

특집 : 방재설비(피뢰설비)

특집 : 방재설비(피뢰설비)

피뢰설비 보호범위

郭 熙 魯 <崇實大學校 工科大學長 / 工學博士>

鄭 龍 基 <義儕技術士考試院長 / 電氣·消防技術士>

1. 들어가는 말

돌침이나 용마루 위 도체 등 피뢰설비가 뇌격에 대하여 어떠한 보호범위를 가지며 그 효과는 어떠한가를 아는 것은 각종 건축물에 있어서 안전 및 경제적인 피뢰설비 설계를 하는 제1요건이다. 이것에 대하여 국내외에서 많은 연구가 되고 있으며 뇌격과 이것에 관한 현상이 차츰 해명되어 피뢰설비 보호효과는 상당히 확실해지고 있지만 충분한 결론에 도달하였다고는 말할 수 없다.

이것은 우리 성질이 매우 복잡한 것에 우리 방전로 길이와 방전 에너지 등이 크고 실험실에서 모델 실험에서는 실제 뇌방전을 정확하게 모의하지 못하는 것, 방전현상을 이론적으로 취급하려면 현시점에서는 상당히 곤란한 점이 있는 것, 뇌현상을 통계적으로 검토하려면 오랜 세월에 걸친 관측이 필요하다는 것 등에 의한 것이라고 볼 수 있다.

따라서 피뢰설비 보호범위와 그 효과에 대하여 더욱 신중하게 검토하여 실제면에서 기초 사항을 더욱 상세하게 아는 것이 중요하다.

피뢰설비 보호범위에 대해서는 우리 성질에 대한 연구가 진행됨에 따라 많은 변천을 거쳐 현재

에 이르고 있는데 최근에는 우리의 선행방전(스텝리더)에 최종단 진전거리(보통 “뇌격거리”라고 불리고 있다)가 보호범위에 직접 영향을 주고 또, 뇌격거리는 뇌격전류 대소로 달라진다고 하는 사고방식을 기초로 하여 피뢰설비 보호범위를 고려하도록 되어 있다. 더욱 건축물 높이, 규모나 근방 건조물, 수목 등의 유무 및 지형 상태가 보호범위에 상당히 영향을 준다. 여기서는 우선 피뢰설비 보호효과에 관한 사고방식, 변천, 경위 설명에 요점을 기술하고 다시 최근 사고방식에 의한 보호범위 내용을 설명하는 동시에 실제 적용시에 고려할 필요가 있는 기본사항을 나타낸다.

2. 뇌격거리와 뇌격차폐

(1) 뇌격차폐에 관한 사고방식 변천

돌침 보호범위에 관한 연구는 ① 실제 뇌격으로 사고가 발생한 경우에 통계적 해석, ② 모델 실험, ③ 뇌방전로의 기하학적 해석이 세가지 방법에서 행하여지고 있지만 최근 건축물과 대상물 높이 등에서 우리 선행방전 진전상황 및 뇌격점을 결정하는 최종 스텝을 지상 높이와 그 관계에 중점을 두고 보호 효과에 대한 연구가 진행되고

있다. 이하에 이러한 방식의 요점과 관련 사항을 나타낸다.

우선 돌침에 대하여서는 Franklin(미)이 피뢰침을 고안한 뒤 그 보호범위에 대하여 최초로 연구를 행한 것은 F. W. Peek(미)이다. 그의 사고 방식은 뇌운의 한 점에서 출발한 뇌방전로와 최단거리에 있는 대지 위 한 점에 도달한다는 것으로 이것에 따르면 돌침 보호범위는 그림 1에서 표시된다. 이 사고방식이 최근 것과 근본적으로 다른 것은 “뇌격거리”(Striking distance) 개념이 전혀 도입되어 있지 않아 보호범위에 대한 정량적 평가를 하는데 무리가 있다.

Holtz(독)는 90여년 전에 대지에 대하여 45도 이하의 각도로 뇌격하는 뇌방전이 없다고 하는 관측결과를 근거로 하여 돌침 보호범위는 높이 h 에 돌침 끝을 꼭지점으로 하고 반지름 h 의 원을 밑면으로 하는 원뿔체 내부라는 것을 제안하고 독일에서는 최근까지 이 방식을 채용하고 있었다. 이것은 뇌격에 대한 차폐가 45도라고 하는 종래 일반적인 개념의 주요한 것에 하나로 되었다고 볼 수 있다.

Walter(독)는 함부르크 보험회사의 우뢰에 의한 화재 기록(1912~1932년 사이의 438건)을 해석하여 보호범위를 추정하였다. 즉, 높은 탑(100~150[m])의 높이를 반지름으로 하는 범위 안 건물에는 뇌격이 없고 그 이상 2배 이내 범위에는 약간 뇌격이 있으며 이 범위가 넓어짐에 따라 뇌격수가 증가하는 것, 또 1기 탑이 있을 때보다도 접근한 2기탑이 있을 때 보호범위는 약 2개로 커지는 것에 대한 실제기록 해석에서

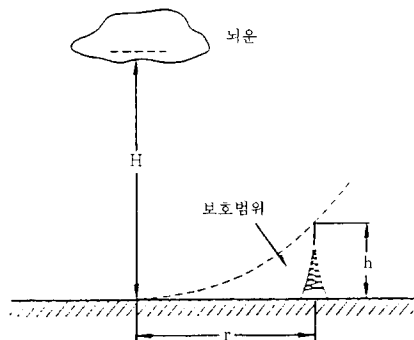


그림 1. 돌침 보호범위(Peek)

건축물 정상보다도 건축물에 접근하여 1기 또는 2기에 돌침을 세우는 것이 효과적이고 경제적인 피뢰 방법이라고 제안하였다. 이것은 현재 독립 피뢰침에 대응하는 것이라고 말할 수 있다.

Walter는 그 뒤 뇌방전로 사진 관측에 의하여 건축물 높이의 2배 정도인 곳에서 갑자기 굴곡하여 건축물에 뇌격하는 것을 확인하여 앞에 설명한 Peek 사고 방식이 현실에 맞지 않는 것을 지적하였다. 이러한 현상은 현재 당연한 사실로서 확인되어 있는데 Schwaiger(독)는 상기한 관측 결과를 근거로 뇌격선단이 대지에 접근하였을 때 그 선단으로부터 돌침 선단까지 수평거리와 대지까지 수직거리가 동등한 경우에 돌침에 뇌격하는 경우와 대지에 뇌격하는 경우는 동등하다고 하고 그림 2에 보인 것처럼 2개의 1/4 원호와 대지에 둘러싸인 보호범위를 제안하였다. 이 보호범위는 이제까지 기술한 어느 경우의 보호범위보다도 좁다. 1950년경까지는 일단 이 보호범위가 가장 타당하다고 생각되어 있었다.

한편, 축소 모델을 사용한 보호범위에 대한 실험연구도 행하여져 왔다. 예로서 Matthias(독)는 뇌운을 모의하는 고압 전극 높이를 돌침 높이의 7~8배로 하여 실험하고 고압 전극이 양극성과 음극성인 경우에 보호범위가 다르고 그림 3에 실선으로 표시되는 것을 보였다. 또한 Langrehr(독)와 Matthias의 모델 실험에서 방전로의 사진 관측 결과를 검토하여 선행방전 최종단 높이를 돌침 높이의 2배로 취하는 것이 타당하다고 생각했다. 이 사고방식에 따르면 보호범위는 그림 3에 사선처럼 돌침 2배 높이의 점을 중심으로 하는 원호와 대지 사이 영역에서 표시된다.

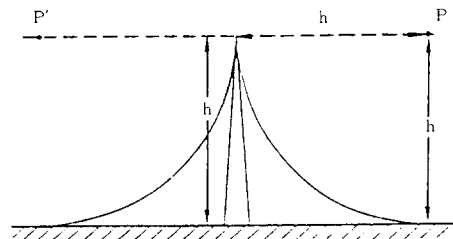


그림 2. Schwaiger 보호범위

돌침 보호범위에 관한 연구는 상술한 것처럼 최초 단계에서는 ① 실제 뇌격사고가 발생한 경우에 통계적 해석, ② 뇌방전로의 기하학적 해석, ③ 축소 모델 시험 등 세가지 방법이 행하여지고 있다. 이 중 ①은 실제 데이터에 따르고 있으므로 신뢰성은 높지만 일반적인 결론을 얻으려면 광범위하고, 장기간에 걸친 상세한 관측이 필요하며, ②에서 가장 중요한 것은 뇌운으로부터 대지로 향하여 진진하여 온 계단상 선행방전이 뇌격점을 결정하는 최종 스텝의 높이를 어떻게 선정할 것인가는 뒤에서 설명하는 것처럼 최근에 이 값이 뇌격전류 크기에 따라 변화하므로 돌침 보호범위를 일시적으로 정하는 것은 어렵다고 하는 것이 일반적인 사고방식으로 되어 있다. ③은 돌침 높이와 전압을 인가하는 고압 전극 높이와의 관계, 시험전압 파형극성을 어떻게 선정하는가 등을 포함하여 종합적으로 본 축소 모델과 실제와의 동가성에 대하여 문제가 남겨져 있다.

수평도체 보호각도 돌침의 그것과 본질적으로 다름이 없고 보호범위에 대해서는 돌침이 직선에 따라서 연속적으로 서 있다고 생각하면 된다. 수평도체 보호각에 관한 이론적 및 실험적 연구는 송전선에서 가공지선의 뇌격차폐 효과에 관련하여 행하여져 왔다.

우선 일본에서는 Mitsuda Noboru에 의하여 제안된 흡인공간이론이 있다. 이것은 그림 4에 보인것처럼 가공지선 O가 지상 높이 H 높이에 가설된 경우 O를 중심으로 하여 반지름 H 반원통의 공간 안으로 진전하여 오는 뇌격 선단은 모두 O에 흡인되고 가공지선 O는 AA₁A₂로 표시되는 우산 모양의 뇌격흡인공간을 갖는다고 생각한다. 이 사고방식을 적용하여 높이 h 돌침(수평도체에서도 마찬가지로)이 100[%] 뇌격차

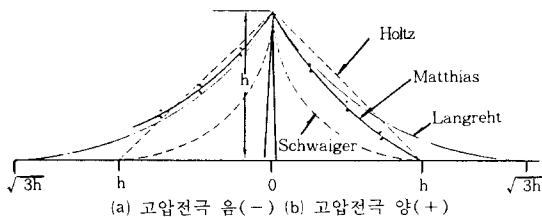


그림 3. Matthias 보호범위

폐를 할 수 있는 보호범위를 나타내면 그림 5와 같이 된다. 이것에 따르면 보호각이 45도인 때 100[%] 뇌격차폐를 기대하기 위해서는 건축물 등 피보호 대상물의 높이는 h/2 이하로 하여야 한다.

