.4mm, 기타의 부재는 1.6mm로 한다.



### 3.6 상정하중의 계산

#### 3.6.1 상정하중과 설계응력

철탑설계에 따른 응력계산의 상정하중은 계절별(고온계, 저온계) 하중과 방향별(수직, 수평)하중으로 분류되며 아래와 같이 계산, 적용한다.

고온계 하중 - 상시 상정하중, 이상시 상정하중

저온계 하중 - 상시 상정하중, 이상시 상정하중

단, 154kV급 이상에서 사용되는 철탑 또는 이에 준하는 철탑에 있어서는 상시 상정하중에 걸리는 풍압이 전선로와 60°의 방향에 가해지는 경우도 계산한다.

(주) 1. 고온계 하중이라 함은 4월부터 11월에 생기는 하중을 말하고 저온계 하중이라 함은 12월부터 3월에 생기는 하중을 말함.

2. 상시 상정하중이라 함은 가점선의 절단을 고려하지 않은 경우의 하중을 말하고 이상시 상정하중이라 함은 가점선의 절단을 고려하는 경우의 하중을 말함.

#### 3.6.2 부재설계응력의 결정

각 상정하중의 조합에 의하여 철탑의 각 부재에 생기는 응력을 계산하여 각각의 최대치를 가지고 이 부재의 상시 설계응력 및 이상시 설계응력으로 하고 고온계, 저온계 어느 계절에서도 상시 상정하중과 이상시 상정하중의 2/3배의 하중 중 큰 것에 견디는 강도의 것이어야 한다.

단, 암(arm)이 철탑주체로부터 돌출한 부분에 있어서는 상시 및 이상시 설계하중의 조합에 의하여 계산되는 응력의 큰 쪽을 상시 설계응력으로 한다.

#### 3.6.3 부재의 응력계산

철탑의 각 부재에 생기는 응력계산은 다음의 상정하중이 철탑에 작용하는 것으로 하고 풍압이 전선로에 직각방향으로 가해지는 경우와 전선로 방향으로 가해지는 경우로 나누어 계산한다.

#### 3.6.4 상정하중과 그의 조합

직선철탑, 각도철탑, 인류철탑 및 내장철탑의 상시 상정하중과 이상시 상정하중은 다음의 제하중이 표의 조합에 의하여 각각 동시에 가해지는 것으로 한다.

#### 3.6.5 수직하중

$W_t$  : 철탑중량

$W_c$  : 가점선(전선수직하중경간×전선단위길이당 중량), 애자장치 등의 중량, 착빙설중량(단, 착빙설중량은 저온계 하중 산출시만 적용한다.)

#### 3.6.6 수평횡하중

$H_t$  : 철탑본체풍압력

$H_c$  : 가점선 풍압력(전선수평하중경간×전선단위길이당 풍압), 애자장치 등의 풍압력

$H_{ta'}$  : 철탑암측면 풍압력으로  $H_{ta}$ 의 0.2배로 한다.

$H_a$  : 수평각하중(전선로에 수평각도가 있는 경우에 가접선의 상정최대장력에 의하여 생기는 하중)

$Q$  : 가접선의 절단으로 생기는 염력

사풍시 하중 : 사풍은 전선로와  $60^\circ$ 의 방향에 가해지는 바람을 말하며 아래와 같이 풍압력을 산정한다.

- (1) 주주재 풍압력 : 풍향각  $90^\circ$ 시 풍압력의 1.6배
- (2) 암풍압력 : 풍향각  $0^\circ$ 시 풍압력의 0.5배
- (3) 가접선의 풍압력 : 풍향각  $90^\circ$ 시 풍압력의 0.75배

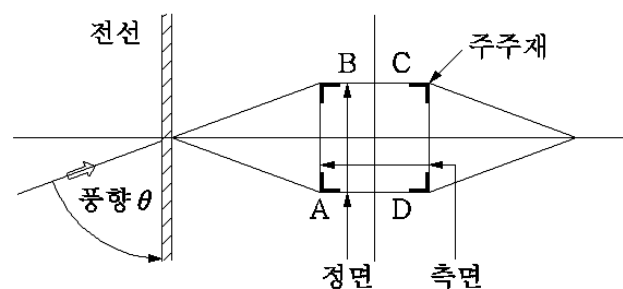


그림 9. 풍향각

### 3.6.7 수평중 하중

$H_t$  : 철탑본체 풍압력

$H_{ta}$  : 철탑암 정면 풍압력

$P_0$  : 상시 불평균 장력

인류철탑 및 내장철탑의 전가접선에 의한 상시 상정하중시 고려하는 불평균장력

$P$  : 이상시 불평균 장력

가접선의 절단으로 생기는 불평균 장력

$Q$  : 가접선의 절단으로 생기는 염력



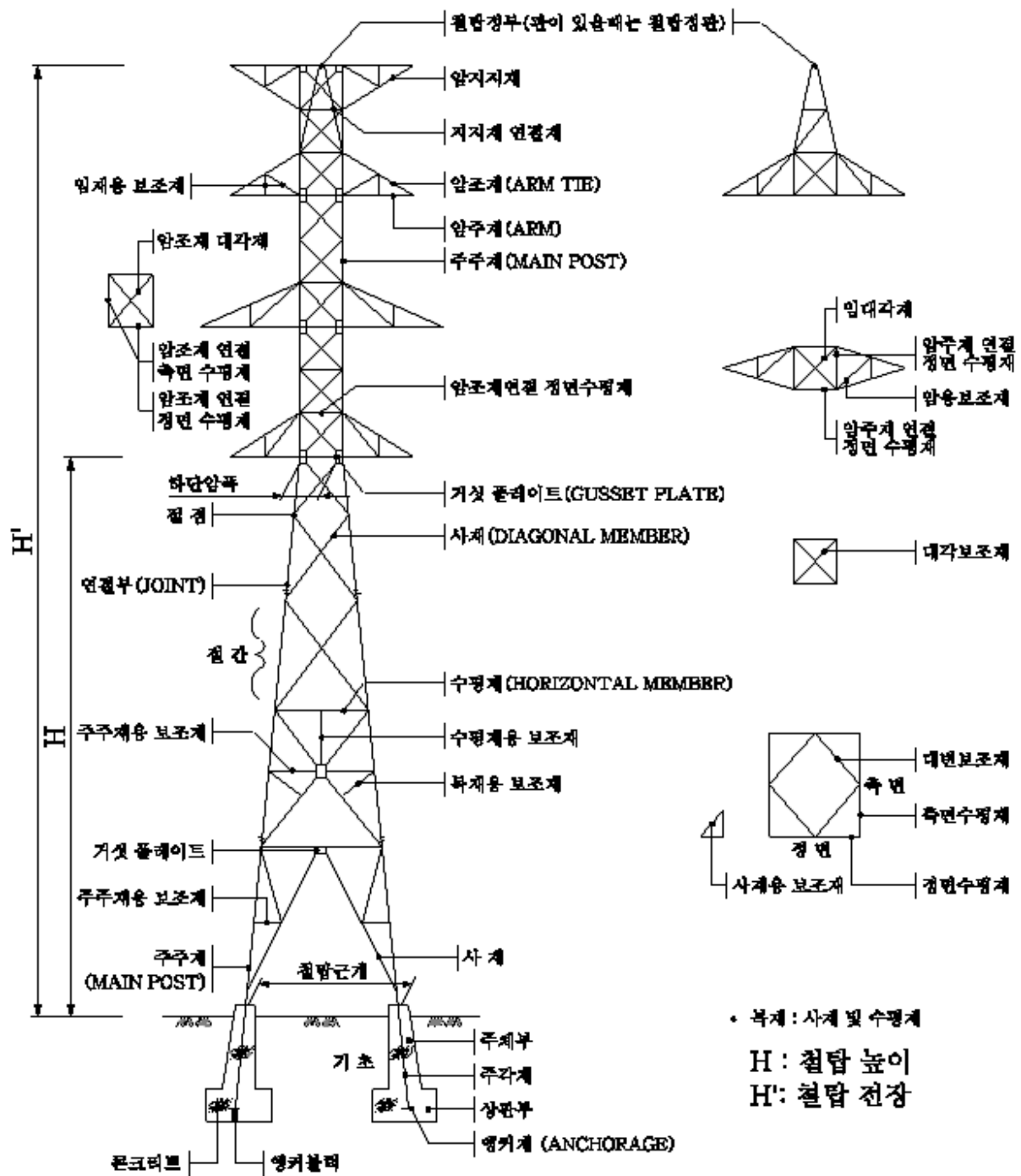


그림 10. 철탑각부의 명칭

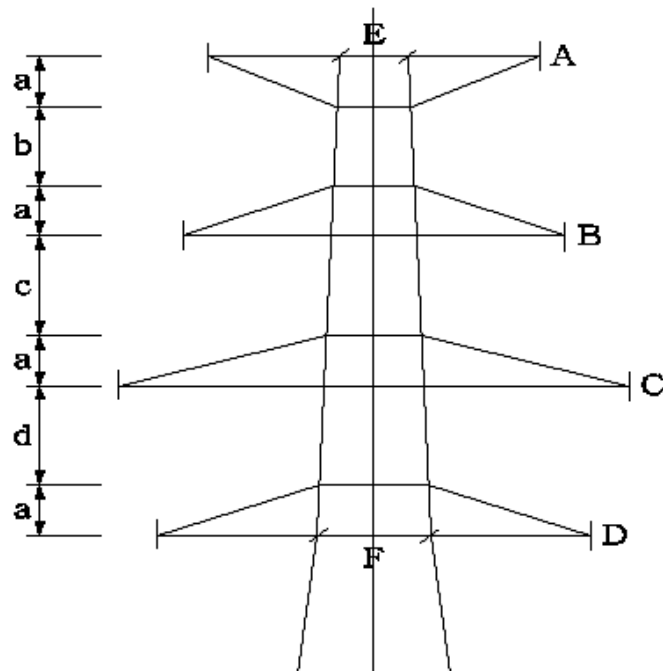


그림 11. 154kV 철탑 모형도 (2회선)

[단위 : mm]

TYPE DIMEN	A	F	SF	B	C	E	D
A	7,300	7,300	7,300	6,000	6,600	7,000	7,000
B	7,800	7,800	7,800	6,800	7,200	7,600	7,600
C	10,200	10,200	10,200	9,200	9,600	10,000	10,000
D	8,400	8,400	8,400	7,400	7,800	8,200	8,200
E	1,100	1,100	1,100	1,200	1,200	1,200	1,200
F	1,500	1,500	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
a	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
b	0	0	0	2,000	2,000	2,000	2,000
c	3,000	3,500	3,500	2,800	2,800	3,000	3,000
d	2,800	2,800	2,800	2,300	2,300	2,400	2,400
SLOPE(%)	18	18	18	20	23	23	26



표 30. 직선 및 각도철탑 부재응력 조합표

구 분			직 풍				사 풍			H <sub>a</sub>	P <sub>0</sub>	P	Q	W <sub>t</sub>	W <sub>c</sub>	비 고
			H <sub>t</sub>	H <sub>ta</sub>	H <sub>ta'</sub>	H <sub>c</sub>	1.6H <sub>t</sub>	0.5H <sub>ta</sub>	0.75H <sub>c</sub>							
주 주 재	90°풍향	상 시	0		0	0				0	0			0	0	
		이상시	0		0	0				0		0		0	0	
	60°풍향	상 시					0	0	0	0	0			0	0	
복 재	정 면	상 시	0		0	0				0						
		이상시	0		0	0				0			0			
	측 면	이상시	0	0								0	0			
벤 딩 점	정 면	상 시	0	0										0	0	
		이상시	0	0								0		0	0	
암	주 재	이상시				0				0		0			0	
	조 재	상 시													0	
	대 각 선	이상시											0			
기   초	C	90°풍향	상 시		0	0				0	0			0	0	
		이상시	0		0	0				0		0		0	0	
	60°풍향	상 시					0	0	0	0	0			0	0	
	T	90°풍향	상 시		0	0				0	0			-0		
		이상시	0		0	0				0		0		-0		
		60°풍향	상 시				0	0	0	0	0			-0		
	Q <sub>B</sub>	정 면	상 시		0	0				0						
		이상시	0		0	0				0			0			
		측 면	이상시	0								0	0			

(주) 상시 불평균 장력(P0)는 내장애자장치 지지물에만 적용한다.

$$P_0 = \frac{P}{10}$$

표 31. 인류철탑 부재응력 조합표

구 분			H <sub>t</sub>	H <sub>c</sub>	P <sub>0</sub>	P	Q	W <sub>t</sub>	W <sub>c</sub>
주 주 재			상 시	0	0	0		0	0
복 재	정 면	상 시	0	0					
		이상시	0	0			0		
	측 면	상 시	0		0				
		이상시	0		0		0		
암	주 재	상 시		0	0				0
	조 재	상 시							0
	대 각 재	이상시				0			
기 초	C		상 시	0	0	0		0	0
	T		상 시	0	0	0		-0	
	Q <sub>B</sub>	정 면	상 시	0	0				
			이상시	0	0		0		
		측 면	이상시	0			0	0	
			이상시	0			0	0	

표 32. 내장철탑 부재응력 조합표 (P : 상시 불평균 장력 = P/3)

구 분			H <sub>t</sub>	H <sub>c</sub>	H <sub>a</sub>	P <sub>0</sub>	P	Q	W <sub>t</sub>	W <sub>c</sub>
주 주 재			상 시	0	0	0	0		0	0
			이상시	0	0	0		0	0	0
복 재	정 면	상 시	0	0	0					
		이상시	0	0	0			0		
	측 면	상 시	0			0				
		이상시	0				0	0		
암	주 재	이상시		0	0		0			0
	조 재	상 시								0
	대 각 재	이상시					0			
기 초	C		상 시	0	0	0	0		0	0
			이상시	0	0	0		0	0	0
	T		상 시	0	0	0	0		-0	
			이상시	0	0	0		0	-0	
	Q <sub>B</sub>	정 면	상 시	0	0	0				
			이상시	0	0	0		0		
		측 면	이상시	0				0	0	
			이상시	0				0	0	

- (주) 1. 정면은 선로방향의 철탑면을 가리킨다.  
 2. 0표는 동시에 작용하는 힘으로 합성하여야 한다.  
 3. “-”로 표시된 0표는 감하여야 할 하중을 표시한다.

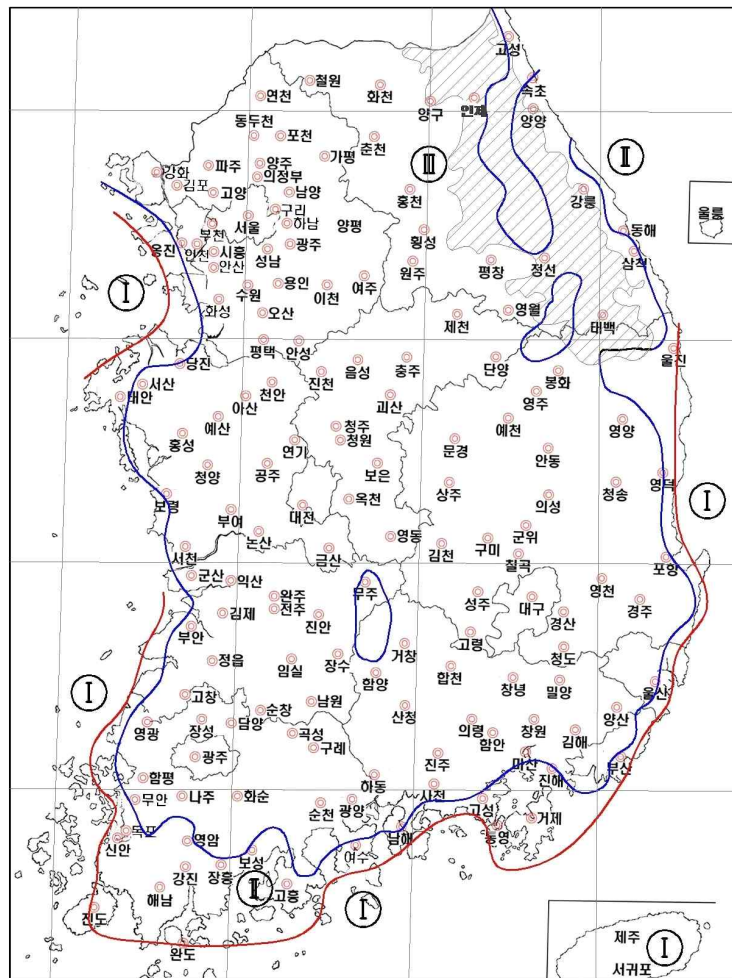


그림 12. 지역구분 (I, II, III, 울릉도)

지역구분	지 명	
I	전라남도	여수시 : 삼산면, 돌산읍, 화정면, 남면 완도군 : 약산면, 고금면을 제외한 전지역 해남군 : 송지면, 화산면, 황산면, 산이면, 문내면, 화원면 진도군 : 조도면, 임회면, 의신군, 고군면, 진도읍, 지산면 군내면 신안군 : 전지역 영광군 : 낙월면
	제주도	전지역
	인천광역시	옹진군 : 덕적면, 자월면, 영흥면
	울산광역시	동구 울주군 : 서생면
	부산광역시	기장군 : 일광면, 기장읍
	전라북도	군산시 : 옥도면 부안군 : 위도면

지역구분	지 명	
I	경상북도	영덕군 : 병곡면, 영해면, 축산면, 영덕읍 포항시 : 구룡포읍, 동해면, 호미곶면 울진군 : 울진읍, 근남면, 원남면, 평해읍, 기성면, 죽변면 후포면
	경상남도	통영시 : 옥지면, 사랑면 남해군 : 삼동면, 미조면, 상주면
II	강원도	고성군 : 거진읍, 간성읍, 죽왕면, 토성면, 현내면 속초시 : 전지역 인제군 : 북면, 인제읍, 기린면 양양군 : 서면, 강현면, 양양읍, 손양면, 현남면, 현북면 강릉시 : 왕산면을 제외한 전지역 동해시 : 전지역 삼척시 : 삼척읍, 근덕면, 원덕읍 홍천군 : 내면 영월군 : 상동읍, 중동면, 남면 평창군 : 용평면, 진부면 정선군 : 사북읍, 북평면
II	경상북도	울진군 : 북면, 서면, 온정면 영덕군 : 창수면, 지품면, 강구면, 남정면 포항시 : 죽장면, 신평면, 기북면, 기계면, 구룡포읍, 동해면, 호미곶면을 제외한 전지역 경주시 : 안강읍, 강동면, 양북면, 감포읍, 양남면 영주시 : 단산면, 부석면 영양군 : 수비면 봉화군 : 물야면, 소천면, 재산면
	부산광역시	해운대구, 남구, 동구, 서구, 중구, 영도구, 사하구, 북구, 사상 구, 강서구, 수영구, 연제구 기장군 : 장안읍, 철마면, 정관면
	울산광역시	중구, 남구, 북구 울주군 : 온산읍, 온양읍, 청량면
	경상남도	김해시 : 진영읍 진해시 : 전지역 거제시 : 전지역 통영시 : 옥지면, 사랑면을 제외한 전지역 고성군 : 동해면, 거류면, 고성읍, 삼산면, 하일면, 하이면, 상리면, 마암면 창원시 : 북면, 동읍을 제외한 전지역 남해군 : 삼동면, 미조면, 상주면을 제외한 전지역 마산시 : 내서읍을 제외한 전지역 사천시 : 사천읍, 사남면, 정동면, 축동면, 용현면, 곤양면 을 제외한 전지역 하동군 : 금남면, 금성면 함양군 : 안의면, 서하면, 서상면 거창군 : 북상면, 위천면



지역구분	지 명	
II	전라남도	<p>광양시 : 다압면, 진상면, 옥곡면, 옥룡면, 봉강면을 제외한 전지역</p> <p>여수시 : 삼산면, 돌산읍, 화정면, 남면을 제외한 전지역</p> <p>순천시 : 별량면, 해룡면, 대대동, 안평동, 인월동, 교량동</p> <p>보성군 : 벌교읍, 조성면, 득량면, 회천면</p> <p>고흥군 : 전지역</p> <p>장흥군 : 전지역</p> <p>완도군 : 고금면, 약산면</p> <p>강진군 : 전지역</p> <p>해남군 : 북평면, 북일면, 현산면, 옥천면, 삼산면, 해남읍, 마산면, 계곡면</p> <p>영암군 : 미암면, 학산면, 군서면, 서호면, 삼호면, 영암읍, 덕진면, 금정면, 도포면, 시종면</p> <p>목포시 : 전지역</p> <p>무안군 : 전지역</p> <p>함평군 : 함평읍, 손불면, 신평면</p> <p>영광군 : 낙월면, 묘량면, 대마면을 제외한 전지역</p>
	전라북도	<p>고창군 : 대산면, 상하면, 공음면, 무장면, 해리면, 아산면, 심원면, 부안면</p> <p>부안군 : 백산면, 위도면을 제외한 전지역</p> <p>김제시 : 죽산면, 성덕면, 광활면, 진봉면</p> <p>군산시 : 옥산면, 대야면, 개정면, 성산면, 서수면, 임피면, 옥도면을 제외한 전지역</p> <p>무주군 : 적상면, 안성면</p>
	충청남도	<p>서천군 : 장항읍, 마서면, 종천면, 비인면, 서면, 판교면</p> <p>보령시 : 청소면, 청라면, 성주면, 미산면을 제외한 전지역</p> <p>서산시 : 전지역</p> <p>태안군 : 전지역</p> <p>홍성군 : 서부면</p> <p>당진군 : 합덕읍, 우강면을 제외한 전지역</p>
	인천광역시	<p>중구, 남구, 연수구</p> <p>서구 : 신흥원창동</p> <p>동구 : 만석동, 화수1·화평동, 화수2동</p> <p>옹진군 : 덕적면, 자월면, 영흥면을 제외한 전지역</p> <p>강화군 : 화도면, 삼산면, 서도면, 내가면, 하점면, 교동면, 양사면, 양도면</p>
	경기도	<p>화성시 : 우정읍, 서신면, 마도면, 남양동, 송산동</p> <p>시흥시 : 죽율동, 거모동, 월곶동</p> <p>안산시 : 대부도, 선감도</p>

## 해설 11. 지지물의 기초

### 1. 기초의 종류 및 선정

#### (1) 기초의 종류

수전철탑의 기초는 다음과 같이 표준기초와 특수기초로 구분한다.

- ① 표준기초 : 특별한 보강없이 보통지반에 사용하는 철근 콘크리트 구조의 확대기초 (역T형 기초)
- ② 특수기초 : 표준기초 이외의 기초로써 특수한 설계와 시공을 필요로 하는 기초

#### (2) 기초의 종류 선정

기초는 상부 구조와 하중조건, 지반특성, 부지의 상황, 시공성 및 기초의 설치로 인하여 인접지역에 미치게 될 영향 등을 종합적으로 고려하여 종류를 선정하여야 한다.

### 2. 기초지반의 선정

기초지반은 기초를 안정하게 지지할 수 있는 양질의 지반을 선정한다. 단, 특별한 경우에는 압축력, 인발력, 수평력 등에 대한 안정성을 충분히 검토하여 연약지반을 개량 또는 보강한 다음 지지층으로 할 수도 있다.

### 3. 기초의 설계하중

기초설계에 고려할 하중은 다음과 같다.

- (1) 상부구조로부터 기초에 전달되는 압축력, 인발력 및 수평력
- (2) 기타 특수한 하중

### 4. 기초지반의 지지력

기초지반의 지지력은 상부구조를 안전하게 지지하고 상부재에 해로운 영향을 미치지 않도록 선정하여야 한다.

#### (1) 표준기초에 대한 지반의 지지력

##### ① 압축지지력

기초 지면지반의 압축 저항력에 의한다.

##### ② 인발지지력

기초의 자중과 인발시의 활동 파괴면 내에 있는 흙의 중량 및 활동면에 작용하는 전단 저항력에 의한다.

##### ③ 수평지지력

기초 바닥판 측면 지반의 수동 토압에 의한 저항력과 측면 및 기초 바닥판의 마찰 저항력에 의한다. 단, 모멘트 하중기초의 경우에는 압축, 인발, 수평지지력의 합성력에





의한다.

(2) 특수기초의 지반 지지력

표준기초에 대한 지반의 지지력 외에 토질 및 암반의 종류 그리고 기초의 구조 등에 의한 저항력을 고려하여야 한다.

(3) 기초지반의 허용압축 지지력

허용압축지지력은 다음을 표준으로 한다.

- ① 상시 하중에 대하여는 극한 지지력의 1/3
- ② 이상시 하중에 대하여는 극한 지지력의 1/2

(4) 인발 및 수평 지지력에 대한 기초의 안전율

기초의 안전율은 아래와 같다.

- ① 상시 하중에 대하여는 안전율 2이상
- ② 이상시 하중에 대하여는 안전율 1.33이상

## 5. 기초의 형상 및 지지력 검토

(1) 기초의 형상(역 T형)

기초의 기본형상은 아래 그림을 표준으로 하고, 각 부의 치수 제한은 아래와 같다.

$a \geq 3L$  (또는  $3\Phi$ )이고, 0.5m이상

$b \geq B/4$  또는  $a+0.2h$ ,  $c \geq 0.3m$ ,  $t \geq 0.5m$ ,  $t_2 \geq 0.2m$ ,  $H \geq 1.8m$

여기서,  $L$  : 주각재의 후렌지(flange)폭

$\Phi$  : 강관의 지름

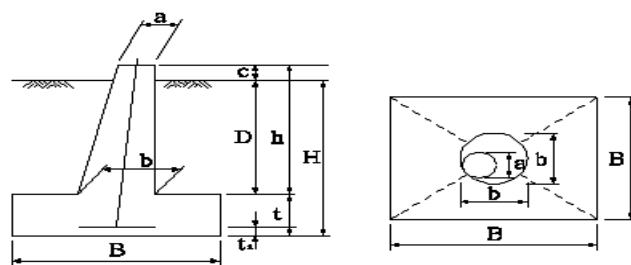


그림 13. 철탑기초 형상

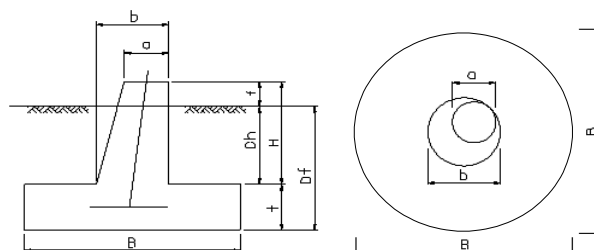


그림 14. 역 T형 기초의 형상

## (2) 지지력에 대한 검토

- ① 지지력에 대한 검토는 상세 설계수식을 적용하며 아래와 같은 경우에는 간편 설계 수식을 적용할 수 있다.

가. 154kV급 이하 수전선로에서 하중이 작을 경우(압축력이 100ton이하이고 인발력이 70ton이하인 경우)

나. 지반 여건상 상세 설계수식의 적용이 곤란한 경우

- ② 지반상태가 특수하여 본 지침에서 정한 수식의 적용이 곤란한 경우에는 별도의 검토식을 적용할 수 있다.

## (3) 간편 설계수식

- ① 아래 표의 1, 2, 3등급에 해당되는 지반에만 적용한다.  
② 지반의 일반적인 제원은 표에 의하되 실측치가 있을 경우 그 값을 사용한다.

표 33. 지반의 제원

지 반 의 종 류	1등급	2등급	3등급
인발력에 저항하는 흙의 유효각도 $\theta$ [°]	30	20	10
흙의 단위체적무게 $\gamma$ [t/m <sup>3</sup> ]	1.6	1.5	1.4
흙의 극한 압축 지지력 $q_u$ [t/m <sup>2</sup> ]	90	60	30
흙의 허용 압축 지지력 $q_a$ [t/m <sup>2</sup> ]	30	20	10

(주) 지반의 적용

- 1등급 : 지하수위가 충분히 낮아 저항력이 큰 지반(산지, 밭, 들)
- 2등급 : 다소의 용수가 있지만 저항력이 큰 지반(연약한 밭)
- 3등급 : 지하수위가 높아 저항력이 작은 지반(보통의 논)

## 6. 기초 재료의 허용응력

기초에 사용하는 재료의 허용응력 및 철근과 콘크리트의 탄성계수 비는 다음을 표준으로 한다.

### (1) 콘크리트의 설계기준 강도( $\sigma_{ck}$ )

무근 및 철근 콘크리트 기초에 사용하는 콘크리트의 설계기준 강도는 재령 28일의 압축강도로서 2,058[N/cm<sup>2</sup>]을 표준으로 하며, 특수한 경우에는 별도의 설계기준 강도를 정하여 사용할 수 있다.

### (2) 철근의 허용응력

철근의 허용압축 및 허용인장응력

$$\sigma_{sa} = 0.5\sigma_y \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

단, 14,700[N/cm<sup>2</sup>]이상 17,640[N/cm<sup>2</sup>]이하로 한다.

여기서,  $\sigma_y$  : 철근의 항복강도[N/cm<sup>2</sup>]



- (3) 철근과 콘크리트의 탄성계수의 비  
탄성계수의 비는 표와 같다.

표 34. 탄성계수비

설계기준강도 $\sigma_{ck}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	1,764	2,058	2,744	3,430
n	10	9	8	7

## 7. 기초체의 설계

기초체는 상부 구조로부터 전달되는 하중에 의하여 발생하는 최대 응력이 재료의 허용응력 이내가 되도록 치수를 정하여야 한다.

