配電系統의 雷對策과 避雷器 등의 適用

李 廣 植
〈嶺南大學校 電氣工學科 敎授〉

1. 序 論

공장이나 가정의 정전으로 인한 피해는 막대한 경제적 손실은 물론 사회적 여러 문제까지 대두되고 있다. 특히 최근 정보빌딩이나 각종 Computer을 이용한 응용분야는 잠시라도 정전되면 그 피해는 극심한 상태에 이른다. 이러한 관점에서 본 해설에서는 配電線事故의 원인중 가장큰 비율을 차지하고 있는 配電系統의 雷사고의 대책 즉 雷對策에 관하여 알아 보고저 한다.

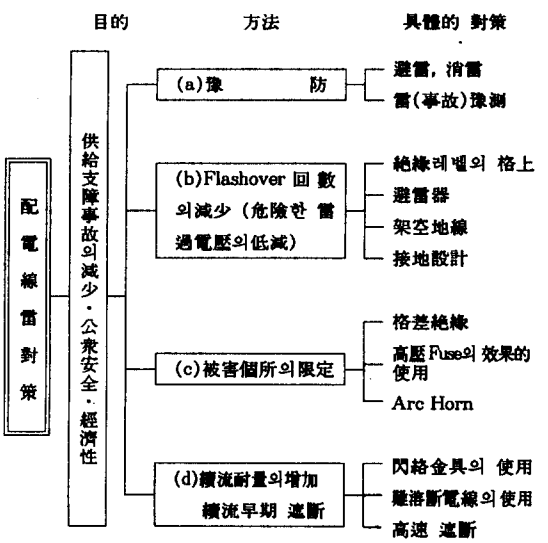


그림 1. 配電線雷對策 方法

그 방법중 중요한것은 그림1과 같으며, 이 그림에서 보여주는 (a)~(b)방법을 잘 조화시켜 雷對策을 세우게 되는데 아직 이 분야의 연구가 완전하지 아니하므로 방법이 하나로 통일되어 있지 않다. 일반적으로 (b)의 방법을 기본으로 하여 (c)의 방법을 보조적으로 이용하는 耐雷設計를 하여왔다. (d)는 절연전선의 溶斷對策으로 볼수있다. (a)의 방법은 아직 실용적으로 사용되어지는것은 아니고 장래 실시 되어질 가능성이 검토되고 있는 상황이다. 그러므로 본 해설에서는 (b)의 방법에 대하여 구체적으로 알아보고 그외의 방법에 관하여는 간단히 취급하기로 한다.

2. 本 論

2.1 絶緣레벨의 選定

애자나 기기가 어느 정도의 절연강도를 가지는가는 뇌대책을 고려하는 경우 기본이 된다. 6.6[kV]배전선의 절연설계는

① 內部異常電壓에 견디는 絶緣強度를 가질것

② 外部異常電壓에 대해서는 避雷器나 架空地線의 사용등 적절한 雷對策을 고려할것을 기본으로 하고 있다.

결국 配電線의 絶緣레벨을 결정하는 방법은 다양하여 다음과 같은 것을 고려하여야 한다.

(a) 과거의 사용실적을 기본으로 하여 종래 절연레벨을 기초로 한다. 雷에 대하여는 避雷器, 架空地線등이 耐雷設備에 대응한다.

(b) 耐雷對策의 한 방법으로서 絶緣레벨을 취하고 雷害가 많은 지역에서는 애자나 기기의 레벨을 모두 같이 격상한다.

(c) 중점적으로 보호하여야 할 애자나 기기의 절연레벨만을 격상하고 Flashover가 발생하여도 피해의 정도가 가볍게 되도록 한다.

일반적으로는 높은 절연레벨을 이용하면 耐雷性이 결정되는 것이 아니고 後衛하는 피뢰기나 가공지선등의 耐雷設備의 적용과의 협조에 있다고 사료된다.

2.2 避雷器의 適用

2.2.1 效果의 原理

避雷器가 구비되어 있는 경우 전기적 기능은 雷過電壓 또는 開閉過電壓에 의한 Surge性의 電流를 大地에 分流하여 그점 부근의 과전압을 억제하는 보호기능과 속류를 차단하여 원래의 상태로 회복하는 기능의 2가지이다. 즉 보호장치로서의 기능과 속류차단의 기능을 아울러 가질 필요가 있다.

