

Corona Pulse 檢出에 依한 電力機器絕緣診斷에 對한 一考察

A study on the insulation detection for electrical machines by corona pulse technique

成 英 權* · 丁 性 桂** · 金 旺 坤***

(Yung Kwon Sung, Sung Kae Chung, Wang Kwun Kim)

[Abstract]

This paper shows the analysis for mechanisms of corona pulse caused by dielectric breakdown, and for the results of observed values on an actual machines with the this corona pulse technique.

Although the above results are not directly related with the generation, numbers or wave of the corona pulse, it may possibly be chanced a judgement of dielectric breakdown and one of better synthetic judgement methods for actual electrical machines.

1. 緒 論

電力機器의 絕緣劣化判定法으로 오늘날에 있어서는 非破壞試驗法의 確立이 要請되어 $\tan\delta$ 法, 直流分法, 交流試驗等이 提唱되어 왔다. 그러나 一般적으로 電力機器의 絕緣劣化의 促進의인 役割을 지니는 電氣的主因은 高壓에 依해 생기는 corona 라고 볼수가 있다. 假令 發電機에 對해서 생각해 본다면 $\tan\delta$ 는 corona가 發生하지 않는 경우와 發生하기 始作한 以後의 경우와의 大部分으로 나누어지며 前者는 $\tan\delta$ 가 使用絕緣材料 및 製造技術에 依하나 最近에 나온 Coil에서는 5~8%로 시 試驗電壓에 對해서 一定하다. 간혹 被濕되어 있으면 水分子의 雙極子의 영향때문에 比較的 크지되어, 10% 以上으로 되고 電壓과 더불어 徐徐 增加한다.

後者に 있어서는 絕緣物에 걸리는 電位傾도가 높아지고 絕緣物內부에 corona가 發生하면 $\tan\delta$ 가 增加하며 따라서 Coil의 $\tan\delta$ 를 測定할적에는 Coil表面부터 發生하는 corona等을 包含해서 $\tan\delta$ 의 增加開始電壓이 定格電壓의 $1/\sqrt{3}$ 以上으로 되도록 하는것이 使用狀態에 있어서 corona에 依한 Coil의 損傷을 預하는 意味에서 希望되고 있다.

한편 接地電流의 波形的 變化와 接地電流의 急增等에 依해 大電力機器 即 發電機, 變壓器, Bushing, 碼子 및 絕緣油等의 絕緣性狀 및 絕緣劣化檢出에 使用되는 交番電流試驗法도 亦是 corona가 主役이 되고있다.

이와같은 corona가 絕緣物에서 發生한다는 것은 絕緣物에 異常電壓이 걸리고 있다는 것을 나타낸 것이며

또 一般적으로 絕緣破壞를 일으킬때 corona의 發生을 同伴하기 때문에 電力機器의 corona에는 매우 神經을 쓰게되는 것이다. 따라서 이러한 corona는 絕緣物에 어느程度의 corona가 어느程度 有富한가를 判가를 지어야 할것이다.

筆者들은 앞서 絕緣破壞機構^{①②③}를 物性論의으로 明白히 함과 同時에 絕緣物의 void corona의 檢出方式을 考案해서 void放電에 依한 絕緣劣化豫知法^④을 어느 程度 講究해 왔으나 本報에서는 實用電力機器 絕緣診斷에 있어서 機器絕緣物內에 發生하는 corona放電을 檢出해서 絕緣劣化狀態를 判定하는 若干의 追加實驗結果를 報告한다. 特히 pulse를 計數하는 方法으로 corona放電을 檢出한 것으로서 本質의인 絕緣破壞와의 關鍵에 있어서 그 將來性이 看取될 것이라고 본다.

2. 實驗方法

corona의 測定回路는 <그림-1>과 같으며 그 裝置로서 爲先 corona放電에 依한 絕緣物의 劣化狀態를 알기 爲해 模型實驗을 한다음 實用機器에 對해서 corona Pulse 檢出에 依한 絕緣診斷實驗을 했다.

