

短絡電流에 對한 耐張母線의 反應

羅大烈/電力試驗部

[概要]

本稿는 美國의 Ontario電力系統에서 短絡 狀態下에서의 耐張母線의 導體張力 및 變位를 計算하는 方法을 실제의 實驗結果와 比較 計算한바, 實驗과 理論이 일치하였으며, 따라서 新設되는 100kA級 變電所의 設計 및 기존 變電所를 40kA에서 70kA까지 增強하는데 이 方法이 사용될수 있다.

I. 序 論

美國의 Ontario水力發電 系統에서 故障 電流의 크기는 發電 및 送電容量이 확장됨에 따라 增加하고 있다. 1990年代에는 短絡電流가 80 kA를 초과할 것으로 豫상된다. 이러한 大電流는 構造物에 加혹한 機械的 負擔을 주게 되며, 導體의 큰 變位를 일으킨다. 그래서 經濟性이 있고 확실하게 기존 變電所를 增強하고 또한 新設 變電所를 設計하기 위해서는 이러한 影響을 충분히 이해하고, 그것을 計算할 수 있는 能力이 필요하게 된다.

많은 사람들이 실제 實驗을 하여 設計方法을 提示한 結果 중요한 情報을 얻게 되었으나, 보다 더 改善된 計算方法이 必要하다고 생각되어 왔다. 이러한 理由로서 本稿에서는 실제의 全

電流 實驗을 통하여 改善된 보편적이고도 精確한 計算方法을 提示하고자 하는 것이다.

II. 故障時 母線의 反應

大電流 故障時 발생하는 導體의 張力 增加에 따라 構造物에는 큰 機械的 힘이 가해지게 된다. 導體가 通電體사이 에 作用하는 電磁力의 影響下에 놓이게 될 때 導體의 張力은 변화하게 된다.

1. 振動張力

相間에 작용하는 電磁力의 影響 때문에 導體는 서로 멀어지려고 振動한다. 이때 발생하는 張力과 變位는 母線의 排列 및 短絡電流의 크기와 時間에 좌우된다. 振動時의 張力變化는 複導體의 破損에 의해 張力이 增加하는 것보다 훨씬 느린 比率로 일어난다. 이때의 振動週期는 0.5Hz 정도이다.

2. 破損張力

回線의 한 相이 둘 이상의 複導體로써 構成될 때는 張力이 故障發生 直後에 매우 급속하게 증

가한다. 큰 故障電流에 대해서 最大張力에 이르는 時間은 50ms미만이다. 이것은 同相의 導體사이에서 작용하는 吸引力때문에 複導體가 破損되어 발생한다. 이러한 張力增加는 단시간내에 발생하며, 그 크기와 기간은 주로 母線排列 및 電流크기에 좌우된다. 이것은 매우 적은 電流를 제외하고는 故障電流가 흐르는 시간에는 관계되지 않는다. 왜냐하면 破損이 매우 빨리 발생하여 遮斷器가 동작하기 전에 最大張力에 이르기 때문이다.

3. 構造物의 反應

複導體가 破損될 때와 振動될 때의 張力變化 사이에는 시간적인 차이가 있음을 아는 것이 構造物 反應을 檢討하는데 중요하다. 破損張力이 瞬時荷重이 되어 構造物에 나타나는 반면에, 振動張力은 거의 靜態荷重으로 나타난다. 이것은, 破損張力이 構造物의 固有 振動週期에 비하여 매우 짧은 시간동안 持續되는 반면에, 導體 振動週期는 보통 構造物의 固有 振動週期보다 더 길기 때문이다. 이러한 時間的인 차이 때문에 이 두 張力의 增加는 累積되지 않고 별개로 생각할 수 있다.

만약 故障이 양쪽 徑間에서 발생하고 양쪽 徑間이 同一하다면, 懸垂 構造物의 徑間 兩端을 支持하는 構造物은 平衡된 水平力을 받게 될 것이다. 그래서 鐵塔은 影響을 받지않으나, 懸垂 構造物은 対応力에 의하여 서로 떨어지려할 것이다. 鐵塔과 懸垂 構造物은 垂直 成分의 張力에 견딜 수 있도록 設計되어야 한다.

