

# 수뢰부시스템의 메시법 이해와 적용

## - 피뢰설비 규격 KS C IEC62305-3 -

본고에서는 메시법과 회전구체법의 관계, 메시법의 뇌보호 효과 등을 분석한 분석 모델을 소개하고, IEC62305규격에서 정하고 있는 메시법의 관련내용을 살펴보았다. 메시 사이즈의 선정과 배치방법을 검토하고, 지붕에 메시망을 구축할 때 회전구체에 의해 침투하는 깊이를 계산해 제시했으며, 고층 건물의 측뢰에 대한 메시법 적용과 그에 따른 문제와 대책 등을 검토했다. 그리고 메시법의 적용사례를 통해 메시 도체 배치방법 등을 고찰했다.



글 \_ 정 지 열 (No. 81169)

- 현 한국건설관리공사 재직(전기감리단장)
- 대한주택공사 전기설계처장
- 주택관리공단 기술이사
- 건교부중앙설계심의위원
- 대한조명설비학회이사
- 대한주택공사설계자문위원
- 한국토지공사기술자문위원
- 단국대학교 공과대학 전기공학과 졸업
- 숭실대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사)

### 1. 서론

KS C IEC62305-3(IEC62305-3: 이하 같다.)에서 구조물의 모퉁이, 뾰족한 점, 모서리부분에 보호각법, 회전구체법 그리고 메시법으로 수뢰부시스템을 배치하도록 규정하고 있다[1]. 이 메시법은 1876년 물리학자인 J.C.Maxwell (M.Faraday의 제자)가 기초를 세운 케이지방식(Cage method)에서 비롯되었다. 맥스웰은 건물에 피뢰침이 없을 때보다 있을 때가 낙뢰를 더 많이 유인한다고 주장하고 건물을 패러디케이지(Faraday cage concept)의 원리를 적용할 것을 제안했다. 당시 이 방식은 프랭클린 피뢰침(Franklin rod: 이하 일반형 피뢰침이라 한다.) 방식과는 전혀 다른 새로운 뇌보호 개념이었다. 이후 일반형 피뢰침과 케이지방식 중에서 단독 또는 두 가지방식을 조합해서 사용해 왔다. 일부 유럽국가에서는 일반형 피뢰침보다는 케이지방식이 더 유행했다. 오늘날 이 패러디케이징방식을 메시방식(Meshwork method: 이하 메시법이라 한다.)으로 부르게 된 것이다. 하지만 아직도 일부 문헌에는 케이지방식으로 표기되어 있다[2][6].

외부 뇌보호 이론(external protection theory)은 20세기 들어서 급속한 발전을 하게 된다. 일반형피뢰침에 초점을 맞추어져 있었으며, 메시법(케이지방식)은 명백한 뇌보호 효과가 있음에도 불구하고 거의 연구나 실험이 이루어지지 않았다. 따라서 메시 크기(mesh size 또는 width)는 어떤 이론적 원리 혹은 실험연구에 의한 것이라기보다는 오랜 경험적 규칙(rule

of thumb)에 의해서 결정되어 왔다. 그리고 IEC61024상의 메시 사이즈 효용성을 입증할 만한 자료가 없다고 주장하는 이도 있다[2][3][4][7]. 최근 들어 M.Szczerbinski,

L.Arealo & V.Coaray등 몇몇의 연구지들에 의해 메시 법의 뇌보호 효과를 검증하는 연구가 이루어지고 있다[5][7][8][9].

메시법이 IEC61024:1990판에 포함되면서 메시 사이즈는 보호레벨과 회전구체반지름에 따라 네 가지로 구분해 보호레벨 I의 경우 5m, II과 III은 10m, IV은 20m로 각각 정하고 있으며 이후 IEC62305-3:2006의 표2에서는 메시 사이즈를 보호레벨 I은 5m, II은 10m, III은 15m, IV일 때는 20m로 구분해 대응하도록 정하고 있다[본문의 표1 참조]. 그리고 높이가 60m가 넘는 건축물일 경우 회전구체법과 메시법에 의해 수뢰부의 위치를 정하도록 제한하고 있어 요즘 아파트를 비롯해 많은 건축물들이 초고층화 하는 추세를 감안할 때 메시법의 비중도 그만큼 높아지기 때문에 메시법의 기본과 적용방법을 제대로 이해하는 것은 무엇보다 중요하다. 그런데 메시법(중전에는 케이지)이 오래전부터 사용해온 방법인데도 연구 논문이나 문헌 등 관련 자료들이 그리 많지 않다.