따라서 模型實驗에 使用한 供試物로서는 두께 0.1~0.3mm 程度의 Polyethylene, Teflon, Polyester, Mica等의 tape를 使用하여 <그림-2>처럼 半徑·2mm의 bar狀電極을 供試物을 사이에두고 對極시켜서 corona放電實驗을 했다. 또 實用機器의 供試物로서는 發電機線輪(規格等은 表-1 參照)를 使用하여 그 發電機의 勵磁를 加減함으로써 圧力電壓을 變化시켜서 測定했다.

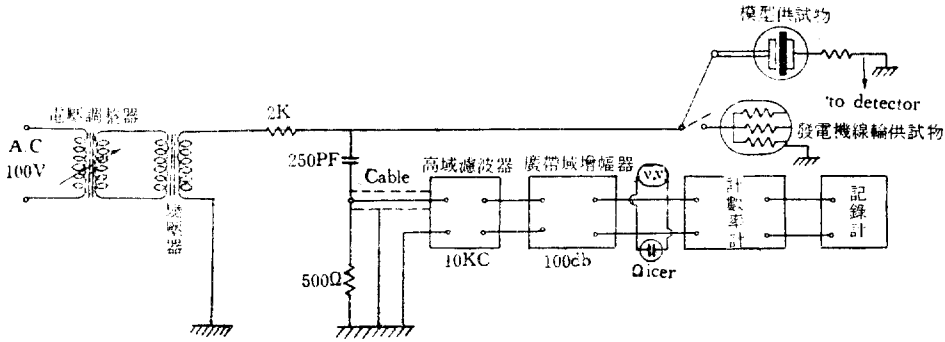
3. 實驗結果 및 考察

模型實驗에 있어서는 各供試物에 따라 連續의으로 5

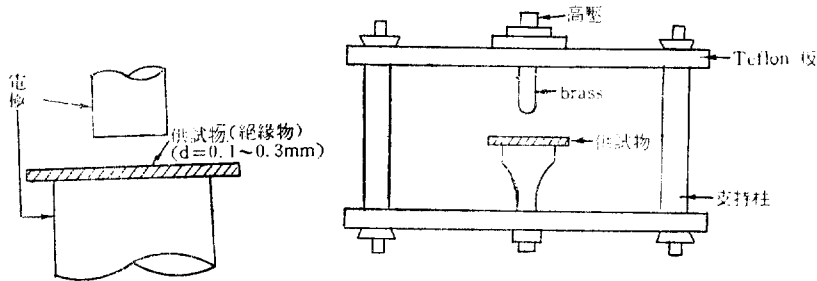
* 正會員 高大理工大 電氣工學科 教授

** 正會員 서울工大 電氣工學科 教授

*** 正會員 忠州工專 電氣工學科 教授



〈그림-1〉 A. C. Corona 測定裝置



〈그림-2〉 Corona 發生模型電極 및 電極構造

〈丑-1〉 供試發電機

供試發電機(三相)
電壓 240/480 (V)
電流 450/225 (A)
187 KVA 150 KW
力率 0.8 A
U.S Catertillar
(1957年製)

어 이것을 光電子 增幅管으로서 觀測하면 사진(a)(b)처럼 光 Pulse 도 亦是 두 가지 경우가 있으나 段을 가지지 않고 連續的으로 減少하는 波尾의 경우에는 光 Pulse 에는 波尾는 좀처럼 觀測되지 안했다. 이러한 現象은 確實한 mechanism 은 알 수 없으나 波尾部分에서 나타나는 段附近에서는 電離가 平行해서 생기는 可能性이 있고 連續的으로 減少하는 波尾部分은 生成 이온의 移動에 基因하는 것이라고 생각된다. 한편 波尾에 段을

分~3時間 corona 를 發生 시킬때 Pinhole 狀의 損傷이 생기며 이때의 corona pulse 의 크기는 大體로 $1 \times 10^{-9} \sim 5 \times 10^{-9}$ coulomb 였다. 그 corona pulse 電流 波形은 波尾에 段을 가지는 것과 全然 段을 가지지 않는 경우와 두가지가 있

가지는 領域에서의 波形的 傾間은 M.R. Amin⁹이 調査한 Trichel pulse 에 對한 研究結果와 비슷한 것으로 보아 電極先端에서의 曲率半徑 r_1 作用에 因한 것이라고 생각되나 現段階로서는 무어라고 確言할 수 없다.