4. 相線의 變位

相線의 變位는 導體間의 離隔 距離를 감소시킨다. 그래서 加壓된 導體가 너무 가까와 지면 閃絡의 原因이 된다.

5. 再閉路의 失敗

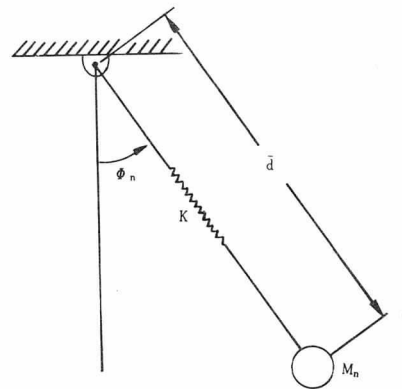
最初의 故障으로 導體가 아직 움직이고 있을 때, 故障狀態에서 再閉路를 하면 導體의 變位 및 振動張力에 매우 큰 影響을 미칠 수 있다. 最惡의 경우에는 變位와 振動張力이 상당히 增加하여 振動角이 2 배로 될 수도 있다. 再閉路

는 複導體의 破損으로 발생하는 張力의 增加에 거의 影響을 미치지 않는다. 왜냐하면 이런 張力의 增加는 매우 빨리 발생하고, 持續時間이 짧으며, 대체로 再閉路하기 전에 減衰하기 때문이다.

III. 理 論

振動張力과 變位를 計算하기 위하여, <그림 1>과 같이 非線型 스프링으로 振子의 軸에 연결되어 電磁力으로 움직이는 振子로써 導體를 模型化하여, 張力과 振動角을 數式化하기 위하여 非線型運動 微分方程式을 도입하였다.

故障時 導體의 破損張力은 에너지 법칙으로 계산된다. 導體는 동일 平面에 놓여 있다고 假定한다. 複導體가 破損되는 最大値의 순간에 支持構造物의 運動 및 位置 에너지와 導體의 引張 에너지의 합은 電磁力에 의하여 破損되는 동안에 한 일과 같다. 이러한 관계를 Newton의 法則에 의하여 스페이스(Spacer)에서 導體의 接觸點까지의 거리에 대하여 非線型 方程式으로 해석하였다. 이런 상세한 계산 방법의 數式은 參考文獻^[1]에 收錄되어 있으며, 이 計算方法을 이용한 컴퓨터 프로그램이 設計에 利用되고, 있다.

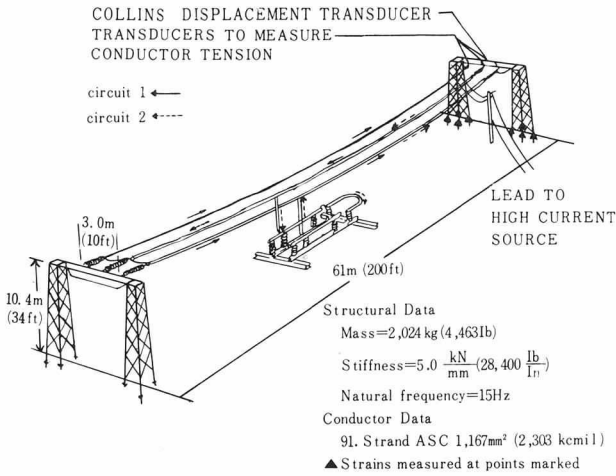


<그림 1> 相線導體를 模擬한 振子

IV. 實際의 實驗

<그림 2>는 導體의 張力과 相線의 變位에 관한 實證的 資料를 얻기 위하여 이용된 實系統의 230kV 耐張母線 系統을 설명한 것이다. 電力

供給은 100MVA 까지로 限定시키고, 相間에 작용하는 힘을 增加시키기 위하여 相間 距離를 1.5m 로 축소시켰다.



