

直流分捲發電機의 電壓確立에 關한 研究

盧 彰 注

A study on the Voltage build up on D. C. shunt generator

No chang Joo

Abstract

In this paper the object is to study how long it takes to build-up the voltage on D. C. shunt generator. When we complete the exciting field circuit in step function, with the D. C. shunt generator on rated r. p. m. running, the terminal voltage of the generator will increase gradually and then the voltage is recorded.

As the variables, exciting current and inductance of the generator, having effect on the voltage build-up are non-linear, the author calculated the time which built-up the voltage by means of approximated calculating methods based on the theory, and compared the result with the experimental values.

The author varified that calculated values considerable accuracy even though they were obtained through an approximated method.

Acknowledging that such theoretical and approximated calculating methods are correct, the author presents some points to be considered at the stages of designing and operating D. C. shunt generator in order to shroten the time of voltage build-up.

<目 次>

- | | |
|-------------|---------|
| 1. Abstract | 5. 考 擦 |
| 2. 序 論 | 6. 結 論 |
| 3. 本 論 | 7. 參考文獻 |
| 4. 實 驗 | |

2. 序 論

直流電源으로 일반적으로 널리 사용 되고 있는 直流分捲發電機의 電壓確立 하는 時間은 發電機를 먼저 定格速度로 運轉시켜두고 界磁回路를 닫아주면 容量에 따라 差가 있지만 5kw 인 것이 5秒程度나 要하고, 그리고 容量이 클수록 그 時間이 증가하는 경향이 있다. 그러나 實際 操作者는 우선 界磁 저항을 많은 값으로 하여두고 전압이 確立되는 것을 확인 하면서 漸次 抵抗을 減少시켜 나가므로 電壓確立하는 時間은 더욱 길어진다. 이와 같이 電壓을 確立하는데 이렇게 긴 시간이 要한다는 것은 負荷變動에 對한 應答이 둔해서 결코 좋은 일은 못된다.

이 直流 分捲 發電機는 大型 交流同期發電機의 基本 勵磁機가되고 있다. 그러므로 確立時間의 研究는 交流發電機의 電壓確立特性에 깊은 關係가 있고 負荷變動時에 電壓을 安定하는데 要하는 時間의 定量的 計算이나 研究에 큰 도움이 되리라고 여겨진다.

이 研究에서는 우선 적당한 分捲 發電機를 選定하여 定格속도로 運轉시켜 두고서 界磁回路를 닫아 주면 電壓이 이때부터 上昇하는 過程을 Record에 記錄하여 어떤 經過를 거쳐 確立하는가를 考擦하였다. 時間 對 電壓曲線에서 電壓의 變化率의 大小가 어디에 있으며 그렇게 되는 要

因은 어디에 있으며 이렇게 되는 關係式을 만들고 計算을 하고서 實驗値과 比較하여 一致性을 確立하고 時間을 短縮시키기 위해서는 어떤 點을 考慮해야 하겠다는 點을 研究 하였다.

發電機의 電壓確立 하는데 時間이 短縮된다는 것은 그만큼 外部負荷 變動에 對해서 應答度가 增加한다는 것이고 動特性이 좋아지는 것이다.

電壓이 상승할때와 降下 할때는 磁化曲線에서 差가 있으므로 해석 方法이 달라 져야 한다. 그러나 여기서는 上昇하는것 즉 確立하는 것만을 다루기로 하였다.

3. 本 論

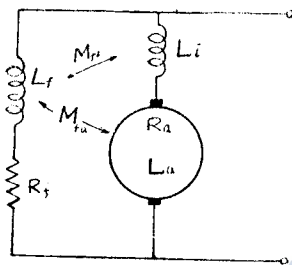


fig. 1

fig. 1과 같은 基本的인 分捲發電機의 回路를 假定해 본다. 外部의 負荷에 電力을 供給하지 않고 있으므로 이 상태에서는 自勵磁電流 i 는 電機子와 界磁를 共通으로 흐르고 있다. 이런 條件하에서 Kirchoff's 電壓式에 따라 式을 세우면

$$i(R_o + R_f) + (L_f + L_a + L_i \pm 2M_{fa} \pm 2M_{fi} \pm 2M_{ia}) \frac{di}{dt} + e_b + e_r = e \quad (1)$$

L_o 電機子 인덕턴스

L_i 補極의 인덕턴스

M 相互 인덕턴스로써 첨자에 따라 달라짐. 즉 i : 보극, a : 전기자, f : 계자,

e_b 부러쉬의 接觸 抵抗에 의한 電壓

e_r 電機子 反作用의 交叉磁化作用 및 減磁作用에 의한 電壓 降下

e 發電機의 誘起電力

(1) 式을 簡單히 整理하면

$$iR_o + L_o \frac{di}{dt} = e - e_b - e_r \quad (2)$$

단 $R_o = R_a + R_f$

$L_o = L_f + L_a + L_i \pm 2M_{fa} \pm 2M_{fi} \pm M_{ia}$

發電機의 電壓確立중에는 負荷를 걸지 않는 것이 普通이고 여기서도 그런 狀態 즉 負荷가 걸린 상태에서 電壓確立을 研究하는 것이 아니므로 i 가 매우적어 e_r 를 省略하고 나면

(2) 式은

$$iR_o + L_o \frac{di}{dt} = e - e_b \quad (3)$$

로 歸着한다.