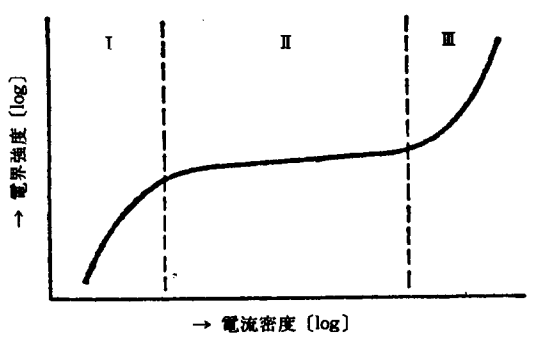


그림 2. 酸化亞鉛素子의 電壓電流特性

弁抵抗形避雷器등 종래로 부터 사용되어져온 配電用 避雷器는 보호장치로서의 放電 gap과 종류에 따라 형식은 다르지만 續流遮斷用의 特性要素로 구성된다. Gapless피뢰기로 불리워진 방전 gap을 가지지 않고 전술한 기능을 만족하는 피뢰기가 개발되어져있다. 이것은 특성요소에 산화아연을 주성분으로하는 소결체를 이용하여 급준파 Surge에 대한 방전전압-시간특성(V-t특성)의 우수성이나 단위체적에 대한 처리 Energy가 큰것등의 특징을 갖고있다. 단, 배전선에 酸化亞鉛素子避雷器를 適用할 경우에는 AC 過渡異常電壓을 고려하여 gap을 직렬로 연결하는 것이 좋다. 참고로 산화아연 소자피뢰기의 전압 전류특성을 그림 2에 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 全對數 특성을 나타 내는데, 3종류의 영역으로 나타난다. Ⅰ의 영역은 전계가 커지면 熱電子 放出의 전위장벽이 떨어지는 쇼트키 효과이고, Ⅱ의 영역은 터널효과로 설명 할수 있는 포화영역과 Ⅲ의 영역은 경계층이 전류를 제한하지 못하고 ZnO의 도전성 만으로 결정되는 영역이다.

2.2.2 避雷器의 保護距離

雷過電壓의 發生侵入形態는 여러가지인데, 간단히 그림 3에 나타낸바와 같이 선로 좌측에서 過電壓이 침입하여 온다고 하자. 과전압이 架空線路上을 傳播하는 속도는 300[m/μs](光速度)에 가깝기 때문에 보호할 애자 지지점을 과전압이 통과할때 부터 피뢰기에 도달할 때까지는 L/300[μs]의 시간이 걸린다. 피뢰기 방전개시 까지의 시간을 무시하여도 피뢰기의 효과가 애자에 도달할 때까지 다시 L/300[μs]의 시간이 걸리기 때문에 적어도 L/150[μs]의 시

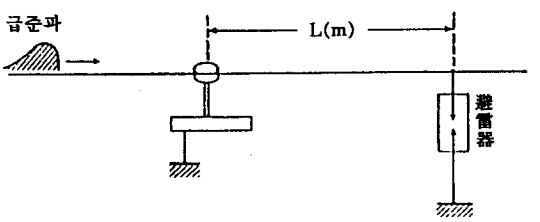


그림 3. 避雷器保護의 遲延

표 1. 避雷器의 最大有効 離隔距離 (韓電設計基準)

線路			變壓器	避雷器		有效離隔距離
電壓 〔kV〕	支持物	碍子數	BIL〔kV〕	定格電壓 〔kV〕	公稱放電 電流〔A〕	〔m〕
154	鐵塔 또는 콘크리트柱	10	650	138	10,000	65
66	〃	4	350	75	10,000	45
22	〃	2	150	24	10,000	20
22.9	〃	2	150	21	10,000	20

(註)

1) 碍子는 $10'' \times 5\frac{3}{4}''$ 懸垂碍子

2) 避雷器의 保護레벨은 ESB-153에 依한다.

3) 木柱線路는 遮蔽되어 있는 것이 없음으로 考慮치 않았음. 一組의 避雷器로 二個以上의 機器를 保護할 수 있는데 上記 有効 離隔距離 以內에 있는 機器는 保護된다고 본다.