〈그림 2〉 耐張母線 實驗設備

導體의 張力, 懸垂構造物의 중심의 變位, 鐵塔脚의 張力 및 試驗電流를 동시에 기록하였으며 鐵構造物의 適當한 場所에 힘으로 곧바로 變換되는 張力 게이지를 부착해서 張力을 測定하였다. 導體의 變位는 影像面에 눈금이 새겨진 基準線이 있는 비데오 테이프로 記錄하였고, 分

岐線에 대한 試驗으로서 開閉器의 支持 碍子에 미치는 힘도 測定하였다.

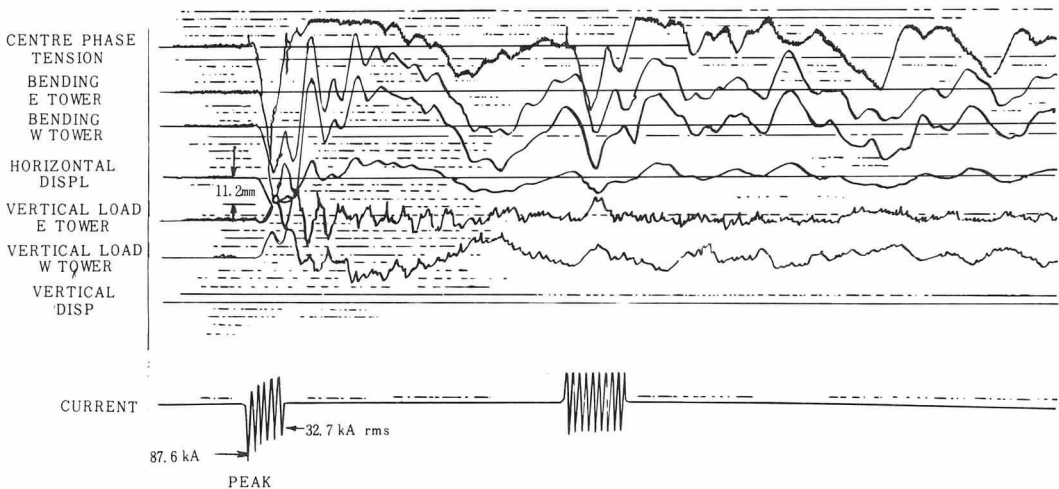
試驗時의 電氣的인 變數는 電流의 크기와 그 持續時間이다. 약 35kA 까지의 3 개 電流值와 3 개 持續時間 (5, 10 및 15 cycle) 으로 試驗을 하였다. 電流의 初期 位相角을 制御할 수 있었으나, 대부분의 試驗은 全電流를 오프셋(offset) 시킴으로써 수행되었다. 또한 再閉路時間도 變化시켰으며, 徑間의 길이, 최초의 靜態張力 및 分岐線의 길이 등이 試驗時의 기타 變數가 되었다.

V. 實驗結果의 檢討

〈그림 3〉은 試驗時에 作成된 대표적인 오실로 그램 중의 하나이다. 오실로그램에서 破損張力 및 振動張力 사이의 時間과 이들 張力에 對한 支持構造物의 反應特性을 알 수 있다. 이 試驗에서 再閉路失敗의 영향도 模擬하였다.

構造物은 최초로 첫번째 波形에서 破損 張力이 나타난다. 첫번째 파형의 振動은 格子 構造物內의 큰 내부 振動抑制力에 의하여 곧 없어지지만, 構造物은 導體 振動에 의하여 일어난 週期로서 振動을 계속한다. 이러한 振動은 몇분 동안이나 계속된다.