(3) 式에서

$$t = \int \frac{L_o}{e - e_b - iR_o} di \quad (4)$$

(4) 式의 各 變數의 特性을 알아보면 다음과 같다.

R_o : 전기자의 저항과 界磁저항 및 부러쉬 저항의 合을 말한다. 實際저항치 測定에 있어서 저 저항인 電機子의 것만을 測定할 必要는 없고 界磁抵抗을 포함하여 全體의인 값이 要求되므로 測定에 難度는 除去되었으나 부러쉬의 接觸抵抗值의 不定要素가 포함되어 있다.

L_o : 電機子와 界磁回路간의 閉回路를 通하는 全 인덕턴스를 말하고 이것을 界磁, 補極捲線,

直流分捲發電機의 電壓確立에 關한 研究

電機子捲線의 各各의 것과 相互인덕턴스까지 포함한 總體的인 값을 말한다. ④式에서 要求되는 値는 各各의 것을 區別할 必要가 없고 總體的인 값만 가지고 計算에 쓰여진다.

e : 發電機의 誘起起電力임은 이미 설명하였지만 이 값은 非線型으로서 勵磁電流 i 에 따라 定해진다. 즉 無負荷電壓曲線에 있어서 電壓과 電流와의 關係가 된다.

이상과 같은 諸條件을 考慮하여 ④式을 定積分으로 表示 하면

$$t = \int_{i_1}^{i_2} \frac{L_o(i)}{f(i) - iR_o - e_b} di \quad (5)$$

위 式에 필요한 各 값들을 實驗을 통해서 구하기로 한다.

4. 實 驗

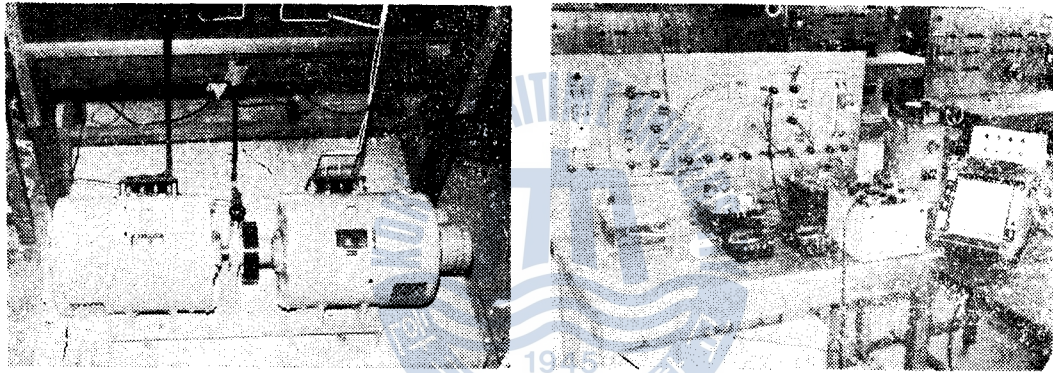


fig. 2 實驗裝置의 全影

⑤式에 使用될 各 變數에 對한 값을 알기 위한 實驗에 使用된 機械 및 測定裝置를 열거하면 다음과 같다.

1. 電動 發電機
 電動機: 入力電壓 100 V, 2.5 kw
 1800 r p m
2. 發電機: 電壓 100 v
 分捲(補極付)
 容 量
 回轉數 1800 r. p. m.
3. 電壓計 및 電流計 G. E. 製 0.5級
 0~150 V
 0~5 A,
4. Recorder: 4 channel
5. 回轉速度計

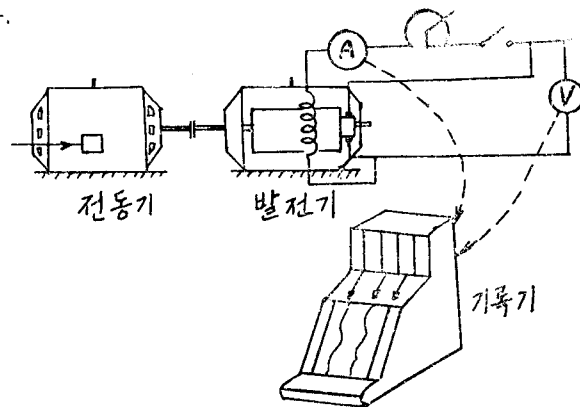


fig. 3 要約圖

以上の 機械와 計器를 fig. 3과 같이 裝置하고서 다음과 같은 몇가지 實驗을 하였다.