본고에서는 메시법이 전기기하학적 모델(이하 EGM)에 기초를 두고 있는 회전구체법(RSM)에 의존하므로 EGM과 메시법의 관계, M.Szczerbinski, L.Arealo&V.Coaray 모델을 소개하고, IEC62305-3에서 규정하고 있는 메시법의 관련내용과 그 실제 적용방법 등을 검토한다.

【표 1】 피뢰시스템의 레벨별 회전구체반지름, 메시치수의 최대값 (IEC62305-3의 표2 참조)

피뢰시스템의 레벨	회전구체 반지름(r)(m)	메시치수W(m)
I	20	5×5
II	30	10×10
III	45	15×15
IV	60	20×20

## 2. 메시법의 이해

### 2.1 EGM에 의한 메시도체의 보호범위

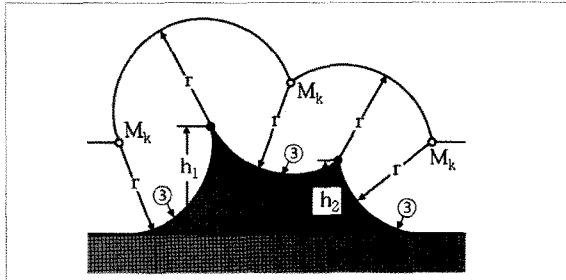
Peter Hasse & Johannes Wiesinger가 저술한 [11]에 따르면, 그림 1과 같이 2개의 수평도체의 보호범위는 점M<sub>k</sub>를 중심으로 하는 반지름r인 3개의 원에 의해서 결정되는 부분 면③을 경계로 한다. 메시의 보호범위는 이를 응용해 구할 수 있다. 즉 그림 2처럼 EGM에 기초해 2개의 수평도체(메시의 일부)사이에서 면③을 경계로 하는 보호범위가 구해진다. 실제 적용하면 보호 범위 경계는 메시 높이보다 d만큼 낮아지고 ③에 대한 경계면이 그려진다. d는 메시의 지상 높이와는 관계가 없으며 메시법에 서는d=0으로 가정한다. d는 다음 식에 따라 구할 수 있다.

$$d = r - \sqrt{r^2 - (\omega/2)^2} \quad (m) \quad (1)$$

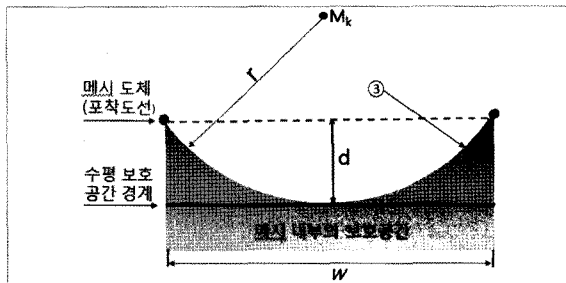
d : 거리(회전구체가 메시도체 아래로 침투하는 깊이) (m)

r : 최종뇌격거리(회전구체 반지름) (m)

ω : 메시도체 한 변의 길이 (m)