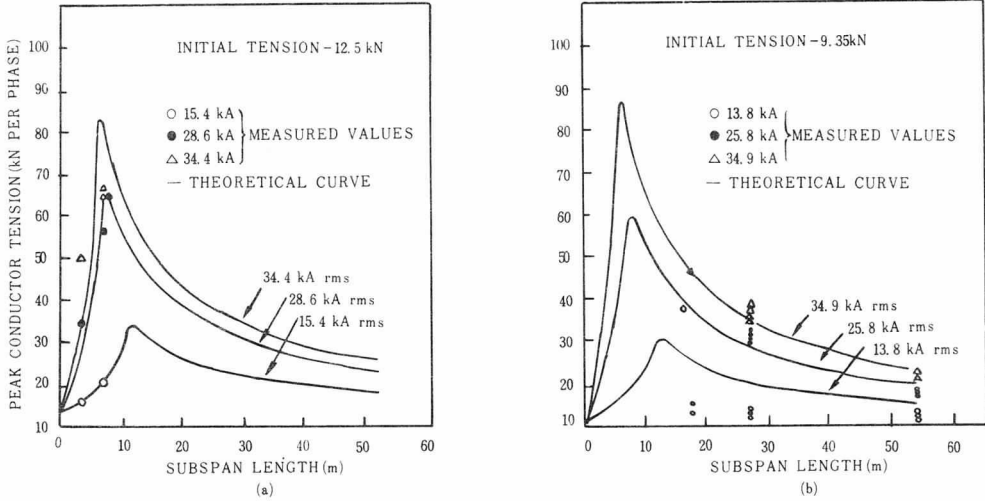
33cm BUNDLE SPACING	PEAK CURRENT	87.6kA	PEAK TENSION CENTER PHASE	67.6 kN
7 SUBSPANS	INITIAL rms CURRENT	34.9kA	HORIZONTAL DISPLACEMENT OF GIRDER	11.2mm
INITIAL TENSION - 12.5kN	FINAL rms CURRENT	32.7kA	BENDING STRAIN IN TOWER LEGS	
NO SPRINGS	NUMBER OF CYCLES	5.7	- EAST	148 MICROSTRAIN
			- WEST	136 MICROSTRAIN



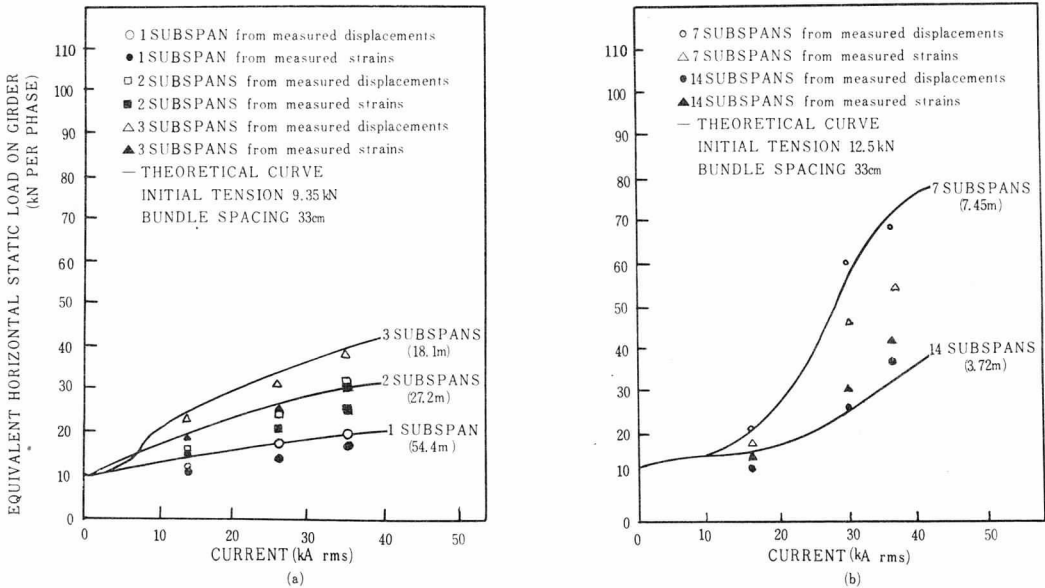
〈그림 3〉 代表的인 試驗 오실로그램

〈그림 4〉는 複導體 破損에 의한 導體의 最大張力에 대한 결과를 小徑間 길이의 函數로써 나타낸 것이다. 여기에서 보는 바와 같이 理論과 實驗이 상당히 一致하고 있으며, 특히 실제의 관심이 되고 있는 小徑間의 거리가 긴 경우에 그러하다. 小徑間 距離를 10m 정도로 잘못 選定하게 되면 매우 큰 過渡 導體張力을 초래할 수 있음을 理論上으로 豫測할 수 있다. (實驗的資

