

雨中 Corona에 의한 電線의 振動

논문
21~4~3

The Vibration of Power Lines due to Corona in the Rainy Environments

김 준 현*
(Joon Hyun Kim)

Abstract

The vibration of power lines in the rainy environments was researched using the concentric cylindrical gap to which D.C. voltage was applied.

Consequently, it has been solidly conformed that the vibration of power lines begins at threshold voltage of corona, and that the amplitude of the vibration increases as the numbers of falling water drop per unit time increase. The vibration phenomena take place in straight line, elliptic or circular motion as voltage is applied. The numbers of vibration nearby accord with the elastic vibration theory.

1. 序 論

電力需用의 증가와 系統의 확대에 따라 直流 및 交流 超高壓送電線의 건설이 활발해지고 있는데, 이에 수반하여 Corona에 기인하는 電線의 振動이 문제시 되고 있다.

電線에 물방울이 부착했을 경우에는 Corona 발생이 용이하며^{1),2)}, Corona가 심하게 되면 電線이 振動하게 된다^{3),4),5)}. Corona 振動實測 및 實驗室內에 있어서의 연구보고가 있으나 電線의 振幅, 雨量, 運動狀態 張力 등의 相關關係에 대한 연구보고는 아직 없다.

필자는 放射狀 不均一 強電界가 발생시키는 Corona가 水滴속에서 電線을 진동시키는 모양을 水滴量과 관련지어 조사하여 보았다. 이 論文은 여기에 대한 보고이다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

(1) 實驗裝置

電極은 그림 1과 같이 同心圓筒型이다. 圓筒의 中心軸과 일치하게 하여 양끝을 고정시킨 電線은 지름 0.3 [cm], 길이 400 [cm]인 銅線이다. 圓筒은 지름 50 [cm] 길이 350 [cm]인 3 [mesh] 철재망이며 接地시켰다.

* 정회원 : 한양대학교 공과대학 전기공학과 교수

電線의 振動은 그림 1과 같이, 中心電線의 길이 방향으로 3개소에 CdS 光導電性 Cell을 설치하여 검출하였다. 한 곳에서의 Cell의 배치는 그림 2와 같다.

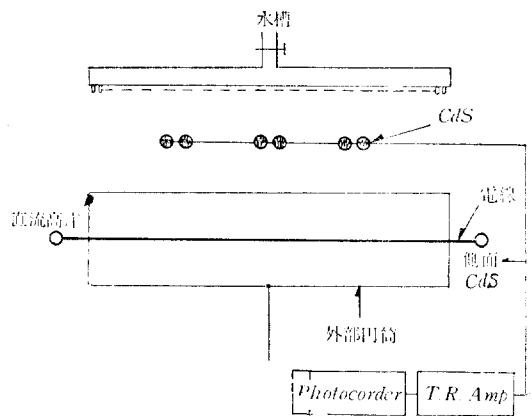


그림 1. 실험장치

Fig. 1. The experimental apparatus.

水滴은 圓筒위에 있는 PVC 파이프에 뚫린 작은 구멍을 통하여 떨어지게 하였다. PVC 파이프는 水槽에 연결되어 있으며, 또 10 [cm] 간격으로 35개소에 뚫린 구멍에는 주사침을 꽂아서 水滴量을 조절하게 하였다.

直流高壓裝置는 交流電壓 100 [kV] 試驗用變壓器와 整流管 (KR~150)을 사용하여 조립했다. 高壓에서 유 기되는 noise를 제거하기 위해서 測定裝置의 connec-

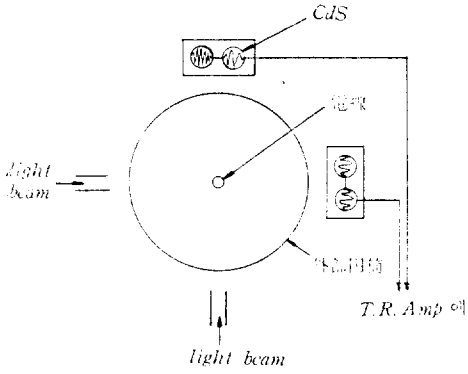


그림 2. 振動檢出用裝置
Fig. 2. The apparatus with detecting the vibration.

tor wire는 shield 선을 사용하였다.

