

技 術 展 望

誘雷技術開發과 雷害防止의 研究動向

吳 喆 漢  
〈慶北大 師範大 物理學科 教授〉

目 次

- 1. 序 言
- 2. 誘雷技術開發
- 3. 雷放電觀測法
- 4. 觀測結果와 檢討
- 5. 雷害防止의 研究方向
- 6. 結 言

1. 序 言

1969年 7月 18日 밤, New York市의 地下鐵 Eastern線이 落雷에 의하여 停電이 되어 수시간동안에 車내에 搭 차있던 乘客中 1명이 심장마비로 死亡하고 약 600명이 출도하는 대소동이 벌어졌다. 이와같이 落雷에 의하여 큰 피해를 입은 事故는 수 없이 많다. 이웃 日本의 통계를 보면 年平均 落雷件數는 136件이고 死亡者數는 34명, 負傷者는 37명이다. 美國의 경우는 死亡者數는 年平均 137~151명에 달한다. 이러한 數字는 交通事故에 비하면 아주 적은 편이나, 그렇다고 全然 傍觀만 할 수 없는 일이다.

한편 이런 人命被害뿐만이 아니고 不時的 落雷에 하여 家屋의 破壞, 燒失 아니면 送電系統設備에도 많은 事故를 일으킨다. 앞으로 高電壓送電系統의 昇壓이 요청되는 차제에 이러한 問題를 研究檢討해 보는 것도 바람직한 일이라 하겠다.

落雷의 양상도 여러가지 形態로 나타난다. 옛날부터 전해오는 말과 같이 最불이(우산, 안경, 등산장구 등)가 身邊에 있으면 被害가 크며, 야구시합중 관중들이 많이 모인 스탠드에, 해수욕장의 휴게소, 登山途中 산등선에 落雷하여 人命被害가 큰 경우도 있다. 목장 등 에 낙뢰하여 家畜의 피해를 입는 경우도 있으며, 날으는 飛行機, Appolo宇宙船(12號), 海上의 魚船 등에도 낙뢰사고가 일어나니, 언제 어디서나 豫告없이 不意의 被害를 입을 可能性이 있다.

雷雲의 氣象學的, 物理學的 觀察이나 研究는 지금까

지 많이 이루어져 있으므로 여기서는 省略하고 最近에 落雷에 의한 被害를 效果의으로 防止하기 위하여 各國에서 人工的으로 誘雷實驗을 하여 雷放電現象의 mechanism과 그 特性을 研究하여 雷害對策을 確立코져 하는 動向이 있으므로 이것을 소개하고자 한다.

특히 誘雷技術에 의한 雷害防止研究는 불란서를 비롯하여 日本등지에서 近年에 活潑히 進行되고 있다. 여기서는 主로 日本放電研究 Group<sup>1)</sup>에서 計劃하여 研究進行中인 내용과 지금까지 얻은 結果를 소개하고자 한다. 따라서 日本放電研究Group에 대하여 深深한 謝意로 표하는 바이다.

2. 誘雷技術開發

1966年 Newman 教授<sup>2)</sup>에 의하여 처음으로 로케트에 의한 雷放電을 誘發시키는데 成功하였다. 가는 철사를 로케트꼬리에 달아서 雷雲을 향하여 쏘아 올리면 雷放電이 일어난다. 불란서의 Hubert 博士팀은 그후 계속 발전시켜서 60회 이상의 誘雷實驗을 南불란서의 高原에서 실시하였다. 이에 힘입어 雷放電研究와 雷防止研究에 새로운 局面을 개척하게끔 되었다.<sup>3), 4)</sup>

로케트에 의한 誘雷實驗의 目的<sup>5)</sup>은

(1) 雷放電을 의도한 場所와 時刻에 발생시킴에 따라 상세히 放電을 觀測·測定을 하여 雷放電의 발생과 그 進展 mechanism을 해명하는 것과

(2) 設定된 對象物에 落雷시켜서 雷擊放電의 破壞作用 및 雷擊點의 接地電位의 上昇과 大地의 步幅電壓 및 配電線 等에의 誘導電壓 等에 의한 人身 및 電氣裝置에 대한 障害作用을 명확히 하고 避雷針, 架空地線, 接地導體, 避雷器 등의 雷害對策技術을 확립하는 것과

(3) 雷雲中의 電荷를 로케트에 의하여 安全한 장소에 放電시키거나, 구름속에 放雷을 유발시켜서, 雷雲의 電荷를 소멸시키므로써 落雷에 의한 災害를 防止하는 것 등이다.