料로써 立證됨). 導體와 一直線上에 있는 碍子 및 金具類는 導體의 最大 過渡張力에 견디도록 設計되어야 한다. 그러나 앞에서 言及했듯이, 이 張力의 순간적 特性때문에 構造物의 設計에 있어서 力学을 고려할 必要가 있다. 等価水平靜態荷重의 概念을 이용하면 〈그림 5〉에서 알 수 있듯이 懸垂構造物에 가해지는 荷重은 理論과 實驗이 상당히 一致한다.



〈그림 4〉 測定値와 計算値를 比較한 複導體 破損에 의한 導體張力의 最大値 (複導體 間隔 33cm)

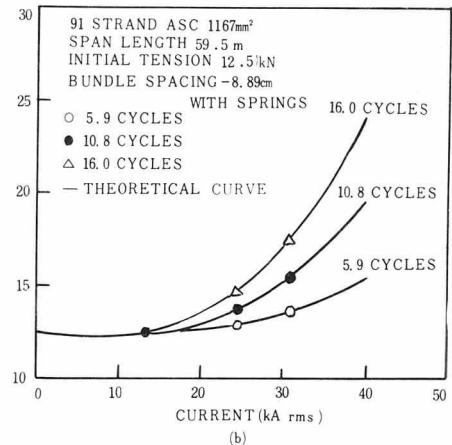
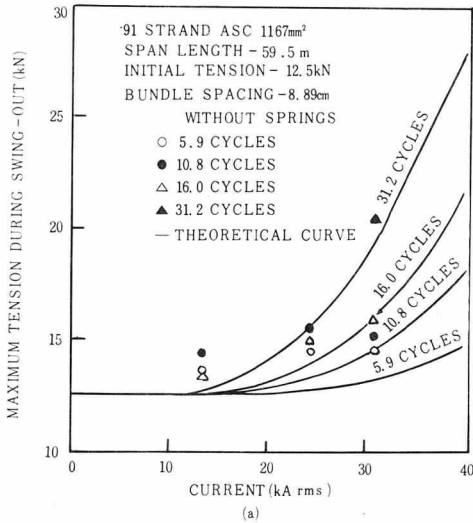


〈그림 5〉 複導體破損에 의한 懸垂構造物에 加해지는 等價水平靜態荷重 (複導體 間隔 33cm)