C. F. Wagner(미)들은 가공지선 및 송전용 도체와도 한 가닥인 경우 뇌격차폐 효과에 대하여 모델실험을 행하여 다음 사항을 표시했다.

① 고압측 전극이 가공지선 바로 위에 있을 때는 모두 가공지선으로 방전하고 전극이 그 곳으로 부터 멀어짐에 따라 송전용 도체에도 방전하게 되고 다시 대지로 방전한다.

② 모델 치수 대소 및 전극 높이와의 관계, 인가 전압 파형 및 극성, 대지면 요철이나 경사 상황 등에서 가공지선, 도체 대지면 각각에 방전하는 비율에 영향을 받는다. 이 중 전극 높이(실제 경우는 뇌운 높이가 증가함에 따라 송전용 도체)로 방전이 감소한다.

그림 6은 전극 높이 H와 가공지선 높이 h와의 비 H/h=5경우를 예로 들어 차폐 효과를 나타낸 것으로 완전차폐에 가까운 차폐율=99.9[%]를

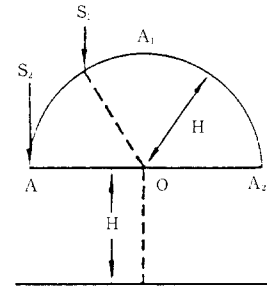


그림 4. 뇌격흡인공간

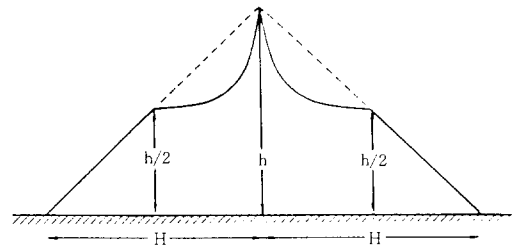


그림 5. 흡인공간이론과 적용의 경우 돌침(높이 h)의 보호범위

100[%] 경우는 보호각 45인 때 보호범위에, 또 차폐율=95[%] 경우는 보호각 60도인 때 보호범위와 거의 비슷하다.

Wagner등이 실시한 이 모델 시험도 종합적으로 보아 축소 모델과 실제와의 등가성이 문제로 남겨진다. 그러나 그 이전 연구 및 흡인공간 이론의 각각에 의한 보호범위는 주로 피뢰 설비 높이를 근거로 한 사고방식이며 뇌방전 기구에 대한 고려가 부족하였던 것에 대하여 모델 치수의 대소 및 전극 높이와의 관계, 인가전압 파형 및 극성 등에 의하여 보호범위가 영향을 받는 것을 분명히 한 것은 그 이후 뇌격현상 자체에 주의 기울인 보호범위 연구를 추진하고 있다.

지금까지 기술한 보호범위 연구는 주로 뇌방전으로 사진 관측, 실험실에서 모델 시험을 근거로 한 것이었지만 뇌관측 기술의 진보에 의하여 1950년대 이후 다수 실측 데이터가 축적되고 뇌격전류 발생빈도 분포, 뇌방전 기구 등이 차차 분명해짐에 따라 그들 결과와 실험실에서 큰 갭의 방전기구를 결부시켜 뇌방전 진전기구에 주안을 둔 몇 가지 전격 차폐에 관한 연구가 행하여졌다. 이들 연구에서 초점은 우리의 선행방전 진전에서 최종단 방전 거리(“뇌격거리”라고 불리운다)가 뇌격차폐에 크게 영향을 미치고 또, 뇌격거리 자체가 뇌전류 대소에 따라 변한다고 하는 사고방식이 도입된 것이다.

이들 연구의 초기단계에 있어서 가공지선을 대상으로 하여 우리 선행방전 대상물이나 대지면에

접근하였을 때에 기중 절연과피가 발생하는 전계로부터 그 차폐범위가 뇌전류에 의하여 변화하는 것을 시사한 것이 R.H.Golde(영)이다.

그 뒤 1960년대 후반이 되어 H.R.Armstrong과 E.R.Whitehead 등은 가공지선의 뇌격차폐 범위는 뇌격전류 크기에서 변화한다는 전제에서 뇌격전류를 근거하여 뇌격거리를 계산하여 해석과 작도에 의하여 뇌격차폐범위가 구하여지는 것을 제안하였다.(A-W이론이라고 약칭) 이 이론은 그 뒤 실제면과 대응에 있어서 현재로는 뇌격기구를 고려한 가장 적절한 뇌격차폐를 부여하는 사고방식의 하나로 보여지고 있으며 실제면에 적용되어 있다. 뇌격거리와 이것을 근거로 한 보호범위에 대해서는 본절 (2)이하에서 설명한다.

한편 1982년부터 IEC(국제전기표준회의)에 건축물 등의 피뢰설비에 대하여 검토하는 기술위원회 TC81이 발족하여 일본을 포함한 각국 위원에 의하여 토의 검토가 계속되고 있다. 그 검토내용의 주요 점은 ① 건축물 등의 뇌차폐에 관계하는 외부 피뢰(External Lightning Protection), ② 건축물 안 전기회로 및 설비 뇌서지 보호에 관계하는 내부 피뢰(Internal Lightning Protection), ③ 뇌보호 시스템 설계(접지 설계를 포함)와 보수 점검에 관한 것이다. 이 중 뇌격 차폐에 관계하는 ①에 대해서는 주로 뇌격거리 사고방식을 기초로 한 회전 구체법(Rolling sphere method)에 의한 뇌격차폐범위, 즉 보호범위의 평가 검토가 진행되고 있으며 그 검토 안의 일례를 나타내면 다음과 같다.

그림 7은 돌침 높이 H_p 에 의하여 보호각을 취하는 방법으로 H_p 가 20[m]를 넘는 경우는 이 그림에 보인 것처럼 2개 보호각, 30[m]를 넘는 경우에 3개 보호각 조합에 의하여 보호 범위를 평가하고 다시 그 구체값도 대상물 보호의 중요도(보호레벨 : Protection level)로 변화시킨다는 것(표 1 참조)이며 실제로 적용은 상당히 복잡하게 된다. 또 그림 8은 회전구체법을 그대로 적용했을 때 보호 범위를 나타내는 예이며 이 경우도 대상물 보호레벨에 의하여 구체 반지름 T에 다른 값을 채용하고 있으나 실제적용이 간단하다고는 말할 수 없다. IEC/TC 81에서 검토는 현재까

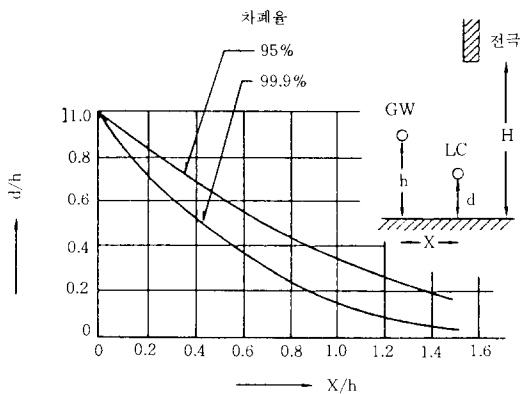


그림 6. 가공지선(GW) 1조인 경우에 차단효과($H/h=5$ 경우)

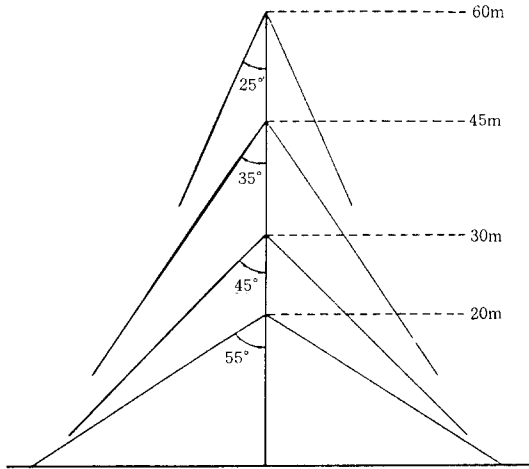


그림 7. 돌침 높이에 의한 보호각을 취하는 방법

지 각종 연구를 기초로 피뢰설비를 될수록 효과가 있도록 설계하고 실제 적용하기 위한 사고방식과 대책을 제시하는 것이 목표이므로 각국에서 실용면을 포함시킨 전향적인 검토가 기대된다.

(2) 뇌격전류와 뇌격거리의 사고방식 도입

뇌방전은 한 가닥 전광이 순간적으로 달리는 것처럼 보이는데 그 시간경과에서 보면 우선 뇌운으로 부터 선행방전(스텝리더라고 불리운다)이 출발하고 진전과 휴지를 반복하면서 그 선단이 대지에 접근하였을 때 대지 쪽에서 상향 스트리머가 출발하고 양자가 결합하는 순간 대지 쪽에서 많은 전하가 선행 방전로에 주입되어 주방전(리턴 스트로크 또는 메인 스트로크라고 불린다)이 뇌운으로 향하여 진행되는 것이며 강한 휘도는 주방전할 때에 생긴다.

뇌운으로부터 진전하는 선행방전이 지상 어느 부분에 도달하는가는 대상물에서 상향 스트리머가 출발하기 까지는 전혀 일정하지 않으며 오히려 지상 물체가 스트리머 발생으로 선행방전을 끌어당김으로써 뇌격점이 결정된다고 보아도 된다. 즉 뇌격거리가 피뢰설비 보호범위에 직접 영향을 미친다고 생각되는 요인이다.

여기서 뇌격에 이르는 시간경과의 요점을 간단히 기술하고 뇌격거리에 대하여 설명한다.

(a) 선행방전은 50[m] 정도 진전하면 30~90

표 1. 보호레벨에 의한 수전부 보호범위

보호 레벨	h(m)	20	30	45	60	멧쉬의 폭(m)
		$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

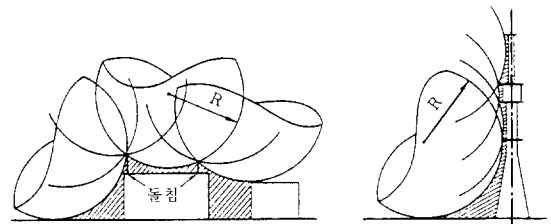
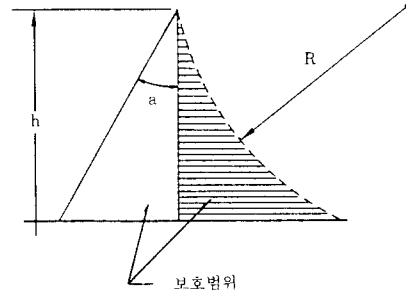


그림 8. 회전구체법에 의한 보호범위 (TC 81의 검토안의 일례)

[μs](평균 약 50[μs]) 휴지하는 단계적 과정을 반복하면서 차츰 대지로 접근하는데 그 평균 진전속도는 1.5×10^5 [m/s] 정도이며 가령 뇌운 높이를 3[km]라고 하면 선행방전 선단이 대지에 접근하는 데에 약 20[ms] 걸린다. 선행방전 선단이 대지에 접근하였을 때, 대지에 대한 전위는 수천만~1억V 정도라고 간주되고 있는데 이 전위가 클수록 선행 방전로로 전하는 증가하고 또 그 선단에는 많은 전하가 집중되는 것으로 간주되어 있다. 선행 방전로에는 $8 \sim 9 \times 10^{-4}$ [C/m] 정도 전하가 있다고 한다.