日本에서는 최초의 로케트誘雷實驗을 목표로 1976年

여름 愛知縣 丈山市 入鹿池畔에 있어서 自然雷의 豫備觀測을 행한 후 그 다음 해의 여름에 같은 場所에서 로케트 打上實驗을 행하였다. 그리고 그해 겨울에는 石川縣 河北 瀧干 拓地내에서 겨울雷를 대상으로 實驗을 하여 비로소 처음으로 地上誘雷에 成功하였다.

1978年 여름과 겨울에 계속하여 14回 로케트를 발사하여 6번을 成功하여 많은 成果를 얻었다. 場所는 여름은 愛知縣 小牧市 野国字 神尾線 18號鐵塔에서 그리고 겨울은 前年度와 같은 장소에서 실시하였다.

이 期間동안에 試圖한 實驗은 地上의 wire보빙에의 誘雷實驗과 地上 10m의 높이에 나일론줄로 달아둔 wire보빙과 그 밑에 세워둔 높이 2.7m의 마네킹의 頭部사이의 長間隙 氣中放電을 일으켰다.

여름實驗에서는 3번의 正常的인 로케트발사가 되었으나 誘雷에는 모두 失敗하였다. 그러나 겨울의 實驗에서는 다음과 같은 많은 成果를 거두었다.

- (1) 針端 corona 電流에 의한 襲雷警報裝置가 良好하게 동작하였다.
- (2) 誘雷確率은 80%이상에 달하였고 최대 16kA에 미치는 강한 放電이 유도되었다.
- (3) 매초 1000매의 高速度 camera에 의하여 前驅放電을 포함한 雷放電의 全過程을 상세히 記錄할 수 있었다.
- (4) 雷擊點 근방의 大地의 步幅電壓, 配電線에 유도되는 誘導電壓등을 記錄하였다.
- (5) 誘雷에 의한 長間隙放電이 成功하여 人身에의 金屬片의 誘雷效果를 檢證하였다.

그러면 이러한 結果를 얻는데 동원된 誘雷技術의 내용과 放電觀測方法 등을 차례로 검토해 본다.

**2.1 로케트 發射裝置**

로케트는 불란서에서 사용되고 있는 우박피해防止用 小形로케트를 사용하였다. 로케트의 構造는 그림 1에서 보여준 바와 같다. 紙筒製의 推進모터속의 黑色火藥에 電氣點火를 하면 轉연기를 뿜으며 평균 30kg의 推進力으로上昇한다. 1.4초후에 推進藥이 다 타고 최고

190m/sec의 速度에 달한다. 그 후부터는 慣性으로上昇한다.

그 후에는 延時藥이 계속 연소하여 點火 4.5초 후에는 高度 약 500m에서 彈頭에 點火되어 400g의 폭약이 폭발하여 로케트의 아크릴製胴體와 기타물체가 細片이 되어 飛散하게 된다. 따라서 地上에서 낙하물에 의한 위험은 없으며 폭발음도 발사시의 폭음경도와 같다. 延時藥을 조정하면 로케트는 최고 2000m까지上昇할 수 있다.

로케트를 點火하는데는 4.5V의 電池를 이용하는데, 이것의 리더線이 발사대로부터 制御室까지 길게 배선하는 것은 落雷時의 電流에 의한 感電의 위험과 다른 로케트를 誤點火시킬 우려가 있다. 이 때문에 긴 끈을 당겨서 스위치를 높이는 방법을 써서 좋은 결과를 얻었다.