주각재 정착은 주체부 정착과 바닥판 정착을 겸한 병용정착 방식을 표준으로 하되, 주체부 길이가 1m이하인 경우에는 바닥판 정착방식으로 한다.

### (1) 주체부 설계

주체부는 축력 및 수평력을 받는 구조로 하여 단면을 산정하고 철근을 배치한다.

주체 하단부를 검토 단면으로 하여 철근량을 산정하고, 주체부 중간 상부에서는 최소 철근간격 및 시공성을 고려하여 철근량을 반감하는 것으로 한다.

#### ① 휨(bending) 모멘트근(筋)

주체부에 가해지는 수평력에 의한 휨모멘트에 저항할 수 있도록 인장력에 의하여 지배되고 모멘트만을 받는 부재로 하여 철근량을 산정한다.

#### ② 축력근

주체부에 가해지는 인발력의 50%를 허용응력 이하로 부담할 수 있도록 철근량을 산정한다. 단, 바닥판 정착방식의 경우에는 아래 표의 최소 철근량을 배치한다.

#### ③ 띠철근 및 중간띠 철근

주체부에 생기는 전단력을 부담할 수 있도록 띠철근량을 산정하며, 중간 띠철근은 주체부 단면이 사각형일 경우에 아래 표의 최소 철근량을 배치한다.

#### ④ 상단균열 방지근

주체부 상단에는 균열방지 철근을 격자형으로 배치한다.

#### ⑤ 최소 철근량

철근량 계산결과 소요량이 표의 최소 철근량보다 적을 때는 주체부의 건조수축, 온도변화에 따른 균열방지, 인장응력의 균등분포를 위하여 최소 철근량을 배근한다.

표 35. 최소 철근량

[@ : 철근간격]

종	별	최 소 철 근 량	덱 개 표 준
휨 모 멘 트 근		D16@200mm	100mm
축 력 근		D16@200mm	
띠 철 근		D16@200mm	
중 간 띠 철 근		D16@400mm	
상 단 균 열 방 지 근		Φ 6@100mm	20mm

## 8. 기초 설계시 적용공식

### (1) 설계수평력(H)의 결정

$$H = \sqrt{H_F^2 + H_S^2}$$

여기서,  $H_F$  : 정면사재 축방향력의 수평분력

$H_S$  : 측면사재 축방향력의 수평분력

### (2) 간편 설계 수식

#### ① 압축지지력에 대한 검토식

$$\frac{q_u}{F} \geq \frac{C+G+W_S}{A} \cdot \mu$$

여기서,  $q_u$  : 지반의 극한 압축지지력 [tf/m<sup>2</sup>]

$F$  : 안전율(상시하중 : 3.0, 이상시 하중 : 2.0)

$C$  : 상부 구조로부터 압축력 [tf]

$G$  : 기초체의 무게 [t]

$W_S$  : 기초바닥판 직상부의 흙의 무게 [t]

$A$  : 기초바닥판 밑넓이 [m<sup>2</sup>]

$\mu$  : 기초에 작용하는 전도모멘트에 의한 바닥판 끝단의 접지압 배율

#### ② 인발 지지력에 대한 검토식

$$G + \frac{\gamma(V_e + V_a)}{F} \eta \geq T$$

여기서,  $G$  : 기초체의 무게 [t]

$F$  : 안전율(상시하중 : 2.0, 이상시하중 : 1.33)

$T$  : 상부 구조로부터의 인발력 [ton]

$\gamma$  : 흙의 등가 단위체적무게 [tf/m<sup>3</sup>]

$V_e$  : 인발력에 저항하는 유효각도 범위내 입체의 부피 [m<sup>3</sup>]

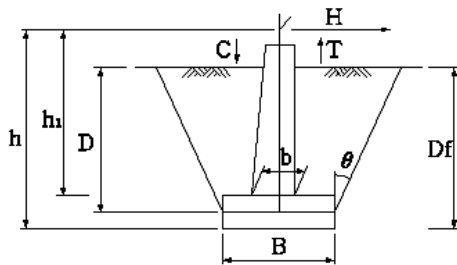


그림 15. 철탐기초

## 9. 철주기초 설계

### (1) 간편 계산식

$$M = M_1 + M_2 \geq F \cdot M_R$$

여기서,  $M_1$  : 기초재 측면에 의한 저항모멘트 [kg-m]

$M_2$  : 기초재 바닥판에 의한 저항모멘트 [kg-m]

$$M_1 = \delta \frac{dh^2}{12}, \quad M_2 = \delta \frac{b^4}{12h}$$

$d$  : 기초재의 평균 폭

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$d_1$  : 지표면의 기초재(주체부) 폭 [m]

$d_2$  : 기초재(주체부) 하단 폭 [m]

$\delta$  : 흙의 내압한도(허용 압축지지력의 2배)

$F$  : 안전율 (2이상)

$M_R$  : 깊이  $h/2$ 점의 하중 전도모멘트 [kg-m]

### (2) 철주 기초도

#### ① 철주기초의 개략모형도

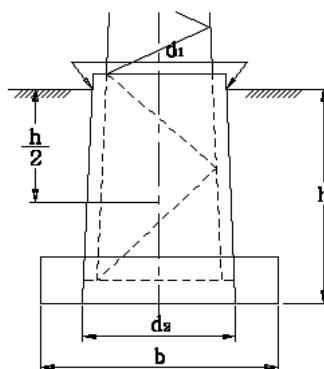


그림 16. 철주기초

## ② 토양의 성질

지 반 의 종 류	1등급	2등급	3등급
인발력에 저항하는 흙의 유효각도 $\theta$ [°]	30	20	10
흙의 단위체적무게 $\gamma$ [t/m <sup>3</sup> ]	1.6	1.5	1.4
흙의 극한 압축 지지력 $q_u$ [t/m <sup>2</sup> ]	90	60	30
흙의 허용 압축 지지력 $q_a$ [t/m <sup>2</sup> ]	30	20	10

(주) 흙의 내압한도는 상기 허용 압축 지지력의 2배다.

즉, 내압한도 1등급(갯지구) : 588,000 [N/m<sup>2</sup>]

2등급(을지구) : 392,000 [N/m<sup>2</sup>]

3등급(병지구) : 196,000 [N/m<sup>2</sup>]



## 해설 12. 철주설계

철주에는 4각 철주(4면 동형)와 원형 철주(강관주)로 대별되며, 부지가 협소한 특수개소에 적용하고, 아래와 같이 설계한다.

### 1. 표준 철주의 설계조건

표준 철주의 설계조건은 다음 표를 기준으로 한다.

철 주 종 류	기 호	수평각도 [°]	수평경간 [m]	수직경간 [m]	애자장치
직 선 철 주	A	3	200	400	현 수
각 도 철 주	B	20	200	400	내 장
각 도 철 주	C	30	200	400	"
인 류 철 주	D	Dead End	200	400	"
내 장 철 주	E	40	200	400	"

(주) 철주는 지선에 의하여 그 강도를 보강할 수 있다.

### 2. 표준 풍압치

풍압력을 계산할 때의 풍압치는 다음표를 표준으로 한다.

표 36. 표준 풍압치

[단위 : N]

구분/기준속도압 [N/m <sup>2</sup> ]		294	372	744	980	1,146	1,597
형강4각 구 조	전후면 복재가 겹칠 때	686	784	1,666	2,156	2,548	3,528
	기 타	686	882	1,764	2,352	2,744	3,822
강 관 4 각 구 조		588	686	1,470	1,862	2,156	3,038
원형철주 ( 단일구조)		196	294	588	784	882	1,274
기타 (삼각형, 능형 등)		588	686	1,470	1,862	2,156	3,038
가 섭 선	1/8≥형상지수	323	412	813	1,068	1,254	1,744
	1/8<형상지수≤1/6	343	431	862	1,127	1,323	1,842
	1/6<형상지수	363	451	907	1,186	1,392	1,931
애 자 장 치		480	608	1,205	1,578	1,852	2,577
완금류	형 강 구 조 재	921	1,127	2,234	2,950	3,440	4,802
	기 타 단 일 재	490	588	1,274	1,568	1,862	2,548

### 3. 지선의 설계

#### (1) 지선의 취부위치

지선이 철주에 취부되는 위치는 전력선과의 이격거리, 용지상황 등을 종합적으로 고려하여 결정하고 대변 보조재, 대각 보조재 부하여 보강하며, 취부각도는 45°를 표준으로 한다.

#### (2) 지선의 강도

지선의 최저허용인장하중은 4,312[N] 이상이 되도록 하고 안전율은 2.5 이상으로 한다.

#### (3) 지선의 장력은 다음 식으로 계산한다.

$$T_0 = \alpha \frac{h_1}{h_2} P \operatorname{cosec} \theta$$

$T_0$  : 지선장력 [N]

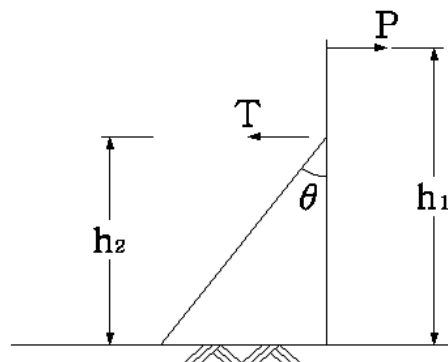
$\alpha$  : 지선이 부담하는 하중 분담율

$h_1$  : 하중 적용점 높이 [m]

$h_2$  : 지선 취부점 높이 [m]

$\theta$  : 지선과 철주가 이루는 각도 [°]

$P$  : 철주에 작용하는 수평하중 [N]



### 4. 기타

이 기준에 명시되지 않은 사항으로 철주설계에 필요한 사항은 “철탑설계기준”에 따른다.

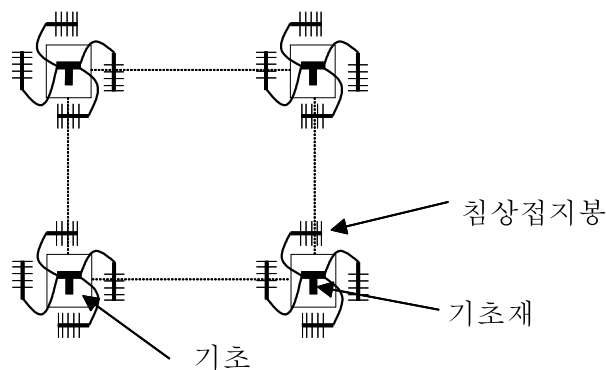




## 해설 13. 지지물 접지

### 1. 지지물의 접지방법

- (1) 지지물에는 침상접지봉을 기본적으로 매설한다. 침상접지봉 매설시 철탑은 각 다리, 철주 및 강관주는 기초에 기초에 4개의 침상접지봉을 개별로 매설한다. 다만 대지저항률  $500\Omega \cdot \text{m}$ 미만 개소와 논, 밭은 침상접지봉 1개를 매설한다.



철탑 침상접지봉 매설

- (2) 철탑(철주)의 앵커재는 철탑기초 콘크리트내의 철근에 접지한다.  
 (3) 철탑조립 후 접지저항이 목표치를 초과하는 경우에는 매설지선과 접지저항저감재를 동시에 설치하여 접지한다.  
 (4) 매설지선 설치 후에도 접지저항이 목표치를 초과하는 경우는 추가 접지를 시행한다.  
 (5) 추가 접지시공 또는 기타방법으로도 목표저항치를 확보하지 못 할 경우, 접지봉을 설치할 수 있으며 철탑은 각 다리에 4개, 철주 및 강관주는 기초에 4개의 접지봉을 매설한다.

### 2. 접지설계

철탑 조립 후 4각의 합성정상접지저항( $R_4$ )을 측정하여 목표치를 초과하는 경우 <식 (1)>에 의하여 대지저항률( $\rho$ )을 구하고, 그 결과에 따라 표의 표준접지시공에 의한 매설지선 길이를 산출한다.

$$\rho = 2\pi r_0 \cdot R[\Omega \cdot \text{m}] \text{ ----- (1)}$$

여기서  $R$ 은 1각의 등가정상 접지저항치로써 <식 (2)>에 의해 산출하며,  $r_0$ 는 철탑기초의 대지접촉 표면적 $S[\text{m}^2]$ 와 같은 표면적을 갖는 반구전극의 반경으로서 <식 (3)>과 같이 산출한다.

$$R = 4 \times \eta \times R_4[\Omega] \text{ ----- (2)}$$

$\eta$ : 4각 병렬효율(일반 수전선로 : 0.5)

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{2\pi}} \text{ [m]} \text{ ----- (3)}$$

### 3. 접지시공

- (1) 침상접지봉은 리드선이 연결된 상태로 철탑(철주)의 앵커재에 압축단자로 연결하며, 목표저항치를 확보하지 못하여 추가로 침상접지봉을 사용할 경우는 매설지선 취부용 접지단자 구멍을 이용하여 압축단자를 취부하며 매설깊이는 75cm 이상으로 한다.
- (2) 철탑(철주)의 앵커재를 철탑기초 콘크리트내의 철근에 접지할 때 앵커재와 철근은 38mm<sup>2</sup> 연동연선을 사용하여 접속하며, 앵커재의 접속은 압축단자를 이용하여 볼트로 연결하고 철근과의 접속은 접지 스리브를 이용하여 압축-접속한다.
- (3) 매설지선
  - ① 매설지선은 38mm<sup>2</sup>(7/2.6mm)의 동복강연선을 사용함을 표준으로 하고 지하50cm 이상의 깊이에 접지저항저감제를 매설지선과 같이 포설하며, 매설지선을 중심으로 접지저항저감제를 두께 10cm, 폭 40cm 정도로 시공한다.
  - ② 접지시공은 표준접지시공으로 하며 접지저항 목표치 이하로 유지하기 어려운 경우에는 추가접지를 시행한다.
- (4) 추가접지시공  
표준접지시공으로 시공한 후 접지저항이 목표치를 초과할 경우 집중접지 개소의 증가, 접지설비 보강 등 별도 대책을 강구한다.

표 37. 표준 접지시공

대지저항율 [Ω/m]	154kV 이하 T/L 매설지선 길이 및 조수		토 질
	분포접지	집중접지	
500미만	20m × 4	—	점토질 습지, 밭, 적토, 산지점토 등 암반제외 토양
500이상~700미만	30m × 4	—	
700이상~1,000미만	30m × 4	10m × 4	
1,000이상			풍화암, 연암, 연암섞인 보통암, 보통암, 경암

- (주) 1. 분포접지 : 탑각에서 그림과 같이 선로진행방향으로 평행하게 설치하되 현장여건을 고려하여 가능한 한 선하부지내에 매설  
 2. 집중접지 : 탑각에서 10m 떨어진 지점의 분포접지에 직각방향으로 매설

### (5) 접지시공도

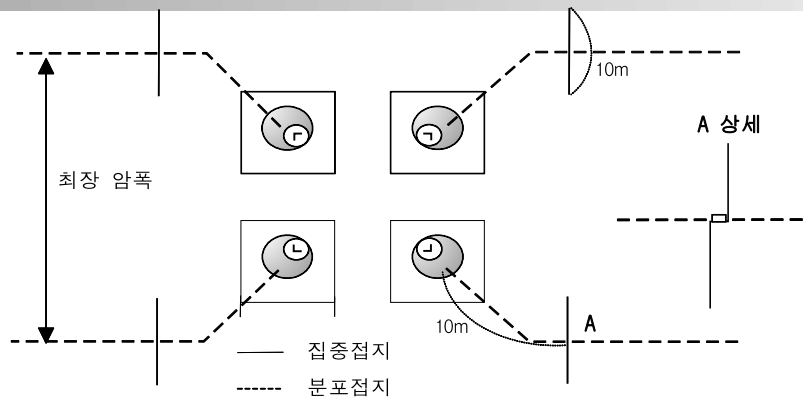


그림 17. 접지시공도

#### 4. 접지설계절차

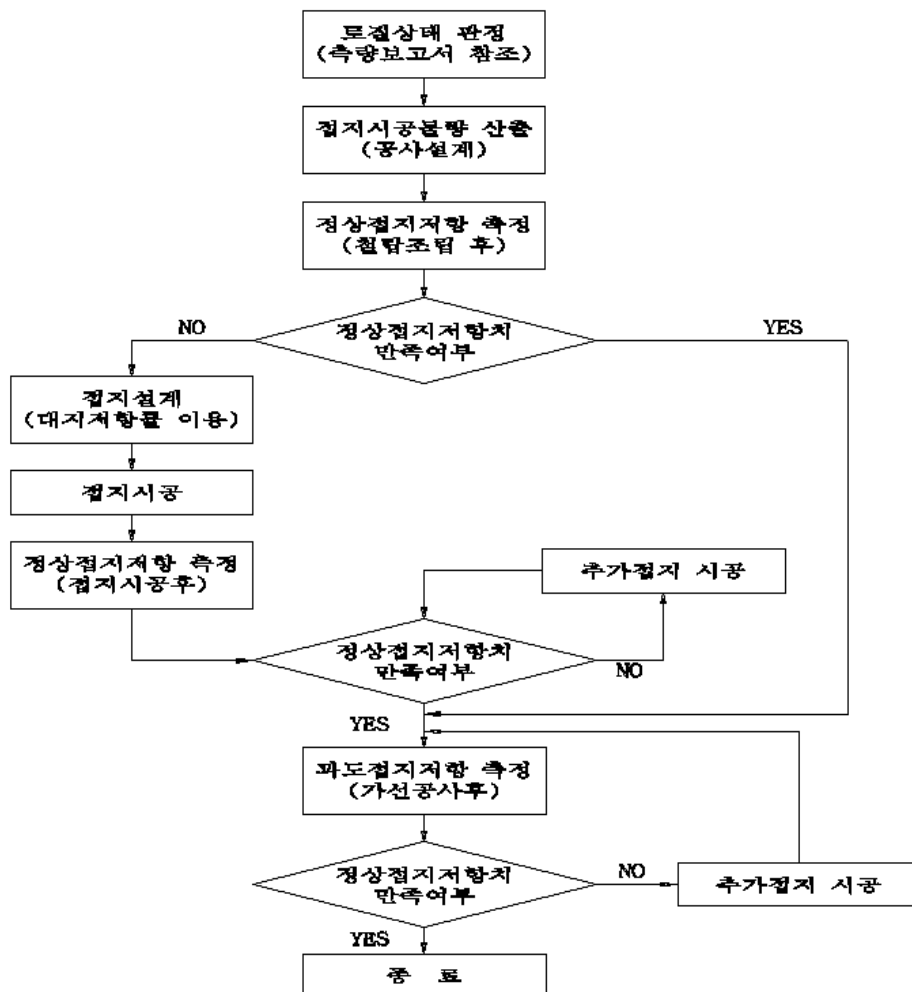


그림 18. 한전 가공송전선 지지물 접지기준

## 5. 접지저항

154kV이하 가공 수전선로의 지지물에 대한 접지저항 목표치는 표와 같이 정한다.<sup>4)</sup>

표 38. 정상 및 과도접지저항 목표치

송 전 전 압 별	접 지 저 항 목 표 치 [ $\Omega$ ]
154kV	15 이하
66kV	30 이하

(주) 가공지선이 있는 지지물의 경우임

4) 한전 가공송전선 지지물 접지기준



## 해설 14. 지중선로 케이블 설계

### 1. 일반사항

이 기준은 66kV 이상 지중송전선로의 설계 및 시설에 대하여 적용하며, 가공송전선로 대비 건설공사의 기간과 그 공사비가 많이 소요되므로 아래의 사항외 관계법규와 규정 준수는 물론 장기계획 등을 고려 신뢰성 있고 경제적인 설계가 되도록 한다.

#### 1.1 설계시 유의사항

지중송전선로는 건설공사 기간이 장시간 소요되고 그 공사비가 많이 소요되므로 설계시 관계법규 및 규정을 준수하고 장기계획 등을 고려하여 신뢰성이 있고 경제적인 설계가 되도록 하여야 한다.

#### 1.2 경과지 선정

지중 송전선로 경과지는 다음 사항을 충분히 고려하여 선정하여야 한다.

- (1) 장래의 송전계통 구성과 수요분포의 동향
- (2) 공공용지의 효율적 이용
- (3) 선로건설 및 운영의 경제성, 시공성, 안전성
- (4) 도시계획, 도로의 개설 및 확장계획
- (5) 타 시설물과의 현황 및 건설계획
- (6) 도로의 굴곡 및 고저차
- (7) 화학적 영향이나 열을 받을 우려가 있는 지 여부
- (8) 각종 재해(수해, 염진해, 화재, 산사태, 지반조건, 진동 등)의 영향
- (9) 기설 관로, 전력구, 케이블 등과의 연결 및 효율적 이용
- (10) 지역환경과의 조화
- (11) 법적 제한
- (12) 케이블 다회선 포설에 의한 송전용량 및 유도장애의 영향
- (13) 교통상황

#### 1.3 지중송전선로의 적용개소

- (1) 가공선의 건설이 다음과 같이 불가능하거나 곤란한 경우
- (2) 법규상의 제한
- (3) 용지상의 제한
- (4) 협정상의 제약
- (5) 안전, 지역환경과의 조화, 경제성 등의 면에서 종합적으로 유리한 경우
- (6) 기술적 및 설비 보안상 지중선이 타당하다고 인정되는 경우에 건설한다.

## 2. 전력 케이블(Cable)의 일반적 개요

### 2.1 케이블 호칭 및 약호

케이블의 호칭은 일반적으로 공칭전압, 절연체 재질, 금속차폐 종류, 방식층의 종류, 공칭 단면적 순으로 하며 약호는 다음과 같이 표시한다.

- (1) 공칭전압 : 154kV, 66kV
- (2) 절연체 재질 : 가교폴리에틸렌(XLPE : Cross-Linked Polyethylene)  
약호 : C 또는 X(동일한 표기임)
- (3) 금속차폐층 종류 : 동(Cu) 또는 알루미늄(Al)  
약호 : C(Cu) 또는 A(알루미늄)
- (4) 방식층 종류 : 비닐(PVC) 또는 폴리에틸렌(PE)  
약호 : ZV(비닐) 또는 ZE(폴리에틸렌)  
(Z는 알파벳 끝의 기호로 케이블에서는 방식층을 뜻함)

표 39. 케이블의 호칭 및 약호의 예

호 칭	약 호	
	알루미늄 차폐	동 차폐
154kV 가교폴리에틸렌 절연알루미늄차폐 또는 동차폐비닐방식층 단심 400mm <sup>2</sup>	154kV CAZV 1C × 400mm <sup>2</sup>	154kV XCZV 1C × 400mm <sup>2</sup>
154kV 가교폴리에틸렌 절연알루미늄차폐 또는 동차폐폴리에틸렌방식층 단심 400mm <sup>2</sup>	154kV CAZE 1C × 400mm <sup>2</sup>	154kV XCZE 1C × 400mm <sup>2</sup>

### 2.2 케이블 구조

초고압 전력케이블은 도체, 내부반도전층, 절연층, 외부반도전층, 차폐층, 방식층으로 구성된다.

- (1) 도체(Conductor)  
도체는 IEC228 규정한 나연동선 또는 AL연선의 소선을 꼬아 만든 압축원형연선 또는 분할압축원형연선으로 구성된다.
- (2) 내부반도전층(Inner semiconductive layer)  
반도전층은 전력케이블의 전계완화 및 전계를 균일하게 하고 도체/절연체간의 직접 접촉에 의한 열화반응을 억제할 목적으로 사용되며 반도전성 테이프 및 반도전 열경화성 컴파운드로 구성된다.
- (3) 절연층(Insulation layer)  
절연층은 내부반도전층, 외부반도전층과 함께 XLPE를 압출하여 제조한다.  
이 3개의 층은 동시 압출되며, 고온·고압의 제조공정에 의하여 가교된다.  
가교방식은 질소 건식가교방식을 사용한다.



(4) 외부반도전층(Outer semiconductive layer)

외부반도전층은 절연체위에 절연체와 동시에 반도체성 컴파운드를 동심원상으로 균일하게 압축하여 형성한다.

(5) 차폐층(Metallic sheath)

차폐층은 연동선이나 동차폐 혹은 알루미늄 차폐를 사용한다. 동차폐는 기계적, 전기적 특성이 우수하며, 이에 따라 금속 차폐층의 두께를 줄일 수 있다.

(6) 방식층(Jacket)

방식층은 차폐층을 전기적, 화학적 부식으로부터 보호하기 위하여 PVC나 PE로 구성된다.

## 2.3 절연재료의 구비조건

- (1) 절연저항이 양호하고, 유전손실이 적을 것
- (2) 파괴전압이 높고, 절연 성능이 장기간 안전될 것
- (3) 내 Treeing, 내 코로나성이 우수할 것
- (4) 가요성 및 내마찰성이 우수할 것

## 3. 케이블의 선정

사용전선은 예상 부하용량을 통한 부하전류계산, 단락전류계산 및 허용전류계산으로 사용전선을 선정한다. 허용전류는 제작사의 카탈로그를 참조하거나, KS C IEC규격에 따라 계산할 수 있다.

(1) 송전케이블 사용추이

- ① 송전케이블은 우수한 절연성능을 가진 유침지 케이블부터 시작되어 SL케이블에서 OF케이블로 변천하였고, 154kV 및 345kV용까지 개발되었다. OF케이블에 비하여 XLPE케이블은 절연유가 필요하지 않으므로 급유설비가 필요 없고, 케이블설비에서 누유가 없고 보수가 용이하며, 방재대책이 용이하고, 송전손실이 적은 장점이 있다. 따라서 앞으로 건설되는 케이블은 OF가 불가피한 경우를 제외하고는 XLPE(일반적 기준표현 CV)케이블을 사용 한다.

② 현행 사용제도 및 원칙정립

가. 구매시방서 상의 품명 : 154kV 특고케이블(154KV XLPE Cable)

나. 전력케이블의 굵기

케이블의 굵기는 방식층의 재질 및 공칭 단면적에 의해 표와 같이 구분한다.

표 40. 케이블의 종류

방식층의 재질구분		선 심 수	도체의 공칭 단면적 [mm <sup>2</sup> ]
폴리에틸렌[PE]	폴리염화비닐[PVC]	단심	200, 400, 600, 800

표 41. 케이블 선정

345kV 이상 선로	OF 케이블 사용
154kV 이하 선로	XLPE 케이블 사용 원칙 (XLPE 케이블 시공이 불가한 경우 제외)

(주) 1. 도체의 재질은 동(銅)임

2. 방식층의 재질은 관로내 설치시는 PE, 전력구내 설치시는 PVC로 한다.

#### 4. 계산방법

- (1) 케이블 선정시 부하전류를 계산하고 그 값과 케이블의 규격에 따라 연속허용전류와 단시간 허용전류를 계산한 값을 비교하여 여유를 주어 선정한다.
- (2) 단락전류를 계산하고 그 값과 케이블의 규격에 따라 단락시 허용전류를 계산한 값과 비교하여 여유를 주어 선정한다.