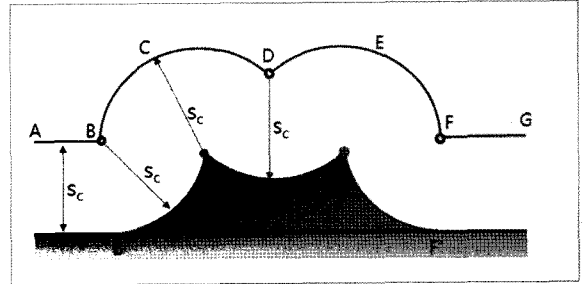
【그림 1】 평행 2선 수평도체의 보호범위



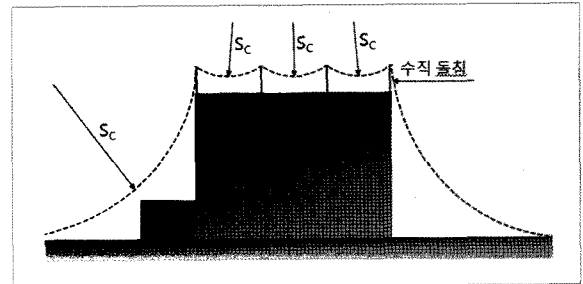
【그림 2】 EGM에 의한 평행 2선 수평도체의 보호범위

한편, Abdul M Mousa & K.D.Srivastava[10]도 이미 그림 3과 같이 EGM의 이론을 근거로 두 개의 수평도체에 대한 차폐구역

(주어진 뇌격거리 'Critical' striking distance S<sub>c</sub>을 반지름으로 하는 원 B'W<sub>1</sub>D'W<sub>2</sub>F)을 구했으며, 이것을 기초로 높이가중 저층인 건물의 평평한 지붕에 설치하는 수직피뢰침 시스템을 제시했다[그림 4참조]



【그림 3】 두 개의 수평도체에 의한 차폐구역

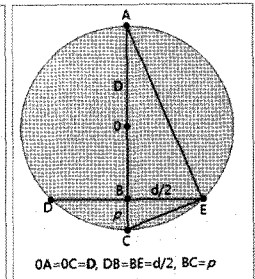
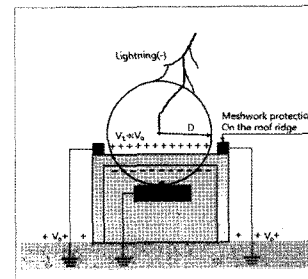


【그림 4】 중 저층 건물의 차폐방식

### 2.2 메시법의 보호효과 분석

#### (1) M.Szczerbinski의 모델

M.Szczerbinski는 메시법의 보호효과에 대한 연구결과를 [5][6][7]로 발표했다. 앞의 [5][6]에서는 그림 5와 같이 회전구체의 관통이 가능한 부도체 또는 절연도체로 된 지붕을 가진 구조물을 대상으로 '뇌격거리' (Critical distance)이론과 '현의 비' (Ratio of chord)정리를 적용해 회전구체가 메시법 쪽의 하부를 관통하는, 즉 회전구체의 침투 깊이를 계산했다.



【그림 5】 얇은 재료(부도체)로 된 구조물내부에 관통한 회전구체

【그림 6】 현의 비 정리(Ratio of chord theorem)

그리고 그림 6과 같이 회전구체의 침투 깊이는 Ratio of

chord theorem을 적용, 다음의 식을 얻었으며, 여러 조건의 회전구체 침투 깊이를 (2)식에 따라 계산한 결과를 표 2에 나타 내었다(여기서 (2)식을 정리하면 결과는 (1)식과 같다).

$$\frac{2D - p}{d/2} = \frac{d/2}{p} \quad (2)$$

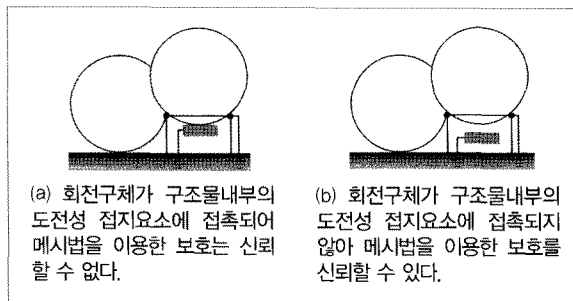
- D : 뇌격거리
- p : 회전구체 침투 깊이(penetration depth)
- d : 메시 폭의 길이

【표 2】 그림5의 구조물에 회전구체의 침투 깊이

* 뇌격거리 D(m)	메시 사이즈 d(m)	침투깊이 p(m)
D <sub>50%</sub> =29.5	10	0.43
D <sub>50%</sub> =29.5	15	0.97
D <sub>50%</sub> =29.5	20	1.75
D <sub>50%</sub> =29.5	25	2.78
D <sub>50%</sub> =91.5	10	0.13
D <sub>50%</sub> =91.5	15	0.31
D <sub>50%</sub> =91.5	20	0.55
D <sub>50%</sub> =91.5	25	0.62