간이 지연되어 애자점에는 피뢰기의 효과가 발생한다. 이 때문에 雷過電壓波形의 形成時間이 짧은 급준파 Surge에서는 보호의 지연때문에 보호거리를 결정하는 주요한 요인은 雷過電壓의 波頭 준도이다. 과전압의 파두장이 L/150에 비하여 충분히 길면 피뢰기와 보호하는 점의 거리 L가 길어도 효과는 있지만 역으로 파두장이 짧으면 보호가능한 거리 L은 짧게된다. 예로써 파두장이 0.1[㎲]로 짧으면, (L/150) <0.1의 부등식이 성립하여 L가 15[m]미만에 해당한다.

이런점으로 미루어 보아 直擊雷나 극심한 誘導雷등의 급준파 Surge는 피뢰기의 설치수를 많이하여 보호할 애자와 기기와의 거리를 짧게 하므로 가능하다고 사료된다. 참고로 우리나라의 韓國電力公社 設計基準 2531에는 표 1과 같은 最大有效離隔距離를 규정하고 있다.

2.2.3 避雷器의 接地

避雷器가 動作하여 그 接地에 放電電流 i가 흐르면 선로에는 접지저항 R에 의한 전위상승 R·i가 발생하여 이값이 크면 보호할 기기의 절연을 Flashover할 가능성이 있다.(그림 4)

이것을 방지하기 위하여는 접지저항을 될수 있는데로 적게 하는것이 한 방법인데 避雷器設置柱의 보호만을 고려하면 그림 5에 보여주는 바와 같이 변압기 외함의 접지와 피뢰기의

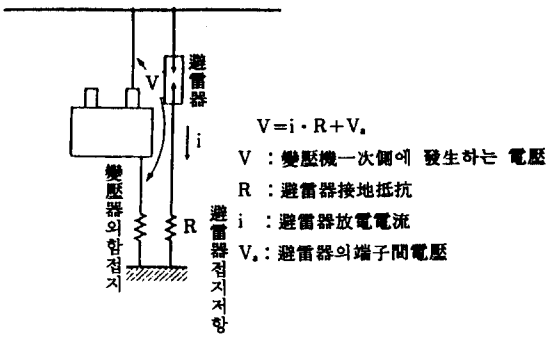


그림 4. 避雷器放電時에 發生하는 電壓(非連接地時)

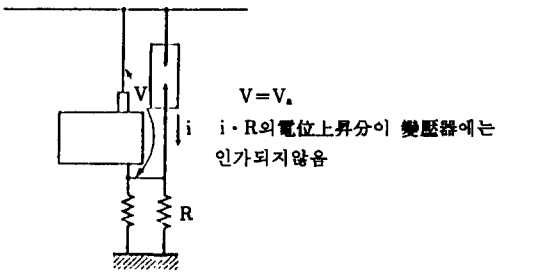


그림 5. 連接接地의 效果

접지를 連接하는것이 유리하다. 이 경우에는 避雷器 設置柱의 機器에는 R·i의 전위상승분은 인가되지않고 피뢰기의 단자전압이 Va만 인가될 뿐이다.

2.2.4 避雷器의 定格과 保護레벨

피뢰기의 定格電壓은 그 값의 교류전압(大地實效値)의 端子 사이에 가하여진 상태에서 放電電壓을 흘려 雷 Surge나 開閉 Surge등의 過電壓을 억제하고 續流를 遮斷하여 원상으로 복귀시키는 피뢰기의 動作責務를 이행할수 있는 電壓이다. 참고로 표2에 각국의 定格電壓對照表를 나타내고, 韓國電力公社 設計基準 2531에서는 표 3과 같이 각종 中性点 接地方式에 따라 系統電壓과 避雷器定格電壓을 규정하고 있다. 또한 위의 기준에서는 설치장소별 피뢰기 公稱放電電流를 표 4와 같이 규정하고 있다. 避雷器의 保護性能을 나타내는 보호레벨은 많은 경우의 공칭방전전류에 대한 제한전압, 즉 공칭방전전류를 흘렸을때 피뢰기 단자 사이에