부하용량 ○○MVA	⇒	$I = \frac{\text{부하용량(KVA)} \times 1,000 \times \text{변압기이용률}(0.928)}{\sqrt{3} \times 154 \times 0.9}$	⇔ 상호 비교	연속시 허용전류 (KS C IEC60287) 단시간 허용전류 (KS C IEC60853)
한전 154KV 모선 3상 단락용량 ○○,○○○MV A	⇒	$I_s = \frac{\text{모선 3상 단락용량}}{\sqrt{3} \times 154}$	⇔ 상호 비교	단락시 허용전류 (KS C IEC60949)

선로별	케이블 규격	허용전류 (2회선 기준)	부하전류	검토내용	선 정
지중선로	XLPE 200[mm <sup>2</sup> ]	400[A]	○○○[A]	약 %여유	
	XLPE 400[mm <sup>2</sup> ]	605[A]		약 %여유	◎
	XLPE 600[mm <sup>2</sup> ]	650[A]		약 %여유	

선로별	케이블 규격	단락전류	고장순시 허용전류			검토내용	선 정
			0.5초	1.0초	1.7초		
지중선로	XLPE 200mm <sup>2</sup>	○○[KA]	○○[KA]	○○[KA]	○○[KA]	약 %여유	
	XLPE 400mm <sup>2</sup>	○○[KA]	○○[KA]	○○[KA]	○○[KA]	약 %여유	◎
	XLPE 600mm <sup>2</sup>	○○[KA]	○○[KA]	○○[KA]	○○[KA]	약 %여유	

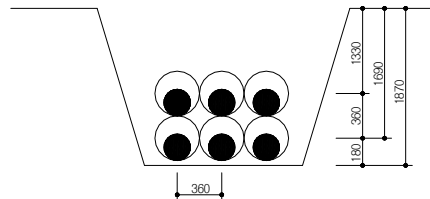
#### 5. 상시허용전류 계산의 예

- (1) 적용기준 : IEC 60287
- (2) 설계검토 조건





- ① Cable : 154kV XLPE 400mm<sup>2</sup>/1C(Al Sheath)
- ② 관로포설 : FEP 200Φ× 6공 (1공1조)
- ③ Sheath 접지 : Cross-Bond 방식
- ④ 주파수(f) : 60Hz
- ⑤ 부하손실율(L · F : Load Factor) : 0.8
- ⑥ 케이블 포설 형상도



(3) 계산식

$$I = F_g \sqrt{\frac{\Delta_\theta - W_d (0.5 T_1 + T_3 + T_4)}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)(T_3 + T_4)}} [A]$$

여기서, {

I	: 상시 허용전류[A]	
	$\Delta_\theta$ =도체 최고 허용온도-주변온도=90-25 $\Rightarrow$ 65	
R	: 교류도체 실효저항[Ω/m]	$\Rightarrow 6.2638 \times 10^{-5}$
$W_d$	: 유전체 손실[W/m]	$\Rightarrow 0.3674$
$T_1$	: 절연체 열저항[K · m/W]	$\Rightarrow 0.7716$
$T_3$	: 방식층 열저항[K · m/W]	$\Rightarrow 0.0466$
$T_4$	: 주변 열저항[K · m/W]	$\Rightarrow 1.3012(1\text{회선})$ $\Rightarrow 1.8794(2\text{회선})$
$\lambda_1$	: 시스 손실율	$\Rightarrow 0.0427$
n	: 선심수	$\Rightarrow 1$

표 42. 상시허용전류 계산시 필요한 주요계수

허용전류	교류도체실효저항	도체 최고 허용 온도에서의 직류저항	$\left\{ \begin{array}{l} 20^{\circ}\text{C에서의 직류도체최대저항} \\ 20^{\circ}\text{C에서의 도체저항온도계수} \\ \text{도체최고허용온도} \end{array} \right.$
		표피효과계수 근접효과계수	
	유전체손실	유전율	$\left\{ \begin{array}{l} \text{절연외경(반도전층 불포함)} \\ \text{도체외경(반도전층 포함)} \end{array} \right.$
		절연외경(반도전층 불포함) 도체외경(반도전층 포함)	
	시스 및 차폐층에 대한 손실률	회로손실율 와전류손실율	
	열저항의 계산	절연체의 열저항 방식층 열저항	$\left\{ \begin{array}{l} \text{방식층 표면방산 열저항} \\ \text{관 자체의 열저항} \\ \text{토양의 열저항(1공 1조 포설)} \end{array} \right.$
		주변 열저항(관로포설)	

① 교류도체 실효저항 : R

최고 동작 온도에서 도체의 단위 길이당 교류 저항은 관형 케이블의 경우를 제외하고 다음 공식으로 주어진다.

$$R = R' (1 + Y_S + Y_P) \text{ } [\Omega/\text{m}]$$

여기서,  $R'$  : 도체 최고 허용온도에서의 직류저항 $[\Omega/\text{m}]$   
 $\left\{ \begin{array}{l} Y_S : \text{표피효과 계수} \\ Y_P : \text{근접효과 계수} \end{array} \right.$

가. 도체 최고 허용온도에서의 직류저항: $R'[\Omega/\text{m}]$

$$R' = R_0 [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] = 6.0713 \times 10^{-5} \text{ } [\Omega/\text{m}]$$

여기서,  $R_0$  :  $20^{\circ}\text{C}$ 에서의 직류도체 최대저항 $[\Omega/\text{m}]$   
 $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{20} : 20^{\circ}\text{C에서의 도체저항 온도계수(표1 참조)} \\ \theta : \text{도체 최고 허용온도}[^{\circ}\text{C}] \end{array} \right. \Rightarrow 90$

$$(가) R_0 = \frac{10^3}{58 \cdot A \cdot \eta} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \times 10^{-3} = 4.7614 \times 10^{-5} \text{ } [\Omega/\text{m}]$$



여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} A : \text{도체 단면적}[\text{mm}^2] & \Rightarrow 400 \\ n : \text{도체 도전율}(0.93 \sim 1.00) & \Rightarrow 0.97 \\ K_1 : \text{소선 연입율}(1.02 \sim 1.04) & \Rightarrow 1.03 \\ K_2 : \text{분할도체 및 다심케이블의 집합 연입율}(1.01 \sim 1.02) & \Rightarrow 1.01 \\ K_3 : \text{압축성형에 따른 가공경화계수}(1.00 \sim 1.01) & \Rightarrow 1.00 \\ K_4 : \text{최대 도체저항계수}(1.03 \sim 1.04) & \Rightarrow 1.03 \end{array} \right.$

(나) 도체저항 온도계수

표 43. 사용 재질별 전기저항 및 온도저항 계수

사용재질	$\rho_{20}$ :20℃에서의 전기저항[ $\Omega \cdot \text{m}$ ]	$\alpha_{20}$ :20℃에서의 온도저항계수[1/K]
a. 도체		
Copper(Cu)	$1.7241 \times 10^{-8}$	$3.93 \times 10^{-3}$
Aluminium	$2.8264 \times 10^{-8}$	$4.03 \times 10^{-3}$
b. 금속시스		
Bronze	$3.50 \times 10^{-8}$	$3.00 \times 10^{-3}$
Aluminium	$2.84 \times 10^{-8}$	$4.03 \times 10^{-3}$

나. 표피효과 계수(YS)

$$Y_S = \frac{X_S^4}{192 + 0.8X_S^4} \quad X_S^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} \times k_s$$

표 44. 동도체의 ks 및 kp

도체형상	압축원형(400mm <sup>2</sup> ~600mm <sup>2</sup> )	분할 압축원형(800mm <sup>2</sup> ~2000mm <sup>2</sup> )
$k_s$	1	0.435
$k_p$	0.8	0.37

(주)  $k_s = \frac{d_c - d_o}{d_c + d_o} \left( \frac{d_c + 2d_o}{d_c + d_o} \right)^2$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{l} k_s : \text{분할도체 계수} \\ d_o : \text{도체 내경}[\text{mm}] \\ d_c : \text{도체 외경}[\text{mm}] \end{array} \right.$

$$\therefore X_S^2 = \frac{8\pi \times 60}{6.0713 \times 10^{-5}} \times 10^{-7} \times 1 = 2.484$$

$$\text{따라서, } Y_S = \frac{2.484^2}{192 + 0.8 \times 2.484^2} = 3.133 \times 10^{-2}$$

다. 근접효과 계수( $Y_P$ )

$$Y_P = \frac{X_P^4}{192 + 0.8 \times X_P^4} \left( \frac{d_c}{S} \right)^2 \left[ 0.312 \left( \frac{d_c}{S} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_P^4}{192 + 0.8 \times X_P^4} + 0.27} \right]$$

$$= 3.6874 \times 10^{-4}$$

$$X_P^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} \times k_p = 1.987$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} d_c : \text{도체 외경[mm]} (\text{반도체층 불포함}) & \Rightarrow 24.1 \\ S : \text{도체 간격[mm]} & \Rightarrow 360 \\ k_p : \text{중공도체 계수} & \Rightarrow 0.8 \end{cases}$$

그러므로, 교류도체 실효저항을 구하면

$$R = R' (1 + Y_S + Y_P)$$

$$= 6.2638 \times 10^{-5} [\Omega/m]$$

## ② 유전체 손실( $W_d$ )

유전 손실은 전압에 의존적이어서 사용된 절연 재료에 관련된 전압 레벨에서만 중요하다. 비차폐층 다심이나 직류 케이블에 대해서는 유전 손실을 계산할 필요가 없다.

$$W_d = \omega C U_o^2 \tan \delta = 0.3674 [W/m]$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} \omega = 2\pi f [1/s] = 2\pi \times 60 & \Rightarrow 120\pi \\ U_o : \text{정격대지전압[V]} (\text{자재사양서 참조}) & \Rightarrow 87000 \\ \tan \delta : \text{유전체 손실각} (<\text{표 45}>\text{참조}) \end{cases}$$

$$C = \frac{\epsilon}{18 \times \ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right)} \times 10^{-9} = 1.2877 \times 10^{-10} [F/m]$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} \epsilon : \text{유전율} \\ D_i : \text{절연 외경[mm]} (\text{반도체층 불포함}) & \Rightarrow 73.1 \\ d_c : \text{도체 외경[mm]} (\text{반도체층 포함}) & \Rightarrow 27.1 \end{cases}$$

표 45. 케이블 유전율( $\epsilon$ ) 및 유전체 손실각( $\tan \delta$ )

케이블 종류	$\epsilon$	$\tan \delta$
PE	2.3	0.001



### ③ 금속시스 손실율( $\lambda_1$ )

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} \lambda_1' : \text{회로 손실율} \\ \lambda_1'' : \text{와전류 손실율} \end{cases}$$

#### 가. 회로 손실율( $\lambda_1'$ )

Cross-Bond 구간 평형시

$$\lambda_1' = 0.03 (\text{삼각배열 : 1공3조 관로포설 포함})$$

#### 나. 와전류 손실율( $\lambda_1''$ )

$$\lambda_1'' = \frac{R_S}{R} [g_s \lambda_0 (1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1 t_s)^4}{12 \times 10^{12}}]$$

$$g_s = 1 + \left(\frac{t_s}{D_s}\right)^{1.74} (\beta_1 D_s \times 10^{-3} - 1.6) = 1.0171$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi f}{10^7 \cdot \rho_s}} = 129.155 \approx 129$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} D_s : \text{시스의 평균 외경[mm]} & \Rightarrow 88.5 \\ t_s : \text{시스의 두께[mm]} & \Rightarrow 2.3 \\ \rho_s : 20^\circ\text{C 금속시스 전기저항율}[\Omega \cdot \text{m}] & \Rightarrow 2.84 \times 10^{-8} \\ R : \text{교류도체 실효저항}[\Omega/\text{m}] & \Rightarrow 6.2638 \times 10^{-5} \end{cases}$$

#### (가) $\lambda_0$ (삼각배열)

$$\lambda_0 = 3 \left(\frac{m^2}{1+m^2}\right) \left(\frac{d}{2S}\right)^2 = 1.5151 \times 10^{-2}$$

$$\Delta_1 = (1.14m^{2.45} + 0.33) \left(\frac{d}{2S}\right)^{(0.92m + 1.66)} = 6.0836 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_2 = 0$$

$$m = \frac{\omega}{R_S} \times 10^{-7} = 0.7376 \quad (\omega = 2\pi f)$$

$$R_S = \frac{4\rho_s [1 + \alpha_s (\theta_3 - 20)]}{\pi (d_{s2}^2 - d_{s1}^2)} \times 10^6 = 5.1109 \times 10^{-5} [\Omega/\text{m}]$$

여기서,  $\rho_s$  : 20℃ 금속시스 전기저항율[Ω · m]  $\Rightarrow 2.84 \times 10^{-8}$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \alpha_s & : \text{시스의 저항온도계수} \Rightarrow 0.00403 \\ R_s & : \text{시스 저항}[\Omega/\text{m}] \\ S & : \text{도체 중심거리}[\text{mm}] \Rightarrow 360 \\ d & : \text{시스 평균직경}[\text{mm}] \Rightarrow 86.2 \\ \theta_3 & : \text{시스 온도}[\text{℃}] \Rightarrow \text{Al시스:50, Cu시스:75} \\ ds_1 & : \text{시스 평균내경}[\text{mm}] \Rightarrow 83.9 \\ ds_2 & : \text{시스 평균외경}[\text{mm}] \Rightarrow 88.5 \end{array} \right.$$

$$\therefore \lambda_1'' = \frac{R_s}{R} [g_s \lambda_0 (1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1 t_s)^4}{12 \times 10^{12}}]$$

$$= 1.2651 \times 10^{-2}$$

그러므로,

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1'' = 0.03 + 1.2651 \times 10^{-2} = 0.0427$$

#### ④ 열저항의 계산

가. 절연체의 열저항 : T1

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \cdot \ln(1 + \frac{2t_1}{d_c}) = 0.7716 \text{ [K} \cdot \text{m/W]}$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} \rho_T & : \text{절연체 고유 열저항}[\text{K} \cdot \text{m/W}] \Rightarrow 3.5 \\ d_c & : \text{도체 외경}[\text{mm}] (\text{반도전층 불포함}) \Rightarrow 24.1 \\ t_1 & : \text{절연체 두께}[\text{mm}] (\text{반도전층 포함}) \end{array} \right.$

단, 파부형 시스를 갖는 케이블의 경우는

$$t_1 = \frac{1}{2} \times [(\frac{D_{it} + D_{oc}}{2}) - t_s - d_c]$$

$$= 36.1 \text{ [mm]}$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} D_{it} & : \text{시스의 내곡경}[\text{mm}] \Rightarrow 94.1 \\ D_{oc} & : \text{시스의 외산경}[\text{mm}] \Rightarrow 103.1 \\ t_s & : \text{시스의 두께}[\text{mm}] \Rightarrow 2.3 \\ d_c & : \text{도체 외경}[\text{mm}] (\text{반도전층 불포함}) \Rightarrow 24.1 \end{array} \right.$

나. 방식층 열저항 : T3 (파부형 시스)

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \times \ln \left[ \frac{D_{oc} + 2t_3}{(\frac{D_{oc} + D_{it}}{2} + t_s)} \right] = 0.0466 \text{ [K} \cdot \text{m/W]}$$



여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} D_{it} : \text{시스의 내곡경[mm]} & \Rightarrow 94.1 \\ D_{oc} : \text{시스의 외산경[mm]} & \Rightarrow 103.1 \\ t_3 : \text{방식층의 두께[mm]} & \Rightarrow 4.5 \\ \rho_T : \text{절연체 고유 열저항[K} \cdot \text{m/W]} & \Rightarrow 3.5 \end{array} \right.$

다. 주변 열저항(관로포설) : T4 (IEC 60287-2-1)

$$T_4 = T_{41} + T_{42} + T_{43} + T'_{43}$$

(주) 되메움재의 효과에 대한 열저항  $T'_{43}$ 은 케이블 혹은 관로 주변에 원토보다 개량토로 되메움될 경우 적용.

(가) 방식층 표면방산 열저항 : T41

$$T_{41} = \frac{U}{1+0.1(V+Y\theta_m)D_e} = 0.34 \text{ [K} \cdot \text{m/W]}$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} U, V, Y : \text{관로 재질에 의한 상수[mm]} & \Rightarrow 5.20, 0.91, 0.01 \\ D_e : \text{케이블의 외경[mm]} & \Rightarrow 109 \\ \theta_m : \text{케이블과 관로사이를 채우고 있는 매질(방식층)의 평균온도[}^\circ\text{C]} & \Rightarrow 3.5 \end{array} \right.$

(나) 관 자체의 열저항 : T42

$$T_{42} = \frac{\rho_T}{2\pi} \times \ln\left(\frac{D_o}{D_d}\right) = 0.1461 \text{ [K} \cdot \text{m/W]}$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} \rho_T : \text{관의 열저항[K} \cdot \text{m/W]} & \Rightarrow 3.5 \\ D_d : \text{관의 내경[mm]} & \Rightarrow 200 \\ D_o : \text{관의 외경[mm]} & \Rightarrow 260 \end{array} \right.$

$$\therefore T_{42} = \frac{3.5}{2\pi} \times \ln\left(\frac{260}{200}\right) = 0.1461 \text{ [K} \cdot \text{m/W]}$$

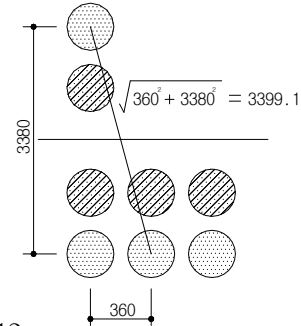
(다) 토양의 열저항(1공1조 포설) : T43

$$T_{43} = \frac{\rho_T}{2\pi} \left[ \ln\left(\frac{D_x}{D_o}\right) + L_f \ln\left(-\frac{dp_1}{dp_2}\right) \cdot \left(\frac{dp_2}{dp_2}\right) \cdot \left(\frac{dp_k}{dp_k}\right) \cdot \left(\frac{dp_q}{dp_q}\right) \right] \text{ [K} \cdot \text{m/W]}$$

여기서,  $\left\{ \begin{array}{ll} \rho_T : \text{토양의 열저항률[K} \cdot \text{m/W]} & \Rightarrow 0.9 \\ L_f : \text{부하손실율} & \Rightarrow 0.8 \\ L : \text{지표면에서 케이블의 중심간의 거리[mm]} & \Rightarrow 1690 \\ D_o : \text{관로 외경[mm]} & \Rightarrow 260 \\ D_x : \text{토양부의 열전달이 감소되는 임의의 지점[mm]} & \Rightarrow 210.82 \\ dp_k : \text{대상케이블과 상대케이블간의 길이[mm]} \\ dp'_k : \text{대상케이블과 투영된 상대 케이블간 길이[mm]} \end{array} \right.$

- 1회선기준

$$\begin{aligned}\therefore T_{43} &= \frac{0.9}{2\pi} \times \left[ \ln \left( \frac{210.8}{260} \right) + 0.8 \times \ln \left\{ \left( \frac{4 \times 1690}{210.82} \right) \times \left( \frac{3399.1}{360} \right) \times \frac{2684.2}{509.1} \right\} \right] \\ &= 0.8151 \text{ [K} \cdot \text{m/W]}\end{aligned}$$



따라서,

$$T_4 = T_{41} + T_{42} + T_{43} = 0.34 + 0.1461 + 0.8151 = 1.3012$$

그러므로, 윗 식으로부터 상시허용전류(I)를 구하면 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{\Delta_\theta - W_d 0.5 T_1 + (T_3 + T_4)}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)(T_3 + T_4)}} = 687.0318 \approx 687 \text{ [A]}$$

- 2회선기준

$$\begin{aligned}\therefore T_{43} &= \frac{0.9}{2\pi} \times \left[ \ln \left( \frac{210.8}{260} \right) + 0.8 \times \ln \left\{ \left( \frac{4 \times 1690}{210.82} \right) \times \left( \frac{3455.8}{720} \right) \times \frac{3104.6}{805} \right\} \right. \\ &\quad \left. \times \left( \frac{3399.1}{360} \right) \times \left( \frac{2684.2}{509.1} \right) \times \left( \frac{3020}{360} \right) \right] = 1.3933 \text{ [K} \cdot \text{m/W]}\end{aligned}$$

따라서,

$$T_4 = T_{41} + T_{42} + T_{43} = 0.34 + 0.1461 + 1.3933 = 1.8794$$

그러므로, 윗 식으로부터 상시허용전류(I)를 구하면 다음과 같다.

$$I = \sqrt{\frac{\Delta_\theta - W_d 0.5 T_1 + (T_3 + T_4)}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)(T_3 + T_4)}} = 606.9786 \approx 607 \text{ [A]}$$

## 6. 고장순시(단락시) 허용전류(I1)계산

(1) 적용기준 : IEC 60949

(2) 계산식

$$I_1 = \epsilon \times I_{AD}$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} I_1 & : \text{고장순시 허용전류[A]} \\ I_{AD} & : \text{단열상태의 고장순시 허용전류} \\ \epsilon & : \text{단열효과 계수} \end{cases}$$

① 단열상태의 고장순시 허용전류(IAD)

$$I_{AD}^2 t = K^2 S^2 \ln \left[ \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right]$$





$I_{AD}$  : 단열 기준으로 산출된 단락 전류(지속 기간의 실효값)[A]

$t$  : 단락의 지속시간(s)

$K$  : 전류-이동 소자의 재료에 좌우되는 상수 ( $As^{1/2}/mm^2$ )

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c(\beta+20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

KS C IEC 60649 표1에서 도체(구리)의 K값은 226이므로

$$I_{AD} = 226 A \times \sqrt{\frac{1}{t} \ln \left( \frac{234.5 + \theta_f}{234.5 + \theta_i} \right)} \quad [A]$$

여기서,  $\begin{cases} A : \text{도체 공칭단면적}[mm^2] & \Rightarrow 400 \\ t : \text{고장순시 지속시간}[sec] & \Rightarrow 0.5, 1.0, 1.7, 2.0 \\ \theta_f : \text{고장순시 초기온도}[^\circ C] & \Rightarrow 90 \\ \theta_i : \text{고장순시 최종온도}[^\circ C] & \Rightarrow 250 \end{cases}$

가.  $t=0.5$  sec 일 때

$$I_{AD} = 226 \times 400 \times \sqrt{\frac{1}{0.5} \ln \left( \frac{234.5 + 250}{234.5 + 90} \right)} = 80940.254 \quad [A]$$

나.  $t=1.0$  sec 일 때

$$I_{AD} = 226 \times 400 \times \sqrt{\frac{1}{1} \ln \left( \frac{234.5 + 250}{234.5 + 90} \right)} = 57233.403 \quad [A]$$

다.  $t=1.7$  sec 일 때

$$I_{AD} = 226 \times 400 \times \sqrt{\frac{1}{1.7} \ln \left( \frac{234.5 + 250}{234.5 + 90} \right)} = 43896.016 \quad [A]$$

라.  $t=2.0$  sec 일 때

$$I_{AD} = 226 \times 400 \times \sqrt{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{234.5 + 250}{234.5 + 90} \right)} = 40470.127 \quad [A]$$

② 단열효과 계수 :  $\epsilon$

$$\epsilon = \sqrt{1 + X \sqrt{\frac{t}{A}} + Y \left( \frac{t}{A} \right)}$$

여기서,  $\begin{cases} X : \text{접촉열저항 계수}[mm^2/S]^{1/2} & \Rightarrow \text{XLPE} : 0.41 \\ Y : \text{접촉열저항 계수}[mm^2/S]^{1/2} & \Rightarrow \text{XLPE} : 0.12 \\ t : \text{고장순시 지속시간}[sec] & \Rightarrow 0.5, 1.0, 1.7, 2.0 \end{cases}$

가.  $t=0.5$  sec 일 때

$$\epsilon = \sqrt{1 + 0.41 \times \sqrt{\frac{0.5}{400}} + 0.12 \times \left( \frac{0.5}{400} \right)} = 1.007296$$

나. t=1.0 sec 일 때

$$\epsilon = \sqrt{1 + 0.41 \times \sqrt{\frac{1}{400}} + 0.12 \times \left(\frac{1}{400}\right)} = 1.010346$$

다. t=1.7 sec 일 때

$$\epsilon = \sqrt{1 + 0.41 \times \sqrt{\frac{1.7}{400}} + 0.12 \times \left(\frac{1.7}{400}\right)} = 1.013528$$

라. t=2.0 sec 일 때

$$\epsilon = \sqrt{1 + 0.41 \times \sqrt{\frac{2}{400}} + 0.12 \times \left(\frac{2}{400}\right)} = 1.014688$$

따라서, 윗 식으로부터 고장순시 허용전류(I<sub>1</sub>)을 구하면 다음과 같다.

i) t=0.5 sec 일 때

$$I_1 = 1.007296 \times 80940.254 \times 10^{-3} = 81.53 \text{ [kA]}$$

ii) t=1.0 sec 일 때

$$I_1 = 1.010346 \times 57233.403 \times 10^{-3} = 57.83 \text{ [kA]}$$

iii) t=1.7 sec 일 때

$$I_1 = 1.013528 \times 43896.016 \times 10^{-3} = 44.49 \text{ [kA]}$$

iv) t=2.0 sec 일 때

$$I_1 = 1.014688 \times 40470.127 \times 10^{-3} = 41.07 \text{ [kA]}$$

(3) 계산 결과

시간 t	0.5[sec]	1.0[sec]	1.7[sec]	2.0[sec]
I <sub>1</sub>	81.53[kA]	57.83[kA]	44.49[kA]	41.07[kA]

## 7. 단시간 허용전류 계산

(1) 적용기준 : IEC 60853-2

(2) 계산조건

① 단시간 최고허용온도 : 105[℃]

② 주변온도 : 25[℃]

(3) 계산식

$$I_2 = I \sqrt{\frac{h_1^2 R_E}{R_{\max}} + \frac{\left(\frac{R}{R_{\max}}\right) \cdot r - h_1^2 \left(\frac{R_E}{R}\right)}{\frac{\theta_R(t)}{\theta_R(\infty)}}} \text{ [A]}$$



여기서,	$I$	: 상시 최대 허용전류[A]	$\Rightarrow 607$ (2회선기준)
	$I_E$	: 단시간 운전 직전의 통전전류[A]	$\Rightarrow 607$
	$h_1 = I_E/I = 1$		
	$R_{\max}$	: 단시간 도체최고 허용온도에서의 교류도체 실효저항[Ω/m]	
	$R$	: 상시 도체최고 허용온도에서의 교류도체 실효저항[Ω/m]	$\Rightarrow 6.26375 \times 10^{-5}$
	$R_E$	: 단시간 운전직전의 통전전류(IE)시의 교류도체 실효저항[Ω/m]	
	$\theta_R(t)$	: 상시 최대허용전류(I) 통전직후의 도체과도 온도 상승분[K]	
	$\theta_R(\infty)$	: 상시 허용도체온도 상승분[K]	
	$\theta_{\max}$	: 단시간 허용도체온도 상승분[K]	
	$r$	: 단시간 도체허용온도 상승분과 상시 도체허용온도 상승분의 비율	

표 46. 단시간허용전류 계산시 필요한 주요계수

단시간허용전류	단시간 도체허용온도 상승분과 상시 도체허용온도 상승분의 비율	단시간허용도체온도상승분 ( 유전체온도상승
	상시최대허용전류통전직후의 도체과도온도상승분	상시도체최고허용온도상승분
	단시간 허용온도에서 교류도체저항	도체의 전기저항 온도계수 과도온도상승분
		단시간 최고허용온도에서 도체직류저항

① 단시간 도체허용온도 상승분과 상시 도체허용온도 상승분의 비율 :  $r$

$$r = \frac{\theta_{\max}}{\theta_R(\infty)} = \frac{79.318}{64.318} = 1.233$$

가. 단시간 허용도체온도 상승분(K) :  $\theta_{\max}$

$$\theta_{\max} = T_7 - T_5 - \Delta\theta_d$$

여기서,	$T_7$	: 단시간 최고 허용온도(K)	$\Rightarrow 105$
	$T_5$	: 주변온도(K)	$\Rightarrow 25$
	$\Delta\theta_d$	: 유전체 온도상승	$\Rightarrow 0.6271$

(가) 유전체 온도상승 :  $\Delta\theta_d$

$$\Delta\theta_d = W_d 0.5 T_1 + n (T_3 + T_4) = 0.8494$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} W_d : \text{유전체 손실[W/n]} & \Rightarrow 0.3674 \\ T_1 : \text{절연체 열저항[K} \cdot \text{m/W]} & \Rightarrow 0.7716 \\ T_3 : \text{방식층 열저항[K} \cdot \text{m/W]} & \Rightarrow 0.0466 \\ T_4 : \text{외부 열저항[K} \cdot \text{m/W]} & \Rightarrow 1.8794 \\ n : \text{선심수} & \Rightarrow 1 \end{cases}$$

그러므로,

$$\theta_{\max} = 105 - 25 - 0.8494 = 79.151$$

나. 상시 도체 최고허용온도 상승분(K) :  $\theta_R(\infty)$

$$\theta_R(\infty) = T_6 - T_5 - \Delta\theta_d = 90 - 25 - 0.8494 = 79.151$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} T_6 : \text{단시간 최고 허용온도(K)} & \Rightarrow 90 \\ T_5 : \text{주변온도(K)} & \Rightarrow 25 \\ \Delta\theta_d : \text{유전체 온도상승} & \Rightarrow 0.8494 \end{cases}$$

② 상시 최대 허용전류 통전 직후의 도체 과도 온도 상승분 :  $\theta_R(t)$

$$\theta_R(t) = \theta_\alpha(t) = \frac{\theta(t)}{1 + \alpha \{ \theta(\infty) - \theta(t) \}}$$

가. 도체의 전기저항 온도계수 :  $\alpha$

$$\alpha = \frac{1}{\beta + \theta_i} = \frac{1}{234.5 + 25.58} = 3.845 \times 10^{-3}$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} \beta : 0^\circ\text{C에서 저항 온도계수의 역수(K)} & \Rightarrow 234.5 \\ \theta_i : \text{과도시점에서의 도체온도(K)} & \\ \theta_i = T_5 + \Delta\theta_d = 25 + 0.8494 = 25.849 \end{cases}$$

나. 과도 온도 상승분 :  $\theta(t)$

$$\theta(t) = \theta_c(t) + a(t) \cdot \theta_e(t) \text{ [K]}$$

(가) 케이블 표면온도 이상으로 상승되는 도체의 과도온도상승 :  $\theta_c(t)$

$$\theta_c(t) = W_c \cdot T_a (1 - e^{-at}) + T_b (1 - e^{-bt}) \text{ [K]}$$

(ㄱ) 도체손실 :  $W_c$

$$W_c = I^2 \cdot R = 30.168 \text{ [W/m]}$$

(ㄴ) 케이블 부분 과도온도상승 계산을 위한 계수 a, b

$$a = \frac{M_0 + \sqrt{M_0^2 - N_0}}{N_0} \quad b = \frac{M_0 - \sqrt{M_0^2 - N_0}}{N_0}$$

$$M_0 = \frac{1}{2} Q_A (T_A + T_B) + Q_B T_B \quad N_0 = Q_A T_A Q_B T_B$$



$$\textcircled{㉑} Q_A = Q_c + PQ_i$$

㉒ 도체의 열용량[J/m · K] :  $Q_c$

$$Q_c = A_c \sigma_c \times 10^{-6} = 1380 \text{ [J/m} \cdot \text{K]}$$

여기서,  $\begin{cases} A_c : \text{도체의 단면적}[\text{mm}^2] & \Rightarrow 400 \\ \sigma_c : \text{도체 체적 열용량}[\text{J/m}^3 \cdot \text{K}] & \Rightarrow \begin{matrix} 3.45 \times 10^6 \text{ IEC 60853-2} \\ \text{Table E2} \end{matrix} \end{cases}$