(b) 선행방전 선단이 대지에 접근함에 따라 이것에 가까운 지표면 위 전계가 차츰 상승하고 그 값이 지상 물체(예로서 건축물, 수목, 송배전 선로, 피뢰설비 등)에서 코로나 방전이 발생할 만큼 강하여지면 선행방전 선단으로 향하여 몇 개

의 상향 스트리머 방전이 발생하게 되고 이 중 하나가 선행방전 선단과 결합하면 방전로가 형성되어 주방전으로 이행한다. 이 때 선행방전 및 최종단 진전거리는 선행방전 선단 부근의 전하량 및 대지전위에 따라 달라진다고 간주되고 있으며 뇌격이 지상 어느 부분에 흡인되는가 결정되는 순간의 값을 나타내는 것이므로 “뇌격거리”라고 부른다.

(c) 주방전이 시작되면 선행방전과 반대 극성의 전하 흐름이 선행 방전로를 통로로하여 대지로부터 뇌운으로 향하여 진행하여 선행 방전로 및 뇌운전하 일부를 중화한다. 이 주방전의 소요시간은 수십~100(μ s) 정도, 그 선단 진행속도는 대지면 가까이에서 광속도의 1/10~1/3 정도이고 뇌운 가까이는 광속도의 1/10 정도가 된다.

(d) 이상으로 1회 뇌방전이 완료하지만 뇌운 속 도전율은 비교적 작으므로 1회 주방전으로 뇌운 속 전부 전하가 중화되지 않는 경우가 많아 어느 시간(수십~수백(ms)) 뒤에 계속하여 같은 경로로 제2, 제3, ... 방전이 생기는 일이 많다. 이것을 “다중뢰”라고 하며 다중뢰를 구성하는 각각의 방전을 “분방전”이라고 부르고 있다.

상기 (a)~(d)에서 기술한 뇌방전이 일어날 때

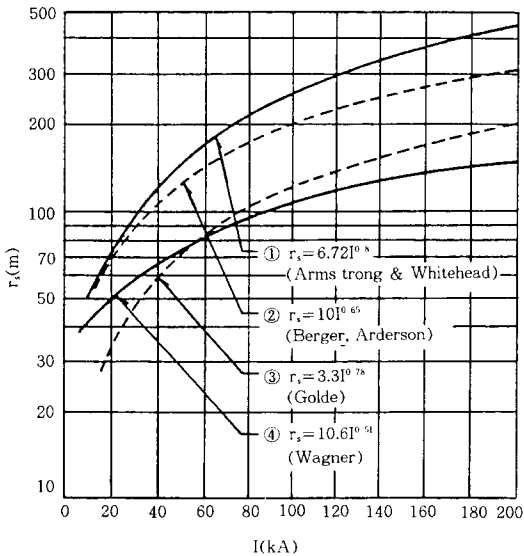


그림 9. 뇌격전류와 뇌격거리(예)

에 흐르는 전류, 즉 뇌격전류(주방전 전류)는 수 [kA]부터 200~300[kA] 범위인 것이 실측되고 있으며 국내외에서 그 발생 빈도가 통계적으로 정리되어 있다. 이것에 따르면 100[kA] 이하인 것이 대부분이고 20[kA] 이하인 것이 대략 50 [%]를 차지하고 있다. 이와 같이 뇌격전류는 넓은 범위로 분포하지만 최근에는 상술한 뇌격거리는 뇌전류와 직접적인 관계로 표시된다는 사고방식이 일반적이며 이 뇌격거리가 피뢰설비 보호범위 결정에 중요한 요소가 된다.

$$r_s = kI^n \dots\dots\dots(1)$$

여기서 r_s 는 뇌격거리[m], I 는 뇌격전류[kA]이다. 또 k 와 n 은 상수로서 연구자에 따라 약간 차가 있지만 두 세가지 예를 다음에 나타낸다.

- ① $r_s = 6.72 I^{0.8}$ (H. R. Armstrong, E. R. Whitehead에 의함)
- ② $r_s = 10 I^{0.65}$ (K. Berger, J.G. Anderson에 의함)
- ③ $r_s = 3.3 I^{0.78}$ (R. H. Golde의 연구 데이터에서 도출)
- ④ $r_s = 10.6 I^{0.51}$ (C.F. Wagner의 연구 데이터에서 도출)

이 뇌격거리가 구체적으로 어떤 값으로 되는가 보인 것이 그림 9이다.

(1)식 k , n 값 및 뇌격전류 대소에 따라 뇌격거리가 상당히 달라지는데 뇌격전류 누적빈도 곡선 중간값 (50 [%]값) 약 20[kA]에 대하여 보면 뇌격거리는 수십[m]이며 약 50(m) 정도도 보이도 괜찮다고 생각된다. 또 뇌격전류 100[kA]에서는 뇌격거리는 100[m] 이상이라고 볼 수 있다. 이 뇌격거리는 대상물이 돌침이나 안테나와

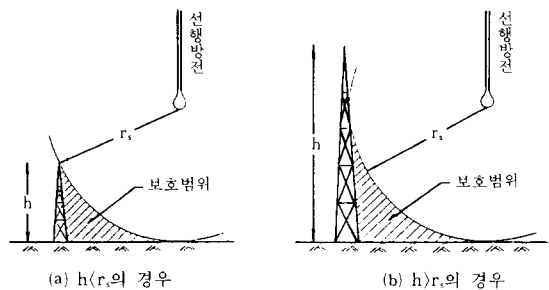


그림 10. 뇌격거리를 기초로 한 보호범위의 확정

같이 그 선단 전계가 커지는 것과 대지면과 같이 비교적 평탄한 경우에는 다르며, 동일한 뇌격 전류에 대해서도 전자의 경우와 약간 길어진다고 보고 있지만 우선 이 영향을 무시하고 설명을 진행한다.

그림 10은 상기한 뇌격거리 개념을 채용하여 피뢰설비(건축물로 치환해도 좋다)높이 h 가 뇌격 거리 r_s 보다 작은 경우와 큰 경우 양쪽에 대하여 뇌격을 차폐할 수 있는 범위, 즉 추정되는 보호범위를 예시한 것이다. 이것은 선행방전 선단이 대지에 접근한 경우를 상정하여 반지름 r_s 구가 피뢰설비와 대지면에 접하도록 하여 보호범위를 추정하는 것으로 이 사고 방식을 회전 구체 법이라고 부르고 유럽 및 오스트레일리아 등에서 상당히 널리 사용되고 있으며 IEC/TC 81에서도 주로 이 방식을 기초로 검토되어 있다.

이 방식에 따르면 r_s 가 일정한 경우 h (r_s 범위에서는 h 증가에 따라서 보호범위는 넓어지지만 h (r_s 범위에서는 h 가 증가하여도 보호범위는 넓어지지 않는다. 또 그림 9에 보인 것처럼 r_s 는 정격전류 함수로 표시된다고 간주되어 있으므로 대상이 되는 뇌격전류 크기로 보호범위가 변하게 된다. 이와 같이 뇌격거리는 피뢰설비 보호범위를 결정하는 요인이며 이 값을 얼마로 잡는가가 중요한 일이다.

상기한 것을 요약하면 피뢰설비 보호범위는 뇌격전류의 크기로 변하는 외에 피뢰설비 높이에 따라 영향을 받는다고 말할 수 있다. 최근에는 이와 같이 뇌격거리를 고려하여 피뢰설비 보호범위를 평가하는 방식이 가장 타당하다고 생각되고 있다.

Armstrong과 Whitehead는 송전선에서 가공지선의 뇌격차폐 범위는 뇌격전류에 따라 변한다고 생각하고 뇌격전류를 근거로 하여 뇌격거리를 산정하고 이것을 사용한 작도에 의하여 가공지선의 뇌격차폐 범위를 구할 수 있다는 것을 제안하였다. 이것은 뇌격차폐 범위(보호범위)평가에 뇌격거리 개념을 도입한 초기단계의 전형적인 예라고 볼 수 있다.

그림 11은 1회선 수평 배치의 송전선에 대한 차폐범위를 설명하는 것으로 W 는 높이 y 로 가

설된 송전용 도체, G 는 높이 h 로 가설된 가공지선이다. 이 그림에서 송전용 도체 W 및 가공지선 G 를 중심으로 하여 반지름 r_s 로 원을 그리고 아래쪽 끝 Y_2 높이를 대지로 플레시오버하는 거리 r_{sk} 로 취하면 송전용 도체는 원호 $Y_1X_2Y_2$ 에 도달한 선행방전 선단을 흡인한다.

또 이 그림 윗쪽에 그려진 원호 $S_1S_2Y_1$ 은 가공지선에 뇌격을 흡인할 수 있는 범위이고, Y_2 와 대지사이는 도달한 선행 방전이 대지로 플레시오버하는 영역으로 된다. 따라서 송전용 도체로의 뇌격을 완전히 차폐하려면 노출 범위 $Y_1X_2Y_2$ 가 없어지도록 차폐각 θ_s 를 작게 하면 된다. 이 조건은 다음과 같이 하여 구하여진다.

$$\theta_1 = \theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{y - r_{sk}}{r_s} \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$\beta = \sin^{-1} \frac{C}{2r_s} \dots\dots\dots(3)$$

로 부터 θ_1 및 β 를 구하고

$$\theta_s \leq \theta_1 - \beta \dots\dots\dots(4)$$

를 만족하도록 θ_s 를 결정한다. 엄밀하게 말하면 r_s 와 r_{sk} 는 동등하지 않지만 보통은 동등하다고 취급하고 있다. 이것에 따르면 h, y 가 r_s 와 동일 정도 이상일 경우에 차폐효율이 나빠지고 충분한 뇌격 차폐를 얻으려면 θ_s 를 작게 하도록 하여야 한다. 특히 뇌격전류가 작을수록 r_s 가 작아지므로 차폐조건을 만족시키는 일이 어려워지고 그 기본은 전술한 회전구체법과 유사하다.

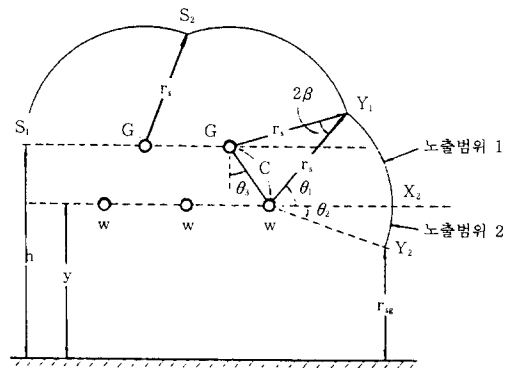


그림 11. Armstrong-Whitehead에 의한 차폐범위 설명도

(3) 뇌격전류와 보호각 및 보호범위

지금까지 기술한 것 같이 뇌격전류 대소에 따라 뇌격거리 크기가 변하고 또 뇌격전류 크기도 상당히 광범위하게 분포하고 있어 뇌격전류 각각의 발생빈도도 다르다. 더욱 전체적으로 본 뇌격전류 발생분포 상황은 마이크로단위로 보면 표고, 지형 등 각 지역 상황이나 계절에 따라서도 다르다고 보여지고 있다.