發射裝置는 鐵制 angle을 組立하여 四角形으로 배치하여 中央을 활주시키는 方式을 사용하였다. 로케트가

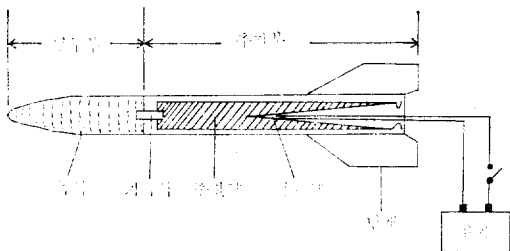


그림 1. 로케트의 構造

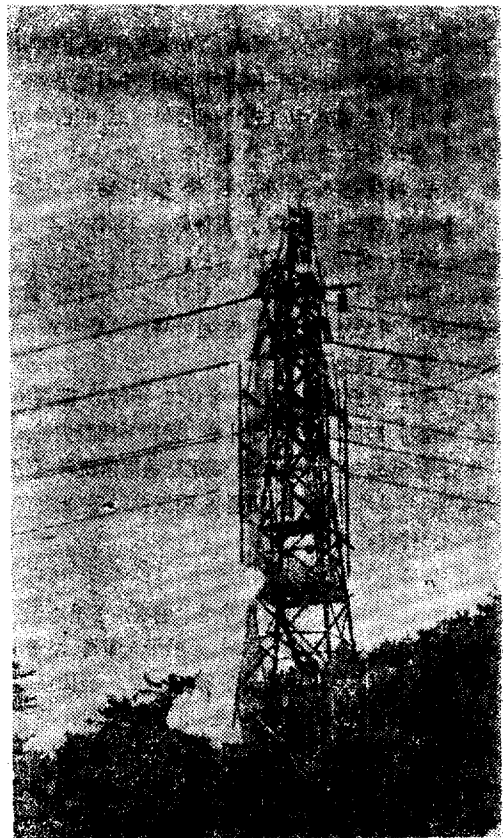


그림 2. 鐵塔으로부터 로케트를 발사하는 순간

발사체를 이탈하였을 때는 20m/s이상의 속도에 달하여 尾翼으로 安定化하여 거의 수직으로 上昇한다.

철사는 0.2mmφ의 피아노선을 보빙에 감아두고 地上에 두어, 그 一端을 충격흡수용 고무줄을 통하여 로케트의 尾翼에 붙여, 로케트의 上昇에 따라서 보빙에서 풀려나가도록 한다. 打上시에 철사가 몇번이나 切斷이 일어났는데 이것은 비틀림(꼬임)이나 조그만한 不注할가 원인이 된다.

철사는 그것에 흐르는 放電電流에 의하여 타버린다. 直流 1A에 타서 끊어진다. 10A에서는 30ms, 100A로서는 1ms 이내의 폭발적으로 증발한다. 실제로는 雷의 主放電電流가 흐르기 전에 수10A의 前驅電流가 수 10ms사이의 흐르므로 이때 철사는 증발하고 이 金屬蒸氣 plasma 속을 主放電電流가 地上으로 직접 흘러가게 된다.

1978年度 여름의 實驗에서는 運轉中止 중의 中部電力, 神屋線 77kV送電線의 第18號鐵塔에 發射臺를 붙여서 사용하였다. 그림 2는 鐵塔으로부터 로케트를 발사하는 순간의 寫眞이다.

1978年度 겨울의 實驗은 1977年度 겨울의 實驗과 같이 地上에서 angle을 組立하여 發射塔으로 사용하고 70m 떨어진 制御室에서 조작하였다.

### 2.2 發射時刻의 決定法

로케트의 발사시각은 發雷, 襲雷의 檢知에 의한 警報裝置 등에 의하여 결정한다. 發電의 예보에는 radar 觀測이 대단히 도움이 된다. 이 radar는 beam sweep 型으로써 雷雲의 위치와 高度를 항상 알려준다.

雷放電에 따른 空雷 noise를 검출하는 flash counter 방식의 發雷警報裝置는 특히 여름雷에 대하여 有効하지만 雷雲의 위치나 進行狀況은 알 수 없다. 그러므로 로케트의 발사시간을 결정하는 데는 地上電界의 強度測定이 가장 有効하다.