㉓ 유전체 열용량을 분해하기 위한 계수 :  $P$

$$P = \frac{1}{2 \ln(\frac{D_i}{d_c})} - \frac{1}{(\frac{D_i}{d_c})^2 - 1} = 0.3234$$

여기서,  $\begin{cases} D_i : \text{절연외경}[\text{mm}] \text{ (반도전층 포함)} & \Rightarrow 76.1 \\ d_c : \text{도체외경}[\text{mm}] & \Rightarrow 24.1 \end{cases}$

㉔ 유전체 열용량[J/m · K] :  $Q_i$

$$Q_i = A_i \sigma_i \times 10^{-6} = 10916.18$$

여기서,  $\begin{cases} A_i : \text{절연층 단면적}[\text{mm}^2] \text{ (반도전층 포함)} \\ A_i = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{\pi \times 76.1^2}{4} = 4548.41 \\ \sigma_i : \text{절연체 체적 열용량}[\text{J/m}^3 \cdot \text{K}] & \Rightarrow \begin{matrix} 2.4 \times 10^6 \text{ IEC 60853-2} \\ \text{Table E1} \end{matrix} \end{cases}$

$$\therefore Q_A = Q_c + P Q_i = 1380 + 0.3234 \times 10916.18 = 4910.29$$

$$\textcircled{㉕} Q_B = \frac{(1-P)Q_i + (Q_s + Q_j + 0.5Q_d)}{q_s} = 71474.68$$

㉖ 금속시스의 열용량[J/m · K] :  $Q_s$

$$Q_s = A_s \sigma_s \times 10^{-6} = 1000$$

㉗ 방식층의 열용량[J/m · K] :  $Q_j$

$$Q_j = A_j \sigma_j \times 10^{-6} = 2429.28$$

여기서,  $\begin{cases} A_j : \text{방식층 단면적}[\text{mm}^2] & \Rightarrow 1012.2 \\ \sigma_j : \text{방식층 체적 열용량}[\text{J/m}^3 \cdot \text{K}] & \Rightarrow \text{XLPE } 2.4 \times 10^6 \end{cases}$

㉘ 관로의 열용량[J/m · K] :  $Q_d$

$$Q_d = A_d \sigma_d \times 10^{-6} = 127422.96$$

여기서,  $\begin{cases} A_d : \text{관로의 단면적}[\text{mm}^2] & \Rightarrow 53092.9 \\ \sigma_d : \text{관로 체적 열용량}[\text{J/m}^3 \cdot \text{K}] & \Rightarrow \text{PE } 2.4 \times 10^6 \end{cases}$

$$\text{라) } q_s = \frac{(W_c + W_s)}{W_c} = 1 + \lambda_1 = 1.0427$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} W_c : \text{도체손실[W/m]} \\ W_s : \text{시스손실[W/m]} = \lambda_1 + W_c \\ \lambda_1 : \text{시스의 손실율} \end{cases} \Rightarrow 0.043$$

$$\text{㉞) } T_A = T_1 \text{ [K}\cdot\text{m/W]}$$

$$\text{여기서, } T_1 : \text{절연체의 열저항} \Rightarrow 0.6955$$

$$\text{㉟) } T_B = q_s (T_3 + T_{41} + T_{42}) = 0.555 \text{ [K}\cdot\text{m/W]}$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} T_3 : \text{방식층 열저항} & \Rightarrow 0.0466 \\ T_{41} : \text{방식층 표면방산 열저항} & \Rightarrow 0.34 \\ T_{42} : \text{관 자체의 열저항} & \Rightarrow 0.1461 \end{cases}$$

따라서,

$$M_O = \frac{1}{2} Q_A (T_A + T_B) + Q_B T_B = 22904.38$$

$$N_O = Q_A T_A Q_B T_B = 135471980.3$$

$$a = \frac{M_O + \sqrt{M_O^2 - N_O}}{N_O} = 3.1468 \times 10^{-4}$$

$$b = \frac{M_O - \sqrt{M_O^2 - N_O}}{N_O} = 2.3457 \times 10^{-5}$$

(ㄷ) 케이블부분 과도 온도상승 계산을 위한 열저항 :  $T_a, T_b$

$$T_a = \frac{1}{a-b} \times \frac{1}{Q_A} - b(T_A + T_B) = 0.5986 \text{ [K}\cdot\text{m/W]}$$

$$T_b = T_A + T_B - T_a = 1.8491 \text{ [K}\cdot\text{m/W]}$$

그러므로,

$$\theta_c(t) = W_c \cdot T_a (1 - e^{-at}) + T_b (1 - e^{-bt}) \text{ [K]} \text{로부터}$$

㉡)  $t=1$  시간(3600 sec) 일 때

$$\theta_c(1) = 9.515 \text{ [K]}$$

㉢)  $t=4$  시간(14400 sec) 일 때

$$\theta_c(4) = 14.196 \text{ [K]}$$

㉤)  $t=12$  시간(43200 sec) 일 때

$$\theta_c(12) = 14.993 \text{ [K]}$$

㉥)  $t=24$  시간(48600 sec) 일 때

$$\theta_c(24) = 15.421 \text{ [K]}$$



$$(나) a(t) = \frac{Q_c(t)}{W_c(T_A + T_B)}$$

(ㄱ) t=1 시간(3600 sec)일 때

$$a(1) = 0.33$$

(ㄴ) t=4 시간(14400 sec)일 때

$$a(4) = 0.492$$

(ㄷ) t=12 시간(43200 sec)일 때

$$a(12) = 0.52$$

(ㄹ) t=24 시간(86400 sec)일 때

$$a(24) = 0.534$$

(다) 케이블 표면의 과도온도상승 :  $\theta_e(t)$

$$\begin{aligned} \theta_e(t) = & \frac{\rho_T W_1}{4\pi} \left[ \left\{ -E_i \left( \frac{-D_e^2}{16t\delta} \right) - \left\{ -E_i \left( \frac{-L^2}{t\delta} \right) \right\} \right\} \right. \\ & \left. + \sum_{K=0}^{N-1} \left\{ -E_i \left( \frac{-(d_{PK})^2}{4t\delta} \right) - \left\{ -E_i \left( \frac{-(d'_{PK})^2}{4t\delta} \right) \right\} \right\} \right] \end{aligned}$$

여기서,  $W_1$  : 전력손실 합[W/m] (IEC 60853-2 Table F1 참조)

$$W_1 = \text{도체(Cu) loss} + \text{시스(Al) loss} = 30.3 + 2.1 = 32.4 \text{ [W/m]}$$

$$\rho_T : \text{토양의 열저항} [\text{K} \cdot \text{m/W}] \Rightarrow 0.9$$

$-E_i(-X)$  : 지수 적분함수

시 간(hour) <sec>		1 <3600>	4 <14400>	12 <43200>	24 <86400>
구 분					
$\frac{D_e^2}{16t\delta}$	X	0.413	0.103	0.034	0.017
	-Ei(-X)	0.68	1.82	2.835	3.515
$\frac{(d_{PK})^2}{4t\delta}$	X	18	4.5	1.5	0.75
	-Ei(-X)	0.01	0.01	0.1	0.342

$D_e$  : 케이블 외경[m]  $\Rightarrow 0.109$

$\delta$  : 토양의 열분산성[m<sup>2</sup>/s]  $\Rightarrow 0.5 \times 10^{-6}$  [IEC 60853-2 Table D1]

$L$  : 기준 케이블의 중심깊이[m]  $\Rightarrow 1.69$

$d_{pk}$  : 기준 케이블의 K 케이블과의 거리[m]  $\Rightarrow 0.36$

$d'_{pk}$  : 기준 케이블과의 표면 투영된 K 케이블과의 거리[m]  $\Rightarrow 3.399$

$N$  : 케이블 회선수  $\Rightarrow 2$  (2회선기준)

따라서, 케이블 표면의 과도온도 상승값  $\theta_e(t)$ 를 구하면

(ㄱ)  $t=1$  시간(3600 sec)일 때

$$\theta_e(1) = 1.805$$

(ㄴ)  $t=4$  시간(14400 sec)일 때

$$\theta_e(4) = 4.744$$

(ㄷ)  $t=12$  시간(43200 sec)일 때

$$\theta_e(12) = 7.825$$

(ㄹ)  $t=24$  시간(86400 sec)일 때

$$\theta_e(24) = 10.826$$

그러므로, 과도온도 상승분  $\theta(t)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\therefore \theta(t) = \theta_c(t) + a(t) \times \theta_e(t) \text{ [K]}$$

( i )  $t=1$  시간(3600 sec)일 때

$$\theta(1) = 10.111$$

( ii )  $t=4$  시간(14400 sec)일 때

$$\theta(4) = 16.53$$

( iii )  $t=12$  시간(43200 sec)일 때

$$\theta(12) = 19.062$$

( iv )  $t=24$  시간(86400 sec)일 때

$$\theta(24) = 21.202$$

$\therefore$  상시 최대 허용전류 통전 직후의 도체 과도온도 상승분을 구하면 다음과 같다.

$$\theta_R(t) = \frac{\theta(t)}{1 + \alpha \{ \theta_R(\infty) - \theta(t) \}} \text{ 이므로}$$

i )  $t=1$  시간(3600 sec)일 때

$$\theta_R(1) = 8.373$$

ii )  $t=4$  시간(14400 sec)일 때

$$\theta_R(4) = 13.974$$

iii )  $t=12$  시간(43200 sec)일 때

$$\theta_R(12) = 16.248$$

iv )  $t=24$  시간(86400 sec)일 때

$$\theta_R(24) = 18.2$$

시 간(t)	1 시간	4 시간	12 시간	24 시간
$\theta_R(t)$	8.373	13.974	16.248	18.20





다. 단시간 허용온도에서 교류 도체저항 :  $R_{\max}$

$$R_{\max} = R'_{\max} (1 + Y_S + Y_P) = 6.5533 \times 10^{-5} [\Omega/m]$$

여기서,  $\begin{cases} R'_{\max} : \text{단시간 최고 허용온도에서 도체직류저항} [\Omega/m] \\ Y_S : \text{표피효과 계수} \Rightarrow 3.133 \times 10^{-2} \\ Y_P : \text{근접효과 계수} \Rightarrow 3.6874 \times 10^{-4} \end{cases}$

(가) 단시간 최고 허용온도에서 도체직류저항 :  $R'_{\max}$

$$R'_{\max} = R_0 \{1 + \alpha_{20} (\theta - 20)\} = 6.352 \times 10^{-5} [\Omega/m]$$

여기서,  $\begin{cases} R_0 : 20^\circ\text{C에서의 직류도체 저항} [\Omega/m] \Rightarrow 4.7614 \times 10^{-5} \\ \alpha_{20} : \text{도체의 저항온도 계수} \Rightarrow 3.93 \times 10^{-3} \\ \theta : \text{단시간 최고허용온도} [^\circ\text{C}] \Rightarrow 105 \end{cases}$

아래 식으로부터 단시간 허용전류( $I_2$ )를 구하면 다음과 같다.

$$I_2 = I \times \sqrt{\frac{h_1^2 R_E}{R_{\max}} + \frac{(\frac{R}{R_{\max}}) \cdot r - h_1^2 (\frac{R_E}{R})}{\frac{\theta_R(t)}{\theta_R(\infty)}}} \quad [A]$$

(ㄱ) t=1 시간(3600 sec)일 때

$$I_2 = 607 \times \sqrt{\frac{1^2 \times 6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} + \frac{\frac{6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} \times (1.234 - 1^2 \times 1)}{\frac{8.373}{64.151}}} = 991.738 [A]$$

(ㄴ) t=4 시간(14400 sec)일 때

$$I_2 = 607 \times \sqrt{\frac{1^2 \times 6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} + \frac{\frac{6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} \times (1.234 - 1^2 \times 1)}{\frac{13.974}{64.151}}} = 854.68 [A]$$

(ㄷ) t=12 시간(43200 sec)일 때

$$I_2 = 607 \times \sqrt{\frac{1^2 \times 6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} + \frac{\frac{6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} \times (1.234 - 1^2 \times 1)}{\frac{16.248}{64.151}}} = 823.123 [A]$$

(ㄹ) t=24 시간(86400 sec)일 때

$$I_2 = 607 \times \sqrt{\frac{1^2 \times 6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} + \frac{\frac{6.26375 \times 10^{-5}}{6.5533 \times 10^{-5}} \times (1.234 - 1^2 \times 1)}{\frac{18.2}{64.151}}} = 801.645 [A]$$

(4) 계산 결과

시 간(t)	1 시간	4 시간	12 시간	24 시간
$I_2$ [A]	991.738	854.68	823.123	801.645



## 해설 15. 지중수전선로 임피던스 계산의 예

### 1. 계산조건

(1) 전선종류

154kV XLPE 400[mm<sup>2</sup>]/1C (Al Sheath)

(2) 케이블 관련 Data(제작사 수치)

- 도체외경 : 24.1[mm]

- 시스평균내경 : 83.9[mm]

- 시스평균외경 : 88.5[mm]

(3) 최대 도체저항(20℃)

$$R_0 = 0.0462 [\Omega/\text{km}] = 0.0462 \times 10^{-5} [\Omega/\text{cm}]$$

(4) 시스접지 : Cross-Bond 방식

(5) 도체배열 : 사각형 배열

(6) 평균 선간거리 : d<sub>12</sub>=360[mm], d<sub>23</sub>=360[mm], d<sub>31</sub>=509.117[mm]

(7) 등가 선간거리

$$DE = \sqrt[3]{d_{12} \times d_{23} \times d_{31}} = 404.086[\text{mm}]$$

(8) 관로 : FEP(파상형 전선관) 200Φ x 6공

(9) 대지고유저항(ρ) : 100[Ω · m]

### 2. 정상 및 역상 임피던스(Z<sub>1</sub>=Z<sub>2</sub>)

단심케이블에서는 각 상 간격의 차가 크고 항상 부하전류에 의해서도 Sheath 전류가 흐르기 쉬우므로 Sheath를 적당한 간격으로 절연하고 상간 연가 및 접지 등을 하여 Sheath전류를 억제하는 Sheath의 결합방식이 취해진다.

그러나 Sheath 전류의 저감은 가능하지만 불평형 요소로 인한 Sheath 전류가 흐르므로 상시 Sheath 전류의 영향을 고려할 때의 정상 임피던스는 다음과 같이 구한다.

$$Z_1 = R_c + \frac{R_s X_m^2}{R_s^2 + X_m^2} + j \left( 0.17365 \log \frac{GMD_{3C}}{GMR_{1C}} - \frac{X_m^3}{R_s^2 + X_m^2} \right) [\Omega/\text{km}]$$

여기서,  $R_c$  : 케이블의 도체저항[Ω/km]

$$\Rightarrow 0.0609$$

$GMD_{3C}$  : 3 Cable간의 기하학적 평균거리[mm]

$$\Rightarrow 404.086$$

$GMR_{1C}$  : Cable 한 개(1상분)의 기하학적 평균반경[mm]

$$\Rightarrow 9.387(0.779a)$$

$R_s$  : Sheath의 저항[Ω/km]

$$\Rightarrow 0.0509$$

$X_m$  : 도체와 Sheath간의 상호 리액턴스[Ω/km]

$$\Rightarrow 0.1688R_c$$

(1) 케이블의 도체저항(Rc)

케이블의 도체저항은 아래와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} R_c &= R_o \times K_1 \times K_2 \\ &= 0.0462 \times 1.2751 \times 1.03351 \\ &= 0.0609[\Omega/\text{km}] \end{aligned}$$

① 최고 허용온도의 도체저항과 20℃에서의 도체저항의 비(K<sub>1</sub>)

$$K_1 = 1 + \alpha(T_1 - 20) = 1 + 0.00393(90^\circ - 20^\circ) = 1.2751$$

여기서, T<sub>1</sub>(도체온도) : 90℃

α(저항온도계수) : 0.00393

② 교류저항과 직류저항의 비(K<sub>2</sub>)

$$K_2 = 1 + \lambda_s + \lambda_p = 1 + 0.0332 + 0.000309 = 1.033509 \approx 1.03351$$

여기서, λ<sub>s</sub> : 표피효과계수 ⇒ 0.0332

λ<sub>p</sub> : 근접효과계수 ⇒ 0.000309

◆ 표피효과계수(λ<sub>s</sub>)

$$\lambda_s = F(X)$$

$$X = \sqrt{\frac{8\pi f \mu_s \times K_{s1}}{R_o K_1 \times 10^9}} \approx 1.6$$

여기서, K<sub>s1</sub> : 1 (비분해 도체)

R<sub>o</sub>K<sub>1</sub> : 사용온도 90℃에서의 직류 도체저항[Ω/cm]

μ<sub>s</sub> : 도체의 비유전율(보통 Cu 및 Al에서 μ<sub>s</sub> = 1)

그리고, λ<sub>s</sub>의 간략식으로 X < 2.8일 때 다음 식을 적용하여 구한다.

$$\lambda_s = F(X) = \frac{X^4}{192 + 0.8X^4} = \frac{1.6^4}{192 + 0.8 \times 1.6^4} = 0.0332$$

◆ 근접효과계수(λ<sub>p</sub>)

$$\lambda_p = \frac{\frac{3}{2}(\frac{d_1}{S})G(X')}{1 - \frac{5}{24}(\frac{d_1}{S})H(X')} \quad \text{이나}$$

λ<sub>p</sub>의 간략 식으로 X' < 2.8 일 때 다음 식을 적용하여 구한다.

$$\lambda_p = \frac{(X')^4}{192 + 0.8 \times (X')^4} \times \left( \left( \frac{d_1}{S} \right)^2 \left[ 0.312 \left( \frac{d_1}{S} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{(X')^4}{192 + 0.8(X')^4} + 0.27} \right] \right)$$



여기서,  $d_i$ (도체외경) : 24.1 [mm]

$S$ (도체 중심거리) : 404.086 [mm] (GMD<sub>3C</sub>)

$$X' = \sqrt{0.8} X = 0.894X = 1.4304 < 2.8$$

$$\lambda_p = \frac{(1.4304)^4}{192 + 0.8 \times (1.4304)^4} \times \left(\frac{24.1}{404.086}\right)^2 \times \left[0.312 \times \left(\frac{24.1}{404.086}\right)^2 + \frac{1.18}{\frac{(1.4304)^4}{192 + 0.8 \times (1.4304)^4} + 0.27}\right] = 3.08725 \times 10^{-4} = 0.000309$$

(2) Sheath의 저항( $R_s$ )

$$R_s = \frac{4 \rho_s \{1 + \alpha_s (\theta_s - 20^\circ)\}}{\pi(d_{s2}^2 - d_{s1}^2)} [\Omega/\text{km}]$$

여기서,  $R_s$  : Sheath의 저항 [ $\Omega/\text{km}$ ]

$$\begin{cases} \rho_s : \text{Sheath의 고유저항} [\mu\Omega\text{-cm}] & (\text{Al-Sheath}) & \Rightarrow 2.825 \\ \alpha_s : \text{Sheath의 온도저항 계수} & (\text{Al-Sheath}) & \Rightarrow 0.00403 \\ \theta_s : \text{Sheath의 최고허용온도} [^\circ\text{C}] & (\text{Al-Sheath}) & \Rightarrow 50 \end{cases}$$

$d_{s1}, d_{s2}$  : Sheath의 평균 내경, 외경 [mm]

$$R_s = \frac{4 \times 2.825 \times 10^{-6} \times \{1 + 4.03 \times 10^{-3} (50^\circ - 20^\circ)\}}{\pi(8.85^2 - 8.39^2)} [\Omega/\text{cm}] = 0.0509 [\Omega/\text{km}]$$

(3) 도체와 Sheath간의 상호리액턴스( $X_m$ )

$$X_m = 0.17365 \times \frac{f}{60} \times \log \frac{\text{GMD}_{3C}}{r_{sm}} [\Omega/\text{km}] = 0.17365 \times \frac{f}{60} \times \log \frac{404.086}{\frac{(88.5 + 83.9)}{4}} [\Omega/\text{km}]$$

$$= j 0.1688 [\Omega/\text{km}]$$

(4) 정상 및 역상 임피던스( $Z_1 = Z_2$ )

$$Z_1 = R_c + \frac{R_s X_M^2}{R_s^2 + X_M^2} + j \left( 0.17365 \log \frac{\text{GMD}_{3C}}{\text{GMR}_{1C}} - \frac{X_M^3}{R_s^2 + X_M^2} \right) [\Omega/\text{km}]$$

$$= 0.1076 + j0.129 [\Omega/\text{km}]$$

Cable 1상분의 기하학적 평균반경	$\text{GMR}_{1C}$	9.387
3상 Cable간의 기하학적 평균거리	$\text{GMD}_{3C}$	404.086

정상임피던스를 100MVA기준 %임피던스로 환산하면,

$$\begin{aligned}
 \therefore \%Z_1 &= \frac{100 \times 1000}{10 \times [kV]^2} \times Z_1 \quad [\%] \Rightarrow 100 [MVA]_{\square} \\
 &= \frac{100 \times 1000}{10 \times 154^2} \times (0.1076 + j0.129) \\
 &= 0.0454 + j0.0544 [\%]
 \end{aligned}$$

### 3. 영상임피던스( $Z_0$ )

Cable 영상Impedance는 지락전류의 귀로에 따라 영향을 받으므로 지락전류의 귀로가 대지와 Sheath를 공통으로 하는 경우 영상Impedance는 다음과 같이 구한다.

$$Z_0 = Z_c - \frac{Z_m^2}{Z_s} [\Omega/km]$$

(참고문헌 : Electrical Transmission and Distribution, Westing House)

여기서,  $Z_c$  : Cable 도체만의 영상Impedance

$Z_m$  : Cable 도체와 Sheath간의 3상분 일괄 대지귀로 상호Impedance

$Z_s$  : Cable Sheath의 일괄 대지귀로 Impedance

Cable 도체만의 영상Impedance( $Z_c$ )

$$Z_c = R_c + R_e + j0.5209 \times \frac{f}{60} \times \log_{10} \frac{D_e}{GMR_{3C}} [\Omega/km]$$

여기서,  $R_c$  : 도체의 저항 [ $\Omega/km$ ]  $\Rightarrow 0.0609$

$R_e$  : 대지귀로의 등가저항 [ $\Omega/km$ ]  $\Rightarrow 0.1775$

$GMR_{3C}$  : 3상 Cable도체 전체를 하나의 단도체로 간주한 경우

그 단도체의  $GMR[mm]$

$$GMR_{3C} = \sqrt[3]{(GMR_{1C}) \cdot (GMD_{3C})^2} [mm] \Rightarrow 115.299 [mm]$$

$D_e$  : 등가 대지귀로까지의 거리[mm]

$$D_e = \frac{660}{\sqrt{f \cdot \sigma}} = 660 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = 852.056 [m] = 852056 [mm]$$

$\rho$  : 대지저항율 [ $\Omega \cdot m$ ]  $\Rightarrow 100$ ,  $\sigma$ : 대지도전율,  $f$ :계통주파수

$$\begin{aligned}
 \therefore Z_c &= 0.0609 + 0.1775 + j0.5209 \times \frac{60}{60} \times \log_{10} \frac{852056}{115.299} \\
 &= 0.2384 + j2.0152 [\Omega/km]
 \end{aligned}$$

Cable 도체와 Sheath간의 3상분 일괄대지귀로 상호Impedance( $Z_m$ )

$$Z_m = R_e + j0.5209 \times \frac{f}{60} \times \log_{10} \frac{D_e}{D_m} [\Omega/km]$$



여기서,  $D_m$  : 3상분 일괄의 Sheath와 도체간의 GMD

$$D_m \doteq GMR_{3s} \Rightarrow 191.64[\text{mm}]$$

$GMR_{3s}$  : 3상분 일괄 Sheath의 GMR

$$GMR_{3s} = \sqrt[3]{r_{sm} \cdot (GMD_{3c})^2} [\text{mm}] \Rightarrow 191.64[\text{mm}]$$

$r_{sm}$  : Sheath의 평균반경

$$\Rightarrow \frac{r_o + r_i}{2} = 43.1$$

$r_o$  : Sheath의 외반경  $\Rightarrow 44.25$

$r_i$  : Sheath의 내반경  $\Rightarrow 41.95$

$$Z_m = 0.1775 + j0.5209 \times \frac{60}{60} \times \log_{10} \frac{852056}{191.64}$$

$$= 0.1775 + j1.901 \quad [\Omega/\text{km}]$$

Cable Sheath의 일괄대지귀로 Impedance( $Z_s$ )

$$Z_s = R_s + R_e + j0.5209 \times \frac{f}{60} \times \log_{10} \frac{D_e}{GMR_{3s}} [\Omega/\text{km}]$$

여기서,  $R_s$  : Sheath의 저항  $\Rightarrow 0.0509$

$$R_s = \frac{4 \rho_s \{1 + \alpha_s (\theta_s - 20)\}}{\pi (d_{s2}^2 - d_{s1}^2)} [\Omega/\text{cm}]$$

$R_e$  : 대지의 등가저항  $[\Omega/\text{km}] \Rightarrow 0.1775[\Omega/\text{km}]$

$$Z_s = 0.0508 + 0.1775 + j0.5209 \times \frac{60}{60} \times \log_{10} \frac{852056}{191.64}$$

$$= 0.2284 + j1.901 [\Omega/\text{km}]$$

따라서,

$$Z_0 = Z_c - \frac{Z_m^2}{Z_s} [\Omega/\text{km}] \quad \text{이므로,}$$

$$Z_0 = (0.2384 + j2.0152) - \frac{(0.1775 + j1.901)^2}{(0.2283 + j1.901)}$$

$$= 0.1115 + j0.1156 \quad [\Omega/\text{km}]$$

영상 임피던스를 100MVA기준 %임피던스로 환산하면,

$$\therefore \%Z_0 = \frac{100 \times 1000}{10 \times [kV]^2} \times Z_0 [\%] \Rightarrow 100[\text{MVA}]_{\square}$$

$$= \frac{100 \times 1000}{10 \times 154^2} \times (0.1115 + j0.1156)$$

$$= 0.0470 + j0.0487 \quad [\%]$$

#### 4. 계산결과

구 분		지중 선로 XLPE 400[mm <sup>2</sup> ]
정상, 역상 임피던스 ( $Z_1=Z_2$ )	$\Omega/\text{상}/\text{km}$	$0.1076 + j \ 0.129$
	%/km	$0.0454 + j \ 0.0544$
영상 임피던스 ( $Z_0$ )	$\Omega/\text{상}/\text{km}$	$0.1115 + j \ 0.1156$
	%/km	$0.0470 + j \ 0.0487$





## 해설 16. 케이블 설치

### 1. 부설방식의 종류

전 선 로 별	부 설 방 식 별	비 고
지 중 전 선 로	직 매 식	전용부지일 경우 적용
"	관 로 식	일반적인 보편방식임
"	전 력 구 식	주로 전력회사 전용
"	덕 트 식	주로 S/S구내에 적용
터널 내 전선로	터 널 용	
수저 전선로	해 저 용	
특수개소의 전선로	지상 전선로	
"	교량첨가식 전선로	
"	전용교식 전선로	

### 2. 부설방식의 선정

부설방식의 선정시에는 장래의 계통구성, 소요 송전용량, 경과지, 케이블 종류 등의 기본이 되는 제조건 및 환경보전, 시공조건, 사고대책, 설비변경 등을 고려하여야 한다.

#### (1) 직매식

장래 지중선의 증설 전망이 없고 향후 굴착이 용이한 발·변전소, 개폐소, 케이블 헤드(Cable Head)부지, 수용가 구내 등에서 동일 경과지에 2회선 이하의 케이블을 시설하는 경우

#### (2) 관로식

① 동일 경과지에 케이블을 다회선 시설할 경우로서 회선수가 표 이하일 때

송전 회선수	비 고
2회선	송전 1공1조식이며, 예비관로는 본 규정과 무관함.
3회선	
4회선	

② 케이블의 증설 및 교체가 예상될 경우

③ 경과지가 도로이거나 도로개설이 예상될 경우

④ 직매식이 불리할 경우

#### (3) 덕트식

발·변전소, 개폐소, 케이블 헤드부지, 수용가 구내 등에서 중량물의 영향을 받는 장소

### 3. 부설위치

지중전선로는 시공 및 운영이 용이한 위치에 부설한다.

#### (1) 도로에 매설하는 경우

- ① 해당 도로관리자와 협의 결정한 위치
- ② 지중전선로의 중심선과 도로의 중심선이 가급적 교차하지 않도록 시설한다.

### 4. 매설깊이

#### (1) 직매식

지중전선을 콘크리트제 등의 견고한 트로프에 넣어 아래 조건에 따라 시설한다.

- ① 차도 및 중량물의 영향을 받을 우려가 있는 경우는 1.0m 이상
- ② 기타의 장소는 0.6m 이상
- ③ 굴착으로부터 케이블 보호를 위하여 표지시트를 지표면의 약 30cm 또는 포장두께, 매설깊이에 따라 적당한 깊이에 시설한다.