\* 뇌격거리이론 D = kJ<sup>m</sup>에서 k:6.5, m:0.75, I<sub>50%</sub> = 6.5kA, I<sub>50%</sub> = 34kA

나중 [7]에서는 모델 그림 7을 대상으로 IEC62305-3의 표 2 (분문은 표 1, 이하 같다)에 명시된 네 가지 보호레벨에 대해 최대 가능한 회전구체 침투(‘rolling sphere’ penetration) 깊이를 간단한 기하학(사실은 피타고라스 정리)을 적용해 계산한 결과를 표 3에 나타내었다. 이 결과는 메시 도체를 어느 정도로 침투하는지 알 수 있을 뿐 지붕에 회전구체 관통(‘rolling sphere’ penetration)이 몇 차례나 일어나는지 그리고 메시법에 의한 뇌보호 확률이라든지 실패 예상빈도 등에 대해서는 계산할 수 없다는 문제를 안고 있다.

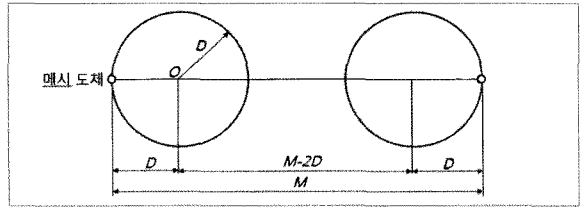


【그림 7】 메시 하부로 관통한 회전구체의 모델

【표 3】 회전구체 침투의 최대 깊이

Protection level	Rolling sphere radius D (m)	Maximum Protection depth Pmax (cm)
I	20	16
II	30	41
III	45	68
IV	60	83

따라서 메시법의 뇌보호 효과를 분석하기 위해 그림 7(b)에서 그림 8과 같은 모델을 가정, 다음과 같은 계산식을 유도했다.



【그림 8】 기본 모델

$$N_M = N_g \int_0^{M/2} (M-2D)^2 g(D) dD \quad (3)$$

$$= N_g \int_0^{M/2} (M-2D)^2 \frac{1}{ps\sqrt{2\pi}} \frac{1}{D}$$

$$\times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{cs} \ln \frac{D}{D_{50\%}}\right)^2\right] dD$$

N<sub>M</sub> : 메시의 연간 차폐실패(/년)

N<sub>g</sub> : 연간 낙뢰의 대지밀도(/m<sup>2</sup> /년)

M : 메시셀의 길이(m)

그리고 메시의 보호실패계수 k<sub>r</sub>는 다음 식에서 구한다.

$$k_r = \frac{N_M}{NgM^2} \quad (4)$$

[7]에서는 C = 0.5, S = 0.75, D<sub>50%</sub> = 50m, 100m, 150m로 가정해 뇌보호의 실패계수 k<sub>r</sub>를 산출, 분석해 메시법의 효과가 높다는 결과를 얻었다. 모델 내부에 있는 도전성 요소가 메시망 표면에 접근하지 않았을 경우 뇌보호 실패계수 k<sub>r</sub>의 중앙치는 약 5 × 10<sup>-5</sup> ~ 10<sup>-7</sup>의 범위에 있으며, 모델 내부의 도전성 요소가 지붕표면에 접근할 경우 보호효과는 떨어지는 것으로 분석했다.

## (2) Liliana Arevalo & Vernon Cooray의 모델

Liliana Arevalo & Vernon Cooray[8]은 IEC62305-3의 표 2(분문은 표1)에서 제시된 메시 사이즈의 유효성을 두 가지 방법으로 고찰했다. 하나는 회전구체법을 적용해 도출된 분석결과를 기초로 메시와 접지된 구조물 사이의 이격의 한계치(Critical value)를 표 4와 같이 제시했다.