## 3. 雷放電觀測法

### 3.1 雷電流測定

(a) 光電變換, 光fiber에 의한 測定

雷放電電流에 의한 接地電壓의 上昇 및 接續線에의 雷電流의 誘導障害를 피하기 위하여 雷電流의 一部를 發光diode의 빛으로 變換하여, 絶緣性이 높은 光fiber 로써 觀測室에 유입하여 다시 光電管으로써 電流로 變換하여 oscilloscope로 測定하는 方法이다.

(b) 磁鋼片에 의한 測定

長間隙放電時 달아놓은 gondola의 棒電極 및 地上의 接地接續導體 각각의 中心으로부터 5 또는 10cm 떨어진 곳에 磁鋼片을 棒에 직각으로 두어 이것의 殘留磁

化로부터 電流의 peak值를 결정한다.

(c) 電流의 增加率에 의한 測定

雷電流가 흐르는 導體의 주위에 발생하는 磁界와 鎖交하는 loop coil에 발생하는 電壓peak值에 의하여, 半導體 diode를 破壞시킨다. loop의 相互 inductance를 단계적으로 變化시킨 것으로 並列로 두어서 diode의 파괴상황을 보고 coil에 발생 電壓 즉 電流 I의 증가율 dI/dt를 추정할 수 있다.

(d) 前驅電流記錄 tape recorder

불란서의 實驗<sup>1)</sup>에 의하면 로케트에 의한 철사의 上昇에 따라 수10A의 前驅電流가 수10ms동안 흐르므로 이것을 記錄하기 위하여 tape recorder를 사용하였다.

長間隙放電에서 上部電極에 0.02Ω의 抵抗線을 삽입하여, 이 兩端의 電壓降에 의하여 5kHz의 發振 signal의 振幅을 변조하여 이것을 tape에 記錄한다. 主放電時에는 0.02Ω의 抵抗線은 용단되고 gap는 arc로 短絡된다.

### 3.2 鐵塔, 送電線 및 配電線에의 誘導雷 surge의 測定

鐵塔에 誘雷하였을 때 鐵塔의 電位上昇을 寫眞 film의 Lichtenberg Figure에 의하여 測定한다. 誘雷實驗場에 300m의 模擬配線을 두줄 깔고 誘雷時에 유도에 의하여 발생하는 surge電壓의 波形 및 波高值를 측정한다. 配電線은 한끝을 surge impedance로 接地하여 整合을 시키고, 다른 끝의 電壓을 抵抗分壓하여 光電變換器와 光fiber를 통하여 oscilloscope로써 觀測하였다.

### 3.3 步幅電壓의 測定

誘雷時의 電流에 의하여 接地導體주위의 大地의 電位上昇 즉 步幅雷壓을 Lichtenberg에 의하여 測定한다. 그리고 적당한 간격에 埋設한 接地棒사이의 電壓을 記錄한다.

### 3.4 Camera 撮影

Camera는 다음과 같은 各種特殊 camera를 사용하면 된다.

(a) 高速度camera(매초 1000~3000매, 16mm film)

(b) 시네 camera(매초 48 또는 64매, 16mm film)

(c) still camera(monochro, colour, UV, 35mm film)

(d) motor driven streak camera(매초 200mm, 35mm film)

(e) motor driven frame camera(매초 1매, 35mm film)

誘雷點에 가까운 곳과 수km 떨어진 두 곳에서 放電全景을 각각 촬영할 수 있도록 배치한다. 로케트 발사시

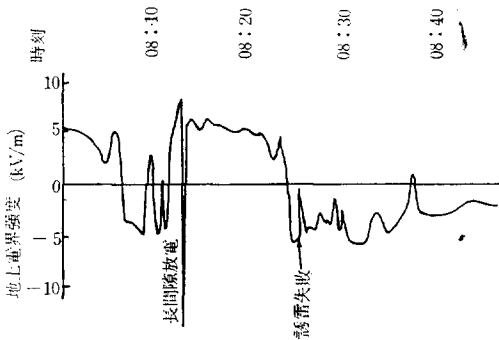


그림 3. 誘雷時的 地上電界強度

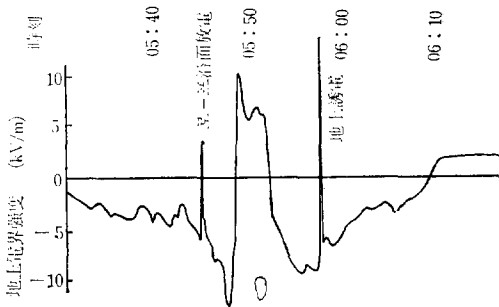


그림 4. 誘雷時的 地上電界強度

이는 無線電話로 觀測點과 연락을 취한다.