#### (2) 관로식

- ① 매설깊이는 직매식에 준하며 해당 경과지 관리자와 별도 협의가 있는 경우는 이에 따른다.
- ② 굴착으로부터 케이블을 보호하기 위하여 표지시트 또는 보호판을 아래 기준에 의해 시설한다.

▶ 송전 단독관로 : 케이블 보호판을 최상단 관로상부 약 50cm 위치에 시설한다.

### 5. 지중전선로의 이격거리

#### (1) 지중전선과 지중약전류전선 등과의 접근 또는 교차

- ① 지중전선이 지중약전류전선 등과 접근하거나 교차하는 경우에 상호간의 이격거리가 저압 또는 고압의 지중전선은 30cm 이하, 특별고압 지중전선은 60cm 이하인 때에는 지중전선과 지중약전류전선 등 사이에 견고한 내화성(콘크리트 등의 불연재료로 만들어진 것으로 케이블의 허용온도 이상으로 가열시킨 상태에서도 변형 또는 파괴되지 않는 재료를 말한다)의 격벽을 설치하는 경우 이외에는 지중전선을 견고한 불연성 또는 난연성의 관에 넣어 그 관이 지중 약전류전선 등과 직접 접촉하지 아니하도록 하여야 한다. 다만, 다음 각 호에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다.

가. 지중 약전류전선 등이 전력보안 통신선인 경우에 불연성 또는 자소성이 있는 난연성의 재료로 피복한 광섬유케이블인 경우 또는 불연성 또는 자소성이 있는 난연성의 관에 넣은 광섬유케이블인 경우

나. 지중전선이 저압의 것이고 지중 약전류전선 등이 전력보안 통신선인 경우

다. 고압 또는 특별고압의 지중전선을 전력보안 통신선에 직접 접촉하지 아니하도록



시설하는 경우

라. 지중 약전류전선 등이 불연성 또는 자소성이 있는 난연성의 재료로 피복한 광섬유 케이블인 경우 또는 불연성 또는 자소성이 있는 난연성의 관에 넣은 광섬유케이블로서 그 관리자와 협의한 경우

마. 사용전압 170,000KV 미만의 지중전선으로서 지중 약전류전선 등의 관리자와 협의하여 상호이격거리를 10cm이상으로 하는 경우

② 특별고압 지중전선이 가연성이나 유독성의 유체를 내포하는 관과 접근하거나 교차하는 경우에는 상호간의 이격거리가 1m 이하인 때에는 지중전선과 관 사이에 견고한 내화성의 격벽을 시설하는 경우 이외에는 지중전선을 견고한 불연성 또는 난연성의 관에 넣어 그 관이 가연성이나 유독성의 유체를 내포하는 관과 직접 접촉하지 아니하도록 시설하여야 한다.

③ 특별고압지중전선이 ②항에 규정한 관 이외의 관과 접근하거나 교차하는 경우에 상호간의 이격거리가 30cm 이하인 경우에는 지중전선과 관 사이에 견고한 내화성 격벽을 시설하는 경우 이외에는 견고한 불연성 또는 난연성의 관에 넣어 시설하여야 한다.

다만, ②항에 규정한 관 이외의 관이 불연성인 경우 또는 불연선의 재료로 피복된 경우에는 그러하지 아니하다.

(2) 지중전선 상호간의 접근 또는 교차

저압지중전선이 고압지중전선과 저압이나 고압의 지중전선이 특별고압지중전선과 접근하거나 교차하는 경우에 맨홀(지중함)내에 이외의 곳에서 상호간의 거리가 30cm (저압지중전선과 고압지중전선에 있어서는 15cm) 이하인 때에는 다음 각 호에 해당하는 경우에 한하여 시설할 수 있다.

다만, 지중전선로의 사용전압이 170,000V 미만인 경우에 특별한 이유에 의하여 시·도지사의 인가를 받은 경우에는 그러하지 아니한다.

① 각각의 지중전선이 다음에 해당하는 경우

가. 난연성의 피복이 있는 것을 사용하는 경우

나. 견고한 난연성의 관에 넣어 시설하는 경우

② 어느 한쪽의 지중전선에 불연성의 피복으로 되어 있는 것을 사용하는 경우

③ 어느 한쪽의 지중전선을 견고한 불연성의 관에 넣어 시설하는 경우

④ 지중전선 상호간에 견고한 내화성의 격벽을 설치한 경우

## 6. 케이블 포설

(1) 케이블의 표준여유길이

① 직매식

가. 직매길이의 2%이내

- 나. 접속 및 오프셋트 여유길이 : 2m(양측 맨홀의 합계임)
- ② 관로 및 전력구식
- 가. 관로길이의 1% 이하, 전력구 길이의 0.5% 이하
- 나. 접속 및 오프셋트 여유길이 : 2m(양측 맨홀의 합계임)
- ③ 케이블 입상(중단 개소) : 1.5m(개소당)
- (2) 케이블 포설 공사시의 허용곡률반경

표 47. 허용곡률반경

선 심 케이블 종별	단 심	비 고
66kV XLPE	10 D	D <sub>S</sub> : 케이블 금속차폐층의 평균외경 D : 케이블 외경
66kV TFR-CV	15 D <sub>S</sub>	
154kV XLPE	20 D <sub>S</sub>	

$$\text{㉞ } D_S = \frac{(D_f + D_a)r}{2r} + t_s$$

단, D<sub>f</sub>: 시스 최소내경, D<sub>a</sub>: 시스 최외경, t<sub>s</sub>: 시스두께

㉞ 66kV케이블 시스가 알루미늄인 경우 15D<sub>S</sub>적용

### (3) 케이블 포설장력

#### ① 허용장력

표 48. 허용장력

도 체	허 용 장 력 (N)	비 고
동	68[N/mm <sup>2</sup> ]×케이블 선심수×케이블 도체단면적[mm <sup>2</sup> ]	단심케이블 3조 일괄포설의 경우는 선심수를 2로 한다.
알루미늄	39[N/mm <sup>2</sup> ]×케이블 선심수×케이블 도체단면적[mm <sup>2</sup> ]	

#### ② 허용축압

표 49. 허용축압

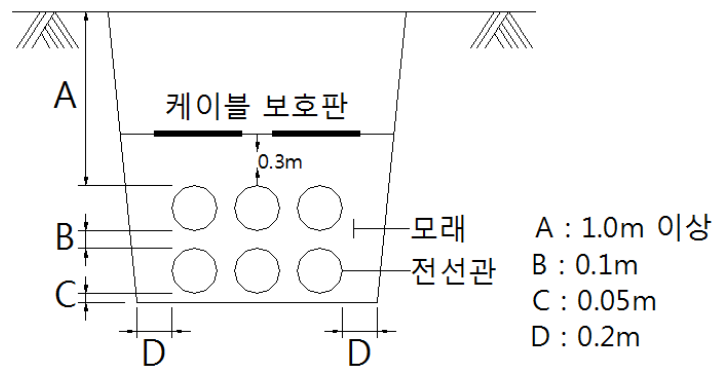
케 이 블 종 별	허 용 축 압 [N/m]
XLPE 케이블	2,940
파이프형 케이블	6,860

## 7. 관로굴착

- (1) 매설깊이가 1.0m 이상 유지되도록 규정된 굴착 구배(1:0.1)와 저면굴착에 따라 그림과 같이 굴착한다.
- (2) 굴착된 저면에 돌이나 기타 뾰족한 부분 등에 직접 관이 닿지 않도록 평탄하게 고른



다음 모래를 5cm정도 포설한다.



#### 8. 스페이서(간격재) 및 최소 곡률반경 유지

- (1) 스페이서(간격재)는 1.5m마다 설치하여 관 상호간의 간격을 정확히 유지한다.
- (2) 간격재는 관주변의 모래포설이 끝나면 제거한다.
- (3) 굴곡부 배관시 곡률반경은 케이블 포설 허용곡률반경 이상이 되도록 하여야 하며, 관외경의 10배 이상을 유지한다.

#### 9. 경고테이프의 설치

- (1) 경고테이프는 폭(W) 400으로 한다.
- (2) 경고테이프의 배열은 2열 배열로 한다.

#### 10. PE보호판의 설치

- (1) PE보호판은 폭(W) 500으로 한다.
- (2) PE보호판의 배열은 2열 배열로 한다.

## 해설 17. 케이블 접속

### 1. 일반사항

케이블을 접속하는 경우는 다음에 의하여야 한다.

- (1) 도체의 전기저항을 증가시키지 않을 것
- (2) 케이블과 동등 이상의 절연내력을 가질 것
- (3) 필요한 기계적 강도를 가질 것
- (4) 부식이 없는 구조일 것

### 2. 케이블 접속함의 구비조건

#### (1) 일 반

- ① 케이블과 동등 이상의 절연내력을 가질 것
- ② 필요한 기계적 강도를 가질 것
- ③ 부식이 없는 구조일 것
- ④ 기중중단 접속함의 경우 풍압 및 단락하중 등에 견딜 것
- ⑤ 이중접속함은 케이블 절연재료(절연유)의 유통로를 완전히 차단하는 구조일 것

#### (2) 도체 접속부

- ① 도체의 전기저항을 증가시키지 않아야 한다.
- ② 케이블 도체의 허용 항장력에 견디어야 한다.

#### (3) 절연보강층

- ① 보강층의 전계강도는 케이블의 전계강도보다 작아야 한다.
- ② 절연물의 절연내력에 대응한 전계분포가 되도록 하여야 한다.
- ③ 내부 이상전압의 반복에 견디어야 한다.

#### (4) 외함

- ① 케이블의 금속시스와 동등한 전류를 통전할 수 있어야 한다.
- ② 내부 절연재료(절연유)의 압력에 견디어야 한다.
- ③ 습기의 침입을 방지하고 내부 절연재료(절연유)의 누출을 방지할 수 있는 구조이어야 한다.

#### (5) 방식층

절연유의 누유 및 외부 습기의 침입을 방지할 수 있는 구조이어야 한다.

### 3. 케이블 접속함의 종류

케이블 접속함은 사용목적에 따라 표와 같이 구분하며, 접속함의 크기는 접속함이 설치될 장소의 접속공간에 적합하여야 한다.



표 50. 케이블 접속함의 종류

구 분	종 류	사 용 목 적
중 간 접속함	보통 접속함 (NJ : Normal Joint)	케이블 상호간을 단순히 접속
	절연 접속함 (IJ : Insulation Joint)	케이블의 금속차폐층 상호간을 절연하여 케이블 접속
종 단 접속함	기중 종단접속함 (EB-A : End Box in Air)	가공수전선로 또는 선로개폐기와 연결하기 위한 접속
	가스 종단접속함 (EB-G : End Box in Gas)	GIS와 연결하기 위한 접속

## 해설 18. 케이블 헤드

### 1. 케이블 헤드 부지의 선정

케이블 헤드의 부지는 아래 사항을 고려하여 선정해야 한다.

- (1) 용지매수
- (2) 가공선과의 연결
- (3) 진입로
- (4) 케이블 포설 등 시공성
- (5) 대관 인허가
- (6) 민원 발생 소지
- (7) 주변 환경
- (8) 수해로 인한 지반 유실 우려 여부

### 2. 케이블 헤드의 종류

케이블 헤드는 지지물 형태에 따라 아래와 같이 분류하며 지중선로의 규모, 가공선로와의 연결, 설비 안정성, 주위환경, 대관 인·허가 등을 고려하여 형태를 선정한다.

- (1) 철구형  
케이블 종단접속함이 철구에 설치되어 가공선과 연결되는 구조를 갖는 케이블 헤드 형태(Gantry Tower 등)
- (2) 철탑형  
케이블 종단접속함이 철탑에 설치되어 가공선과 연결되는 구조의 케이블 헤드 형태
- (3) 강관주형  
케이블 종단접속함이 강관주형 지지물에 설치되어 가공선과 연결되는 구조의 케이블 헤드 형태
- (4) 옥내 GIS 형  
케이블 종단접속함이 옥내에 설치된 GIL(Gas Insulation Line)에 설치되어 가공선과 연결되는 구조의 케이블 헤드 형태

### 3. 케이블헤드 부지 소요면적

케이블헤드 부지 소요면적은 계통 최종 규모를 고려하되 아래사항을 참조하여 산출한다.

- (1) 충전부의 이격거리





[단위 : mm]

전 압 별		상 간	대 지 간	울 타 리 간
66kV	최 소	800	700	6,000 이상
	표 준	1,200	1,000	
154kV	최 소	1,900	1,500	6,120 이상
	표 준	3,000	1,900	

#### (2) 동일회선의 동상 설비간 이격거리

동일회선의 동상 설비간 이격거리는 작업성, 설비고장 복구시 접지 등을 고려하여 결정하되 전압별로 아래값 이상이어야 한다.

단, 현장여건상 불가피할 경우는 별도 검토 결정한다.

- ① 345kV : 2,900mm
- ② 154kV : 1,500mm
- ③ 66kV : 700mm

#### (3) 기 타

부지면적은 상기 “(1)”, “(2)”항 이외에 진입로, 배수로, 법면, 조경면적, 철 구조물, 케이블 유조 설치, 냉각설비 등을 고려하여야 한다.

### 4. 케이블 헤드 설계 및 시공

#### (1) 케이블 헤드

- ① 케이블 헤드의 구조물은 가공선로 인하시 이격거리, 철탑의 Arm 형태, 지지애자의 설치위치 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- ② 구조물의 높이는 가섵선간 수직 선간거리, 전선의 최대이도, 최하전선의 지상고 및 케이블과의 전선 연결등에 의하여 결정한다.
- ③ 철탑형 및 강관주형 케이블 헤드의 Arm 상부에 설치되는 케이블 접속개소에 대한 점검, 보수를 위하여 기기로 부터 외측으로 최소 500mm이상 확보하여야 하며, 안전 발판대를 설치하여야 한다.
- ④ 구조물 설계시는 케이블 헤드 Arm으로 출입할 수 있는 사다리를 설치하여야 한다.

#### (2) 케이블 입상용 트레이 설치

- ① 케이블 트레이는 케이블의 선종 및 회선수 또는 케이블헤드의 부지여건, 케이블헤드 Arm의 형상을 고려하여 가공송전선로 선로방향을 기준으로 좌우 또는 중앙에 설치한다.
- ② 케이블 트레이는 케이블을 손상하지 않도록 하여야 한다.
- ③ 트레이의 곡률부분에는 적당한 핏팅(Fitting)을 사용하여 케이블 지지에 지장이 없어야 한다.

④ 케이블 트레이의 수직부분은 케이블 활락현상이 발생치 않도록 적당한 간격으로 케이블을 지지할 수 있는 구조이어야 한다.

(3) 지지애자의 가대 최소 높이

종단접속함, 피뢰기, 지지애자의 가대 최소높이는 2.0m로 한다.

(4) 울타리

① 케이블 헤드 부지 외곽주위에는 주변환경과 조화될 수 있도록 환경친화적인 담 또는 울타리를 시설하여야 한다.

② 담 또는 울타리 높이는 2.2m로 하되, 부지상황에 따라 조정할 수 있으며 출입문 시건 장치, 위험 표지시설 등 일반인의 접근을 방지할 수 있는 시설을 하여야 한다.

③ 도전성 재질의 울타리에는 제3종 접지를 하여야 한다.



## 해설 19. 지중관로 설계

### 1. 관로<sup>5)</sup>

#### 1.1 관제선정

##### (1) 합성수지 파형관

지중송전선로용 관제는 합성수지 파형관을 사용한다.

##### (2) 합성수지 직관(PVC)관

교량침가 등 특수개소, 지하공간이 협소하여 파형관으로 시공이 곤란한 개소 등에 적용한다.

##### (3) 강관

주요도로 및 철도 횡단개소, 압입공법 적용개소, 도로굴착이 잦아 관의 손상이 우려되는 지역, 매설깊이가 부족한 개소로서 관로보강 콘크리트 시공이 곤란한 경우 등에 사용한다.

##### (4) 합성수지 고강도 파형관

차도 및 중량물의 압력을 받는 장소에 설치하는 관로 중 토피부족 및 기타 외압 등으로 일반 파형관으로 시공시 관의 손상이 우려되는 개소에 적용한다.

##### (5) 기타

특수개소 또는 특수공법 적용 등으로 인해 상기 관제로는 시공이 곤란한 경우에는 다른 관제를 적용할 수 있다.

#### 1.2 관내경

관내경은 케이블의 최대외경, 장래의 용량증가, 경제성 등을 고려하여 아래 기준에 따라 선정한다.

##### (1) 1공 1조 포설

$D \geq 1.3d$ ,  $D \geq d+30$  mm 식을 동시에 만족해야 한다.

##### (2) 케이블 종류별 사용관내경은 표를 표준으로 한다.

표 51. 케이블 종류별 표준 사용 관내경

선 중	도체규격	인입방식	관로내경	비 고
66kV 단심 XLPE 케이블	400mm <sup>2</sup> 이하	1공 1조	100mm	XLPE : 가교 폴리에틸렌 절연 전력케이블
154kV 단심 XLPE 케이블	1,200mm <sup>2</sup> 이하	1공 1조	200mm	
		1공 3조	300mm	
	2,000mm <sup>2</sup>	1공 1조	200mm	

5) 한전지중전력 토목설비

### 1.3 맨홀 공간

맨홀공간은 최대 500m로 하되 다음 사항을 고려하여 결정한다.

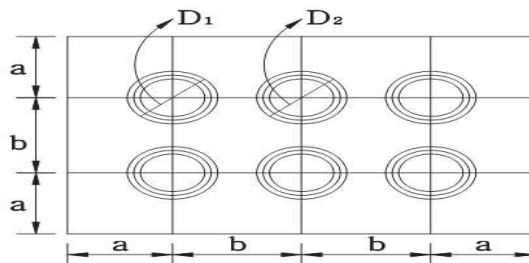
- (1) 케이블의 허용장력 및 허용축압
- (2) 맨홀설치의 적정장소(현장시공 여건)
- (3) 단심케이블의 경우 케이블 금속차폐층에 유기되는 대지전압
- (4) 온도변화에 의한 케이블의 신축
- (5) 케이블의 제조능력, 운반 및 포설 여건
- (6) 선로의 장래 신증설 계획 및 경제성
- (7) 송배전 병행시 배전계통을 감안
- (8) 케이블 편단접지 최소화

### 1.4 관로 공수의 결정

철도 수전선로의 관로수는 주 1회선, 예비 1회선을 설치한다.

### 1.5 관의 배열

- (1) 맨홀 한 공간에서 관로시점과 종점은 관로별로 서로 대칭되게 배열하여야 한다.
- (2) 관의 배열형태는 표준도를 참고한다.
- (3) 관로의 표준간격은 표에 의하며 특별한 경우는 별도 검토한다.



#### ① 관의 중심간격 [b]

내 경 \ 종 류	합성수지 파형관 [mm]		
	100	175	200
100	230	280	295
175	280	330	345
200	295	345	360

(주) 상기 이외의 관의 중심간격은 아래 식에 의해 산출한다.

$$b = \frac{(D_1 + D_2)}{2} + 100 \text{ [mm]}$$

단, D1, D2는 관 외경

※ 관 부설에 적정 스페이스(Spacer)를 취부 시공할 경우에는 스페이스(Spacer) 규격에 의한다.



② 관 중심과 관로보강 콘크리트 외측과의 간격(a)

종 류 \ 관 경	100mm	175mm	200mm	비 고
합성수지파형관	$\frac{\text{관평균외경}}{2} + 100mm$ 관로보강 콘크리트 타설 개소 ① 곡률반경 30m이하 개소 ② 기타 특별히 필요하다고 인정되는 개소			

1.6 관로시설

- (1) 차량 등 중량물에 견디어야 하며, 필요시 무단굴착 등에 대비하여야 한다.
- (2) 관 상호의 접촉은 견고하며, 수밀성, 내식성이 있고 케이블 포설시 케이블 외피(방식층)에 손상이 없도록 하여야 한다.
- (3) 케이블 포설장력 및 축압에 견디어야 한다.
- (4) 관로 최소곡률반경은 관내경의 30배 이상으로 하고 케이블 허용장력 및 허용축압 이 내가 되도록 하여야 한다.
- (5) 관로관통시 관로내경에 따라 그림의 표준 시험봉이 통과되어야 한다.

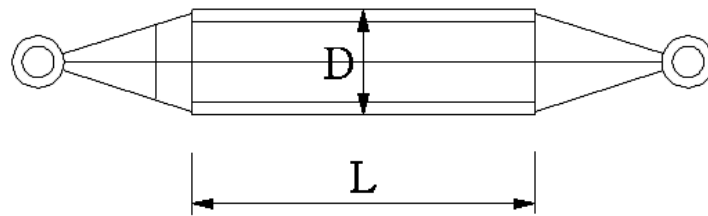


그림 19. 관로관통 표준 시험봉 규격

[단위 : mm]

관로내경	시험봉의 직경 [D]	시험봉의 길이 [L]	비 고
Φ100	90	600	관통시험봉은 금속제(철, 알루미늄)로 한다.
Φ175	165		
Φ200	180		

- (6) 관로 보강콘크리트 타설시 관의 변형이 발생되지 않도록 하고 관내에 콘크리트가 유입되지 않도록 해야 한다.
- (7) 관로의 부등침하가 발생되지 않도록 해야 한다.
- (8) 필요에 따라 다음 사항을 충분히 고려하여야 한다.
  - ① 강제냉각
  - ② 교량첨가시의 지지구조
  - ③ 지중전선로용 및 통신케이블용 관의 상호 이격거리
  - ④ 구조물(전력구, 맨홀, 교량첨가관로 등)과 관로 연결시 부등 침하

## 2. 압입

- (1) 도로횡단은 주로 OPEN OUT 공법을 사용하나 다음과 같은 특수한 경우에 추진공법으로 시공한다.
- ① 교통량이 많아 OPEN OUT 공법으로 시공 시 교통체증 및 민원이 야기될 경우
  - ② 지하 매설물의 과다로 인해 매설물의 안전에 불리한 경우
  - ③ 도로법 시행령 제24조 4항의 저축구간으로 관할관청에서 추진공법으로 시공이 요구되는 경우
- (2) 철도횡단굴착은 추진공법으로 시공한다. 단, 철도횡단을 관할관청에서 시공할 경우 해당관청의 시방서에 의한다.
- (3) 하천, 수로 연약지반 횡단
- 하천, 수로, 연약지반, 유수량, 작업 조건 등을 고려하여 추진공법이 시공성, 경제성 측면에서 유리할 때 추진공법으로 시공 한다.
- (4) 지하 장애물 횡단
- 지하 장애물을 통과하는 경우에 지하 장애물의 크기가 2m 이상일 경우에는 추진공법으로 시공한다.
- 단, 토질조건 및 지하 장애물의 견고성에 따라 OPEN OUT공법이 가능할 경우에는 예외로 할 수 있다.
- (5) 지중수전선로가 하천을 횡단할 경우에는 개착식으로 시공하며, 부득이한 경우 별도의 공법을 검토하고, 매설깊이는 선로유실, 하천 정비계획 등을 고려하여 정한다.

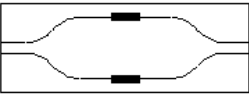
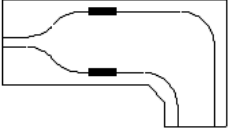


## 해설 20. 맨홀

### 1. 맨홀의 분류

맨홀의 형태는 최대한 간소화하며 표와 같이 분류한다.

표 52. 표준 맨홀의 형태

형 (대분류)	형 (소분류)	구 조	비 고
A	A		— 케이블 ■ 접 속
B	B		

### 2. 맨홀 규격 결정

맨홀의 규격은 다음 조건을 만족하는 범위 내에서 결정해야 한다.

- (1) 케이블의 포설, 접속 그 외 보조작업에 지장을 주지 않도록 맨홀의 높이, 폭 및 길이를 결정하여야 한다.
- (2) 맨홀내에 케이블 작업시 어떠한 경우에도 허용곡률반경을 확보할 수 있는 구조이어야 한다.
- (3) 케이블 및 접속함의 배치가 용이한 구조이어야 한다.
- (4) 케이블의 신축에 의한 금속시스의 피로를 일으키지 않도록 적절한 폭과 길이를 유지하여야 한다.

### 3. 맨홀의 출입구

맨홀 출입구의 내경은  $\Phi 750\text{mm}$ 로 하며 다음을 만족하도록 한다. 단, 필요시는  $\Phi 900\text{mm}$  또는 별도 검토된 규격으로 할 수 있다.

- (1) 케이블의 인입, 인출
- (2) 공기구 및 자재 반출입
- (3) 작업자의 출입
- (4) 출입구의 위치는 케이블 및 접속부 예상위치의 직상부는 피하여 설치
- (5) 맨홀내에서 작업시의 환기
- (6) 맨홀 뚜껑은 관리자 이외는 쉽게 열 수 없도록 시설

#### 4. 맨홀의 높이

(1) 맨홀의 높이는 관로구의 위치 및 배열을 고려하여 다음에 의한다.

$$H = h_1 + h_2 + \sum h_0$$

$h_1$  : 윗면~가장 윗쪽 접속부 행거의 간격

$h_2$  : 밑면~가장 아랫쪽 접속부 행거의 간격

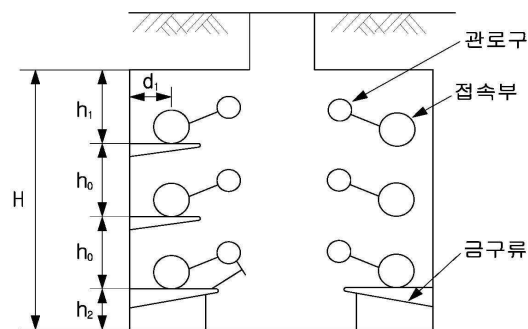
$h_0$  : 접속부(or 케이블) 행거~접속부(or 케이블) 행거 간격

\* 맨홀내 접속하는 경우 접속부 행거~접속부 행거 간격

\* 맨홀내 접속하지 않는 경우 케이블 행거~케이블 행거 간격

$d_1$  : 측면~접속부 중심의 간격

단, H가 1.8m미만인 경우는 작업성을 고려하여 1.8m 정도로 한다.



맨홀내 접속부 표준배치간격

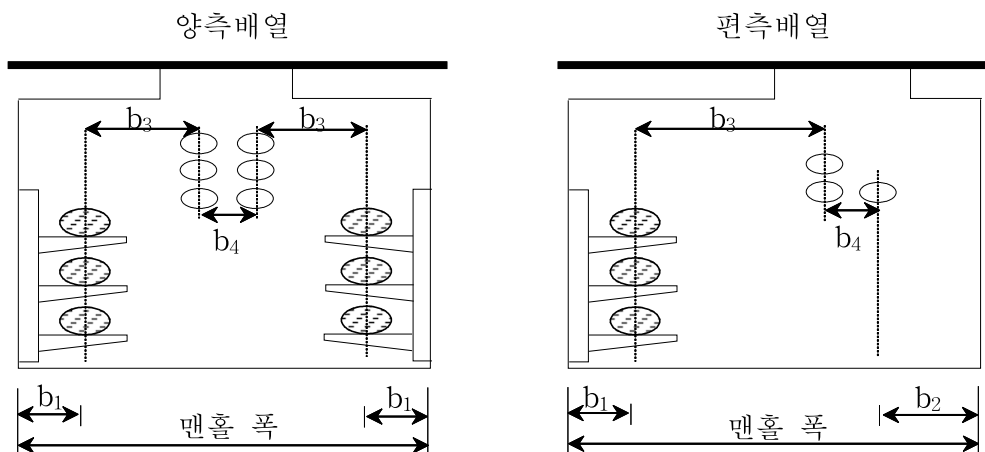
[단위 : mm]

개 소		밑 면 최하단행거 $h_2$	윗 면 최상단행거 $h_1$	접속부행거 접속부행거 $h_0$	케이블행거 케이블행거 $h_0$	측 면 접속부중심 $d_1$
66kV	단심	300	800	300	250	250
154kV	XLPE	250	650	400	350	300

#### 5. 맨홀의 폭

맨홀의 폭은 필요한 작업공간과 읍셋트, 폭, 관로구의 배치 등을 고려하여 정한다.

(1) 맨홀 폭 결정 방법







(주) 1. 맨홀의 폭 계산

구 분	양측배열	편측배열
맨홀폭	$2(b1+b3)+b4$	$b1+b3+b4+b2$

2. 제정수

기호	항 목	비 고
b1	맨홀 벽~접속함까지의 수평거리(mm)	
b2	관로구~맨홀 벽까지의 수평거리(mm)	
b3	접속함~관로구까지의 수평거리(mm)	
b4	관로구의 수평중심 간격(mm)	

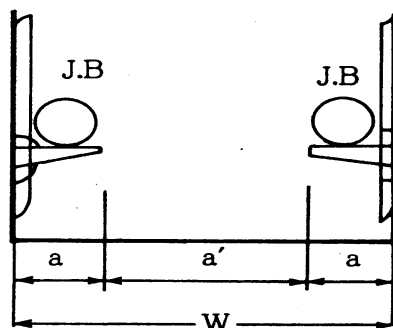
(2) 맨홀 폭의 최소크기

[단위 : mm]

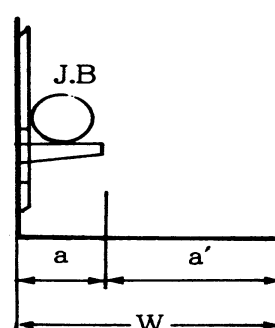
배열종별 전압 (kV)	양측배열(W)		편측배열(W)	
	NJ, IJ	SJ	NJ, IJ	SJ
154kV	1,800	2,200	1,300	1,500

(주) NJ : 보통접속함, IJ : 절연접속함, SJ : 유지접속함

양측배열



편측배열



(주) 1. 통로폭  $a'$ 는 0.8m로 한다.