표 2. 定格電壓對照表

規格의種類	日本規格		영국 規格		독일 規格		프랑스 規格		미국 規格		國際規格	
略稱	JEC		BS		VDE		UTE		NEMA－ASA		IEC	
術語	定格電壓		rated diverter voltage		höchstzulässige Betriebsspannung		tension nominale		voltage rating		voltage rating	
	4.2	252	1.25	61	1.15		0.280	136	0.175	120	0.175	73
	8.4	266	2	73	3.5		0.500	170	0.650	144	0.280	80
	14	280	2.5	80	7		0.600	184	1	168	0.500	90
定	28		3	100	11.5		3.6	196	3	180	0.660	97
	42		3.7	116	17.5		7.2	245	6	192	3	109
	56		5.9	123	23		12		9	240	4.5	123
格	70		7.3	136	35		15		12	258*	6	130
	84		10	145	52		17.5		15	276*	9	145
	98		12.5	170	70		20		20	294*	12	160
電	112		14	196	100		24		25	372*	13	170
	126		17.5	245	125		30		30	396*	15	184
	140		20		135		36		37	420*	18	196
壓	154		25		170		42		40	516**	20	210
	168		30		200		52		50	552**	25	245
	182		37		250		58		60	588**	30	
〔kV〕	196		40		265		72.5		73		37	
	210		42		390		80		90		40	
	224		49				100		96		50	
	238		52				127		108		60	

* 將來의値. ** ASA에서는 規定하지 않음

표 3. 避雷器의 定格電壓(韓電設計基準)

電力系統		避雷器定格電壓〔kV〕	
電壓〔kV〕	中性点接地方式	變電所	配電線路
345	有効接地	288	
154	有効接地	138	
66	PC接地 또는 非接地	75	
22	PC接地 또는 非接地	24	
22.9	3相4線 多重接地	21	18
11.4	3相4線 多重接地	12	9
5.7	3相4線 多重接地	7.5	7.5
6.6	非接地	7.5	7.5
3.3	非接地	7.5	7.5

표 4. 設置場所別 避雷器 公稱放電 電流(韓電設計基準)

公稱放電電流	設置場所	適用條件
10,000 A	發電所	全發電所
	變電所	1. 154kV 以上 系統 2. 66kV 및 그 以下 統計에서 bank容量이 3,000kVA를 超過하거나 特히 重要한 곳 3. 長距離 送電線 케이블 (配電 "피더" 引出用 短距離 케이블은 除外) 및 電蓄電器 bank를 開閉하는곳
5,000 A	變電所	1. 66kV 및 그 以下 系統에서 bank 容量이 3,000kVA 以下인 곳
2,500 A	線路 變電所	配電線路 配電線 "피더" 引出側

잔류하는 전압의 파고치로 결정된다. 일본의 경우 보호레벨은 일반적으로 다음과 같이 정의한다.

① 雷 Impulse 보호레벨은 공칭방전전류에 대한 제한전압 파고치, 표준뇌 Impulse 방전개시전압, 雷 Impuse 방전개시 V－t 곡선상의 0.5[㎲]에 대응하는 전압의 1.15분의 1의 3종류의 전압 중 가장 큰값을 레벨로 한다.

② 開閉 Impulse 보호레벨은 開閉 Impulse 放電開始 V－t 곡선상의 250[㎲]에 대응하는

표 5. 10kA 避雷器의 保護레벨 (JEC－203, 1978)

定格電壓(kV)	制限電壓(kV)	保護레벨	
		雷(kV)	開閉(kV)
4.2	14	17	17
8.4	28	33	33
14	47	50	50
28	94	94	90
42	140	140	120
70	224	224	200
84	269	269	240
98	314	314	281
112	358	358	320
126	403	403	361
140	448	448	401
182	582	582	522
196	627	627	561
210	672	672	601
224	717	717	641
266	851	851	762
280	896	896	802
420	1220	1220	1090

전압으로 결정하고 있다. 참고로 JES－203의 피뢰기의 보호레벨을 표 5에 나타낸다.