【표 4】 IEC62305의 보호레벨과 크기, 구조물위 메시 높이의 한계치

Class of LPS	Mesh size(m)	Minimum current Standards (kA)	Critical height of mesh above the structure (m)
I	5 × 5	3	0.15
II	10 × 10	5	0.42
III	15 × 15	10	0.63
IV	20 × 20	15	0.84

그리고 메시가 낙뢰를 차단할 수 있는지 혹은 메시지를 관통할 수 있는지를 뇌포착 모델을 대상(면적 크기 100 × 100m, 메시 도체 반지름 2.5mm)으로 시행한 시뮬레이션 분석결과를 토대로 표 5와 같이 제시하고 현재의 규격에서 명시하고 있는 메시 사이스가 적절하다는 것을 검증했다.

【표 5】 시뮬레이션 분석결과

Class of LPS	Mesh size(m)	Return stroke Current(kA)	Result
I	5×5	2	Attachment to ground
	5×5	3	Attachment to mesh
	10×10	3	Attachment to ground
	10×10	4	Attachment to ground
II	10×10	5	Conditions for attachment to the ground and to the grid are fulfilled almost at the same time
	10×10	6	Probable Attachment to mesh
	10×10	7	Attachment to mesh
III	15×15	8	Attachment to ground
	15×15	9	Probable Attachment to mesh
	15×15	10	Probable Attachment to mesh
	15×15	11	Attachment to mesh
IV	20×20	13	Probable Attachment to mesh
	20×20	14	Probable Attachment to mesh
	20×20	15	Attachment to mesh

(비고) 시뮬레이션에서 기준평면 위 메시 높이는 보호레벨 I, II, III, IV에 대해 각각 0.2m, 0.5m, 0.7m, 0.9m이다.

### 3. 규격상의 메시법

수뢰부시스템은 IEC 62305-3의 5.2.2에 따라 보호각법, 회전구체법, 메시법의 설계방법 중에서 하나 이상의 방법을 이용해 구조물의 모퉁이, 뾰족한 점, 모서리(특히 용마루)에 배치해야 한다. 그리고 이 중 메시법을 적용하는데 적합한 대상으로는 보호대상 구조물의 평평한 지붕인 경우, 굴곡이 없는 수평이거나 경사진 지붕인 경우, 또 측뢰방지를 위해 평평한 측면 등이다. 그리고 IEC 62305-3의 부속서A와 부속서E에 의하면, 평탄한 면을 보호할 경우 다음 조건을 만족하면 메시법이 전체 표면을 보호하는 것으로 간주하고 있다.

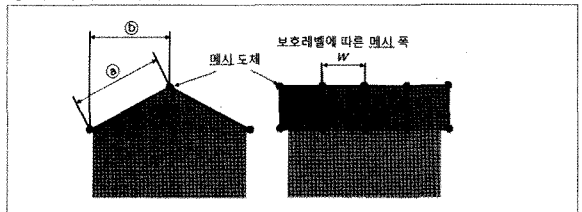
- a) 수뢰도체를 다음의 위치에 배치한다.
  - 지붕 가장자리선
  - 지붕 돌출부
  - 지붕 경사가 1/10을 넘는 경우 지붕 마무리선
  - 높이 60m 이상인 구조물의 경우 구조물 높이의 80%를 넘는 부분의 측면
- b) 메시 치수는 표2(본문의 표1, 이하 같다)의 값 이하로 한다.
- c) 수뢰부시스템망은 뇌격전류가 항상 최소한 2개 이상의 금속 루트를 통하여 대지에 접속되도록 구성해야 한다.

- d) 수뢰부시스템이 보호범위 밖으로 금속제설비가 돌출되지 않아야 한다.
  - e) 수뢰도체는 가능한 한 짧고 직선 경로가 되도록 한다.
- 이처럼 메시법은 인하도록선시스템, 접지시스템, 등전위 분당 부분과 함께 구성되고 있어 실제 적용할 때는 이들 시스템에 대한 이해가 필요하다.