2.  $a$ 는 접속부의 지지 금구류 길이

3. 전력구와 연결되는 맨홀의 폭이 전력구의 폭보다 작은 경우는 전력구의 폭으로 한다.

(3) 관로구 중심 표준간격

[단위 : mm]

관내경	100	175	200	비 고	
				관중심~밑면 또는 윗면 최저	관중심~ 측벽 최저
175	350	390	400	450	250
200	360	400	410	460	250

(주) 단심 1공 1조용에는 비자성 방수관을 사용한다.

## 6. 맨홀의 길이

맨홀의 길이는 작업길이, 오프셋 및 케이블 설치시의 설계곡률반경 등을 고려하여 정한다.

### (1) 케이블 오프셋

케이블의 온도변화에 따라 발생하는 열신축을 흡수할 수 있는 최소 오프셋은 아래와 같다.

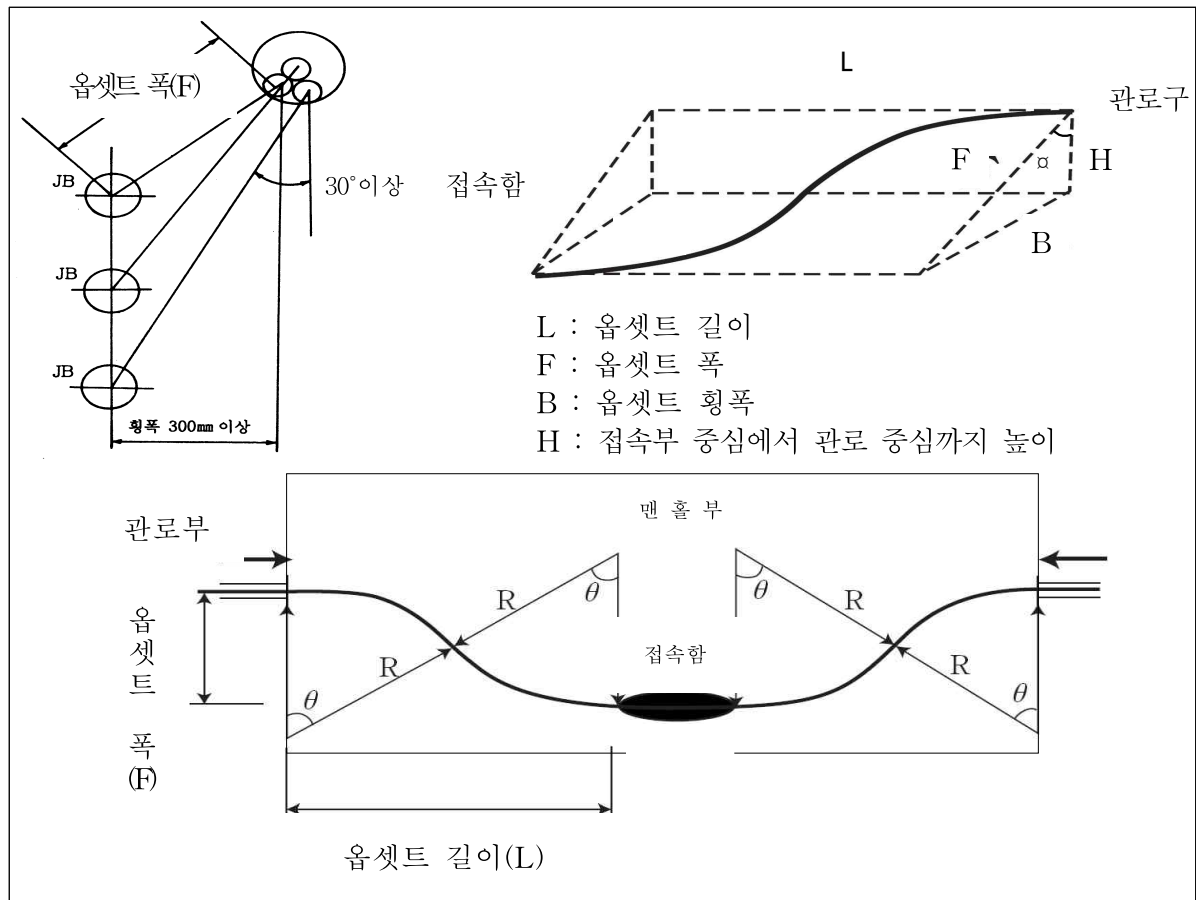
표 54. 최소 오프셋(Off-Set) 폭

케이블의 종류		오프셋 폭	관 로
66kV 단심	XLPE		400mm
154kV 단심	XLPE		750mm

- (주) 1. 관로와 연결되는 맨홀내의 단심케이블에서 부하변동이 특히 크다고 예상되는 경우 수직 오프셋으로 되는 접속배열은 하지 않는다.
2. 관로와 전력구를 연결하는 맨홀의 경우 전력구 쪽은 오프셋을 두지 않는다.
3. 최소 오프셋 각은 30°이상으로 하고 최소 오프셋 횡폭은 300mm이상으로 한다.
4. 접속함 가동방식 이외의 오프셋 방식을 적용하는 경우는 개별적으로 검토한다.



## [오프셋 예시]



## (2) 맨홀길이의 결정

표 55. 맨홀길이의 결정

형태	평면도	산출식	비고
A		$L = 2(l_0 + \alpha_1) + l_1 + \alpha_2$ $\alpha_1 = \alpha'_1 + \alpha''_1$ $\alpha = \text{조정값}$	C, D, E형은 A, B형에 준하여 구한다.
B		$L_1 = l_0 + 2\alpha'_1 + l_1 + \alpha_2 + \alpha'_1$ $H \leq 2R \text{의 경우}$ $l_2 = \sqrt{R^2 + 2RH - H^2}$ $H > 2R \text{의 경우}$ $l_2 = R$	

(주) 1. 케이블 옵셋트길이 및 허용곡률반경

$l_0$ (케이블의 옵셋트 길이)	R (맨홀내에서 케이블의 설치 설계시 케이블의 허용곡률반경)
$l_0 = \sqrt{Z_{\max}(4R - Z_{\max})}$ ( $Z_{\max}$ : 최대 옵셋트 폭)	OF 및 XLPE : $15D_S$ ( $D_S$ : 케이블 시스의 평균외경)

2.  $\alpha_1$ 의 값

전 압 (kV)	$\alpha_1'$ [mm]	$\alpha_1''$ [mm]	비 고
66kV 단심	50~350	50~200	$a_1'$ : 관로구부 끝에서의 직선거리 $a_1''$ : 접속부 지지점에서의 직선길이
154kV	100~200	100~200	

3.  $\alpha_2$  : 조정값

4.  $l_1$  : 접속부 양단지지 간격

5.  $H$  : 접속부 중심에서 관로 중심까지 높이

## 7. 기타시설

- (1) 케이블 지지대, 케이블 인입용 हु크, 출입구 발판 볼트, 맨홀 뚜껑, 물받이, 사다리 등을 설치한다.
- (2) 접지설비를 충분히 검토하여 설치한다.
- (3) 맨홀 안의 고인 물을 제거할 수 있는 구조로 한다.
- (4) 폭발성 또는 연소성의 가스가 침입할 우려가 있는 곳에 시설하는 경우는 통풍장치, 기타 가스를 방산시키기 위한 적당한 장치를 설치한다.
- (5) 경사가 심한 구간의 케이블 활락방지를 위하여 필요시에는 활락방지장치와 설치공간을 확보해야 한다. 단, 중간 고정방식을 선택할 경우에는 맨홀과 맨홀사이에 핸드홀을 설치한다.

## 8. 교통안전시설

- (1) 안전시설물의 종류는 공사안내판, 안전휀스, 라바콘, 교통안전표지판, 경광등, 전구로 한다.
- (2) 안전시설물의 설치간격은 설계도면에 따른다.  
단, 관련 지자체 인허가 승인사항 또는 관계기관 협의에 따라 조정할 수 있다.



## 해설 21. 지중선로 접지 및 보호

### 1. 접지

- (1) 케이블의 금속시스(sheath)는 안전상 반드시 접지를 시행하여야 한다.
- (2) 송전케이블과 배전케이블의 접지는 각각 분리하여 독립접지 한다.
- (3) 케이블을 지지하는 금구류는 접지하지 않는다.

### 2. 접지방식의 선정

접지방식은 기준저항치, 접지대상, 주위의 여건, 공사의 난이성, 경제성 등을 고려해야 한다.

- (1) 일반적으로 매설지선 방식으로 한다.
- (2) 매설지선 방식으로 기준저항치를 얻기 어려운 경우에는 다음과 같이 적용할 수 있다.
  - ① 매쉬(Mesh) 포설방식(접지점을 넓게 취할 때)
  - ② 접지봉 타입 방식 병행
  - ③ 접지판 방식
  - ④ 기준 저항치를 얻을 수 있는 기타 방식
- (3) 단심케이블을 시설하는 경우에는 다음 사항에 유의하여 접지방식을 선정한다.
  - ① 상시 및 이상시 모두를 고려한 안전대책
  - ② 시스 손실 및 송전용량에 대한 영향
  - ③ 선간 및 대지간 전압과 맨홀구간(접지구간)의 길이 관계
  - ④ 고장 전류에 의한 시스 유지 전압
  - ⑤ 본딩(Bonding) 장치 자체의 손실
  - ⑥ 방식층 보호 및 근접 통신선의 유도 등

### 3. 접지 저항치

설비종별에 따른 접지 저항치는 표와 같다.

표 56. 접지 저항치

설비구분	설치장소	접 지		비 고
		종 류	저 항	
맨 홀 관 로	맨 홀	1종	10Ω 이하	-
	전용교 혹은 교량첨가(강관)	1종 또는 3종	10Ω 또는 100Ω 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 사람이 저촉할 우려가 있는 장소 : 1종(10Ω 이하)</li> <li>◦ 사람이 저촉할 우려가 없는 장소 : 3종(100Ω 이하)</li> </ul>
케이블	케이블 종단접속부	1종	10Ω 이하	◦ 케이블의 금속차폐층을 종단 접속부 가대의 접지선에 연결한다.
	종단접속부 가대	1종	10Ω 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 가공-지중 접속개소에서는 가공철탑의 접지와 연결한다. 연결은 2개소 이상 동연선으로 한다.</li> <li>◦ 발·변전소 구내에 있어서는 접지모선과 연결한다.</li> <li>◦ 단독으로 접지를 확보하는 경우는 가대의 부근에 2개소(1개소 2분이상)의 접지봉을 타입한다.</li> </ul>
	맨홀내 케이블 접속부	1종	10Ω 이하	◦ 케이블 금속차폐층을 접속함에 연결하고 맨홀내 접지선에 접속한다.
내뢰설비	공통접지	1종	10Ω 이하	
	병행지선	1종	10Ω 이하	
	방식층 보호장치	3종	100Ω 이하	
	피뢰기	1종	10Ω 이하	
	피뢰침	1정	10Ω 이하	
울타리의 접지		3종	100Ω 이하	

## 4. 접지선

### 4.1 접지선의 구비조건

지중수전설비의 각종 접지선은 다음 각 조건에 적합하여야 한다.

- (1) 접속은 예상되는 최대고장전류가 고장 지속시간 동안 계속 흘러도 용단이나 열화되지 않아야 한다.
- (2) 기계적으로 충분한 강도를 가져야 한다.
- (3) 국부적으로 위험한 전위차가 발생하지 않도록 충분히 도전율을 가져야 한다.

### 4.2 접지선의 굵기 계산

접지선의 굵기 계산은 IEC60364-5-54에 의한다.

$$A = \frac{I \cdot \sqrt{t_c}}{k}$$



A : 접지선 단면적 ( mm<sup>2</sup> )

I : 접지선에 흐르는 전류 (A)

$t_c$  : 통전시간 (s)

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\varphi_{20}} \ln\left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i}\right)}$$

$Q_c$  : 접지선 재료의 체적 비열 [J/°C mm<sup>3</sup>]

B : 0°C에서 도체의 열저항율의 역수

$\varphi_{20}$  : 20°C에서 도체의 전기 저항율[Ωmm]

$\theta_f$  : 도체의 최종온도(°C)

$\theta_i$  : 도체의 초기온도(°C)

○ 도체온도 참고치( $\theta_f$ )

- 도체의 최종온도( $\theta_f$ )
  - 경동선 : 1,083°C
  - 연동선 : 880°C
  - PVC 절연전선 : 160°C
  - XLPE, EPR 절연전선 : 250°C

• 도체의 초기온도( $\theta_i$ ) : 30°C

○ 각 재질별 물리정수

표 57. 각 재질별 물리정수

재 질	B [°C]	$Q_c$ [J/°C mm <sup>3</sup> ] $\times 10$	$\varphi_{20}$ [Ωmm]	$\sqrt{\frac{Q_c (B+20)}{\varphi_{20}}}$
동	234.5	3.45 $\times 10^{-3}$	17.241 $\times 10^{-6}$	226
알루미늄	228	2.5 $\times 10^{-3}$	28.264 $\times 10^{-6}$	148

표 58. 접지선의 굵기표(참조)

설 비 구 분	접 지 장 소	접지선의 굵기( mm <sup>2</sup> )
맨 전 관 력 구 로	맨홀, 전력구, 교량침가	95이상
	배수, 환기, 조명설비 분전반	35 "
	통신용 원방접지	25 "
케 이 블	접속부 및 접속부 가대	95 "
금 유 설 비	유조 밸브판넬(가대 포함)	35 "

설비구분	접지장소	접지선의 굵기( mm <sup>2</sup> )
경보설비	단자함, 발수신기 외함	35 "
	통신관 및 통신케이블 차폐층	25 "
방식설비	외부 전원방식의 외함	35 "
	유전양극 방식	95 "
내뢰설비	공통접지, 병행지선	95 "
	시스전압제한기(S.V.L)	35 "
	피뢰기	120~240
	피뢰침	개별검토

## 5. 접속함 연결전선 종류 및 최소 굵기

### (1) 접지선 종류

XLPE 절연 FR(난연) 케이블

### (2) 접지선 최소 굵기

#### ① 절연접속함

가. 크로스본드선 : 240mm<sup>2</sup>

나. 각 상의 접지선 및 공통접지선 : 35mm<sup>2</sup>

#### ② 보통접속함

가. 각 상의 접지선 : 240mm<sup>2</sup>

나. 공통접지선 : 35mm<sup>2</sup>

#### ③ 종단접속함

가. 각 상의 접지선 및 공통접지선 : 240mm<sup>2</sup>

#### ④ 시스전압제한기 연결전선 : 35mm<sup>2</sup>

## 6. 설치방법 및 접지저항 계산식

### 6.1 접지봉 타입

#### (1) 설비방법

접지봉을 지중에 타입하고 각각을 연접하여 설비기기 및 기타의 접지선과 접속한다.

(주로 맨홀부, 매쉬 포설의 보조로서 적용한다.)

#### (2) 접지저항 계산식

$$R_1' = \frac{\rho}{2\pi\ell} \left( \ln \frac{4\ell}{r} - 1 \right) [\Omega]$$





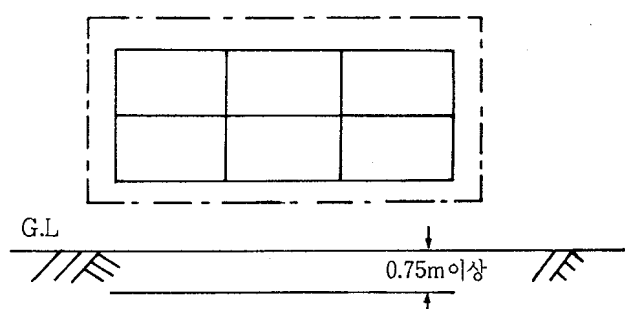
( $r$  : 접지봉 반경[cm],  $\ell$  : 접지봉 길이[cm],  $\rho$  : 대지고유저항[ $\Omega$ cm])

접지봉 n본의 합성접지 저항 :  $R_1 = \frac{Y}{\sum_{1}^n \frac{1}{R_{1n}}}$  ( Y : 접합계수)

## 6.2 매쉬(Mesh)포설

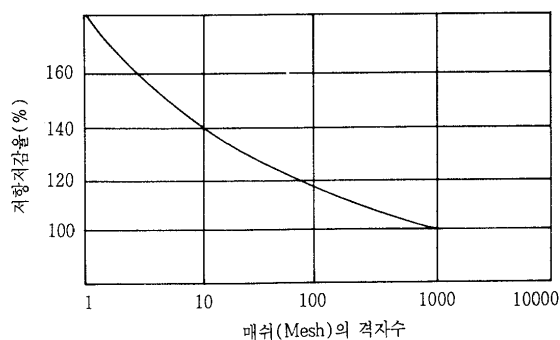
### (1) 설비방법

접지선을 격자상에 매설하고 교차점에서 이들을 연결하여 그 설비기기 및 기타의 접지선과 접속한다.(변전소 등에 적용된다)



### (2) 접지저항 계산식

$$R_2 = \frac{k\rho}{4r} \left(1 - \frac{4t}{\pi r}\right) [\Omega]$$



-  $r$  : 매쉬(Mesh)포설면적의 등가반경 [cm]

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

·  $A$  : 매쉬(Mesh)포설면적 [ $\text{cm}^2$ ]

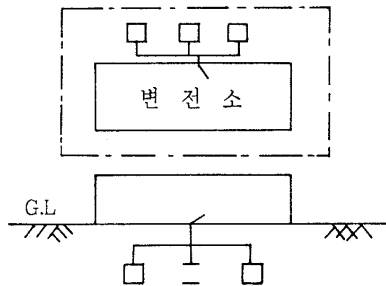
-  $t$  : 접지선 매설깊이 [cm]

-  $\rho$  : 대지 고유저항 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]

-  $k$  : 저항 저감율

### 6.3 접지판(동판)

#### (1) 설비방법



접지판을 지중에 매설하고 각각 연결하여 그 설비기기 및 기타 접지선과 접속한다.

(변전소 등에 적용된다)

#### (2) 접지저항 계산식

$$R_3 = \frac{\rho}{4r} \left(1 - \frac{4t}{\pi r}\right) [\Omega]$$

-  $r$  : 각판  $a \times b$ 의 등가반경 [cm]

$$r = \sqrt{\frac{ab}{\pi}}$$

-  $t$  : 접지선 매설깊이 [cm]

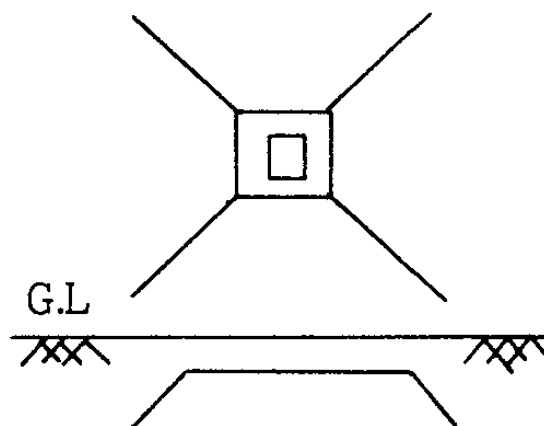
-  $\rho$  : 대지 고유저항 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]

### 6.4 매설지선 포설

#### (1) 설비방법

설비를 중심으로 방사상에 접지선을 매설하고 그것을 연결하여 설비기기, 철구 및 기타 접지선과 연결한다.

(주로 변전기기, 가공-지중 인출시 철탑에 적용한다.)





## (2) 접지저항 계산식

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi\ell} \ln\left(\frac{\ell^2}{2rt}\right) [\Omega]$$

$\rho$  : 대지 고유저항 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]

$\ell$  : 접지선 길이 [cm]

$r$  : 접지선 반경 [cm]

$t$  : 접지선 매설깊이 [cm]

## 7. 지중토목설비 접지

### 7.1 일반

- (1) 변전소 인출전력구의 매설지선은 변전소 구내 주접지망과 연결하되, 전력구 본선의 매설지선과 연결되지 않도록 한다.
- (2) 전력구내 수직구, 분기구 및 접속맨홀 등에 설치하는 접지망은 표준간격 및 직사각형 형태를 유지한 상태로 최대한 넓게 설치될 수 있도록 하여야 한다. 또한 접지망에서 인출되는 송전용 접지 연결 리드선은 케이블 접속점 부근에서 케이블 접지선과 연결이 용이하도록 시설하여야 한다.
- (3) 접지선을 압축할 때는 전기적, 기계적으로 완전하게 압축 접속하여야 하며, 모든 압축 접속은 100톤 압축기를 이용한다.
- (4) 접지선 및 접지동봉의 매설깊이는 최소 75cm로 하며 동결깊이를 감안하여 결정한다.
- (5) 매설지선 및 접지망은 구조물 방수시트 하부 또는 외부에 설치한다.
- (6) 건조한 암반지역 등 접지저항 확보가 어려운 개소에는 대지고유저항 측정 후, 대지고유저항이 500[ $\Omega \cdot \text{m}$ ]를 초과하는 경우에는 규정된 접지저항 확보가 가능하도록 하여야 한다.

### 7.2 관로 맨홀

- (1) 접지망은 송·배전용을 분리하여 설치하며 2m 간격으로 각 1개의 접지동봉을 설치한다.
- (2) 접지 연결 리드선은 송전용, 배전용 각각 4개소씩 설치하며, 4개소 중 2개소는 상대측으로 인출한다.

### 7.3 접지 연결 리드선

- (1) 접지 연결 리드선의 길이는 1m로 하며 송전용은 흑색, 배전용은 녹색의 절연전선을 사용한다.
- (2) 환기구 및 분기구의 벽면 양측 각 1개소에 접지 연결 리드선 또는 구조물매설용 접지

연결동봉을 인출한다.

- (3) 접지망과 매설지선과 접지 연결 리드선 또는 구조물매설용 접지연결동봉과의 접속은 압축접속을 하여야 한다.
- (4) 방수시트를 관통하여 전력구 또는 맨홀내로 접지 연결 리드선을 인출할 경우에는 구조물 매설용 접지연결동봉을 통하여 방수를 시행한 후 절연전선으로 인출한다. 단, 이때 사용하는 전선은 송전용은 흑색, 배전용은 녹색 절연전선으로 한다.
- (5) 구조물매설용 접지연결동봉은 바닥 또는 벽체(바닥에서 20cm 지점)로부터 15cm 길이로 인출하여 길이 1m의 접지 연결 리드선에 압축접속 한다.

#### 7.4 접지동봉

- (1) 접지동봉은 리드선 부착형 접지동봉을 사용하며, 설치 후 리드선을 접지망(케이블 분산접속 장소에서는 매설지선)에 압축 접속한다.
- (2) Shield 공법 터널에서 접지동봉 설치 후에는 세그먼트와 접지동봉 사이의 공극에 지수제 등을 충전하여 완벽한 방수를 시행하여야 한다.

#### 7.5 접지선의 규격

- (1) 매설지선 및 접지망 : 150mm<sup>2</sup> 나연동연선
- (2) 접지연결 리드선 : 150mm<sup>2</sup> 절연전선  
단, 송전용은 흑색, 배전용은 녹색으로 한다.
- (3) 접지동봉 : 리드선 부착형  $\phi 14 \times 1000\text{mm}$

### 8. 케이블 보호대책 검토

#### 8.1 케이블의 내뢰(耐雷) 대책

가공 전선로로부터 침입하는 뇌서지(Surge) 등에 의해 지중 송전선로의 케이블이 손상을 받을 우려가 있는 경우는 다음과 같은 내뢰 대책을 단독 혹은 병용하여 시행한다.

##### 8.1.1 케이블 절연체의 보호

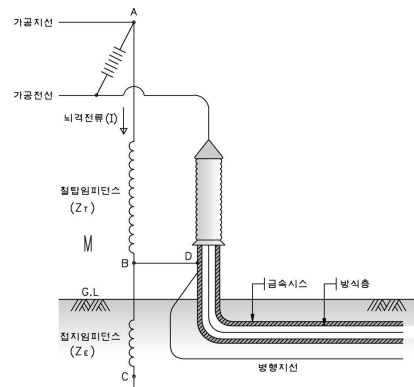
- (1) 가공전선로의 철탑접지와 종단접속상 가대(架臺) 및 케이블 금속 시스(Sheath) 접지의 연접
- (2) 피뢰장치의 설치
- (3) 케이블의 절연강화

##### 8.1.2 절연통의 보호

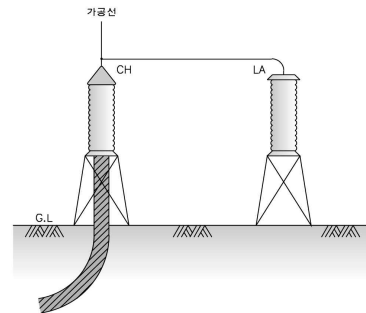
- (1) 병행지선의 설치



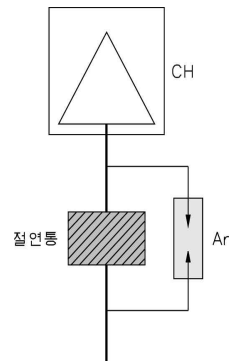
## (2) 절연통 보호장치의 설치



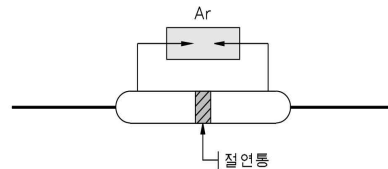
[연접접지와 병행지선 예]



[피뢰장치 설치의 예]



[케이블헤드(CH) 절연통 부분]



[크로스본드(Cross-Bond) IJ 부분]

그림 20. 절연통 보호장치의 설치 예

## 8.2 절연통 보호대책

### 8.2.1 절연통의 보호레벨

케이블에 뇌 또는 개폐 임펄스 등 이상전압이 내습할 때 절연통 및 케이블 접속부에는 위험전위가 발생되어 절연파괴 등이 일어날 수 있으므로 어느 보호레벨 이상의 뇌 또는 개폐 임펄스가 침입시 보호레벨 이하로 써지전압을 제한할 필요가 있다.

154kV 이상 송전케이블의 절연접속부 또는 중단부의 절연통간의 임펄스 내전압 및 보호레벨은 공히 50kV로 되어 있으나, 시공 및 경년열화 등에 의한 내전압 등을 감안하여 14kV 이상 전압이 유기사 방전될 수 있도록 절연통보호장치의 제한전압을 14kV로 정하였다.

### 8.2.2 충격내전압

$$\text{산출공식 } V_S = V_{S0} \times K_1 \times K_2 \times K_3$$

$V_S$  : 절연통의 충격내전압치 [kV]

$V_{S0}$  : 절연통의 충격시험 전압치 [kV]

$K_1$  : 충격전압 반복인가에 의한 저하율

$K_2$  : 흡수 열화에 의한 저하율

$K_3$  : 포설시 외상에 의한 저하율

### 8.2.3 보호 대책

#### (1) 보호방식

크로스본드(Cross-Bond) 절연접속의 보호효과를 절연통사이 발생전압 크기로 평가하면 대지간방식 > 교락접지방식 > 교락비접지방식 의 순으로 절연통간 연결비접지방식이 가장 효과가 크다.

##### ① 대지간 방식 (<그림 22>참조)

방식층 장치의 리드선은 일부 크로스본드선을 겹하기 때문에 리드선이 길어지는 경우가 있는데 고주파 썬지에 대해서는 리드선 부분의 전압강하에 주의할 필요가 있다.

##### ② 절연통간 연결(교락)접지 방식 (<그림 23> 참조)

절연접속부 1조당 2개의 보호장치가 필요하며 접속부 근방에 장치하므로 썬지 제한 효과는 대지간 방식보다 월등 양호하다.

##### ③ 절연통간 연결(교락) 비접지 방식 (<그림 24> 참조)

썬지 억제 효과가 가장 좋으며, 시스 대지간에 썬지가 침입한다고 예상되는 선로에서는 대지 사이에도 장치하면 보호효과가 더욱 좋아진다.