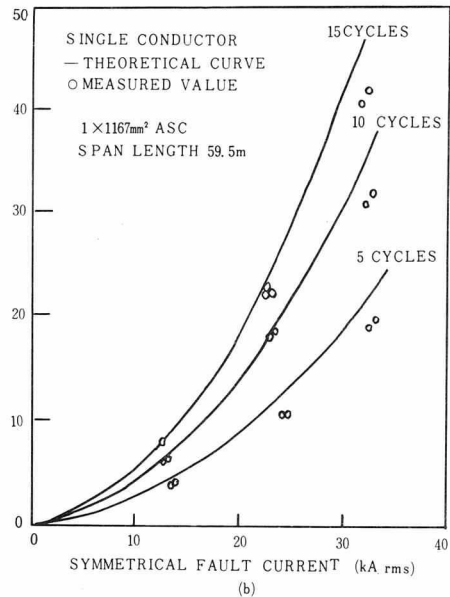
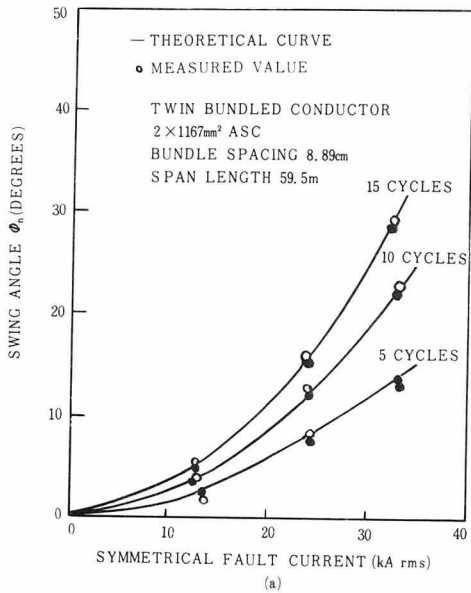
振動에 의한 導體張力의 最大值는 <그림 6>에서 알 수 있다. <그림 6(a)>는 적은 電流 및 짧은 持續時間에 대한 測定値와 計算値가 매우 相違함을 나타낸다. 이 경우에 複導體 破損張力을 減少시키기 위하여 複導體 間隔을 좁혔으나, 振動張力과 破損張力이 모두 작아서 서로의 影響을 구분할 수 없었다. 그러나 導體와 同軸으로 스프링을 끼워서 破損張力을 除去시켰

을 때 <그림 6(b)>와 같이 理論과 測定이 만족스럽게 一致하였다.

正常 狀態下에서의 振動張力은 徑間의 최초 波形週期에 相當하는 週期로써 變化한다. 이것은 일반적으로 構造物의 週期보다 더욱 더 낫다. 그래서 이러한 힘은 構造物을 설계하는데 있어서 靜態的인 것으로 고려될 수 있다.