2.3 架空地線의 適用

2.3.1 誘導雷電壓의 遮蔽效果

가공지선이 없는 경우에는 상도체에 발생하는 유도뇌전압을 U_P, 가공지선에 의해 차폐된 전압을 U_P'와의 사이에는 다음의 관계가 있다.

$$\eta=\frac{U_P'}{U_P}=1-\frac{Z_{Pg}}{Z_g+2R_g}\cdot\frac{H_g}{h_P} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

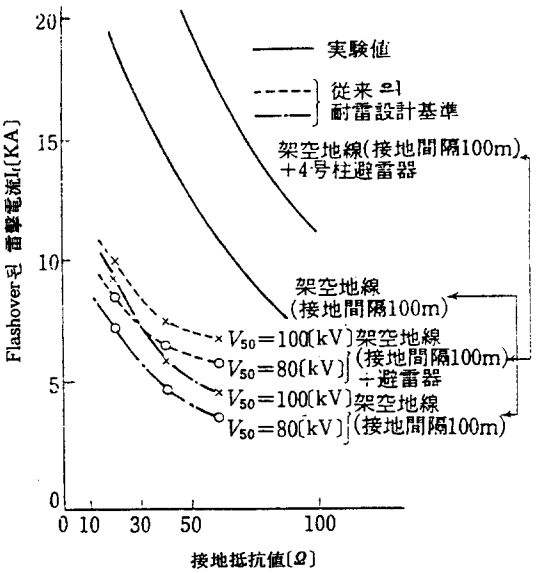
여기서 $Z_g[\Omega]$: 가공지선의 자기 Surge Impedance,

$Z_{Pg}[\Omega]$: 가공지선과 상도체의 상호 Surge Impedance,

$R_g[\Omega]$: 접지저항,

h_g, h_P[m] : 가공지선 및 상도체의 지표상 높이이다.

이 η를 가공지선의 차폐계수라 부른다. 식(1)에서 가공지선의 차폐효과를 크게 하려면 R_g를 적게할것, 상도체와 가공지선의 結合 Impedance Z_{Pg}를 크게할것이 요구된다.



(6.6[kV]配電線, 콘크리트柱의 頂上 雷撃)

그림 6. 架空地線과 避雷器에의한 直撃雷防護効果

2.4 直撃雷에 대한 避雷器와 架空地線의 效果의 實驗的 檢討

일본 전력중앙연구소에서 파고치 약 20[kV]의 뇌 Impulse 전류를 발생시켜 실제규모의 배전선에 피뢰기와 가공지선의 직격뇌에 대한 실험을 하였다. 그림 6은 절연파괴가 발생하는 최소의 뇌 Impulse 전류 파고치(I_f)와 접지저항의 관계를 실험으로 부터 구한 결과이다. 이것을 종래의 耐雷設計基準과 비교하면 그림에서 보여주는 바와 같이 실험적으로 부터 구한 I_f는 종래의 설계 기준치의 2.5～3배로 더 높다. 이 결과로 부터 피뢰기와 가공지선이 꽤 큰 직격뇌를 보호하는 효과가 있음이 밝혀졌다.

2.5 새로운 耐雷機材

2.5.1 個個機器의 保護

配電線에 發生하는 過電壓의 全體的 低減뿐만 아니라 보호대상의 機器의 線路側 외함에 酸化亞鉛등으로 된 피뢰기소자를 넣어 그사이에 생기는 과전압만을 억제하는 방법이 있다.

이 방법은 그림 5에서 보는바와 같이 피뢰기의 접지와 주상변압기의 접지를 연접시키는 방법이다. 즉 어느정도 피뢰기 방전전류가 크고 대지전위상승이 커도 柱上變壓器의 고압측과 외함 사이에는 높은 전압이 가하여지지 않은 방식이다.

이 방식의 응용은 酸化亞鉛素子付 變壓器나 高壓 Cutout Switch, 開閉器 및 애자의 보호를 위한 Arc Horn의 접지측에 이용하는 방식 등이 있다.

2.5.2 溶斷對策

절연부에 Flashover가 발생하여도 溶斷까지 이르지 않게하여 公衆의 安全을 유지하도록 하는 것인데, 主로 절연전선의 용단대책으로 고려되었다. 절연전선의 素線經을 크게하고 보다 소선수를 적게하여 압축형으로한 개량형절연전선이 실용화되어 있다. 종래형과 비교하여 용단시간이 10~20배 대폭 길게 되었다. 이것은 일종의 續流對策이다.