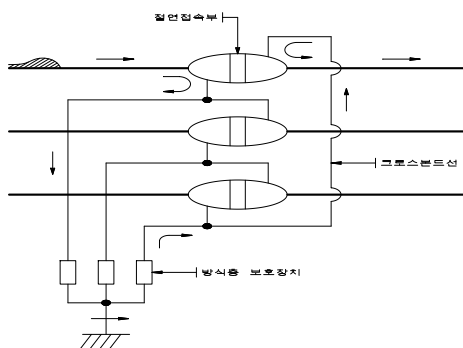


그림 21. 대지간 방식

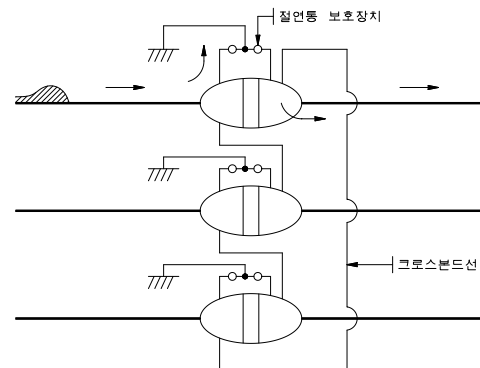


그림 22. 절연통간 연결(교락) 접지 방식

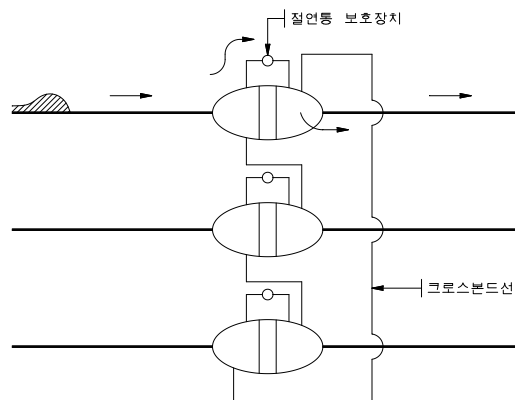


그림 23. 절연통간 연결(교락) 비접지방식



## (2) 시행 방법

- ① 절연접속함 및 종단접속함의 절연통간에 절연통 보호장치 설치
- ② 선로양단의 제1크로스본드 구간의 절연접속함에는 금속시스와 대지간 절연통 보호장치 및 접지시공
- ③ 크로스본딩은 접속함 단자간에서 직접 시행
- ④ 크로스본딩선의 접속점은 방수처리
- ⑤ 크로스본딩선은 최대한 짧게 시공

## (3) 절연통 보호장치 주요 특성

- ① 제한전압 : 14[kV] 이하
- ② 절연저항 : 100[MΩ] 이상
- ③ 외 형 : 방수형

## 8.2.4 접속함 연결 전선종류 및 최소 굵기

### (1) 접지선 종류

PVC, FR

### (2) 접지선 최소굵기

- ① 절연접속함
  - 가. 크로스본드선 : 250[mm<sup>2</sup>]
  - 나. 각 상의 접지선 및 공통접지선 : 150[mm<sup>2</sup>], 38[mm<sup>2</sup>]
- ② 보통접속함
  - 가. 각 상의 접지선 : 150[mm<sup>2</sup>]
  - 나. 공통접지선 : 38[mm<sup>2</sup>]
- ③ 종단접속함
  - 가. 각 상의 접지선 및 공통접지선 : 150[mm<sup>2</sup>], 38[mm<sup>2</sup>]

## 8.3 케이블 금속시스 유기전압

### 8.3.1 케이블 금속시스의 유기전압

케이블 금속시스의 상시 최대 유기전압의 크기는 100[V] 이하이어야 한다.

### 8.3.2 유기전압 감소 대책

시스의 유기전압은 케이블의 배열과 간격에 따라 크게 달라진다. 예를 들면, 1회선의 경우 케이블 3가닥을 정삼각형 배열로 간격 없이 포설할 때 시스 유기전압은 가장 낮다.

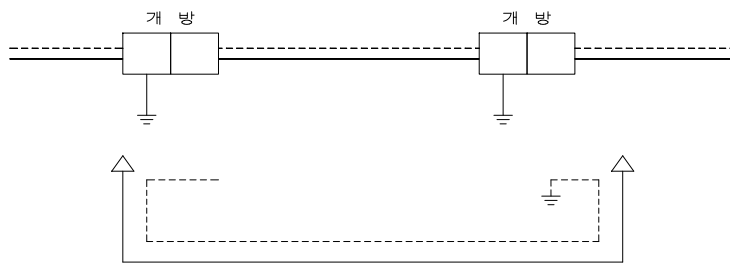
#### (1) 완전접지(Solid Bonding)

케이블 시스를 2개소 이상에서 일괄 접지하는 방식으로 시스 전위는 낮지만 긴 선로에서는 시스 전류가 크게 되어 시스 회로손이 많아지기 때문에 다음과 같은 경우에 적용된다.

- ① 허용전류면에서 충분한 여유가 있으며, 시스 회로손이 문제가 되지 않을 경우.
- ② 장거리 해저케이블과 같이 기타 방법의 시스전위 저감방식을 적용하지 못할 경우.

## (2) 편단접지(Single Point Bonding)

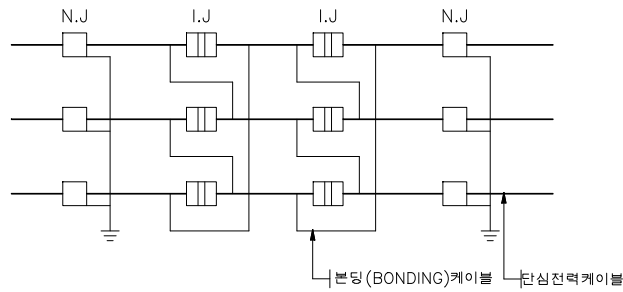
발·변전소 인출용 선로와 같이 공장이 짧은 단구간 케이블의 경우 적용되는 방식으로 케이블 편단에서 시스를 접지하고 다른 단을 개방하여 시스 회로손을 영(Zero)이 되게 한다.



## (3) 크로스본드접지(Cross Bonding)

편단접지방식과 같이 단심케이블에서 금속시스의 유기전압을 저하시키기 위한 접지 방식으로서 금속시스 유기전압은 심선에 흐르는 전류의 크기와 선로길이에 비례하여 증대하므로 선로길이가 길어 편단접지로는 효과가 없을 때 주로 이 크로스본드 방식을 채용한다. 이 접지방식은 본드(Bond)선으로 3상을 연가한 후 접지하는 것으로서 각 경간이 다를 경우에는 잔류전압에 의한 시스 전류가 흐르지만 경간을 적당히 조정하면 잔류전압을 작게 할 수 있다.





N.J : 보통접속함(Normal Joint)

I.J : 절연 접속함(Insulation Joint)

### 8.3.3 시스 유기전압의 계산

#### (1) 편단접지 방식

$$E_{(\ell)} = I \cdot X_m \cdot \ell [V]$$

$E_{(\ell)}$  : 편단접지시 금속시스 개방단에 유기되는 전압 [V]

$I$  : 케이블 도체전류 [A]

$X_m$  : 도체와 금속시스 간 상호 리액턴스 [ $\Omega/m$ ]

$\ell$  : 금속시스 접지점에서 반대편 개방단까지의 케이블 길이 [m]

$$\text{단, } X_m = 2\omega \cdot \ln \frac{D_0}{r_s} \times 10^{-7} [\Omega/m]$$

$r_s$  : 금속시스 평균반경 [mm]

$D_0$  : 케이블 등가선간거리

#### (2) 크로스본드접지 방식

단위 크로스본드 구간의 각 연가점 간의 길이를  $\ell_1, \ell_2, \ell_3$  라하고 전체길이를  $\ell$  이라하면 각 연가점 X에서의 전압은 아래와 같다.

$0 \leq X \leq \ell_1$  일 때

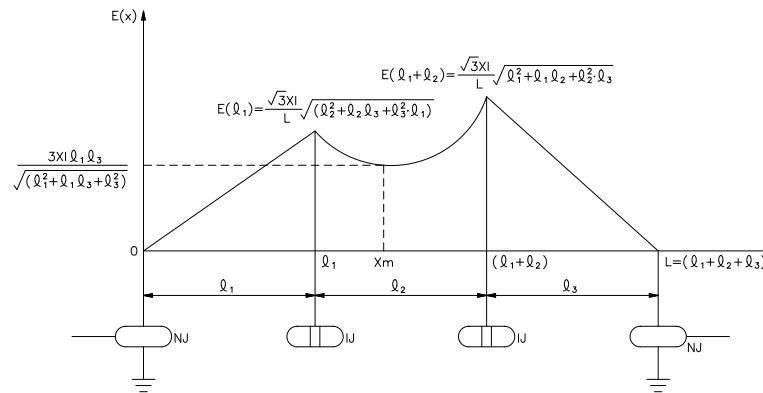
$$E_{(\ell_1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot X_m \cdot I}{\ell} \sqrt{\ell_2^2 + \ell_2 \cdot \ell_3 + \ell_3^2} \cdot \ell_1 [V]$$

$\ell_1 \leq X \leq \ell_2$  일 때

$$E_{(\ell_1 + \ell_2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot X_m \cdot I}{\ell} \sqrt{\ell_1^2 + \ell_1 \cdot \ell_2 + \ell_2^2} \cdot \ell_3 [V]$$

$\ell_1 + \ell_2 \leq X \leq \ell_1 + \ell_2 + \ell_3$  일 때

$$E_{(\ell_1 + \ell_2 + \ell_3)} \doteq 0 [V]$$



[위 식을 도표로 표시한 경우]

### 8.3.4 각종 배열에서의 시스(Sheath) 유기전위 계산식

배 열	시스(Sheath) 전위 [V/km]			부 호 (Y)
	$E_A$	$E_B$	$E_C$	
① ② (단 상)	$-j X_m I_B$	$j X_m I_B$	-	-
① ② ③ (정삼각형)	$\frac{X_m}{2}(-j - \sqrt{3})I_B$	$j X_m I_B$	$\frac{X_m}{2}(-j + \sqrt{3})I_B$	-
① ② ③ (3조병렬)	$\frac{1}{2}[j(-X_m + a) - \sqrt{3}Y]I_B$	$j X_m I_B$	$\frac{1}{2}[j(-X_m + a) + \sqrt{3}Y]I_B$	$X_m + a$
① ② ③ (직 각)	$\frac{1}{2}[j(X_m + \frac{a}{2}) - \sqrt{3}Y]I_B$	$j X_m I_B$	$\frac{1}{2}[j(-X_m + \frac{a}{2}) + \sqrt{3}Y]I_B$	$X_m + \frac{a}{2}$
① ② ③ ③ ② ① (3조병렬2단)	$\frac{1}{2}[j(-X_m + \frac{b}{2}) - \sqrt{3}Y]I_B$	$j(X_m + \frac{a}{2})I_B$	$\frac{1}{2}[j(-X_m + \frac{b}{2}) + \sqrt{3}Y]I_B$	$X_m + a - \frac{b}{2}$
① ② ③ ① ② ③ (3조병렬2단)	$\frac{1}{2}[j(-X_m + \frac{b}{2}) - \sqrt{3}Y]I_B$	$j(X_m + \frac{a}{2})I_B$	$\frac{1}{2}[j(-X_m + \frac{b}{2}) - \sqrt{3}Y]I_B$	$X_m + a + \frac{b}{2}$
비 고	$E = \sum j X_{mi} I_i \times 10^{-4} \text{ [V/km]}$ $X_{mi}$ : 도체와 시스(Sheath)의 상호리액턴스 [ $\Omega/\text{km}$ ] $I_i$ : 전 류 [A]			
	$a = 2\omega \ln 2 \times 10^{-4} \text{ } [\Omega/\text{km}]$ , $b = 2\omega \ln 5 \times 10^{-4} \text{ } [\Omega/\text{km}]$ $X_m = 2\omega \ln \frac{S}{r_m} \times 10^{-4} \text{ } [\Omega/\text{km}]$ $S$ : 케이블 중심간거리 [m] $r_m$ : 시스(Sheath)의 평균반경 [m]			



## 해설 22. 운반조건 검토

### 1. 가설진입도로 및 진입로 축조

- (1) 가설진입도로 설계는 1/5,000 지형도에 노선을 선정하여 토공량을 산출 [진입로 연장 (m) × 진입로 폭(m) × 깊이(0.5m)] 하고 가설 진입도로 시공전 관련 관청과 토지주 및 업무담당자와 사전에 협의를 한 후, 확정된 노선에 따라 노선측량을 실시하고 도면을 작성한다.
- (2) 가설 진입도로 노선선정은 가능한 한 절·성토 균형을 맞추어 시공계획을 수립하고, 시공 시 불필요한 산림훼손 및 사토가 발생되지 않도록, 필요개소에 토공규준틀을 설치하여 시행한다.
- (3) 자재운반 및 장비의 안전운행을 위한 적정경사와 노폭을 유지하고 안전사고에 철저히 대비하여 설계한다.
- (4) 기타 상세 시공 내용은 철도전문시방서를 참조한다.

### 2. 삭도운반

- (1) 삭도 설치는 녹지8등급지역 및 현장 여건상 도로개설이 불가능 개소에 설치하며 삭도의 설치길이, 경사, 지장목의 유무, 산지붕괴 등은 현지답사 및 측량을 실시한 후 노선을 결정하여야 한다.
- (2) 삭도의 노선은 가능한 한 직선으로 하며 지형조건을 최대한 이용할 수 있는 노선을 선정해야 한다.
- (3) 삭도장은 운반장소에 최단거리 및 대형차 진입이 가능한 지역과, 횡단공작물이 없는 장소를 선정한다.
- (4) 원치의 위치는 운전자가 작업상황을 잘 감시할 수 있는 위치로 선정해야 한다.
- (5) 오수, 공사소음, 토사유출 등에 의한 민원이 발생하지 않도록 조치하여야 한다.
- (6) 삭도는 공사완료 후 기계, 공구 등을 하부기지로 운반한 뒤 철거되어야 한다.
- (7) 기타 상세 시공 내용은 철도전문시방서를 참조한다.

### 3. 헬기운반

- (1) 헬기운반은 녹지8등급지역 및 현장여건상 도로개설, 삭도 및 모노레일 설치가 불가능한 지역에 설치하며 자재운반 육로와 항공로의 접점이 되는 장소로서 자료조사 및 현장조사를 통해 최적의 위치를 결정하여야 한다.
- (2) 헬기장은 소음으로 인한 민원이 발생할 우려가 있는 주택, 학교, 병원, 유치원, 축사, 양계장 등의 주변은 피해야 한다. 또 헬기의 풍압이 농작물, 과수 등에 피해를 줄 우려가 있는 장소는 피한다.

- (3) 콘크리트 타설시간, 운반량 등을 고려하여 철탑위치의 하강장에서 가까운 장소로 선정한다.
- (4) 기타 상세 시공 내용은 철도전문시방서를 참조한다.

#### 4. 산림훼손 및 복구

##### 4.1 진입로

- (1) 가설 진입도로 개설 및 작업장 조성, 식도설치 등 본 공사와 관련하여 수반 되는 모든 산림훼손은 범위가 최소화 되도록 하여야 한다.
- (2) 식도구간 일부 및 모노레일 구간은 벌목, 부지조성 지역은 벌목 및 벌개제근 후 표토를 제거하며 진입도로 성토폭은 측점에서 1/2지점까지만 벌채하여 경관보호 및 훼손을 최소화 한다.
- (3) 지질환경피해 저감을 위하여 진입도로 및 철탑작업장 등의 표토(깊이 0.3m)는 최대한 집적하여 우수, 바람의 영향이 적고 경사가 완만한 지역에 임시적치장을 선정하여 보관 후 훼손지복구시 녹화유도재로서 활용하여야 한다.
- (4) 진입도로 절·성토사면은 지형과 토질에 맞는 공종으로 구간별 녹화공사를 조기에 실시해야 한다.
- (5) 가설 진입도로는 원상복구 하되, 복구 또는 존치여부는 관할 관청 및 토지주와 사전 협의한다.
- (6) 기타 상세 시공 내용은 철도전문시방서를 참조한다.

##### 4.2 철탑

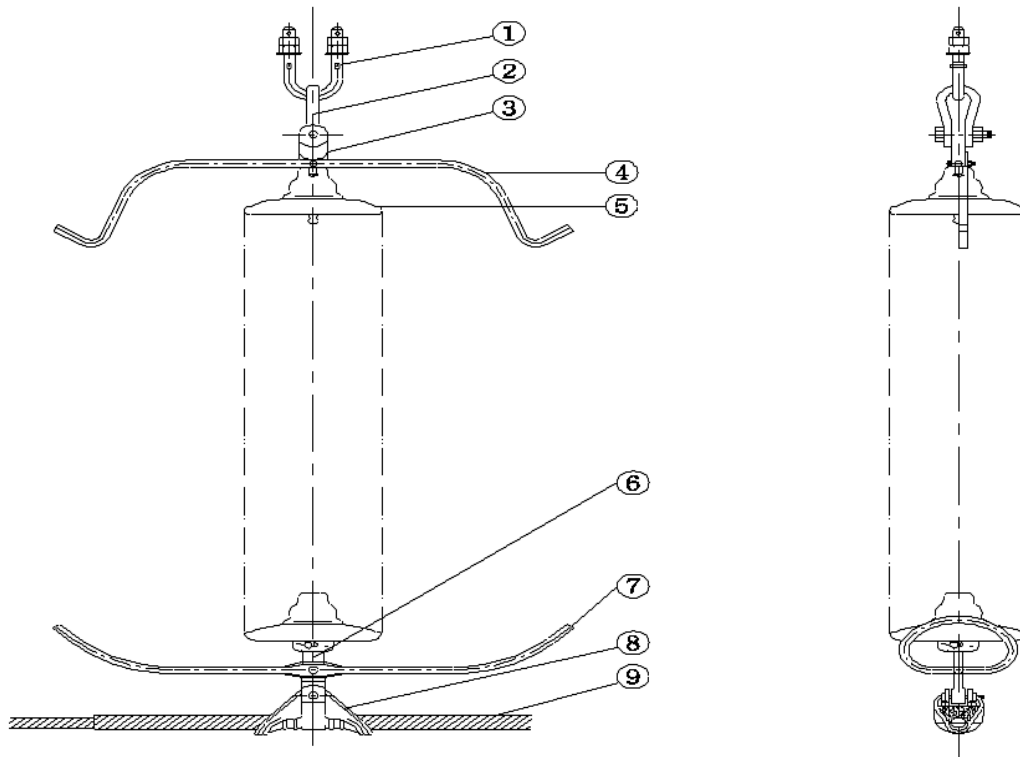
- (1) 부지조성 지역 복구방법은 관련관청 및 지주와 사전 협의한다.
- (2) 모든 수목은 시공 전에 규격, 발육상태 등을 사전에 검사를 받아 시행해야 한다.
- (3) 수목식재 후 생육상태를 점검하고 관리를 철저히 하여 고사를 방지하여야 하며 만약 고사된 수목이 있을 시는 재식재 해야 한다.
- (4) 기타 상세 시공 내용은 철도전문시방서를 참조한다.



## 참조 1. 애자장치도

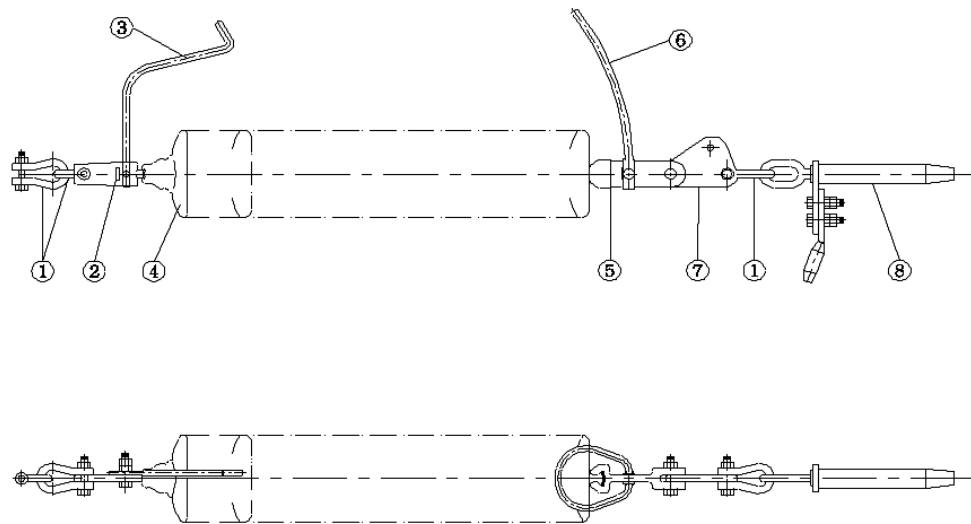
### 1. 154kV 가공선로 전선용 애자장치도

#### (1) 1련 현수 애자장치 (단도체)



번호	제 품 명	수량	기 호			비 고
1	애자장치용 U볼트	1	UB-12	UB-12	UB-12	
2	앵커쇄클	1	AS-12	AS-12	AS-12	
3	볼아이	1	BE-12H	BE-12H	BE-12H	
4	아킹혼	1	AH-C1SS	AH-C1SS	AH-C1SS	
5	현수애자		B&S 25,000 lbs (J)			
6	소켓아이	1	SE-HS4	SE-HS4	SE-HS4	
7	아킹혼	1	AH-P1SS	AH-P1SS	AH-P1SS	
8	현수클램프	1	SUA-7	SUA-9	SUA-9	
9	아마로드	1조	PA-6	PA-7	PA-8	
적 용 전 선			ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	

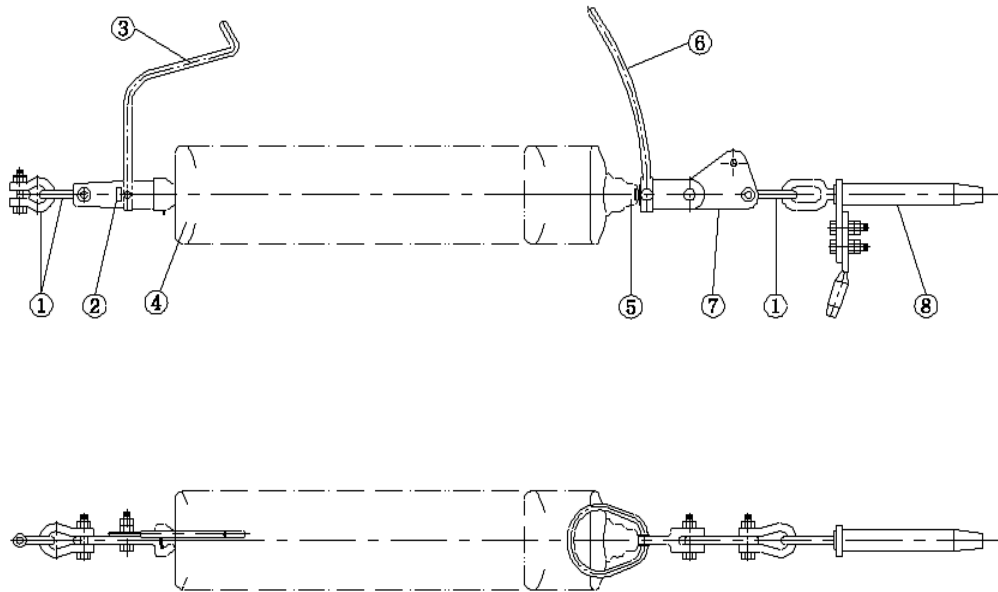
(2) 1련내장 애자장치 (단도체, 정조형)



번호	제 품 명	수량	기 호			비 고
1	앵커쇄클	3	AS-12	AS-12	AS-16.5-2	
2	볼아이	1	BE-12H	BE-12H	BE-16.5H	
3	아킹혼	1	AH-C1TS	AH-C1TS	AH-C1TS	
4	현수애자		B&s 25,000 lbs (J)		36,000 lbs (K)	
5	소켓크레비스	1	SC-12H	SC-12H	SC-16.5H	
6	아킹혼	1	AH-P1TS	AH-P1TS	AH-P1TS	
7	삼각링크	1	TL-12	TL-12	TL-16.5	
8	압축인류클램프	1	DEA-7	DEA-8	DEA-9	
적 용 전 선			ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	

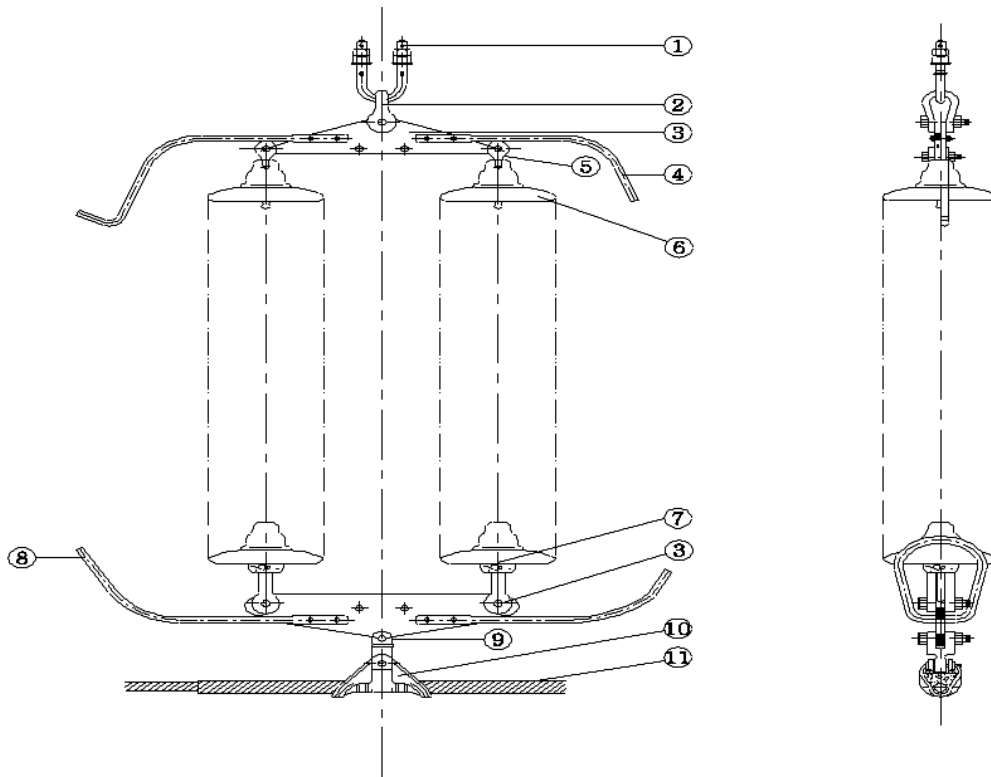


(3) 1련내장 애자장치 (단도체, 역조형)



번호	제 품 명	수량	기 호			비 고
1	앵커쇄클	3	AS-12	AS-12	AS-16.5-2	
2	소켓아이	1	SE-12H	SE-12H	SE-16.5H	
3	아킹혼	1	AH-C1TS	AH-C1TS	AH-C1TS	
4	현수애자		B&s 25,000 lbs (J)		36,000 lbs (K)	
5	볼크레비스	1	BC-12H	BC-12H	BC-16.5H	
6	아킹혼	1	AH-P1TS	AH-P1TS	AH-P1TS	
7	삼각링크	1	TL-12	TL-12	TL-16.5	
8	압축인류클램프	1	DEA-7	DEA-8	DEA-9W	
적 용 전 선			ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	

(4) 2련현수 애자장치 (단도체)

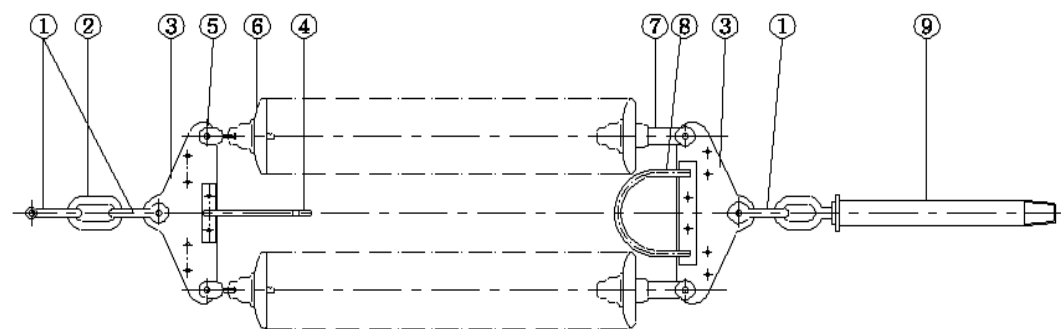
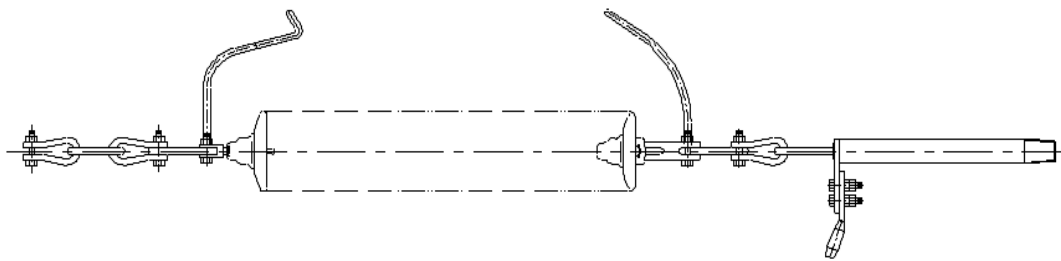


번호	제 품 명	수량	기 호			비 고
1	애자장치용 U볼트	1	UB-16.5	UB-16.5	UB-16.5	
2	앵커쇄클	1	AS-16.5-1	AS-16.5-1	AS-16.5-1	
3	요크(삼각요크)	2	Y-16.5H	Y-16.5H	Y-16.5H	
4	아킹혼	2	AH-C2SS	AH-C2SS	AH-C2SS	
5	볼크레비스	2	BC-12	BC-12	BC-12	
6	현수애자		B&s 25,000 lbs (J)			
7	소켓크레비스	2	SC-12	SC-12	SC-12	
8	아킹혼	2	AH-P2SS	AH-P2SS	AH-P2SS	
9	평행크레비스	1	CLP-16.5-2	CLP-16.5-4	CLP-16.5-4	
10	현수클램프	1	SUA-7	SUA-9	SUA-9	
11	아마로드	1조	PA-6	PA-7	PA-8	
적 용 전 선			ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	