(2) 實驗方法

Light beam 과 電線은 한 직선상에 있게하고, CdS cell은 이 직선을 대칭선으로 하여 양쪽에 각각 하나씩 있게 한다(그림 2 참조). 電線이 振動하면 振動 상태에 따라 檢出器에 흐르는 光電流는 변하게 되므로, 이것을 電氣的으로 기록하였다. 記錄計는 Type 2901 No. 8F 11 photocorder를 사용하였다. Corona의 pulse는 同筒과 大地 사이에 1.5[kΩ]의 抵抗을 삽입하여, 이 抵抗의 양단간의 電壓을 측정하여 알아 내었다. 물방울은 주사침 1개마다 1분간에 평균 60 또는 180개가 떨어지게 하였다.

張力은 10[kg] 또는 20[kg]로 하고 dip는 아주 작기 때문에 무시하였다. 그리고 中心電線의 電源쪽의 고정점에서 100[cm], 120[cm], 150[cm], 200[cm], 250[cm], 280[cm], 300[cm] 및 350[cm] 떨어진 점을 각각 A, B, C, D, E, F, G 및 H라 하고 檢出用 CdS를 필요에 따라서 이들 점에 설치한다.

3. 實驗結果 및 考察

(1) 主滴의 변화상태와 Corona 開始電壓

無電壓 상태에서 水滴을 낙하시키면 水滴이 電線에 충돌할 때 극히 적은 일부는 비산하고 나머지는 電線表面을 따라서 電線下面에 모이게 된다. 앞으로는 주사침에서 떨어지는 물방울을 水滴, 電線下面에 부착되는 물방울을 主滴이라고 구별하기로 한다.

主滴은 大氣壓, 主滴의 內壓, 表面張力, 重力 등의 사이에 力學的 평형이 유지되고 있을 때에는 타원형을 형성하게 되는데, 水滴이 계속 떨어지면 主滴이 커져서 重力이 크게 작용하므로, 主滴의 先端에서 물방울이 떨어지고 主滴은 다시 타원형으로 된다. 水滴이 제

속 떨어지면 이 과정이 반복된다. 단위 시간당 水滴의 수가 증가하면 이 과정의 반복 수도는 빨라진다.

張力 10[kg]이고 水滴 60[d/m](drops/minute), 또는 180[d/m]인 경우 主滴은 印加電壓이 낮을 때에는 無電壓 상태의 경우와 같은 현상으로 된다. 그러나 印加電壓이 높아지면 그 先端은 뾰족해지고 逆圓錐形으로 된다. 印加電壓을 높이면 水滴 60[d/m]일 때 16.5 [kV], 180[d/m]일 때 16[kV]에서 몇 군데의 主滴의 先端에서 작은 물방울이 똑똑 떨어졌다 멈췄다 한다. 水滴 60[d/m]일 때 17[kV], 180[d/m]일 때 16.5[kV]에서는 水滴落下 때마다 主滴 先端에서 분사현상이 나타나고, 17.4[kV] 및 17[kV]에서는 분사현상이 심해져서 主滴의 길이가 짧아지며 先端은 더 뾰족해진다. 따라서 主滴 先端의 電界強度는 더 커진다.

張力 20[kg]인 경우, 水滴 60[d/m]일 때 16.6[kV], 180[d/m]일 때 16[kV]에서 몇 군데의 主滴 先端에서 물방울이 떨어지고, 17[kV] 및 16.5[kV]에서 水滴落下 때마다 全滴 先端에서 분사하고 電壓을 더 높이면 계속 분사한다.