3. 結　論

以上 配電線에 발생하는 雷擊電壓에 대한 對策方法의 개략을 설명하였다. 선진국에서는 將來豫測 시스템, 고장점의 조기 탐사 시스템, 레이다에 의한 관측, 로켓 誘雷 등의 연구를 부단히 수행하여 실용화내지 실험적 성공을 거두고 있으며 未來에는 雷의 制御도 가능하다는 신념아래 많은 관련학자들의 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 配電線에 관련된 雷現象에는 아직 밝혀지지않은 것이 많으므로 국내에서도 뇌현상에 대하여 많은 관측과 연구를 수행하여 더욱 정확한 耐雷對策을 세우는데 부단히 노력하여야 하겠다.

참 고 문 헌

1) C.F. Wagner, "The lightning stroke as related to transmission line performance, part Ⅱ" Electrical Engineeing(1963).
2) 横山・淺州, 電力中央研究報告 No. T 87086(昭63)
3) 「配電線 耐雷設計 ガイドブック」電力中央研究報告 No. 175030 (昭51).
4) Kenji Horii, Control of Lightning Discharge—By Rocket or Other Means. The Journal of JIEE. 1990.
5) 横山, 配電線における雷害對策. 電氣學會雜誌 平成2年.
6) Kouno, Insulstion of power System, Corona, 1984.
7) 益田淳一, 避雷器とその適用, 電氣學會, 1975.
8) 韓國電力公社, 設計基準.
9) Rakosh Das Begamudre, Extra High Voltage A. C Transmission Engineering. John wiley & Sons. 1986.
10) Anthony J. Pansini, Electrical Distribution Engineering. McGrawHill. 1988.

照明·電氣設備學會誌

Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers

Vol. 5. No. 4. 1991

— 論文目次 —

Contents

(5-4-1) ● 高壓 아아크 放電시스템의 각종 特性 解析에 관한 硏究 ……池哲根·朴旺烈·李鐵雨·35

A Study on the Analysis of Various Characteristics for the High Pressure Are Discharge System ……Chol-Kon Chee · Wang-Ryeol Park · Chin-Woo Yi

(5-4-2) ● 전력선 반송방식을 이용한 Home Automation 개발 ……朴忠圭·吳象基·羅榮東·43

A Development of Home Automation Using Power Line Carrier ……Chung-Gyu Park · Sang-Ki Oh · Chae-Dong Na

(5-4-3) ● 포화를 고려한 직류전동기의 유한시간 정정 응답제어 ……劉完植·金榮石·大熊繁·52

Speed Control of DC Motor Using Deadbeat Response Method with Consideration of Saturation……Wan-Sik You · Young-Seok Kim · Shigeru Okuma

(5-4-4) ● 병렬 루프 시스템을 이용한 직류 전동기의 속도 제어기에 관한 연구 ……李成栢·李宗圭·元榮鎭·金永洙·60

The Speed Regulator of DC Motor Using the Parallel Loop System ……Seong-Back Lee · Jong-Kue Lee · Young-Jin Won · Young-Soo Kim

(5-4-5) ● PAM형 PWM형 인버터의 出力特性에 관한 연구 ……禹靖仁·李鉉雨·69

A Study on Output Characteristic of PNA-PWM Inverter ……Hyun-Woo Lee · Chung-In Woo

THE KOREAN INSTITUTE OF ILLUMINATING AND ELECTRICAL INSTALLATION ENGINEERS

1044-34, Sadang Dong, Dongjak-ku,
Seoul 156-090, KOREA
TEL. (02) 584-3304. FAX. (02) 521-2407