以上은 大氣壓中에서 印可電壓 및 插入試料가 一定한 경우이지만 여러가지 試料에 對해서 實驗한 結果 試料의 可塑劑를 바꿔서 그 體積抵抗率 ρ 를 바꾼 경우는 各試料 即 誘電體板上的 空間電荷分布가 變化한다. 이때 ρ 가 적으면 積을수록 Pulse 幅은 길고 또 印加電壓이 上昇함에 따라 길어진다. 이러한 corona pulse 가 ① 導體와 絕緣物과의 接觸상태 不良으로 因한 것인지 ② 導體의 絕端에서 생긴 沿面 corona 에 因한 것인지 또는 ③ 絕緣物內에 있는 void 放電에 因한 것이 어느 形의 corona 放電의 主役인지 알 수 없다. 萬一에 ①의 경우가 主役 이라면 corona 開始電壓을 V_c 라고 할 때

$$V_c \approx \frac{d}{\epsilon_i} \frac{V_s}{g} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 d 는 試料두께
 ϵ_i 는 試料誘電率
 g 는 導體와 試料와 空隙거리

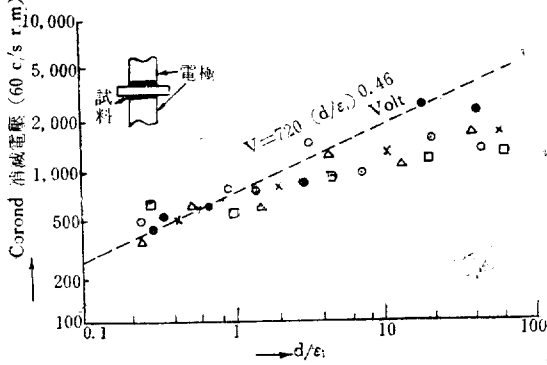
에 따를 것이나 實驗結果는 이에 따르지 않는다. ②의 경우라면 Dakin 氏 等⁶에 依해 導出된 實驗式 即 絕端 直角의 圓柱를 使用한 경우에 나타나는 corona 消滅電壓 V_{cq} 와 d, ϵ_i 사이의 關係式



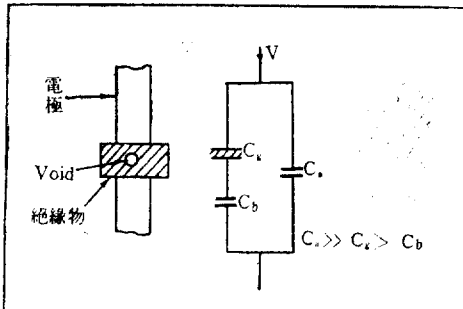
사진 (a) 光 Pulse(波尾有) 사진 (b) 光 Pulse(波尾無)

$$V_{c2} = 720 \left(\frac{d}{\epsilon_i} \right)^{0.46} \text{ Volt} \dots \dots \dots (2)$$

에 따를 것이나 <그림-3>에서 보는바와 같이 이에도 따르지 않는다. 또 ③의 경우라면 絶緣物內에 있는 Void와



<그림-3> d/εi-corona 消滅電壓特性



<그림-4>

電極과의 사이에는 既報한바와 같이 ④電氣的인 等價回路는 <그림-4>처럼 나타낼 수 있으며 따라서 印加電壓 V에 依한 void 放電電壓을 V_g 라고 하면

$$V_g \approx \frac{C_b}{C_g} V \dots \dots \dots (3)$$

(여기서 Void를 靜電容量 C_g 인 Condenser로 보고 void와 電極사이의 絶緣部分을 C_b 그 以外の 絶緣部分을 C_a 로 본다.)에 따를 것이나 이것 亦是 該當치 않는다. 따라서 模型實驗에서 觀測된 것은 上述한 세가지 種類의 corona가 重疊되어서 나타난것 같다. 다만 이때까지의 實驗結果에 依하면 沿面 corona와 Void corona와의 Pulse 觀測에 있어서 定性的인 相異點으로서 다음 事項을 들 수가 있다. 即 ① 絶端沿面 corona가 主役이라고 생각되는 경우에는 어떤 電壓에 Pulse가 開始되어도 그 電壓을 그대로 一定하게 두면 時間의 經過와 더불어 消失되어 버린다.