Oscilloscope에 나타나는 Corona Pulse는 張力 10[kg] 水滴 60[d/m]일 때 8.5[kV], 180[d/m]일 때 8[kV], 張力 20[kg] 水滴 60[d/m]일 때 10.8[kV], 180[d/m]일 때 10[kV]에서 나타나기 시작한다. 張力

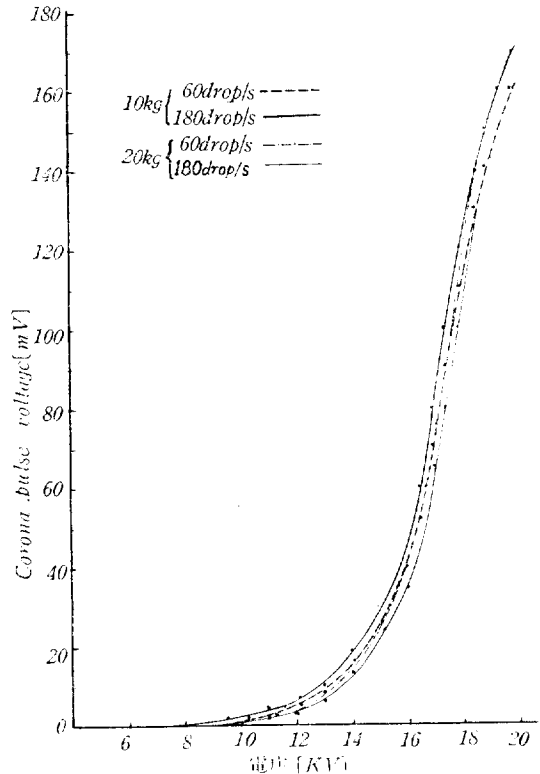


그림 3. Corona pulse의 파고치
Fig. 3. The corona pulse voltage.

20[kg]일 때 Corona Pulse의 파고치가 좀 높은 것은 dip의 영향이라고 생각된다. Corona Pulse의 파고치는 主滴의 선단에서 분사가 시작되는 電壓 16[kV]~17[kV]에서 급격히 증가하기 시작한다(그림 3 참조).

주위를 어둡게 하여 발생하는 Corona를 관찰하여 보면, 張力 10[kg], 水滴 60[d/m]일 때 약 16.5[kV], 180[d/m]일 때 약 16[kV], 張力 20[kg], 水滴 60[d/m]일 때 약 17[kV], 180[d/m]일 때 약 16.5[kV]에서 主滴이 분사하는 곳에서 Corona가 발생하고, Corona Pulse의 파고치가 급증하기 시작하므로(그림 3 참조), 이때의 電壓이 Corona 開始電壓이라고 볼 수 있다. 電壓이 더 높아지면 主滴 선단에서 분사가 생기는 모든 곳에서 Corona가 발생하고, 電壓이 더 높아지면 Corona가 아주 심하게 된다.

(2) 振動開始電壓

張力 10[kg]인 경우는 水滴 60[d/m]일 때 15~16.5[kV], 180[d/m]일 때 15~16[kV], 張力 20[kg]인 경우는 水滴 60[d/m]일 때 15~17[kV], 180[d/m]일 때 15~16.5[kV] 사이에 있어서는 아주 미소한 振動이 간헐적으로 생기고, 위 電壓의 한계를 넘으면 振動이 계속된다. 따라서 각 경우의 振動開始電壓은 대체로 張力 10[kg]인 경우는 水滴 60[d/m]일 때 16.5[kV], 180[d/m]일 때 16[kV], 張力 20[kg]인 경우는 水滴 60[d/m]일 때 17[kV], 180[d/m]일 때 16.5[kV]라고 볼 수 있다.

張力 10[kg]인 경우의 振動開始電壓은 Corona 開始電壓과 같게 된다. 따라서 Corona가 발생하면 振動이 생기게 된다고 볼 수 있다. 그런데 張力 20[kg]인 경

우는 振動開始電壓은 Corona 開始電壓과 다르게 된다. 이것은 張力에 기인한다고 볼 수 있다. 電線의 振動原因은 물방울의 부착과 그 선단에서의 분사 즉 Corona의 발생에 기인한다고 볼 수 있다.