### 4. 觀測結果와 檢討

#### 4.1 地上電界와 corona電流

Corona開始電界는 약 2kV/m로서 그 이상의 電界에서 電流는 급증하여 10 $\mu$ A에 달할 경우도 있다. 時間의 따라서 같은 電界에 대하여 電流值가 변화하므로 바람 등의 氣象條件에 따라 corona電流에 영향을 미치고 있는 것 같다. 針端材料를 Pt나 Ni으로 바꾸어도 電流에는 변화가 없다.

#### 4.2 誘雷時的 電界

誘雷時的 電界變化的 대표적인 예는 그림 3과 그림 4에서 보여준 바와 같다. 그림 3은 長間隙放電이 성공하였고 電流의 peak值는 15kA로 0.3초동안 持續電流가 흘렀을 경우의 電界變化이다. (-)의 雷雲이 통과하여 (+)8kV/m이상으로 上昇하였을 때 誘雷하여 (-)로 크게 反轉하였다. 電界는 30초후에 약 5kV/m로 회복하였다. 그러므로 放電에 의하여 대부분의 電荷가 雷雲에서 消失되었음을 알 수 있다. 그후에는 誘雷를 失敗한 경우의 電界變化를 나타내고 있

다. -5kV/m일 때 로케트를 발사하였으나 電界는 0부근까지 일시적으로 감소하였다가 곧 회복한다. 철사에 의한 電界차폐효과가 나타난 것으로 본다.

그림 4는 rope의 沿面放電과 0.5kA이하의 地上誘雷放電의 電界變化를 나타낸다. rope 沿面放電은 철사가 녹을 정도의 電流가 흐르지 않았으나 철사와 雷雲간의 靜電誘導電壓에 의하여 30m 정도의 rope의 沿面放電이 발생한 것으로 본다.

(-)로부터 (+)로 反轉한 후에 회복한다. 그후 地上誘雷의 경우는 電界는 역시 (-)로부터 (+)로 크게 反轉한 후 원래보다 조금 낮은 값으로 되돌아간다.

#### 4.3 雷電流記錄

10m長間隙放電의 大地側電極의 接地點의 電流를 光電變換system을 통하여 oscilloscope로써 측정 한 것은 그림 5와 같다.

CRO의 sweep trigger가 나빠서 (a)와 같이 電壓軸의 偏向단이 사진에 기록되었는데 그 크기로 부터 電流는 약 9kA로 추정된다. (a)에서 잘 보면 7.9kV와 5.8kA에서 밝은 輝點이 나타나 있는데 이것은 多重雷放電의 波高值가 아니면 持續性的 電流波高值가 여기에 있다고 推定할 수 있다. 후술하는 高速度寫眞과 비교하면 이것은 2번의 多重放電이 있었다고 볼 수 있다. 高速度寫眞으로 持續時間도 推定되므로 이들 放電電流의 波形은 (b)와 같이 된다.

#### 4.4 電流增加率記錄

1978년도 겨울의 실험에서 나타난 바로는 雷電流의 peak值가 5kA일때 電流增加率은 1.7~3.3kA/ $\mu$ s이므로 波頭長은 약 2~3 $\mu$ s가 되고 peak值가 16kA의 경우에 增加率은 1.7kA/ $\mu$ s로써 波頭長은 약 9 $\mu$ s가 되어 어느것이든 妥當한 값이 된다.