<그림 6> 測定値와 計算値를 比較한 振動時의 最大張力

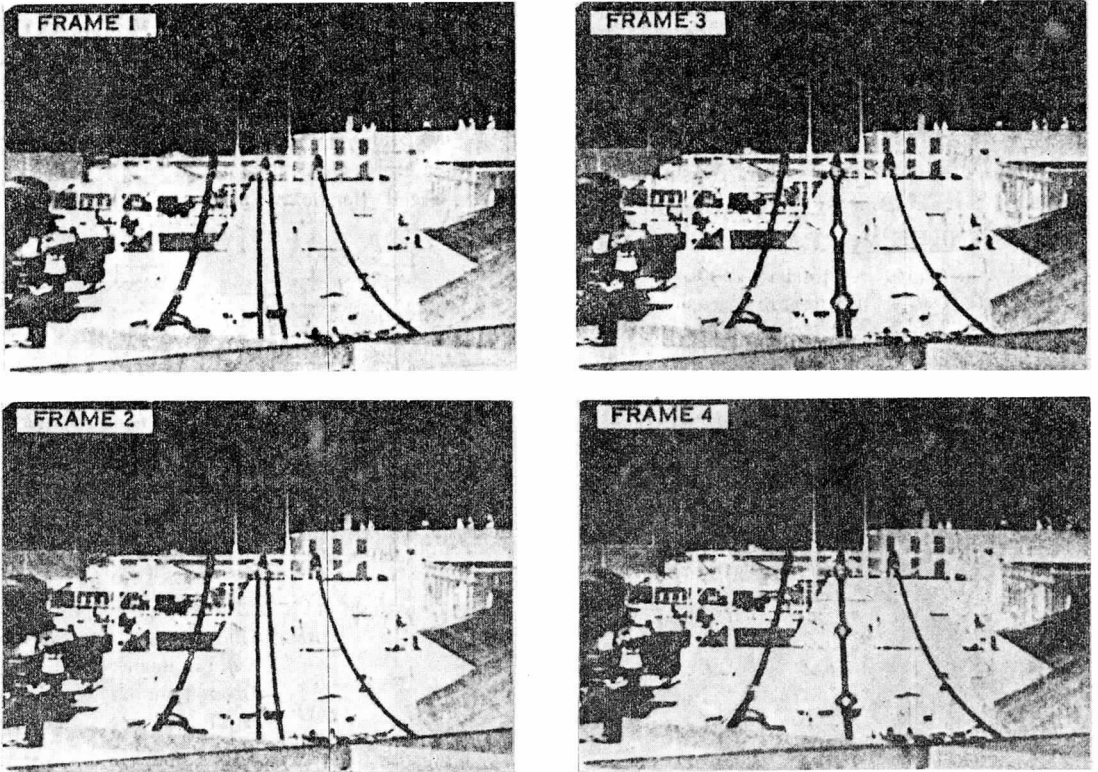


<그림 7> 測定値와 計算値를 比較한 耐張母線의 角變位

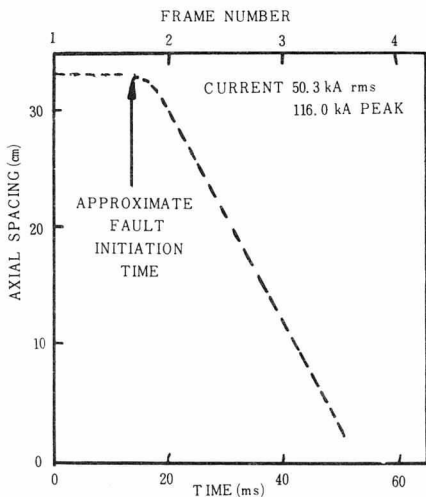
극단적인 경우에는 電流 크기와 持續 시간이 組合하여 큰 變位를 일으켜 (振動角이 거의 180°에 이른다) 매우 큰 張力 때문에 導體가 거의 垂直으로 떨어지는 경우도 있다. 이러한 張力은 본질적으로 매우 순간적이며, 構造物을 設計하

는데 力學的인 分析을 要하게 한다.

〈그림 7〉은 單導體 및 二複導體에 대한 相導體의 角變位를 나타낸 것이다. 計算值와 測定值가 잘 일치함을 알 수 있다.



〈그림 8〉 複導體 破損過程 (필름속도 50fps)



〈그림 9〉 時間과 複導體 間隔의 關係

〈그림 8〉은 複導體 破損過程을 사진으로 촬영한 것이다. 필름속도는 1秒당 50枚이다. 最初의 複導體 間격은 33cm 였다. 이 사진으로부터 複導體 間격과 시간과의 關係를 나타낸 것이 〈그림 9〉이다. 시간에 대한 複導體 間격의 變位는 주로 電流의 크기, 複導體 排列 및 導體 質量에 좌우된다.

VI. 結 論

耐張母線을 설계하기 위하여 導體의 張力과 變位를 계산하는 方法을 개발하여 實系統에서의 試驗 結果와 비교하였다. 그 결과, 試驗을 進行하면서 變化하는 여러가지의 變數에 대하여 理

論과 實驗 結果가 매우 잘 일치됨에 따라 新設 變電所의 設計 및 기존 變電所를 增強시키는 設計에 있어서 이 方法을 사용할 수 있게 되었다.

우리나라도 電源設備의 增加 및 連繫系統의 擴張에 따라 머지 않은 將來에 이러한 問題가 提起될 것으로 予想되는 바, 이 경우에도 본 計算 方法이 이용되기를 바란다.

參 考 文 獻

1. Craig, D. B. & Ford, G. L., "The Response of Strain Bus to Short-Circuit Currents." IEEE Vol. PAS-99. No. 2 Mar.

/Apr. 1980.

2. Atwood, A. T., Mills, Jr. M. H., Downs D. I. & Stone, H. M., "Dynamic Behavior of a 220-kV Dead End Suspension Bus during Short-Circuit." Trans AIEE, Vol. 81, PT III, Jun. 1962.

3. Landin, J. I., Lindquist, C. I., Bergstorm, L. R., & Cullen, G. R., "Mechanical Effects of High Short-Circuit Currents in Substation." Trans IEEE, Vol. PAS-94, No. 5. Sep./Oct. 1975