(3) 振動現象

張力 10[kg]인 경우: 振動開始電壓 16.5[kV]인 경우 水滴 60[d/m]일 때 電線의 중심점 D점의 垂直成分波의 振幅은 上下로 각각 0.5[mm]이고, 水平成分波의 振幅은 거의 나타나지 않는다. A 및 G점의 각成分波는 D점에 대해서 대칭이 된다. 실제로 電線의 中心點의 振動은 上下直線形이 되는데, 이것은 위에서 다룬 垂直 및 水平成分波를 합성하여 얻어지는 Lissajous 도형이다.

電壓을 더 높이면 윗쪽 振幅보다 아래쪽 振幅이 더 크게 되는데, 이것은 重力의 영향이 나타난 것으로 생각된다. 16.5~18[kV] 사이의 振動의 주기는 0.18[s]이다.

印加電壓이 18~19[kV]보다 높게 되면 D점의 각成分波의 振幅은 감소되고 반대로 A 및 G점의 각成分波의 振幅은 증가하되 서로 반대로 된다. 20[kV]인 경우 A점의 垂直成分波의 振幅은 윗쪽으로 5.3[mm] 아래쪽으로 5.4[mm], 水平成分波의 振幅은 上下로 각각 0.5[mm]이고, 位相은 垂直成分波보다 水平成分波가 100° 앞이게 되며, 주기는 0.09[s]로 된다(그림 4 참조). 약 32[kV]까지는 20[kV]인 경우와 거의 같은 꼴로 된다.

32~41[kV] 사이에 있어서는 CaS의 위치를 각각 C, E, H 점에 설치했다. 印加電壓 35[kV]인 경우 C점

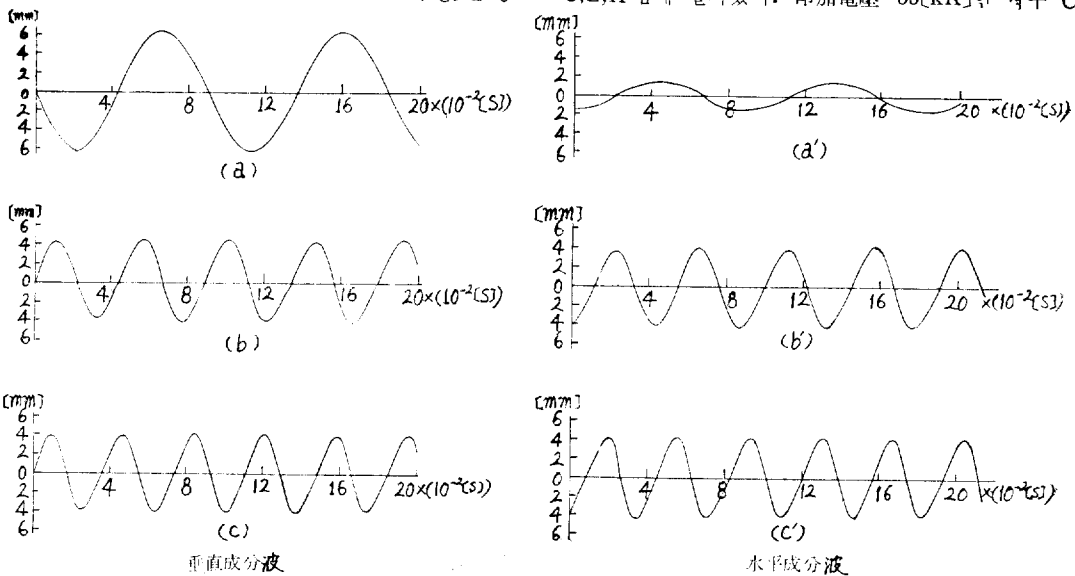


그림 4. 垂直 및 水平成分波(10[kg] 60[d/m]) (a, a'는 25[kV], b, b'는 35[kV], c, c'는 45[kV])
 Fig. 4. The vertical and horizontal component wave.

의 垂直 및 水平成分波의 振幅은 上下로 각각 4.4[mm] 이고, 位相은 垂直成分波에 대해서 水平成分波가 90° 뒤떨어지고, 주기는 0.045[s]로 된다.