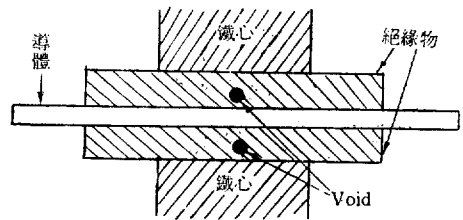
主役이 void pulse라고 생각되는 경우에는 그와 反對로 一旦 開始되면 그 電壓을 一定하게 두고 時間을 經過시켜도 消失되지 않는다. ② Pulse 波形에 對해서는 沿面 corona인 경우에는 普通의 針端 Pulse 放電에서 나타나는 波形과 비슷하나 void Pulse에서는 그 波形의 rise time이 沿面 corona 波形에 比해서 鈍하고 波尾部

는 比較的 빨리 감쇠한다.

其他 試料 以外の 高壓母線系 등에서 생기는 corona pulse는 그 位相에 있어서 試料部分에서 생기는 corona pulse와는 極性이 逆이기 때문에 容易하게 區別은 할 수가 있었다.

現在 模型實驗에 있어서 溫度 濕度 등의 영향 및 corona pulse 放電과 絶緣破壞機構와의 關係를 特히 沿面 Corona 放電과 關聯시켜서 實驗檢討에 있어 머지않아 沿面 corona와 여러가지 絶緣材料의 誘電特性과의 關係가 明確하게 할 수 있을 것이다.

다음에 實用電力機器에 對해서 corona pulse法에 依한 絶緣診斷을 施行하여 보았다. 實用電力機器로서 供試한 發電機의 線輪에 對해서 corona 測定을 살펴보면 그 corona 自體에 對해서 Slot discharge와 void discharge와를 區別하는 것은 大端히 어려워 亦是 여러가지 種類의 corona가 overlap되어 나타난것 같다. 即 發電機의 一部를 模型化하면 <그림-5>처럼 나타낼 수 있으며 따라서 供試發電機에서 나타나는 corona는 鐵心端部나 鐵心內部에서 空隙이 있을때 그 部分에서 corona가 發生 하거나 絶緣物內部 Void에서 나타나는 corona 등이 Overlap되어 나타나는 것 같다.



<그림-5> 發電機의 一部模型化

<표-2>은 發電機의 勵磁를 加減해서 出力電壓을 變化시켜서 corona pulse를 測定한 結果이다. 發電機停止 中보담 運轉中이 될때 많은 Corona pulse를 볼수 있다.

<표-2>

發電機電壓(A.C V)	Pulse 個數/秒
停止 中	500
運轉 中 3,000 V	1,800

또 發電機에 中性點 부터 直流電壓을 印加한 경우의 corona pulse의 測定結果는 <표-3>와 같으며 劣化된 Coil을 測定時 바꾸어서 Coil에 錫箔을 감은뒤 直流를 印加해서 corona pulse를 測定한 結果는 <표-4>와 같다.

以上과 같이 發電機에 對해서 그 試驗電壓과 發電機에서 생기는 corona pulse 個數와의 關係를 詳細하게 調査해 보면 <그림-6>처럼 나타나며 예상대로 Coid을 새

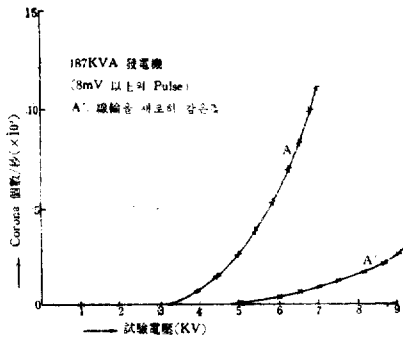
로히 바뀌어감은것 이發生하는 corona pulse 個數가 훨씬 적어진다.