## 4. 메시법의 적용

### 4.1 메시 사이즈와 배치

지붕은 대부분 건축물 중에서 낙뢰에 가장 취약한 곳이다. 메시도체의 간격을 좁혀 설치할수록 차폐의 실패율은 줄어들 것이다. 하지만 이 간격을 너무 좁게 하는 것은 비용이 올라가 경제적이지 못하다. 따라서 메시법의 메시 폭의 치수는 보호레벨에 따라 적용해야 한다. IEC62305-3의 표2(본문의 표1)에서 레벨 I(회전구체 반지름이 20m)인 경우, 메시 폭의 치수는 5×5m(25m<sup>2</sup>), 레벨 II(반지름 30m)경우는 폭10×10m(100m<sup>2</sup>), 레벨 III(반지름 45m)인 경우는 폭15×15m(225m<sup>2</sup>), 그리고 레벨 IV(반지름 60m)인 경우는 폭이 20×20m(400m<sup>2</sup>)로 정하고 있다. 이처럼 메시망을 정사각형으로 구성하도록 정하고 있으며, 메시 폭의 치수도 최대 간격을 나타내는 것이므로 이 치수를 넘지 않도록 메시 도체를 설치해야 한다. 실제로 건물 지붕의 규모, 형태와 지붕위에 시설된 각종 설비기기 등의 유무에 따라 메시 망을 적절하게 구성하도록 한다. 지붕표면이 표2(본문의 표1)에 규정된 메시 치수를 넘을 때는 메시 도체를 추가로 설치한다. 그리고 경사 지붕인 경우 경사부분에 설치하는 메시 폭은 경사 지붕에 평행한 폭으로 한다. 그림9에서 ①가 메시 폭이다[13].

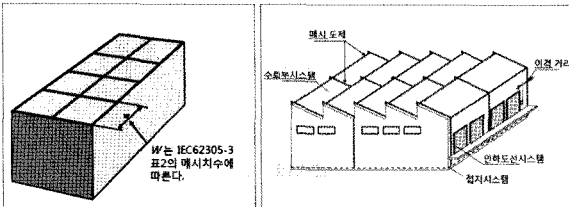


【그림 9】 경사지붕의 메시 폭

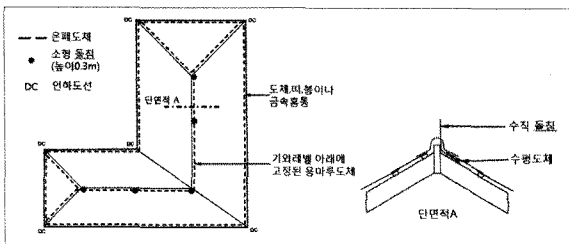
메시법을 이용한 메시 도체는 앞서 언급했듯이 지붕 가장자리선, 지붕 돌출부 또는 지붕 경사가 1/10(각도로 계산하면 5.7°에 해당한다.)을 넘는 경우에는 지붕 마무리선에 배치하도록 정하고 있다. 이것은 지붕의 가장자리선이나 용마루선, 돌출물 또는 모서리에 전계밀도의 분포가 높고, 낙뢰비율이 크기 때문이다[14][15].

그림 10, 그림 11은 메시법에 따라 평평한 지붕(Flat roof)과 격납고형 지붕(Industrial building)에 메시 도체를 설계한 예를 나타낸다. 그리고 용마루가 있는 경사지붕인 경우에 메시 도체는 용마루에 배치한다.

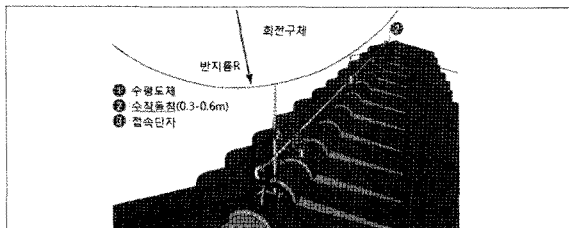
그림 12는 기와조 경사지붕의 경우 돌침과 메시도체를 조합해서 배치한 예를 나타내며 그림 13은 용마루에 수리 도체를 배치한 예를 나타낸다. 또한 지붕에 돌출물이 있을 경우 효과적인 보호방법은 형태, 종류, 재질 등에 따라 차이는 있겠지만 회전구체법과 보호각법에 의한 피뢰침, 메시법에 의한 메시 도체를 적절히 조합해서 배치하는 것이다. 그림 14는 지붕에 돌출물이 있는 건물의 수리부시스템의 배치 예를 나타낸다. 이밖에도 부속서A와 부속서E의 E.5.2.2, E5.2.3, E5.2.4에는 여러 경우의 구조물에 대해 상세한 사항이 기술되어 있다.