41~45[kV] 사이에서는 CdS의 위치를 B,D,F 점에 설치했다. 45[kV]인 경우의 各成分波의 振幅은 35[kV]인 경우와 같고, 位相은 水平成分이 80° 뒤떨어지고, 주기는 0.036[s]로 된다.

水滴 180[d/m]인 경우는 各成分波의 振幅의 크기만 다르고 그밖의 현상은 60[d/m]인 경우와 거의 같게 된다.

張力 20[kg]인 경우: 水滴 60[d/m]인 경우 振動開始 電壓인 17[kV]일 때 D점의 垂直成分波의 振幅은 上下로 각각 0.5[mm]이고 水平成分波의 振幅은 거의 나타나지 않는다.

印加電壓이 19~19.5[kV] 보다 높게 되면 D점의 各成分波의 振幅은 작아지고 A 및 G점의 各成分波의 振幅은 커지게 된다. 약 20~32[kV] 사이에서는 各成分波의 振幅만 다르게 되고, 位相은 水平成分波가 84° 앞서게 되고, 주기는 0.15[s]로 된다. 32~41[kV] 및 41~45[kV] 사이에서는 CdS의 위치를 전자의 경우는 C,E,H 점에 후자의 경우는 B,D,F 점에 설치했다. 各成分波의 振幅만 다르게 되고, 位相은 水平成分波가 전자는 60°, 후자는 56° 뒤떨어지고, 주기는 전자가 0.037[s], 후자가 0.029[s]로 된다. 水滴 180[d/m]인 경우는 各成分波의 振幅의 크기만 다르게 되고 그밖의 현상은 60[d/m]인 경우와 거의 같게 된다.

振動 모양: 電線의 振動 모양은 弦運動과 高周波振動을 하게 된다(그림 5 참조). 振動開始電壓에서 약 19[kV] 사이에서는 그림 5의 (a), 약 19~32[kV] 사이에서는 (b), 약 32~41[kV] 사이에서는 (c), 41~45[kV] 사이에서는 (d)와 같은 振動을 하게 된다. 단위시간당 水滴數와 張力이 같은 경우 電壓이 높아짐에 따라서 모

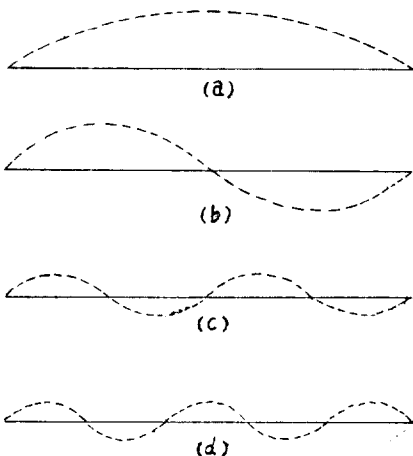


그림 5. 振動 모양
Fig. 5. The figure of vibration.

양이 다르게 됨을 알 수 있다.

異常振動: 振動의 변화되는 過渡期에 있어서는 복잡한 현상이 나타나게 된다. 振動 모양은 그림 5와 같으나 어떤 때에는 그림의 (b)에서 (c)로 변화될 때 절이 2개, (c)에서 (d)로 변화될 때 절이 6개로 되는 경우가 있다.

振動의 회전방향은 電源 쪽에서 보았을 때 振動開始 電壓에서 32[kV] 사이에서는 시계방향, 32~45[kV] 사이에서는 반시계방향으로 되는데 어떤 때에는 이와 반대로 되는 경우가 있다. 이와 같이 절 및 방향 등의 異常狀態가 나타나는 것은 조파진동이 변화되는 過渡期에 있어서 그때의 조건과 상태에 따라서 나타나는 현상이라고 볼 수 있다.