한편, 피뢰설비의 뇌격차폐 효과는 뇌격 거리에 관계하므로 보호범위를 정확하게 평가하는 것은 어렵다. 여기서는 뇌격전류 크기와 돌침 보호각이나 보호범위 관계를 어떻게 하면 좋은가 기본사항에 대하여 나타내기로 한다.

그림 12는 뇌격거리가 r_1 , r_2 두 경우에 대하여 회전구체법에 의한 보호범위 및 보호각이 30도, 45도, 60도 세 경우에 대한 보호범위를 나타내고 있다. 이 그림 (a)는 돌침 높이 h 가 뇌격거리

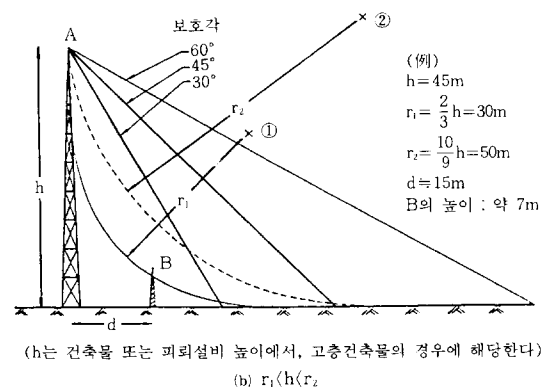
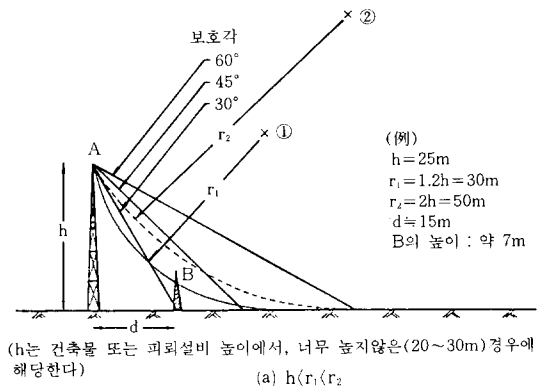


그림 12. 돌침 높이 및 뇌격거리와 보호범위 추정(예)

보다 작고, $h=25[m]$, $r_1=30[m]$, $r_2=50[m]$ 경우를 예시하고 있다. 또 그림 (b)는 돌침 높이가 상기 (a)경우보다 높고 뇌격거리와 동등 정도 전후의 경우이고 $h=45[m]$, $r_1=2/3h$, $r_2=10/9h$ 에 상당하는 경우를 나타내고 있다.

이것들로부터 각각 추정법에 의한 보호범위에 대하여 기본적으로 다음사항을 말할 수 있다.

(a) h 가 뇌격거리보다 작은 경우

① 종래 보호각 방식을 적용한 보호범위(공간)와 회전 구체법에 의한 그것과는 당연히 다르지만 보호각을 비교적 작은 값으로 선정하면 양자를 접근시킬 수 있다. 예로서 그림 12(a)에서 뇌격거리 $r_1=30[m]$ 인 경우와 보호각 30도인 경우 보호범위 및 뇌격거리 $r_2=50[m]$ 인 경우와 보호각 45도인 경우 보호범위는 대강으로 보아가깝다고 볼 수 있다. 이것은 특정한 경우에 대하여 뇌격거리 방식을 도입한 돌침보호범위를 어느 값의 보호각으로 결정되는 보호범위와 개략적으로 나타내는 것도 한 방법인 것을 나타내는 것이다.

② 그림 12(a)에서 돌침 A로부터 어느 거리 $d=15[m]$ 인 곳에 있는 높이 약 7[m] 지상 물체 B(건축물, 수목 등)는 뇌격거리 $r_2=50[m]$ 인 때는 A에 의하여 보호되지만 뇌격거리 $r_1=30[m]$ 인 때는 뇌격을 받을 위험성이 있게 되고 돌침 가까이 있는 지상 물체는 뇌방전 진전 상황과 뇌격전류 크기에 따라 보호할 수 있는지 여부가 결정된다.

그 구체적인 값은 돌침과 지상 물체와 상대 위치 및 뇌격 전류 발생 빈도를 고려하여 결정된다. 이 점이 돌침에 어느 보호각을 설정하여 뇌격전류에 관계없이 보호범위를 추정한 종래 방식과 근본적으로 다른 것이며 건축물 등 지상 물체에 대한 돌침 뇌격보호효과를 정확하게 평가하려면 확률적인 방식을 해야 할 것을 시사하고 있다.

(b) h 가 뇌격거리와 동등 정도 또는 그 이상인 경우

① 종래의 보호각 방식을 적용한 보호범위(공간)와 회전 구체법에 의한 그것과는 크게 다르다. 예로서 그림 12(b)에서는 보호각을 30도로

하여도 뇌격거리 $r_s=50[m]$ 인 경우 보호범위도 커버하지 못하는 것이 된다. 또 뇌격거리가 짧은 경우, 예로서 그림 12(b)에서 $r_1=30[m]$ 인 경우에는 돌침 전부만이 아니고 그 가까운 측면에 뇌격하는 가능성이 있는 것이 된다. 이것은 고층 건축물 옥상에 피뢰설비를 시설하여도 이 건축물에 축격할 위험성이 있는 것을 시사하는 것이며 특히 유의할 필요가 있다.

② h 가 뇌격거리와 동등 정도 이상인 경우 뇌격거리를 도입한 최근 방식에서 보면 단순히 보호각을 설정하고 보호범위를 평가하는 것은 비현실적이라고 말할 수 있다. 그림 12(b)에서 돌침 A로 부터 어느 거리 $d=15[m]$ 인 곳에 있는 높이 약 $7[m]$ 지상 물체 B(건축물, 수목 등)는 보호각을 작게 설정하여 30도로 하여도 충분히 A보호범위에 있게 되는데 뇌격거리 $r_1=30[m]$ 로 한 때에는 B는 뇌격을 받을 위험성이 있다고 평가되게 된다. 이 경우 뇌격거리 값을 얼마로 하는가에 따라 A에 의한 보호범위는 상당히 크게 변하고 A 가까이 있는 지상 물체로 뇌격 위험성에 대한 평가가 다르게 된다.

(c) 돌침 높이 및 뇌격거리에 의한 영향

① 그림 12 예에서 알 수 있듯이 뇌격거리 방식을 근거로 한 돌침 보호범위는 뇌격거리 r_s 대소 외에 돌침 높이 h 에 따라서도 상당히 큰폭으로 영향을 받는다. 따라서 보호범위를 평가하는 경우 우선 r_s 를 얼마로 하는가가 중요하며 다음으로 r_s 에 대응하는 뇌격전류 발생빈도에서 뇌격 보호 효과 개략값을 확률적으로 알아 두는 것이 실무면에서도 특히 바람직하다.

② 종래 보호각 방식을 적용한 보호범위 평가는 돌침이 그다지 높지 않을 때(예로서 10~20[m]정도 이하)에는 대강 적용하여도 큰 오류는 없다고 생각되지만 돌침이 상당히 높아지면(예로서 40~50[m]이상) 실제와 거리는 있지만 기본적으로 뇌격거리 사고방식을 토대로 보호범위를 평가하는 것이 필요하다.

③ 상기한 각항에서 고층 건물에 있어서는 이것의 축격에 의한 피해 방지를 포함시킨 피뢰 대책에 세심한 주의를 기울일 필요가 있는 것이 특히 강조된다.

(4) 건축물 높이, 규모와 보호효과

전항에서 기술한 것처럼 건축물이 높은 경우, 특히 그 높이가 뇌격거리보다 큰 고층 건축물에서는 옥상에 돌침을 설치하여도 우뢰의 축격 가능성이 있는 것, 또 건축물이 그다지 높지 않은 경우에도 그 높이에 의하여 실질적인 보호각이 다르고 건축물이 높아짐에 따라서 보호각은 작게 생각하여야 하는 경향에 있다고 말할 수 있다.

그림 13은 건축물 높이가 뇌격거리에 대하여 각종 비율에 있는 경우에 대하여 회전 구체법에 의한 보호범위가 대략 이것에 해당하는 보호각을 개념적으로 보인 것이다. 여기서 h 는 건축물 높이(독립 피뢰침 등에서는 그 돌침의 높이로 보아도 된다), r_s 는 뇌격거리이다.

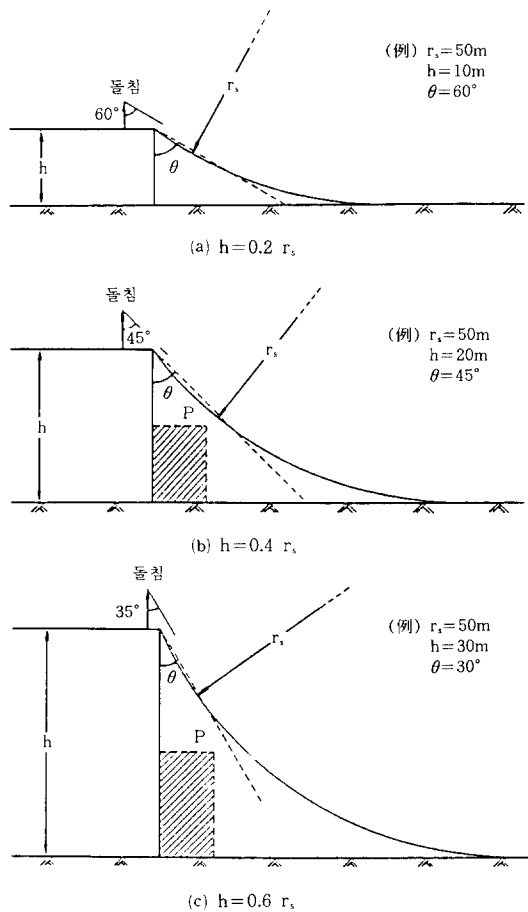


그림 13. 건축물 높이에 의한 보호범위 차이 (예) - 1

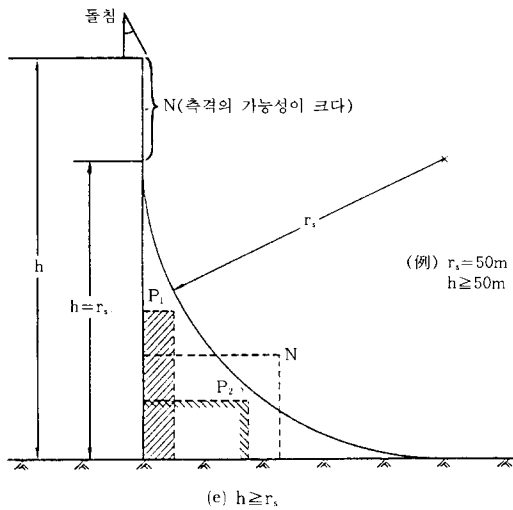
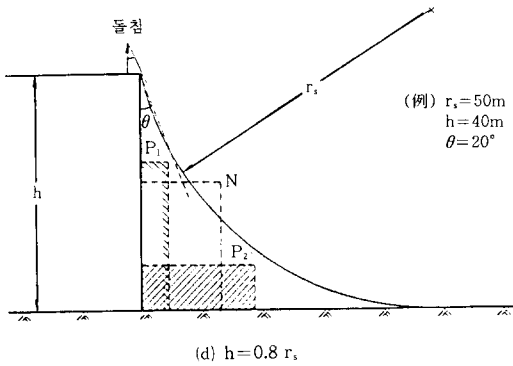


그림 13. 건축물 높이에 의한 보호범위의 차이(예) - 2

이 그림에서 개략적으로 다음 사항을 말할 수 있다.