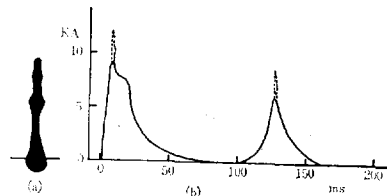


그림 5. 雷電流 oscillograph

#### 4.5 配電線誘導雷 surge 記錄

光電變換system의 oscillograph와 線路의 Lichtenberg Figure에 의하여 측정 한 配電線의 誘導雷 surge의 測定결과를 보면 surge電壓은 최대 13.5kV에 도달하는데 雷電流의 크기와 增加率등과의 관계를 검토해야 한다. Surge電壓의 極性은 雷放電의 極性と 반대로 되어 있고 放電에 의한 靜電界變化가 surge電壓發生의 원인으로 볼 수 있다.

4.6 落雷點의 步幅電壓記錄

落雷點의 接地棒과 25cm 떨어진 接地棒사이의 電位차는 약 3kV가 기록되었으나 이 값은 電流值의 大小에 무관한 것같이 보인다. 落雷點의 接地抵抗은 1.7Ω이므로 大地의 導電率은  $7\Omega \cdot m$ 가 된다.

4.7 各種 camera에 의한 觀測

① Still 寫眞

그림 6은 誘雷點으로부터 2km 떨어진 곳에서 still camera로 開放攝影한 것이다. 地上 300m까지 올라간 철사가 폭발적으로 熔斷되어 그 끝에서 雷雲을 향하여 2條의 放電路가 꼬불꼬불하게 뻗어나 있다.



그림 6. 誘雷放電의 still 寫眞

② 高速度 camera에 의한 前驅放電路

그림 7은 그림 6의 still寫眞의 경우를 高速度 camera로 촬영한 결과이다. 철사가 主放電電流에 의하여 폭발적으로 燃소하기 전에 철사의 先端으로부터 step狀의 前驅放電(leader)이 進展하여 이것이 分枝하여 伸長하다가 약 5ms에서는 最大로 발전한다. 그 후부터는 더 이상 伸長은 하지 않으나 熔解되면서 放電한다. 철사는 直流 1A에서 溶斷되고 10A에서는 30ms, 100A에서는 0.5ms 이내에 폭발적으로 燃소한다.

한편 이 高速度寫眞으로서 leader의 進行速度를 測

定할 수 있는데 대개  $10^4 \sim 10^5 m/s$  정도이다.

雷放電路가 發光한 후 輝度가 살아진 후에도 철사가 증발한 arc放電路는 수 ms~수백 ms까지 殘光이 계속되어 導電性的 plasma柱가 維持되고 있다고 생각된다. 多重放電의 경우는 철사증발부분의 끝에서 電雲을 향하여 별도의 放電路가 伸長된다.

③ 마네킹에의 雷擊實驗

地上 10m에 달아둔 棒電極과 地上에 세운 2개의 마네킹人形에 雷擊實驗을 행한 결과 머리핀을 찌는 마네킹쪽에 落雷가 일어났고 衝擊에 의하여 그 마네킹이 破壞되어 다리만 남았음을 알았다. 머리핀을 찌지 않은 쪽은 전혀 放電한 흔적이 없다. 그리하여 金屬片에 의한 誘雷作用을 확인한 셈이 된다. 이러한 實驗은 더 많이 하여 誘雷確率을 밝힐 필요가 있다. 또한 上部의 棒電極의 끝부분과 마네킹의 발끝의 接地電極의 끝은 arc의 출발점이므로 대단히 격렬하게 熔損이 일어났으나 頭部의 머리핀은 전혀 흔적이 없으며 머리핀에서 頭部表面을 따라서 沿面放電을 일으킨 흔적이 나 있다.

5. 雷害防止의 研究方向

最近의 研究結果로서 알 수 있는 바와 같이 로케트에 의한 誘雷技術은 어느程度 開發되어, 이것을 利用한 雷放電의 制御實驗도 가능하게 되어 雷放電機構의 解明에 큰 進歩를 가져왔다. 앞으로의 계속 연구 課題는 로케트誘雷를 이용한 雷害防止技術의 確立이다. 이를 위한 몇가지 研究方向을 들여보면 다음과 같다.