(4) 平均振幅

各 경우의 垂直成分波의 上下振幅의 平均값을 취하여 그림으로 표시하면 그림 6과 같이 된다. 張力이 같은 경우 단위시간당 水滴數가 많을 때 振幅이 크게 되

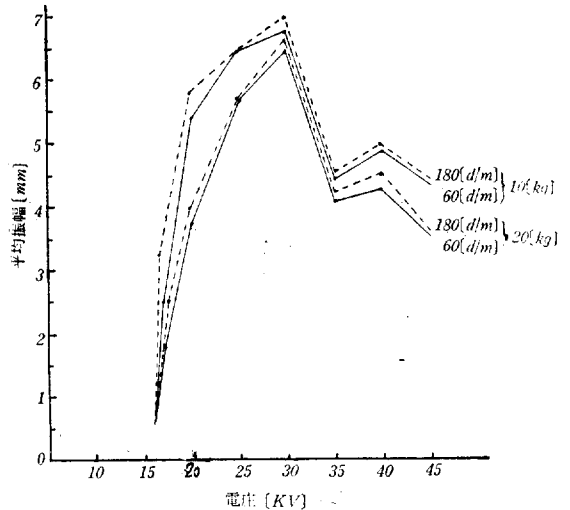


그림 6. 平均振幅
Fig. 6. The average amplitude of vertical component wave.

지만 그 차이는 작고, 電壓에 따라서 거의 일정한 차를 유지하면서 변화한다. 張力이 큰 경우가 작은 경우보다 振幅이 작게 된다. 振幅의 大小가 교대로 나타나며 電壓이 試驗電壓보다 더 높게 되면 振幅이 작아져서 어떤 극한값에 가까워진다고 생각된다. 마치 電氣回路에 있어서의 감쇄진동의 형태가 된다고 볼 수 있다.

(5) 垂直振幅과 水平振幅과의 비

各 경우의 垂直 및 水平成分波의 振幅의 上下平均値의 비를 취하여 그림으로 표시하면 그림 7과 같이 된다. 張力이 다르더라도 단위시간당의 水滴數가 많을 때의 비가 크게 되는데, 이것은 水滴數가 많을 수록 水平方向 보다 垂直方向의 振幅이 크게 된다고 볼 수 있

다. 張力이 같은 경우 단위시간당 水滴數에 따라서 비는 대차가 없고, 電壓이 높아짐에 따라서 같은 비율로 감소하여 1에 가까워진다. 이것은 電線이 振動할 때 타원의 장축과 단축의 차가 작아지는 것을 의미한다.

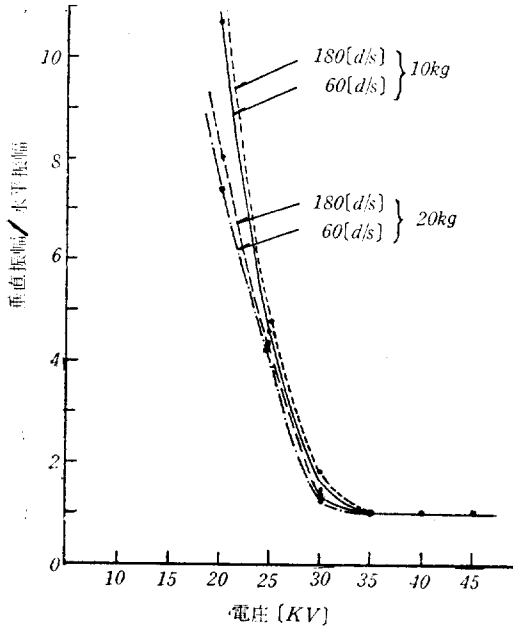


그림 7. 垂直振幅과 水平振幅과의 비
Fig. 7. The ratio of vertical and horizontal amplitude.

따라서 電線은 直線 쪽으로 타원 완만한 타원 나중에는 圓振動으로 된다고 볼 수 있다. 張力이 크고 단위시간당 水滴數가 많고 또한 電壓이 높을 수록 이 과정이 빨라진다고 볼 수 있다.