① 건축물 높이가 뇌격거리보다 상당히 짧고 $h=0.2r_s$ 인 경우 보호범위는 보호각 $\theta=60$ 도로 한 경우에 거의 상당하다고 볼 수 있다. 뇌격거리를 50[m]로 하면 건축물 높이가 10[m]인 경우이며 일본에서는 피뢰설비를 설치하지 않아도 되지만 보호각을 60도로 설정할 수 있는 것은 h 값이 이렇게 작은 경우에 한정된다고 보아도 좋을 것이다.

② $h=0.4r_s$ 인 경우 보호범위는 보호각을 45도로 한 경우에 상당한다고 볼 수 있다. 뇌격거리를 50[m]로 하면 건축물 높이가 20[m]인 경우

이며 기본적으로는 옥상부의 피뢰를 고려하면 그림 13(b)에 보인 것 같이 측면 부속건물 P(빗금부분)의 피뢰설비를 특별히 고려할 필요는 없다고 할 수 있다.

③ $h=0.6r_s$ 인 경우 보호범위는 보호각을 30도로 한 경우에 상당히 유사하다고 보아도 좋다. 뇌격거리를 50[m]로 하면 건축물 높이가 30[m]인 경우이며 상기 ② 경우와 마찬가지로 옥상부 피뢰를 고려하면 측면 부속건물 P(그림 13(c)의 빗금부분)의 피뢰설비는 특히 필요없다고 보아도 된다.

④ 상기 ②, ③의 예에서 h 가 20[m]부터 30[m]전후인 경우 보호범위는 보호각이 45도에서 30도인 경우에 거의 상당하다는 평가가 하나의 견해이다.

⑤ 건축물 높이가 뇌격거리에 가까워지고 $h=0.8r_s$ 인 경우 보호범위는 보호각으로 단순히 나타내는 것이 어려워진다. 이 경우 건축물 꼭대기 부근만을 대상으로 하였을 때 보호각은 거의 20도로 볼 수 있다. 이것은 뇌격거리를 50[m]로 하면 건축물 높이가 40[m]인 경우이며 보호범위는 h 가 커지는 비율만큼 넓어지지 않는다. 이 경우도 상기 ②, ③과 마찬가지로 옥상부 피뢰를 고려하면 된다고 볼 수 있으며, 다시 측면 부속건물 P_1 , P_2 (그림 13(d)의 빗금 부분)의 피뢰설비는 기본적으로 생각하지 않아도 된다고 볼 수 있지만 부속건물 N과 같이 그 규모가 커지면 보호범위에 들어가지 않는 것이 되므로 주의할 요 한다.

⑥ 건축물 높이가 뇌격거리와 같은 정도 또는 이것보다 큰 경우에는 그림 13(e)에서 볼 수 있는 것같이 우선 $h=r_s$ 인 때 건축물의 정상 부근만을 대상으로 하였을 때 보호각은 매우 작으며 10도 이하~몇도로 볼 수 있다. 또 $h)r_s$ 인 때에는 건축물 정상 부근에서 측격(측면에서 뇌격) 가능성이 크다고 보아야 한다. 따라서 이 경우와 같은 고층 건축물에서는 옥상 부분의 피뢰 대책 외에 정상부근 측면에서 뇌격 대책도 충분히 고려하는 것이 중요하다. 더욱이 측면 부속 건물 P_1 , P_2 (그림 13(e)의 빗금 부분)의 피뢰설비는 기본적으로 생각하지 않아도 되지만 부속 건물 N과

같이 그 규모가 큰 경우에는 보호범위에 들어가지 않는 것이 되므로 특히 주의할 필요가 있다.

⑦ 상기와 같이 뇌격거리를 근거로 한 보호범위에서 보면 건축물(또는 돌침)높이에 따라 크게 변화하고 높아질수록 그 보호각은 현저하게 작아지므로 피뢰설비 적용시에는 이 사항을 고려하여 효과적으로 설계할 것이 바람직하다.

⑧ 그림 13의 h가 큰 경우 보호 공간의 관점(예로서 그림 (d), (e))을 산의 경사지에 있는 건축물에 적용하면 건축물 골짜기 쪽의 뇌격 위험도가 산쪽의 그것에 비하여 커지므로 이와 같은 경우에는 기본적으로 이 사항을 충분히 고려하여 피뢰설비를 설계, 시공하는 것이 중요하다.

(5) 주변 건축물의 영향

피뢰대책의 대상이 되는 건축물 가까이에 높이가 비슷하거나 또는 그 이상의 건축물이 있을 때 두 건축물 사이 공간에 우리 보호범위는 각각 건축물이 단독으로 있는 경우의 보호범위에 비하여 넓어지는 것을 생각할 수 있다. 또 이 보호범위는 두 건축물 각각의 높이와 이들 이격거리 및 뇌격거리에 의하여 영향을 받는 것으로 볼 수 있다.

① 그림 14는 두 건축물의 높이가 뇌격거리보다

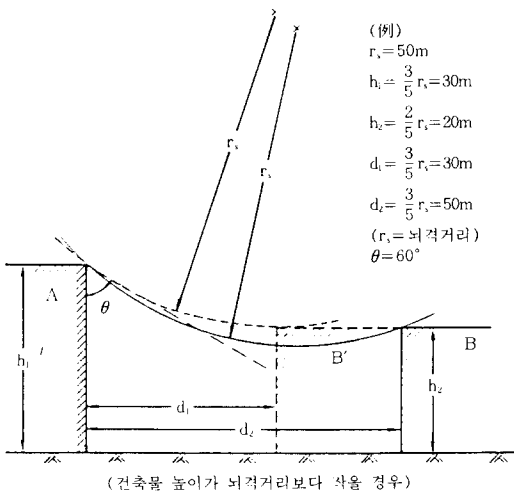


그림 14. 주변 건축물이 보호범위에 미치는 영향

다 작고, 높이의 차가 그다지 없는 경우에 대하여 회전구체법에 의하여 보호범위를 예시한 것이다. 두 건축물 A, B의 이격이 뇌격거리 r_a 와 같은 경우와 두 건축물 A, B'의 이격이 $\frac{3}{5} r_a$ 와 같은 경우 두 예에 대하여 살펴보면 다음 사실을 알 수 있다.

a. 두 건축물 사이에 보호공간은 각각 단독인 경우 보호공간(그림 13 참조)에 비하여 상당히 넓어진다.

b. 이것은 두 건축물의 이격이 뇌격거리보다 짧은 경우 일반적으로 적용되는 방법으로 취급할 수 있다.

c. 건축물 A에서 본 보호각 θ 는 단독의 경우보다 크며 약 60도로 보아도 된다.

즉, 근방 건축물의 뇌보호 범위에 상당히 영향을 준다고 볼 수 있다.

② 건축물 높이가 뇌격거리와 비슷한 경우에 대하여 예시한 것이 그림 15이다. 이것은 두 건축물 높이에 그다지 차가 없는 경우이며 뇌보호 범위에 대하여 기본적으로 상기 ①과 같다고 말할 수 있다.

③ 주변 건축물 높이가 뇌격거리보다 크고 또한 두 건축물 높이의 차도 큰 경우에 대하여 보

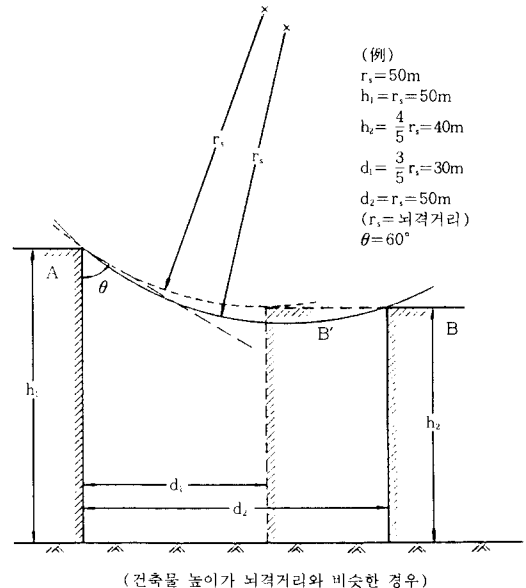
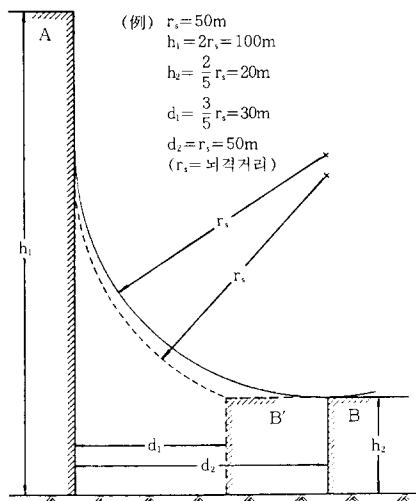


그림 15. 주변 건축물이 보호범위에 주는 영향

호범위를 예시한 것이 그림 16이다. 건축물 A는 높이 h_1 이 뇌격거리의 2배가 되는 고층 건축물에 해당하고 그 가까이에 높이 h_2 가 $r_s/2$ 보다 낮은 건축물 B 또는 B'가 있는 경우로서 두 건축물 사이 보호공간은 각각 단독인 경우 보호공간(그림 13)에 비하여 넓고 이것은 두 건축물 이격이 뇌격거리보다 짧을 때 일반적으로 적용되는 방법으로 취급될 수 있다고 생각해도 좋다.

④ 그림 17은 고층 건축물 A의 가까이에 A와 높이의 차가 뇌격거리 r_s 와 비슷한 건축물 B 또는 B'가 있는 경우에 대한 보호범위를 예시한 것이다. 이 경우도 두 건축물 사이의 보호 공간은 각각 단독인 경우 보호 공간(그림 13 참조)보다 상당히 넓다고 볼 수 있거나 또 두 건축물 차($h_1 - h_2$)가 뇌격거리 r_s 보다 작을 때는 고층 건축물 A의 정상 부근 측면에 뇌격 가능성은 희박하다고 볼 수 있다.