<표-3>

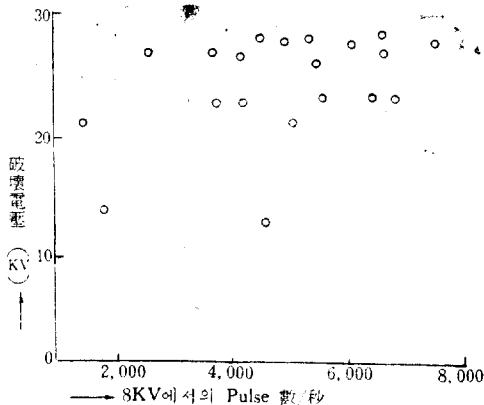
印 加 電 壓 (V)	Pulse(個數/秒)
6,350	500
7,200	1,000

<표-4>

印 加 電 壓 (V)	Pulse(個數/秒)
6,500	1~2
7,000	1~5
7,500	10~12
8,000	100 以上



<그림-6> 發電機의 Corona pulse 個數



<그림-7> Corona 發生個數의 破壞電壓

<그림-7>은 corona pulse 의 測定에 依해 發電機絶緣의 破壞電壓을 推定하려고 corona pulse 發生個數와 破壞電壓과의 關係를 나타낸 것으로 <그림-7>에서 보는 바와 같이 測定時의 erratic로 因해서 인지 모르나 定性的인 傾向조차 잡지 못하고 現段階의 實驗에서는 corona

pulse 의 測定에 依해 破壞電壓을 推定하는 것은 大端히 困難하다. 單只 發電機의 絶緣이 破壞할때 아직 定量的인 傾向은 아니나 定性的인 傾向으로 波高値가 大端히 크고 時定數도 큰 前驅 Pulse 가 發生하여 完全破壞에 이르기까지 數個내지 10數個의 前驅 Pulse 가 나타나는 경우와 한번 前驅 Pulse 가 發生한뒤 一旦 休止하여 再次 前驅 Pulse 가 發生하여 完全破壞에 이르는것과의 두 경우가 있다. 또 發電機에 交流電壓을 中性點에서 印加하던 A.C 2,000V 의 경우 1 cycle 中에 3~4 個所의 감쇠 振動이 또 A.C 3,000V 의 경우 1 cycle 中에 4~6 個所의 감쇠振動이 나타나 이로서 corona pulse 의 發生하는 場所는 <표-2>에서 본바와 같이 運轉中에 別로 發生하지 않지 때문에 中性點 가까히에 Void 또는 Slot discharge 를 일으키는 部分이 있다는 것이 推定된다. 따라서 以上으로서 現實階段에서는 비록 corona 의 發生個數와 破壞電壓과의 相關성은 희박해서 破壞電壓을 推定하지 못하나 corona 의 發生個數와 劣化度에는 密接하게 關聯성이 있어서 앞으로 corona 의 發生個數와 tanδ, 電流波形, 直流分 等과의 關係를 絶緣破壞機構와 關聯해서 研究하면 무슨 成果가 期待될 것이다.

4. 結 論

模型實驗에서 檢討한 바와같이 corona pulse 에 依한 絶緣診斷에 있어서 coron 의 種類를 爲先識別하것금 蓄電電荷의 分布狀態와 아울러 定量的인 指針을 내세울 基礎研究가 要望되고 그 다음에 各各의 本質인 機構를 밝혀야 할 것 같다.

또 實用電力機器에서는 그 構成이 大體로 發電機의 線輪처럼 複雜한 複合絶絶物로 되어 있어 이들의 絶緣診斷이나 絶緣破壞機構를 생각할 경우에는 本質的인 劣化原因이나 破壞以外로 2次的인 原因을 主로 考慮할 必要가 있다. 따라서 材質의 不均一性도 考慮하여 그 劣化度나 破壞值等의 電氣의 特性을 論할적에는 統計的인 配慮가 必要하다.

參 考 文 獻

- ① 成大石; 日本電氣學會誌 82, 1900(昭和 37)
- ② Sung & Inushi; International Conference Crystal Lattice Defects (1962)
- ③ Sung; Thesis of Ph.D(Osaka Univ. 1965)
- ④ 成; 大韓電學誌 16, No 3 (1967)
- ⑤ Aminin; J. Appl Phys. 25, 627 (1954)
- ⑥ Dakin etal; AIEE, Tech. Paper 54-70