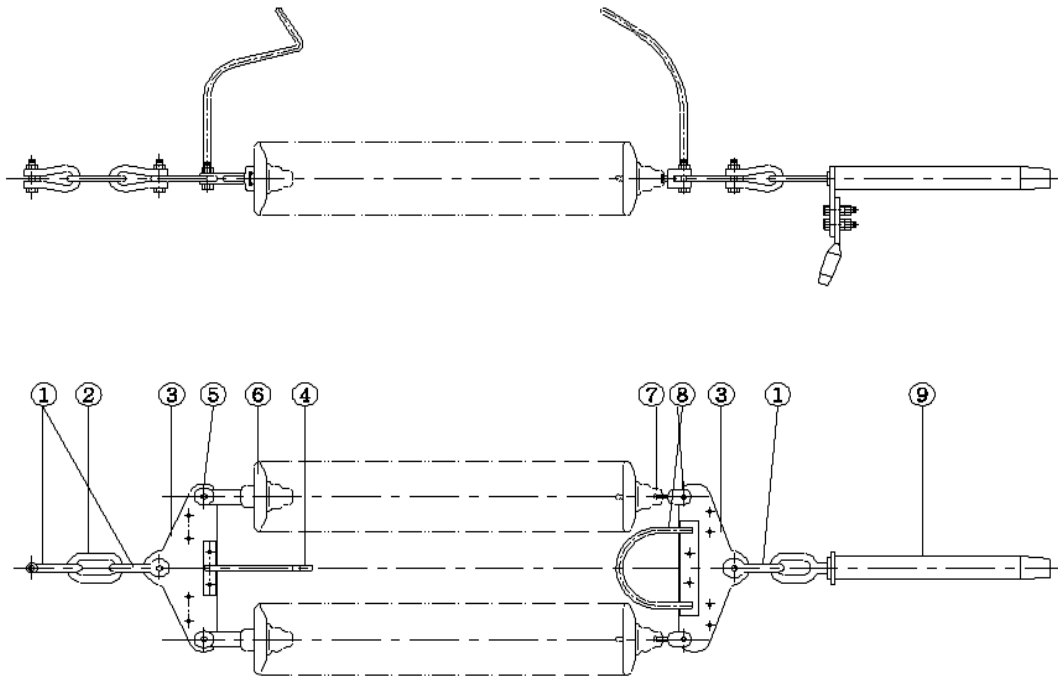


(5) 2련내장 애자장치 (단도체, 정조형)



번호	제 품 명	수량	기 호			비 고
1	앵커쇄클	3	AS-16.5-1	AS-16.5-1	AS-16.5-1	
2	체인링크	1	CL-16.5	CL-16.5	CL-16.5	
3	요크	2	Y-16.5H	Y-16.5H	Y-16.5H	
4	아킹혼	1	AH-C2TS	AH-C2TS	AH-C2TS	
5	볼크레비스	2	BC-12	BC-12	BC-12	
6	현수애자		B&s 25,000 lbs (J)			
7	소켓크레비스	2	SC-12	SC-12	SC-12	
8	아킹혼	1	AH-P2TS	AH-P2TS	AH-P2TS	
9	압축인류클램프	1	DEA-7	DEA-8	DEA-9	
적 용 전 선			ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	

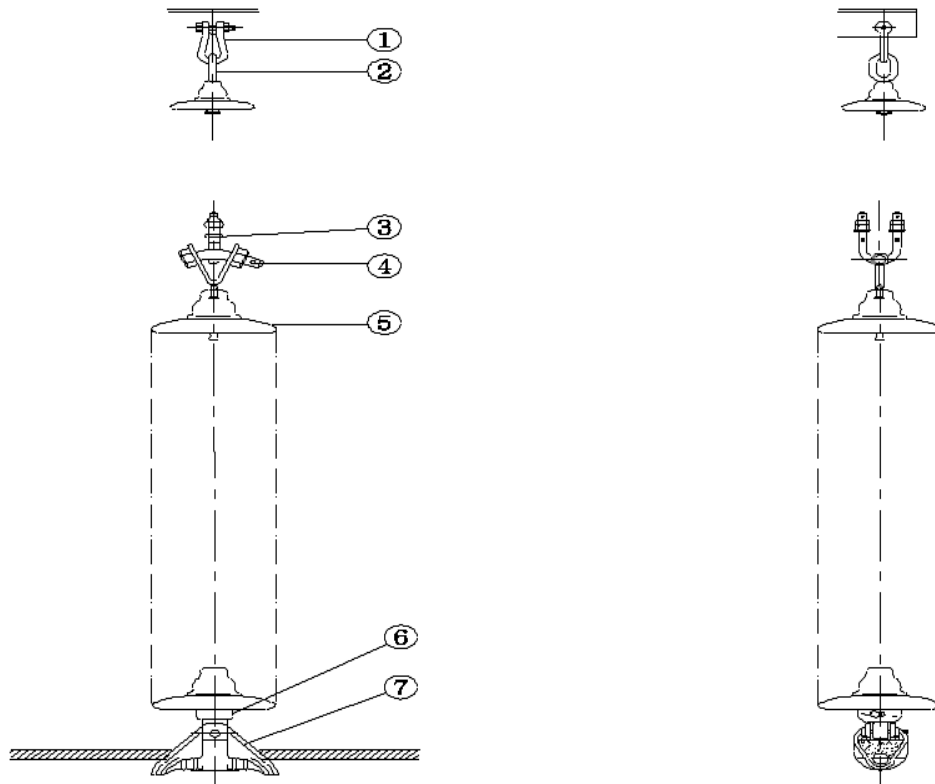
(6) 2련내장 애자장치 (단도체, 역조형)



번호	제 품 명	수량	기 호			비 고
1	앵커쇄클	3	AS-16.5-1	AS-16.5-1	AS-16.5-1	
2	체인링크	1	CL-16.5	CL-16.5	CL-16.5	
3	요크	2	Y-16.5H	Y-16.5H	Y-16.5H	
4	아킹훅	1	AH-C2TS	AH-C2TS	AH-C2TS	
5	소켓크레비스	2	SC-12	SC-12	SC-12	
6	현수애자		B&s 25,000 lbs (J)			
7	볼크레비스	2	BC-12	BC-12	BC-12	
8	아킹훅	1	AH-P2TS	AH-P2TS	AH-P2TS	
9	압축인류클램프	1	DEA-7	DEA-8	DEA-9W	
적 용 전 선			ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	



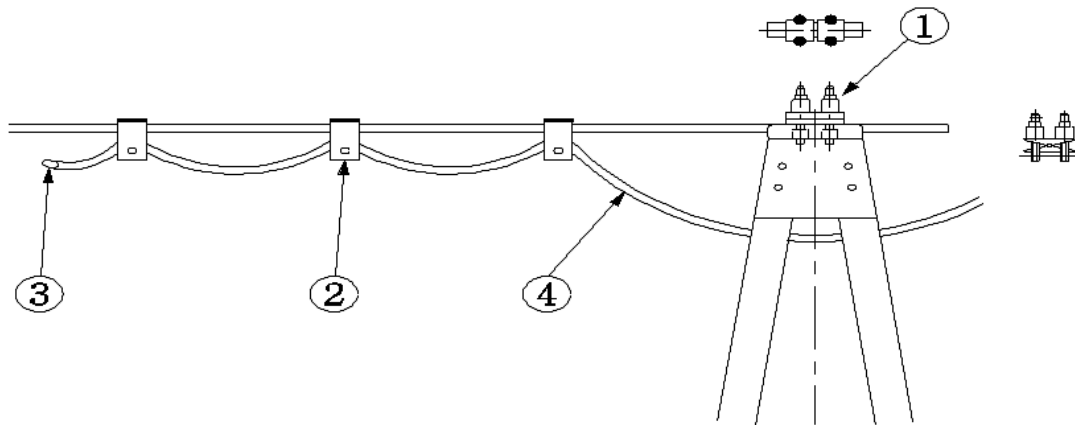
(7) 점퍼지지 애자장치 (단도체)



번호	제 품 명	수량	기 호			비 고
1	애자장치용 U볼트	1	UB-12	UB-12	UB-12	
2	앵커쇄클	1	-	-	-	
3	볼아이	1	-	-	-	
4	Y크레비스볼	1	YCB-12	YCB-12	YCB-12	
5	현수애자		B&S 25,000 lbs (J)			
6	소켓아이	1	SE-S2	SE-S2	SE-S2	
7	현수클램프	1	SUA-5	SUA-5	SUA-7	
적 용 전 선			ACSR 240mm <sup>2</sup>	ACSR 330mm <sup>2</sup>	ACSR 410mm <sup>2</sup>	

## 2. 154kV 가공지선용 지지장치도

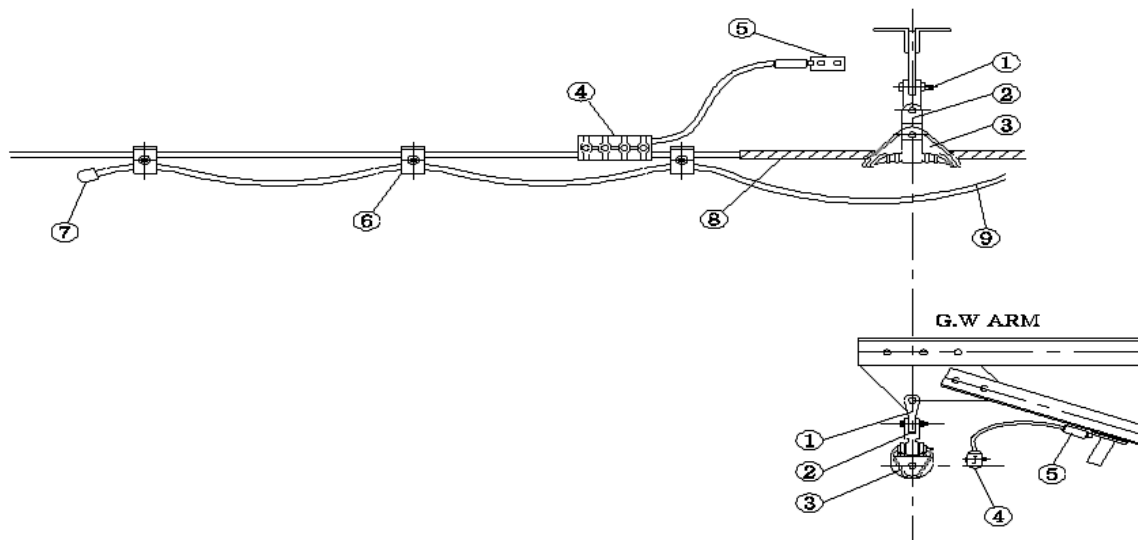
### (1) 가공지선 지지장치 (현수형, 1조)



번호	제 품 명	수량	기 호	비 고
1	지선용 고정형 현수클램프	1	GS-4	
2	베이트댐퍼용 클립	6		97mm <sup>2</sup>
3	베이트댐퍼용 단말금구	2		97mm <sup>2</sup>
4	첨 선			97mm <sup>2</sup>
적 용 전 선				ACSR 97mm <sup>2</sup>



(2) 가공지선 지지장치 (현수형, 2조)



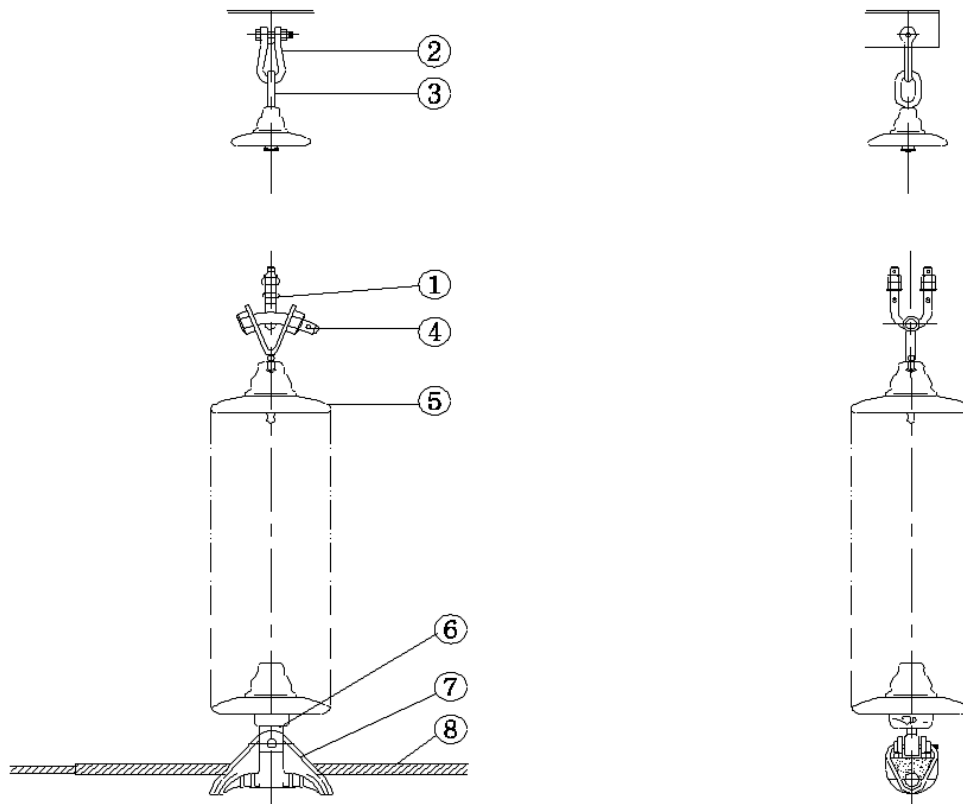
번호	제 품 명	수량	기 호	비 고
1	직각크레비스링크	1	CLR-12-1	
2	평행크레비스링크	1	CLP-12-2	
3	현수클램프	1	SUA-5	
4	PG클램프	1		PS 112-23
5	압축단자	1		97mm <sup>2</sup>
6	베이트댐퍼용 클립	6		97mm <sup>2</sup>
7	베이트댐퍼용 단말금구	2		97mm <sup>2</sup>
8	아마로드	1	PA-4	
9	첨 선			97mm <sup>2</sup>
적 용 전 선				ACSR 97mm <sup>2</sup>





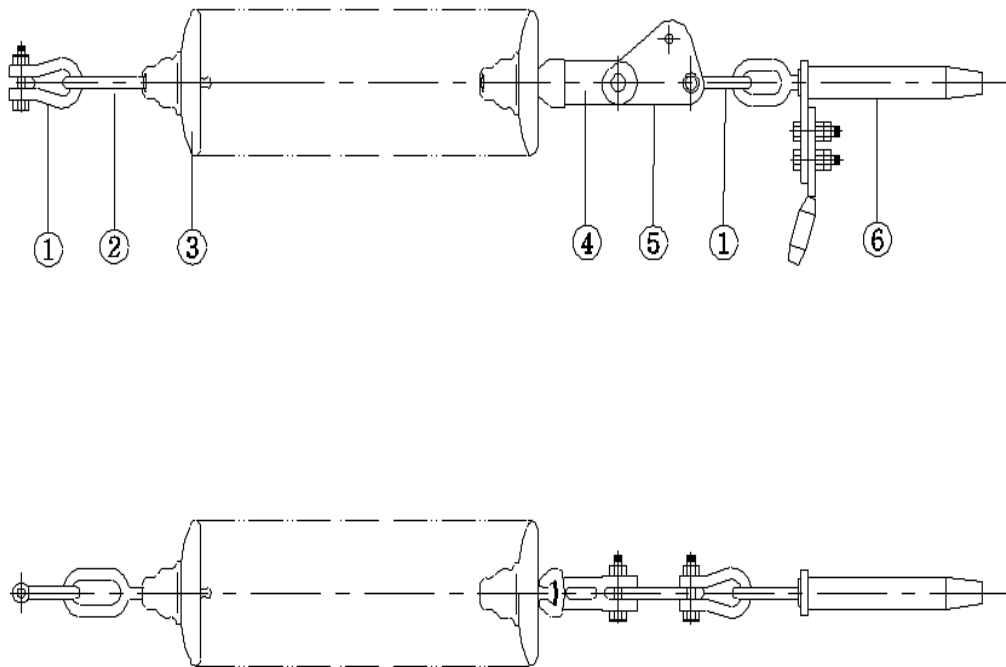
### 3. 66kV 가공선로용 애자장치도

#### (1) 1련 현수애자장치 (단도체)



번호	제 품 명	수량	기 호		비 고
			C.P(W.P)	철 답	
1	애자장치용 U볼트	1	-	UB-8	
2	앵커쇄클	1	AS-8	-	
3	볼아이	1	BE-8	-	
4	Y크레비스볼	1	-	YCB-8	
5	현수애자		B&S 25,000lbs(J)	B&S 25,000lbs(J)	
6	소켓아이	1	SE-8	SE-12	
7	현수클램프	1	SUA-3	SUA-3	
8	아마로드	1조	-	-	
적 용 전 선			ACSR 95mm <sup>2</sup>		

(2) 1련내장 애자장치 (단도체, 정조형)

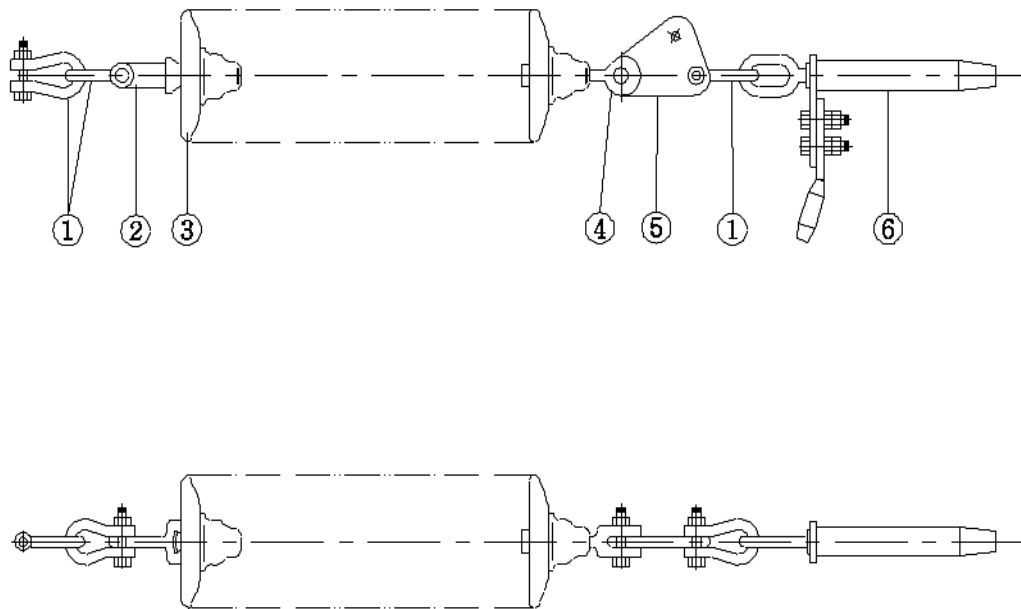


번호	제 품 명	수량	기 호	비 고
1	앵커쇄클	2	AS-8	
2	볼아이	1	BE-8	
3	현수애자		B&S 25,000 lbs (J)	
4	소켓크레비스	1	SC-8	
5	삼각링크	1	TL-8	
6	압축인류클램프	1	DEA-3	
적 용 전 선			ACSR 95mm <sup>2</sup>	



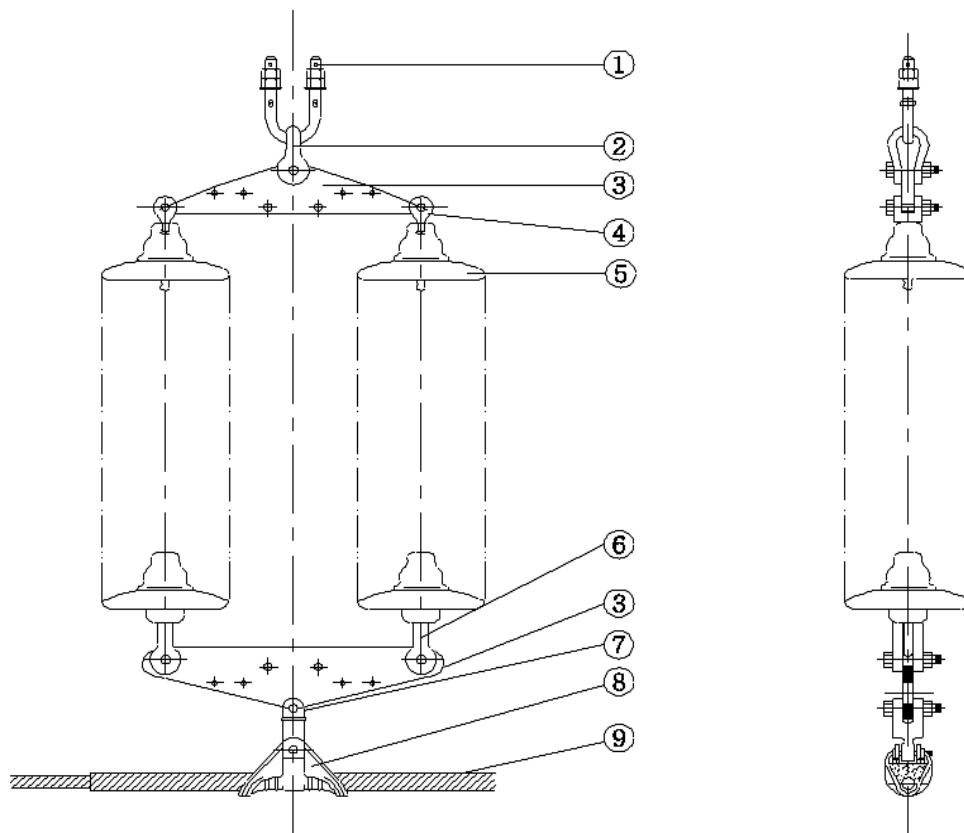


(3) 1련내장 애자장치 (단도체, 역조형)



번호	제 품 명	수량	기 호	비 고
1	앵커쇄클	2	AS-8	
2	소켓아이	1	SE-8	
3	현수애자		B&S 25,000 lbs (J)	
4	볼크레비스	1	BC-8	
5	삼각링크	1	TL-8	
6	압축인류클램프	1	DEA-3	
적 용 전 선			ACSR 95mm <sup>2</sup>	

(4) 2련현수 애자장치 (단도체)

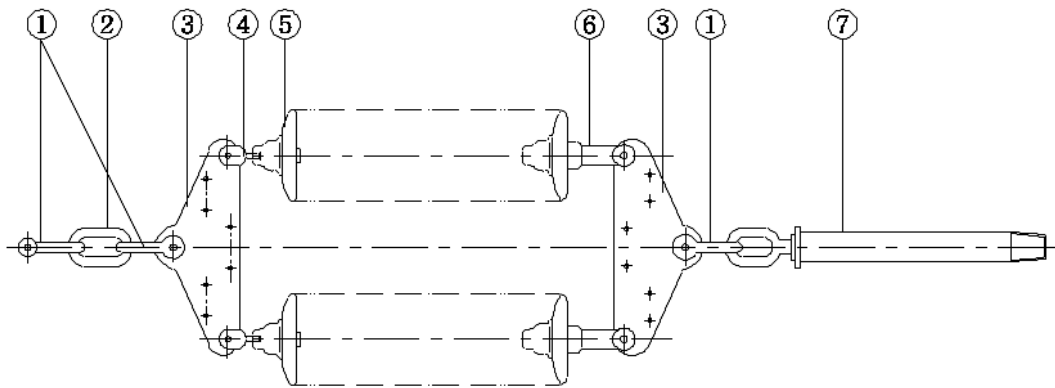
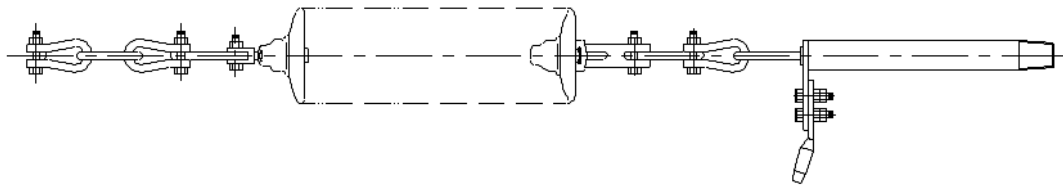


번호	제 품 명	수량	기 호		비 고
			C.P (W.P)	철 탑	
1	애자장치용 U볼트	1	-	UB-8	
2	앵커쇄클	1(2)	AS-8	AS-8	
3	요크(삼각요크)	2	Y-8H	Y-8H	
4	볼크레비스	2	BC-8	BC-8	
5	현수애자		B&S 25,000 lbs (J)	B&S 25,000 lbs (J)	
6	소켓크레비스	1	SC-8	SC-8	
7	평행크레비스링크	1	CLP-12-1	CLP-12-1	
8	현스클램프	1	SUA-3	SUA-3	
9	아마로드	1	-	-	
적 용 전 선			ACSR 95mm <sup>2</sup>		

(주) ( )안의 수량은 C.P(W.P)의 경우임

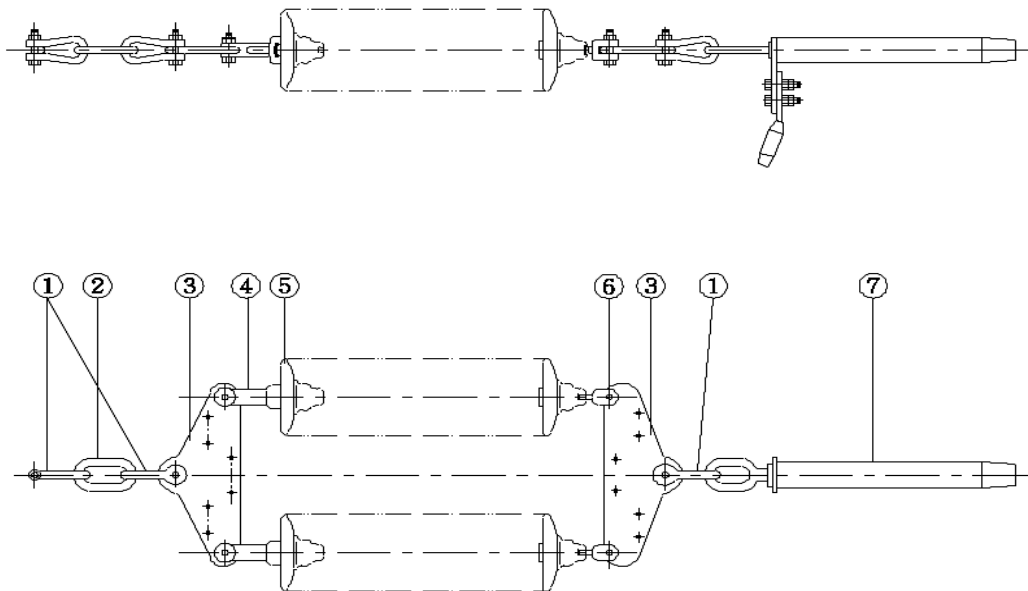


(5) 2련내장 애자장치 (단도체, 정조형)



번호	제 품 명	수량	기 호	비 고
1	앵커쇄클	3	AS-8	
2	체인링크	1	CL-8	
3	요크(삼각요크)	2	Y-8H	
4	볼크레비스	2	BC-8	
5	현수애자		B&S 25,000 lbs (J)	
6	소켓크레비스	2	SC-8	
7	압축인류클램프	1	DEA-3	
적 용 전 선			ACSR 95mm <sup>2</sup>	

(6) 2련내장 애자장치 (단도체, 역조형)



번호	제 품 명	수량	기 호	비 고
1	앵커쇄클	3	AS-8	
2	체인링크	1	CL-8	
3	요크(삼각요크)	2	Y-8H	
4	소켓크레비스	2	SC-8	
5	현수애자		B&S 25,000 lbs (J)	
6	볼크레비스	2	BC-8	
7	압축인류클램프	1	DEA-3	
적 용 전 선			ACSR 95mm <sup>2</sup>	



## RECORD HISTORY

- Rev.3(12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둠.
- Rev.4(13.5.27) 해설 7, 가공지선 설계, 해설 13 지지물 접지, 참조 1. 애자장치도 수정
- Rev.5(14.12.29) 해설 19 맨홀경간을 300m에서 500m로 개정
- Rev.6(15.06.29) 해설 2 수전선로 예상부하량 산정 계산식 수정, 해설 14, 15 아래침자등 표기오류 수정, 해설 18 “154kV 대지간 표준이격거리 변경”, 해설 19 지중 관로 설계의 전선관 규격 명확화, 해설 20 “맨홀 내 접속부 표준 배치간격 추가” 등 설계기준 개선발굴을 위한 워크숍 결과반영(설계기준처-945 ‘15.04.06)
- Rev.7(15.12.30) 케이블(알루미늄시스) 허용곡률반경 기준 추가
- Rev.8(16.08.24) “철도건설기준 Master Plan 개선을 위한 전문가 토론회” 결과를 반영하여 해설 16 관로매설깊이 1.2m 이상에서 1.0m이상으로 변경