상기한 예에서 알 수 있듯이 뇌보호 대상 건축물의 가까이, 특히 뇌격거리보다 짧은 곳에 건축물이 있는 때는 뇌보호 범위에 직접 영향을 주고, 이 두 건축물 사이의 공간 보호범위는 각각의 건축물 단독 보호범위보다 넓어진다. 또 관점을 바꾸면 이 공간에서 뇌격 위험도가 완화된다고 생각할 수도 있다.



(고층건축물이 있는 경우 h_1, r_1, h_2, r_2)

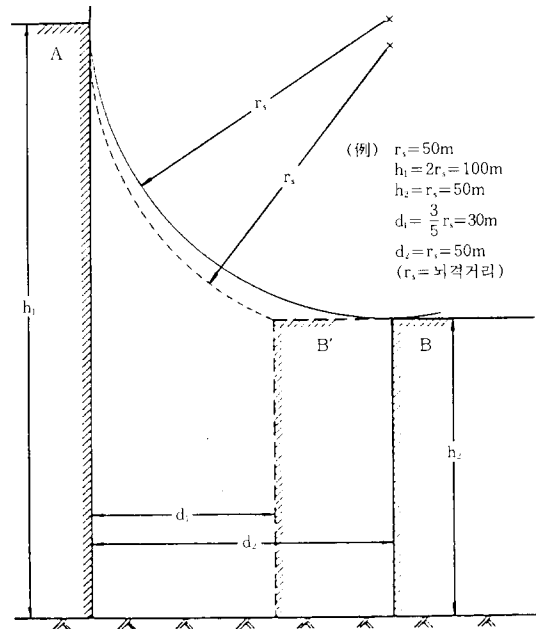
그림 16. 주변 건축물이 보호범위에 주는 영향

3. 돌침 보호효과

(1) 돌침의 뇌격차폐 효과

뇌격거리의 개념을 도입한 돌침 보호범위는 보호각으로 단순히 나타내는 것은 어렵고 또 보호각을 개략적으로 나타낼 수 있었다고 해도 그림 13에 예시한 것같이 그 실질적인 보호각은 돌침 높이와 뇌격거리에 의하여 크게 다르다. 특히 돌침 높이가 뇌격거리와 비슷하거나 또는 그 이상인 경우에는 상기한 보호범위를 단순한 보호각으로 나타내는 것은 실질적이지 아니라고 말할 수 있다. 그림 18은 뇌격거리 r_s 가 50(m)일 때 돌침 높이 h 를 변화시킨 경우 보호범위와 이것에 가까운 보호범위를 나타내는 보호각을 대응시켜 도시한 것으로 상기와 같이 돌침 높이가 커지면 단순한 보호각으로 보호범위를 나타낼 수는 없다고 해도 과언이 아니다. 그림 18에서 다음 사실을 알 수 있다.

① $h = 0.2r_s$ 인 경우 보호범위는 개략 보호각이 60도인 경우에 상당하고 또 $h = 0.4r_s$ 인 경우 보



(고층건축물이 있는 경우 h_1, r_1, h_2, r_2)

그림 17. 주변 건축물이 보호범위에 주는 영향

보호범위는 대충 보아 보호각이 45도인 경우로 나타내도 사용상 지장이 없다고 생각해도 된다. 이것은 $r_s=50[m]$ 로 하면 돌침 높이 h 가 각각 10[m], 20[m]경우에 해당한다. 이와 같이 보호범위를 단순히 보호각으로 나타내는 방법은 돌침 높이가 $h \leq 0.5r_s$ 범위에서 대략 사용하여도 된다고 간주되고 특히 돌침 가까운 범위에서는 충분히 사용할 수 있는 것이라고 말할 수 있다.

② $h \geq 0.6r_s$ 인 경우 보호범위는 상기 ①과 같이 단순한 보호각으로 나타내는 것은 적절하지 않고 실제와 상당히 다르게 된다. 즉, 그림 18(c), (d)에에서 볼 수 있듯이 뇌격거리를 근거로 한 보호범위는 두 번 또는 세 번 꺾은 선으로 비슷하게 된다. 다시 말하면 돌침 높이 h 가 뇌격거리 r_s 의 1/2~2/3를 초과하는 때는 단순한 보호각으로 그 보호범위 또는 보호효과를 평가하는 것은 타당하지 않고 뇌격거리의 개념을 도입한 방법(예로서 회전 구체법)에 의하여 보호효과를

평가하는 것이 중요하다.

앞에서 말한 뇌격에 대한 돌침 보호효과(뇌격차폐 효과)는 돌침 높이와 뇌격거리와의 상대관계에서 큰 영향을 받는다. 뇌격전류 발생빈도에 Berger곡선(그림 19 참조)을 채용하고, 돌침 높이를 파라미터로서 돌침에 낙뢰하는 비율을 예시한 것이 그림 20이다.

이 그림 (a)는 돌침 높이가 비교적 적은 때를 대상으로 하여 그 보호범위를 보호각에 의하여 개략적으로 나타낸 경우의 예이고 그림 (b)는 회전구체법에 의하여 보호범위를 나타낸 경우의 예이다. 여기서 주의할 것은 이 두 경우에 의한 보호범위 형태가 다른 것이다. 두 경우 다 r/h 또는 R/h 가 같아도 돌침 높이가 낮을수록 돌침에 낙뢰하는 비율 즉 뇌격차폐율이 커진다.

한편 뇌격거리는 뇌격전류가 커질수록 길어지므로 돌침 보호범위를 보호각으로 나타내는 경우 그 값은 대상 뇌격전류 크기에 따라 변하고 작은

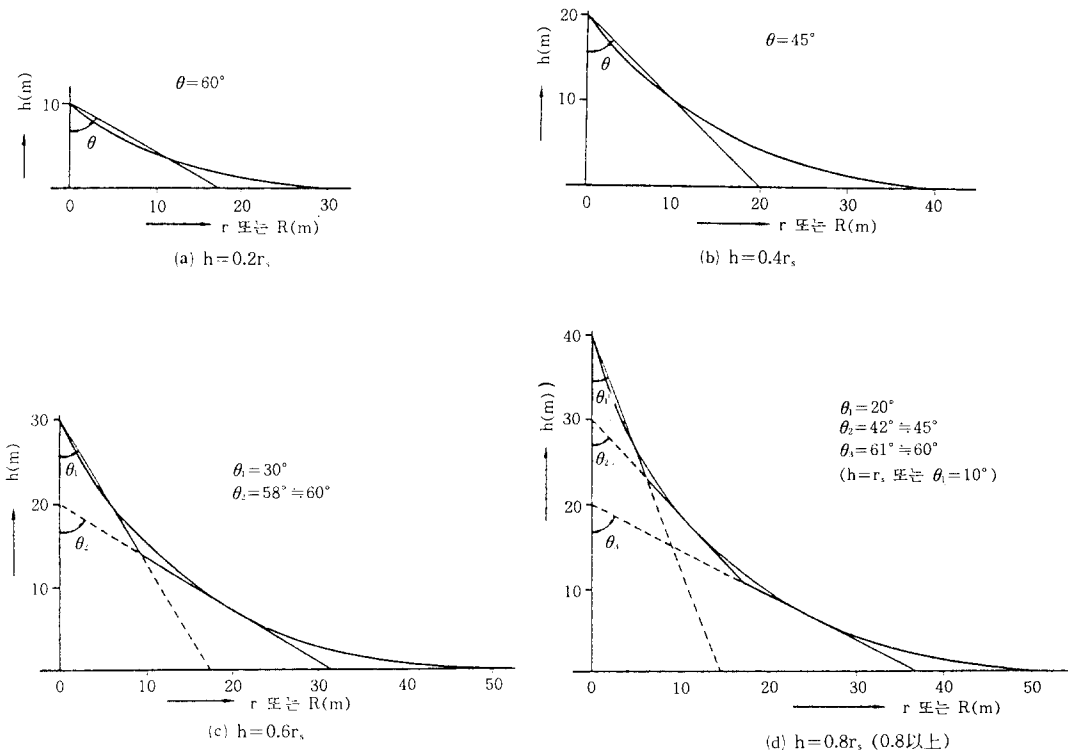


그림 18. 돌침 보호범위와 보호각의 대응

뇌격전류일수록 작은 보호각이 필요하다. 더욱이 이 보호각은 돌침 높이에 따라서도 변하게 된다. 이것은 보호각이 뇌격 전류 크기에 관계가 없다고 한 종래 방식과 전혀 다르며 피뢰설비를 설계할 때 기본적인 방식을 근본적으로 바꾸어야 한다. 그림 20(a)에 그예로서 $r/h=1$ 일 때(보호각이 45도인 경우에 해당한다) $h=20[m]$ 에서는 뇌격 차폐율이 100[%]에 가깝지만 $30[m]$ 에서는 50[%]가까이로 감소하고 $h=40\sim 50[m]$ 에서는 뇌격차폐율이 20~30[%] 정도로 된다.

이것에 대하여 뇌격거리의 개념을 도입한 회전구체법에 의한 그림 20(b)에서는 뇌격차폐비율이 상당히 달라진다. 돌침으로 뇌격을 차폐하기 위한 피뢰설비를 설계하는데 있어서는 상기 사항들을 염두에 두는 동시에 충분한 보호효과가 얻어지도록 돌침의 높이와 피보호물의 규모를 포함시킨 상대 위치에 대해서도 세심한 배려가 필요하다.