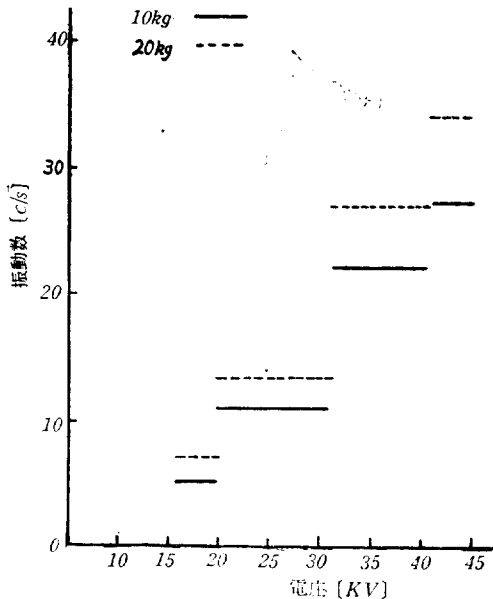


그림 8. 振動數
Fig. 8. The numbers of vibration.

(6) 振動數

電線의 振動數는 張力 10[kg]인 경우 Corona 開始電壓 즉 振動開始電壓에서 19[kV] 사이에서는 電線의 固有振動數와 거의 같은 5.5[c/s]이고 19~32[kV] 사이에서는 11[c/s], 32~41[kV] 사이에서는 22[c/s], 41~45[kV] 사이에서는 27.5[c/s]로 된다(그림 8 참조).

張力 20[kg]인 경우는 振動開始電壓에서 19[kV] 사이에서는 6.75[c/s], 19~32[kV] 사이에서는 13.5[c/s], 32~41[kV] 사이에서는 27[c/s], 41~45[kV] 사이에서는 34[c/s]로 된다.

어느 경우나 단위시간당의 水滴數에는 영향이 거의 없고 張力의 영향이 크게 된다. 振動數는 兩端固定의 彈性體의 振動 관계가 대체로 만족된다고 볼 수 있다.

4. 結 論

불 實驗에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Corona 開始電壓은 張力이 같은 경우 단위시간당 水滴數가 많을수록 낮게 된다.

(2) Corona 開始電壓에서 電線의 振動이 시작되는데 張力이 영향을 미치게 된다.

(3) 電線의 振動은 電線에 부착된 물방울에 기인한다.

(4) 張力이 같은 경우 단위시간당 水滴數가 많을수록 振幅이 크게 된다.

(5) Corona 開始電壓에서의 電線의 振動數는 電線의 固有振動數와 거의 같다.

(6) 電線의 振動數에 미치는 영향은 단위시간당 水滴數 보다 張力의 영향이 더 크게 된다.

(7) 電線의 振動 방향은 대체로 32[kV]까지는 시계 방향, 그 이상의 電壓에서는 반시계 방향으로 된다. 조파진동의 변화되는 과도기의 조건과 상태에 따라서 다르게 되는 경우도 있다.

(8) 電線의 振動現象은 電壓이 높아짐에 따라서 上下直線, 타원, 원운동의 과정을 밟게 된다.

(9) 張力이 클수록 振幅은 감소하고 振動數는 증가하는 것은 彈性振動論과 부합된다.

본 研究는 漢陽大學校 産業科學研究所 1970年度 前期 研究費에 의한 것임.

參 考 文 獻

- (1) 赤崎正則, 林 石象, 固軸圓筒의 中心導體에 落下(した)水滴からの Corona 放電, J.I.E.E.J, Vol. 88-5, No. 956, p.908, 1968)
- (2) 佐藤, 角田, 荒井, 電線表面上의 水滴からの Corona 放電, J.I.E.E.J. Vol. 88, No. 877, p.1606, 1961
- (3) 金俊鉉, 送電線의 雨中 Corona 現象에 관한 實驗的 研究, 漢陽大學校 論文集 第5輯 p.417, 1971.7
- (4) 七里, 松林, 村野 村上, Corona 放電による 電線의 異常振動, J. I. E. E. J. Vol. 77 No. 820. p.18 1957.1
- (5) 七里義雄, 松林義數 Corona による 架空送電線의 振動, 日本電氣三學會支部 連合 大會 No. 394, 1954