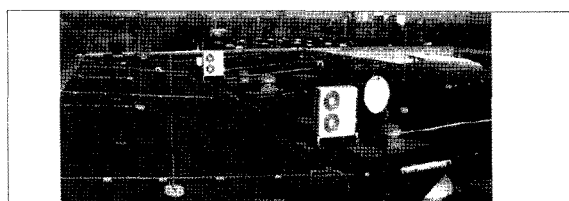
[그림 10] 평평한 지붕의 메시 도체(IEC62305-3부속서E의 그림E22a참조)  
 [그림 11] 격납고형(산업용 건물)지붕의 메시 도체[17]



[그림 12] 기와조 경사지붕의 수직 돌침과 메시 도체 (IEC62305-3부속서E의 그림E22d참조)



[그림 13] 용마루 위의 수리도체 배치[24]



[그림 14] 돌출물이 있는 지붕의 메시 도체와 수직 돌침[18]

## 4.2 회전구체에 의한 침투깊이

메시법은 메시 도체로 에워싸인 내측을 보호범위로 하는 방법으로써 평탄한 지붕에 적합하다. 때문에 메시 도체보다 돌출된 것(예, 위성 안테나 등)은 보호되지 않는다. 이 평탄면을 보호하려면 회전구체를 굴러서 회전구체와 접촉하는지 여부를 확인해 수리부외에는 접촉하지 않도록 메시 도체를 설치해야 한다. 이처럼 메시법은 회전구체법에 의존한다.

수리도체인 메시 위를 구르는 회전구체는 보호 공간 안으로 침투하게 된다. 그 부분이 절연물로 되어 있을 경우는 낙뢰를 맞을 염려가 없지만 그 장소에 회전구체와 접촉하고 대지와 전기적으로 접속된 금속체인 경우는 낙뢰를 맞을 가능성이 있다. 평면을 어떤 뇌격에도 방지해야 되므로 보호범위 안에 보호대상 평면이 들어가도록 수리부인 메시 도체를 설치해야 한다. 그래서 메시 도체를 다음 식에 따라 회전구체가 메시 도체를 침투한 깊이만큼 위쪽으로 들어 올려 설치하도록 한다(그림15 참조). 이 계산식은 IEC62305-3의 부속서E(E.4)에 기술되어 있듯이 수평 기준평면의 상부에 2개의 수평 수리도체가 평행하게 시공된 경우 도체사이의 공간을 회전구체가 침투하는 거리 p를 구하는 식이다. 동일한 높이의 정사각형의 메시 도체에도 유효하므로 이를 응용해 회전구체의 침투깊이를 계산한다[1][12]. 이 식은 본문의 계산식(1),(2)와도 결과는 거의 같다.

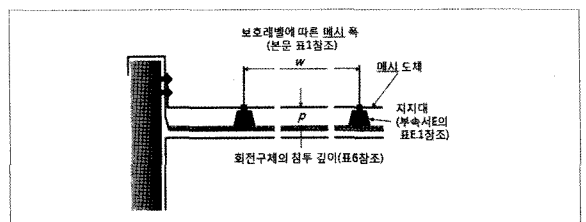
$$p = r - \left[ r^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

p 회전구체의 침투깊이  
 r 회전구체 반지름  
 d 메시 도체의 폭

식(5)에 따라 계산한 값을 표 6에 나타낸다.

[표 6] 메시 폭에 따른 회전구체의 침투깊이 (단위 m)

보호레벨	메시 폭 (m)	회전구체 반지름			
		20m	30m	45m	60m
I	5×5	0.16	0.10	0.07	0.05
II	10×10	0.64	0.42	0.28	0.21
III	15×15	1.46	0.95	0.63	0.47
IV	20×20	2.68	1.72	1.13	0.84



[그림 15] 메시법에 의한 보호