(2) 돌침 높이와 보호각 및 보호범위

전술한 돌침의 보호범위는 돌침 높이가 뇌격 거리에 비하여 어느 정도인가에 따라 다르며 단순

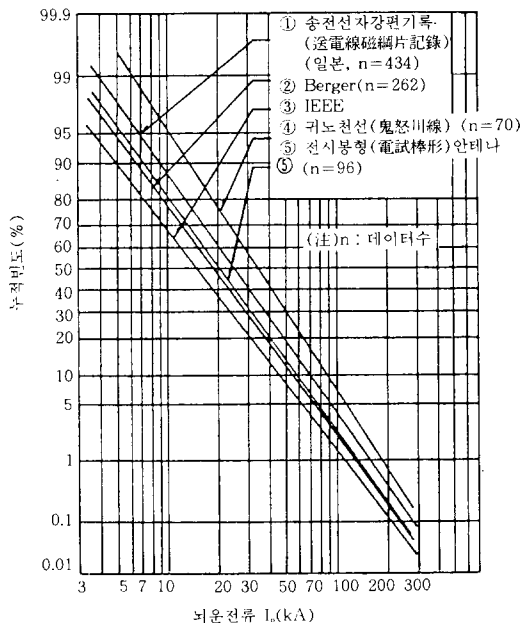
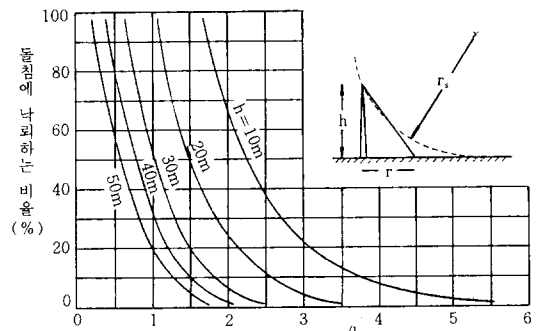


그림 19. 뇌격전류 보도곡선(예)

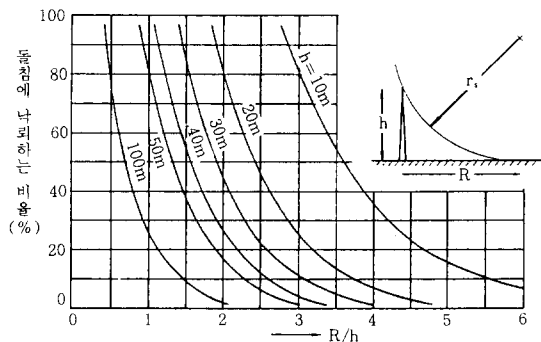
히 보호각으로 나타내는 것은 어렵지만 돌침 높이가 뇌격 거리의 1/2이하인 때는 보호 범위를 단순히 보호각으로 나타내도 실용상 큰 차이는 없다고 볼 수 있다. 또 보호각으로 돌침의 보호 범위를 나타낼 수 있다면 건축물 등에 적용시 방식이 간단해져서 매우 유리하다.

여기서 중요한 것은 뇌격 거리를 어떠한 값으로 선정하는가이며 이것과 돌침 높이와 상관 관계로 보호범위 및 보호범위 안의 뇌격 차폐율(돌침에 낙뢰하는 비율)이 결정된다. 이 뇌격 차폐율을 될수록 크게 하는 것이 바람직하다. 이들 사항을 근거로 돌침 높이와 보호범위 관계 및 이때 고려되는 보호각에 대하여 생각한다. 뇌격 차폐율은 그림 20(a)를 참고로 한다.

① 돌침이 그다지 높지 않은 경우, 예로서 $h=(0.1\sim 0.2)r_s$ 정도일 때는 회전구체법 또는 보호각으로 나타내는 경우 보호범위는 거의 같으며



(a) 보호각에 표시한 경우



(b) 회전구체법에 의한 경우

그림 20. 돌침 높이와 보호효과(시험적 계산예)

보호각으로 표시해도 지장이 없는 경우라고 말할 수 있다.

예로서 $h=10[m]$ 로 하면 $r/h=1.7$ (보호각이 약 60도인 경우에 해당한다)로 뇌격차폐율을 100[%]가까이로 할 수 있다.

② $h=(0.4\sim 0.5)r$, 정도일 때는 회전구체법 또는 보호각으로 나타내는 경우 보호범위는 거의 같으며 보호각으로 나타내도 실용상 별로 지장이 없는 경우라고 볼 수 있다.

예로서 $h=20[m]$ 로 하면 $r/h=1$ (보호각이 45도인 경우에 해당한다)정도 보호범위를 설정하면 뇌격차폐율을 100[%] 정도로 할 수 있다. 이 경우 $r/h=1.7$ (보호각이 60도인 경우)에서는 뇌격차폐율은 35[%] 정도로 감소한다.

③ $h<0.6r$ 인 때, 회전구체법 또는 보호각으로 나타내는 경우에 보호공간에 상당한 차가 있으므로 보호범위를 단순히 보호각으로 나타내는 것은 부적절하다(그림 8. 예를 참조).

일례로서 $h=30[m]$ 인 경우에 $r/h=0.6$ (보호각이 30도인 경우에 해당한다)보호범위를 설정하면 100[%]정도 뇌격차폐율이 얻어지지만 $r/h=1$ (보호각이 45도인 경우)에서는 50[%]정도이며 $r/h=1.7$ (보호각이 60도인 경우)에서는 13[%]정도로 뇌격차폐율이 감소한다.

$h=40[m]$ 인 경우에는 $r/h=0.4$ (보호각이 20도인 경우에 해당한다)의 보호범위를 설정하면 뇌격차폐율은 거의 100[%]로 볼 수 있지만 $r/h=1$ (보호각이 45인 경우)에서는 약 30[%]로, $r/h=1.7$ (보호각이 약 60도인 경우)에서는 5[%] 정도로 뇌격차폐율이 감소한다. 또 회전구체법 또는 보호각에 의하여 나타내는 경우, 보호범위 형태에 상당한 차이가 나게 되고 실제 적용상 문제가 있게 된다.

④ $h<r$ 인 때, 보호각으로 보호범위를 나타내는 것은 적절하지 않다. 이 경우는 적어도 회전구체법 등 뇌격거리의 개념을 근본적으로 도입한 방법에 의하여 보호범위를 설정하여야 한다.

이상 본질에서 기술한 사항을 간단하게 요약하면 돌침에 의한 보호범위를 보호각으로 나타내도 실용상 지장이 없는 것은 돌침이 비교적 낮은 경우라는 것이 된다. 이러한 관점에서 뇌격 차폐율

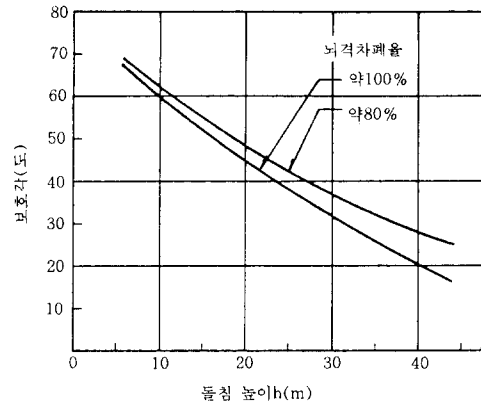


그림 21. 돌침 높이와 보호각(시험적 계산예)

이 높은 경우에 대하여 돌침 높이와 보호각의 관계를 예시한 것이 그림 21이다. 이것에 따르면 고층 건축물은 별도로 하더라도 20~30[m]정도인 때 보호각은 적어도 45~30도 이하로 하지 않으면 높은 뇌격 차폐율을 기대할 수 없다.

4. 수평도체 보호범위

(1) A-W이론 요약

가공지선의 뇌격차폐 효과를 평가하기 위하여 Armstrong과 Whitehead가 제시한 방식(A-W이론)은 뇌격거리의 개념을 근본적으로 적용한 것으로 현재 송전선의 가공지선에서 뇌격차폐 판정에 가장 많이 이용되고 있다. 이것은 피뢰설비에서도 수평도체의 뇌격차폐에 대하여서도 그대로 사용할 수 있다.

1가닥의 가공지선 G와 1가닥의 선로도체 W를 고려하여 A-W이론에 의하여 뇌격차폐에 대하여 나타낸 것이 그림 22이다. 여기서는 요점을 이해하기 쉽도록 가공지선과 선로도체에 대한 뇌격거리 r_s 와 대지면에 대한 뇌격거리 r_{sg} 는 같은 것으로 도시하고 있다. 가공지선 G와 선로도체 W가 그림 22(a)에 보인 것같은 상대위치에 있을 때, 선행방전 선단이 원호 PQ 범위로 진전하였다고 하면 가공지선, 선로도체, 대지면 중에서 선로도체가 최단거리에 있으므로 선로도체에 뇌격 가능성이 가장 크다. 원호 PQ범위는 뇌격거리가 짧아지면 넓어지고 또 뇌격거리가 길어지면

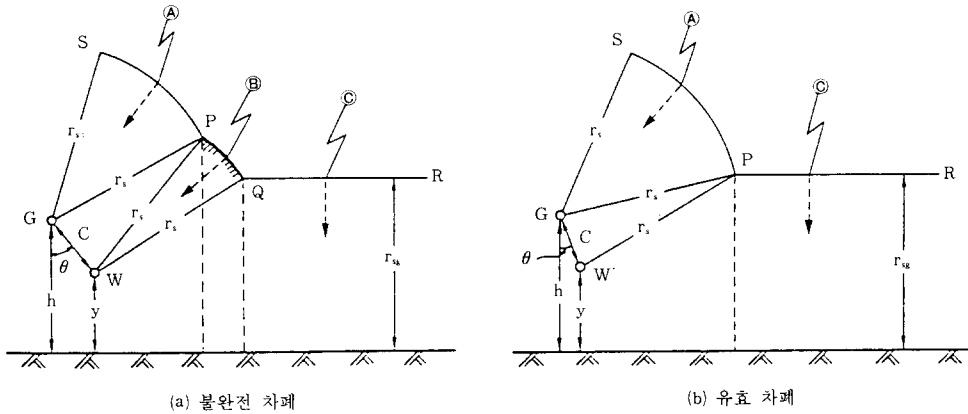


그림 22. A-W0이론에 의한 불완전 차폐와 유효 차폐

작아지므로 가공지선 및 선로도체의 지상높이 및 상대위치와 뇌격거리와의 상관으로 뇌격 차폐 효과의 대소가 결정된다. 이 점을 고려하여 유효차폐 상태를 결정할 수 있다.

즉 그림 22(b)에 보인 것같이 가공지선과 선로도체의 상대위치를 변경시킴으로써 상기한 원호 PQ의 범위가 없어지므로 PS 범위로 진전하는 선행방전은 가공지선에 흡인되고 또 PR의 범위로 진전하는 선행방전은 대지로 뇌격하여 선로도체 뇌격은 차폐된다. 이 경우 차폐각 θ 는 그림 (a)경우보다 작아지고 가공지선이나 선로도체의 높이가 뇌격거리와 동등 정도인 때는 θ 를 거의 0도로 하는 것이 필요하게 된다. 이 방식은 피뢰설비에서 독립 가공지선 등의 경우에 적용할 수 있다. 이 때 독립 가공지선과 피보호물과의 상대위치를 충분히 고려하는 것이 중요하다.

(2) 수평도체와 피보호물의 상대위치가 보호효과에 주는 영향

수평도체에 의한 보호방식(수평도체방식이라고 한다)은 피보호물의 상부에 수평도체를 가설하고 이것으로 뇌격을 흡인하여 인하도체를 통해 뇌격전류를 대지로 안전하게 방류하는 것으로, 이 원리가 널리 이용되고 있는 것은 송전선의 가공지선이다. 이 수평도체의 보호각 및 보호 범위의 방식은 돌침과 본질적으로 같으며 JIS A 4201(한국 : KS C-9609)에서 독립 가공지선

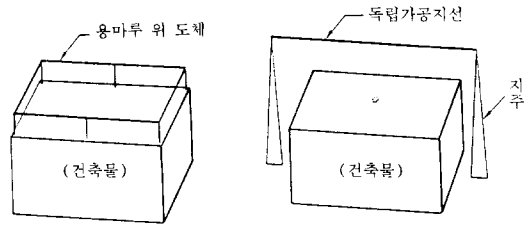


그림 23. 수평도체방식(예)

및 용마루 위 도체라고 부르고 있는 것에 상당한다.(그림 23 참조)

따라서 수평도체의 높이와 보호각·보호범위의 관계는 3(2)에서 기술한 돌침의 견해를 그대로 응용할 수 있으므로 그 보호효과의 평가에는 그림 20 및 그림 21에 보인 데이터를 이용하면 된다.