학 회 지 투 고 규 정

1. 원고의 투고자는 회원에 한다.
2. 원고는 조명 및 전기설비전분야 논문, 기술보고, 기술자료, 기술해설, 문헌소개, 기타 학술 및 기술상 기여된다고 인정되는 자료로 한다.
3. 원고는 본 학회지에 투고하기 전에 공개 출판물에 발표되지 않았던 것임을 원칙으로 한다.
4. 원고는 수시로 접수하며 투고원고의 접수일은 그 원고가 학회에 접수된 일자로 한다.
5. 논문투고시 투고원고내용의 해당 전문분야를 기재해야 한다.
6. 원고의 채택여부는 본 학회편수위원회의 심사절차에 따르며 편수위원회는 원고의 부분적 수정, 단축, 보완을 요구할 수 있다.
7. 원고작성은 ①200자 원고지로 작성시 : 횡서로 작성하되, 그림, 표를 포함하여 50매내외를 기준으로 한다. ②타자로 작성시 : A4용지에 한줄씩 띄워서 작성하되, 면당 700자를 기준하며, 그림, 표를 포함한 총면수가 14면을 초과하지 않도록 하며, 모든면에 페이지를 기입한다.
8. 원고는 국문(한문포함) 또는 영문으로 작성하는 것을 원칙으로 한다. 원고는 본문 중에 사용되는 영어는 소문자를 사용하는 것을 원칙으로 한다.(단, 고유명사, 약자는 제외). 문장의 처음이 영어단어로 시작되는 경우에는 첫자를 대문자로 한다.
9. 원고의 제목, 저자명, 소속기관, 직위를 가급적 한문으로 기입하고, 논문은 초록을 국문과 영문으로 작성하여야 한다. 국문초록은 400자내외, 영문초록은 200단어내외를 기준으로 한다.
10. 그림은 인쇄할 수 있도록 200×250㎜크기의 트레이싱 페이퍼 또는 백지에 먹으로 깨끗이 그려야 한다. 그림이 인쇄될 때는 폭이 70㎜정도 되도록 축소되므로 축소된 후에 글씨의 높이가 최소 2㎜가 되고 선의 굵기가 최소 0.1㎜가 되도록 주의하여야 한다. 사진의 최소크기는 65×50㎜로 한다.
11. 그림과 표는 그림1, 그림2, 표1, 표2… 등으로 표시하고 본문을 읽지 않고도 이해할 수 있도록 상세한 설명을 첨부하여야 한다. 그림의 제목은 그림밑에, 표의 제목은 표위에 기입하며, 설명문은 국문과 영문으로 병기한다.
12. 그림과 표는 일괄적으로 원고 끝에 별첨하고, 본문 중에는 그 위치만 원고 우측에 표시해야 한다.
13. 인용 및 참고문헌의 색인번호를 본문의 인용처에 반드시 첨자([1] [2] …)로 기입하고, 순서는 반괄호(1), 2),…)로 다음과 같이 표시한다.
    1) 단행본의 경우 : 저자명, 책명, 출판사명, 출판년도, 인용페이지.
    예1 1) 홍 길동, 전기응용, 문운당, 1987, pp. 56~67.
    예2 2) C. Mead and L. Conway, Introduction to VLSI Systems, Addison-Wesley, 1980, pp. 145~188.
    2) 논문지의 경우 : 저자명, 제목, 잡지명, 권, 호, 인용페이지, 출판년도.
    예1 1) 김훈, "고광도 방전등의 아아크 특성에 대한 이론적 고찰", 조명·전기설비학회지, 제4권2호, pp. 117~124, 1990.6.
    예2 2) J. J. Lowke, et al., "Theoretical description of ac arcs in Mercury and Argon", Journal of Applied Physics, Vol. 46, No.2, pp. 650~660, 1975.
14. 논문원고의 모든 단위는 M. K. S. 단위로 하는 것을 원칙으로 한다.
15. 논문은 3부를 작성제출하여야 한다.
16. 투고규정에 위배된 원고는 접수하지 않는다.
17. 다음의 경우에는 투고자가 그 실비를 부담하여야 한다.
    1) 아-트지에 사진판을 게재하는 경우
    2) 불결한 그림을 정정 또는 정서하는 경우
    3) 별책을 필요로 하는 경우에는 처음 10부를 증정하고, 그 이상을 필요로하거나 별책의 표지를 요구하는 경우
    4) 저자의 착오로 편집상 손실이 생긴 경우
18. 논문의 경우에는 심사료를 투고자가 접수시 납부하고, 채택된 논문은 게재료를 투고자가 부담한다.
19. 채택된 원고의 저자는 사진1매와 저자소개서를 제출하여야 한다.
20. 원고 및 편집에 관한 모든 연락은 본 학회내 편수위원회로 한다.