(1) 實驗地를 標高 500~1000m의 高地를 택하고 로케트도 1000m까지 높여서 雷雲高度가 높은 여름雷에 대하여 誘雷技術을 開發하여야 한다. 觀測法은 放電電流의 光電變換 system과 磁鋼片에 의한 측정과 高速度 camera, 立體 still camera에 의한 촬영 등을 중심으로 放電機構를 解明하여 여름雷와 겨울雷의 相異點을 밝힌다.

(2) 送電線鐵塔에의 誘雷에 의한 flashover 實驗을

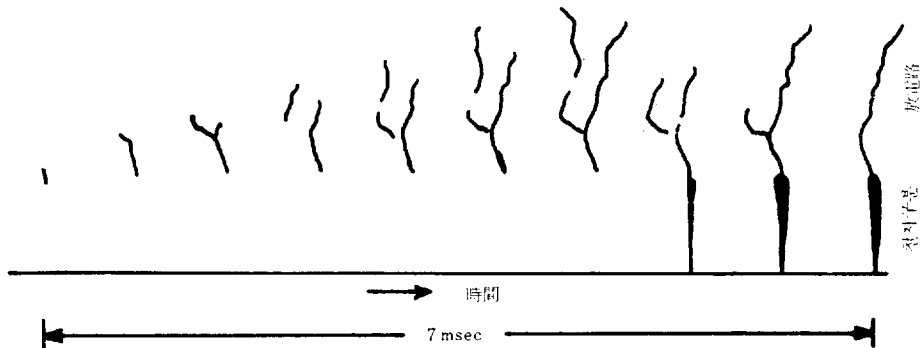


그림 7. 誘雷放電時의 高速度 camera寫眞

행하여 誘雷時의 鐵塔電位上昇, 送電線의 雷surge 電壓 등을 측정하여, 落雷에 의한 碍子連의 flashover 機構를 해명한다.

(3) 이들과 병행하여 針端 corona 電流計를 이용하는 無線警報system의 開發과 實用化를 시도한다.

(4) 50m의 長間塔을 目標로 實驗을 행하여 마비킹의 더리킨效果 및 避雷針의 차폐效果를 檢證한다.

(5) 配電線에 落雷時의 絶緣電線의 斷線實驗을 행한다.

(6) 近接配電線에의 誘導surge電壓을 측정하여 이것의 理論的인 計算法을 확립한다. 그리고 架空地線 및 避雷器의 surge 電壓低減效果를 檢證한다.

(7) 雷擊點의 電位上昇 및 雷擊點 주위의 地上步幅 電壓을 측정하여, 이것의 理論的인 計算法을 확립한다. 그리고 接地抵抗의 低減, 埋設地線의 效果 등의 效果를 檢證한다.

### 6. 結 言

이상의 研究課題 이외에도 誘雷放電後의 雷雲내의 電荷分布, 誘雷에 의한 그 이외의 地點에의 落雷防止

效果, 로케트의 連續發射에 의한 效果, 雷雲내의 放電 實驗, 地上에의 落雷防止效果 등을 검토할 필요가 있다.

日本에서는 76~78년도 實驗에 이어서 79~80년도 實驗을 政府支援下에 대대적인 규모로 進行하고 있다.

우리로 이 分野에 관심을 높여서 基礎過程研究라도 始作할 必要가 있지 않을가 생각하는 바이다.

### 參 考 文 獻

1. 放電研究; 日本放電研究Group, No.75, A1~27 (1979).
2. M.M. Newman, et al; J.Geophysical Research, Vol.72, No.18, p.4791(1967).
3. C-Gary, etal, Rev. Gen. Elect., Vol.84, No.1, p.44(1975).
4. R.P. Fieux, et al; IEEE Trans. Power Apparatus Syst. Vol. PAS-97, No.3, p.725(1978).
5. 宮地, 堀井; 日本電氣學會誌, 미니解説, Vol.97, No.4, p.274(1977).

전기자재, 기계부품, 중장비부품, 붓싱, 비철금속 주물일체

燐青銅·青銅·黃銅洋銀·鉛青銅·高力黃銅·AL青銅

## 新 昌 金 屬

공 장 : 서울특별시 영등포구 당산동 3가 555

전화 (63) 8153

사무실 : 서울특별시 중구 을지로 3가 334-3

삼진빌딩 301호

전화 (267) 8317