(3) 2가닥의 수평도체에 의한 뇌격차폐

독립가공지선으로 건축물 등을 뇌격차폐할 때 피보호물의 규모가 큰 경우에는 평행한 2가닥의 가공지선(수평도체)이 유리한 경우가 많다. 이 경우 2가닥의 수평도체의 바깥쪽의 보호범위는 수평도체 1가닥인 때와 마찬가지로 보아도 좋지만 그 안쪽의 보호범위에 대해서도 알아두는 것이 중요하다.

그림 24는 이 보호범위를 회전 구체법에 의하여 나타낸 것으로 수평도체 사이의 거리 d가 그

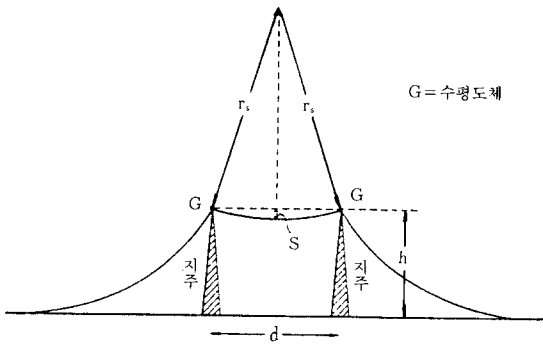


그림 24. 수평도체 2가닥의 보호범위

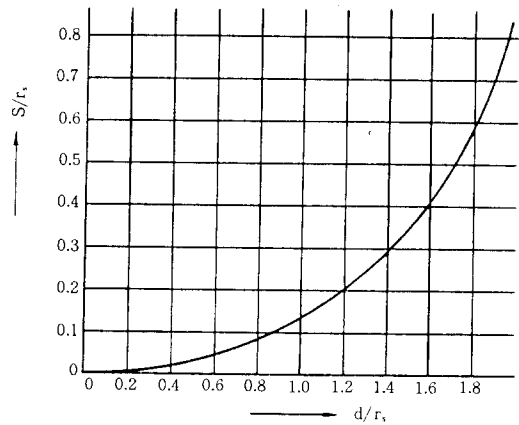
다지 크지 않으면 그 안쪽의 보호효과는 상당히 크다고 볼 수 있다. 그림 24에서 2가닥의 수평도체의 중간에서의 거리 S는 수평도체간의 거리 d와 뇌격거리 r_s에 관계하는 것으로 다음 식으로 표시되고 2가닥의 수평도체의 안쪽의 보호범위를 나타내는 지표로 된다.

$$S = r_s \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2r_s} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (5)$$

그림 25는 (5)식에서 d/r_s와 s/r_s의 관계를 나타낸 것이다. 수평도체간의 거리 d가 뇌격거리 r_s의 60[%] 이하이면 S는 뇌격거리의 5[%] 미만으로 억제할 수 있어 보호효과는 크지만 d/r_s가 1부터 차차 커지는 범위에서는 S는 급속하게 커져서 보호효과는 감소한다.

일례로서 d=0.6r_s의 경우와 d=r_s인 경우 안쪽의 보호범위와 이것을 대표하는 보호각을 그림 26에 보였다. 그림 (a)의 d=0.6r_s의 경우 보호각은 70도로 보아도 무방하며 S의 값이 작으므로 S'와 그다지 큰 차이가 없다. 이것에 비하여 그림 (b)의 d=r_s의 경우에는 안쪽의 보호각은 60도로 보아도 좋지만 S 값이 비교적 커져 다시 S와 S' 사이에 큰 벌어짐이 생기게 된다. 이 예에서 알 수 있듯이 2가닥의 수평도체(독립가공지선 2가닥)안쪽의 뇌격차폐를 하는 경우의 유효적절한 보호범위의 대표적인 예로서 다음 사항을 들 수 있다.

- ① 수평도체간의 거리는 뇌격거리의 60[%] 정도 이하로 한다.
- ② 안쪽 보호각은 60~70도 정도로 한다.
- ③ 수평도체의 지상높이는 뇌격거리의 1/2정



(그림 24에 대한 d/r_s와 s/r_s의 관계)

그림 25. 2가닥의 수평도체 안쪽의 보호범위

도 이상이 바람직하다.

이것에 따르면 보호범위의 설정에는 뇌격거리를 얼마로 하는가가 중요한데 수~10[kA]뇌격전류에 대응하는 40~50[m] (그림 9 참조)로 고려하는 것이 적절하다고 생각된다.

5. 맺음말

피뢰설비의 보호범위에 관한 사고방식의 변천 및 최근의 뇌격거리의 개념을 도입한 보호범위와 이것을 나타내는 대표적인 보호각 등에 대하여 기본사항을 설명하였다. 종래의 사고방식은 돌침높이가 그 보호범위를 결정하는 요인이었다. 최근 사고방식은 돌침높이가 보호범위에 무관하지는 않지만 뇌격거리가 보호범위 결정에 중요한 역할을 하는 것이며 이 점이 종래 사고방식과 근본적으로 다른 것이다. 구미 등 해외에 있어서도 건축물 외에 전력설비 등 뇌격차폐에 대하여 이 사고방식을 기본으로 하고 각각의 나라의 사정을 고려한 피뢰설비가 실용되어 있다.

본 장에서 나타난 사항의 주요한 점을 요약하면 다음과 같다.

- ① 돌침이나 수평도체 등 피뢰설비의 보호범위를 단순한 보호각으로 나타내는 것은 충분히 적절하지는 않고 특히 그 높이가 높을수록 뇌격거리를 고려한 보호범위 설정이 바람직하다. 뇌

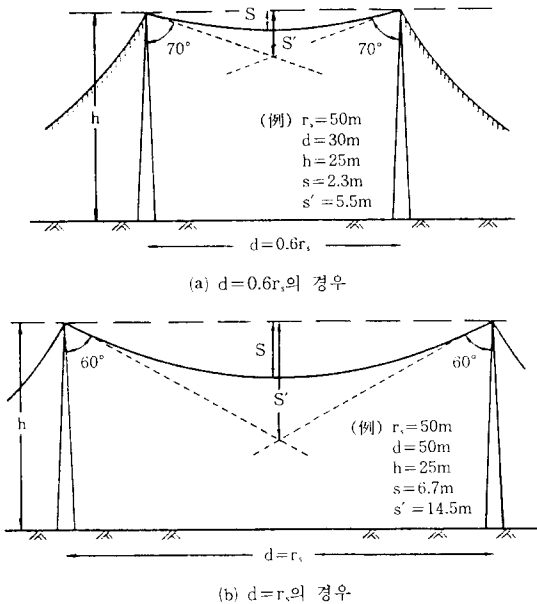


그림 26. 2가닥의 수평도체 안쪽의 보호범위와 보호각 (예)

격거리는 뇌격전류가 클수록 크며 예로서 규모가 같은 돌침일지라도 뇌격전류가 크면 보호범위는 넓어지므로 뇌격거리 값을 어떻게 선정하는가가 중요사항의 하나이다. 뇌격 거리를 고려한 보호 범위 설정법의 하나로서 회전구체법을 들 수 있다.

② 보호범위를 단순한 보호각으로 나타내서 실용상 거의 지장이 없다고 보여지는 것은 돌침 높이가 뇌격거리의 대략 1/2 이하인 경우이며 높이가 낮은 돌침일수록 뇌격차폐율이 높아 보호각을 높게 잡을 수 있다. 이 사실에서 1~2개 높은 돌침을 설비하기보다도 낮은 돌침 또는 수평도체(가공지선, 용마루 위 도체)를 적당한 가닥 수를 설치하는 편이 보다 확실한 피뢰 효과가 있다고 말할 수 있다.

③ 뇌격차폐율이 100[%] 가까이 기대할 수 있는 보호각으로서 돌침 높이가 10[m]인 때 60도, 20[m]인 때 45도, 30[m]인 때 30도로 어렵셈된다. 돌침 높이가 이것보다 높은 때는 보호범위를 단순한 보호각으로 나타내는 것은 실용면에서 보아도 적절하지 않다. 수평도체에 대하여서도 사고 방식의 기본은 돌침의 경우와 같다.

④ 2가닥의 수평도체 안쪽 공간의 피뢰효과는

수평도체간에 거리가 뇌격거리의 60[%]이하인 때 크고, 안쪽 보호각은 70도로 보아도 좋다. 수평도체간에 거리가 이것보다 커지는 것에 따라서 안쪽 공간의 뇌격차폐율은 급격하게 감소한다.

⑤ 돌침을 설비한 두 건축물이 뇌격거리의 50~60[%]이하인 거리에 접근하는 경우 이들 사이에 끼워진 공간의 피뢰 효과는 크다.

피뢰설비로 모든 뇌격에 대하여 건축물 등을 100[%] 보호하는 것(뇌격차폐율 100[%])을 기대하는 것은 어렵다. 현재 일본의 규격 JIS A 4201(1981)에서는 보호각으로서 일반 건축물에 대하여 60도, 위험물 저장고 등에 대하여 45도라고 하는 값을 부여하고 있다. 이들 값은 지금까지 일단 가음으로서 최저 기준을 나타내고 있는 것이라고 생각하여야 할 것이며 보호각을 작게 하여도(예로서 일반 건축 물에서 45도, 위험물 관계에서 30도), 본 장에서 설명한 것같이 돌침 높이 및 뇌격거리 값에 의해서는 충분한 뇌격차폐를 기대할 수 없다고 말할 수 있다. 따라서 건축물 등의 높이, 규모 및 뇌격거리를 고려한 피뢰설비 보호범위와 이것을 대표하는 보호각 등에 대하여 기본적으로 재검토할 필요가 있겠다.

◇ 著 者 紹 介 ◇



곽 희 로(郭熙魯)

1942年 3月 1日生. 1967年 서울대工大 電氣工學科 卒. 1978年 호주 New South Wales 大 大學院 電氣工學科 卒(博士). 1986年 中央大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 1967年 韓電 勤務. 1986年 美國 M.I.T Visiting Scientist. 現在 崇實大 工科大學 學長. 當學會 副會長.



정 용 기(鄭龍基)

1952年 3月 5日生. 1976~1978年 美國 R.M PARSON ENGINEERING CO., 1978~1991年 內務部 公務員 歷任. 1995年 崇實大 大學院 電氣工學科 卒(碩士). 現在 崇實大 大學院 電氣工學科 博士課程, 義濟技術士考試院 院長, 美國NFPA 正會員, 建築電氣設備技術士, 電氣應用技術士, 電氣安全技術士, 消防設備技術士.