1. 無負荷特性曲線

被試驗機인 分捲發電機를 他勵磁로 하여 놓고 界磁回路를 外部 直流電源에 連結하여 i 를 變

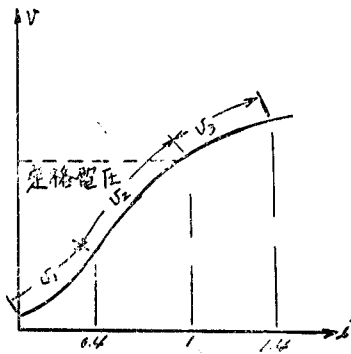


fig. 4

化시킬때 따르는 誘起起電力을 記錄하였다. 이때 얻어 지는 값을 對數눈금의 graph用紙를 통해서 다음과 같은 近似函數를 얻었다.

$$\begin{aligned} v_1 &= 103 i^{0.61} & 0 < i < 0.4 \\ v_2 &= 114 i^{0.88} & 0.4 < i < 1.0 \\ v_3 &= 113 i^{0.628} & 1.0 < i < 1.4 \end{aligned} \quad (6)$$

이때이 發電機의 回轉速度는 1800 rpm 로 維持하였다. 勿論 非線型임을 아는바 이지만 定格電壓을 얻을때 까지 3區分으로 나누어 近似式을 세울 수 있다.

2. 勵磁電流의 變化和 誘起起電力變化的 同期性 確認試驗

發電機를 他勵磁로 하여놓고 一定 速度로 運轉하면서 勵磁電流를 Random 한 變化를 줄때 勵磁電流變化에 의한 誘起起電力變化 모습이 時間的으로 一致한 가를 確認하는 것이다.

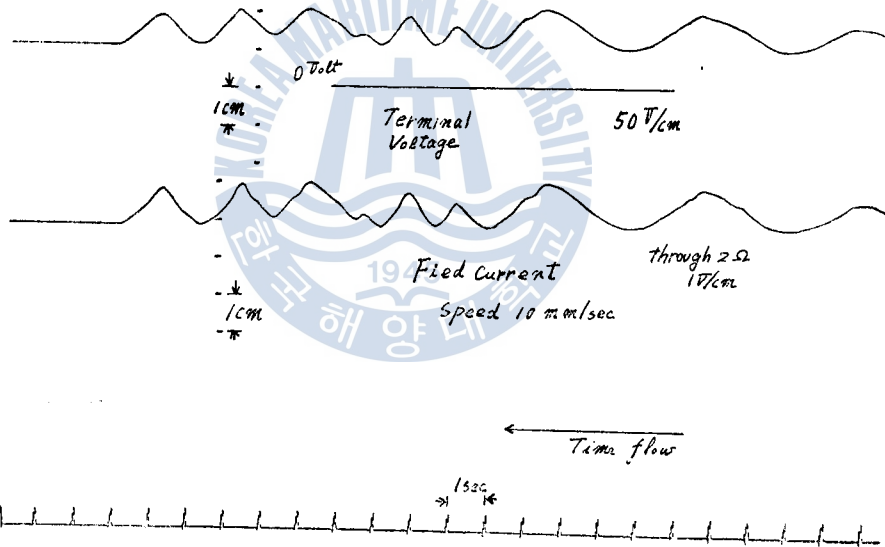


fig. 5 勵磁電流變化的 誘起起電壓의 變化 모양

元來 發電機의 誘起電壓은 回轉速度가 一定하면 每極의 磁束數에 比例하게 되어 있으므로 自電壓變化는 當然히 一致하겠지만 勵磁電流와 磁束間에 큰인덕턴스라는 媒介物이 생기므로 이 磁束數의 變化和 誘起電壓의 變化에는 時間的 遲延 要素가 포함될지도 모르기 때문이다.

實驗의 結果는 거의 일치하고 있다. 그러나 i 의 變化를 더욱 急激히 시키고 電機子端子에서 큰 電流를 뽑아 낸다면 電機子나 補極등의 인덕턴스 및 電機子의 反作用에 따라 影響이 있을것으로 여겨지는 바이나 여기서는 考慮할 對象이 되지 않는다.

勵磁電流의 大小에 의한 磁路의 飽和度에 따라 勵磁電流의 變化率(di/dt)과 誘起電壓 e 의 變化率(de/dt)의 크기는 差가 있을 수 있으나 位相은 分明히 一致하다.

3. 誘起電壓 曲線 端子電壓曲線의 差에서 R_a 및 e_b 의 測定

電機子의 低抵抗을 測定하기란 難題이고 더욱이나 부러쉬에 依한 電壓降下도 또한 마찬가지로

이다.

이 實驗에서는 電壓計의 接觸位置가 實驗配電板의 端子에서 連結되고 있다. 그러므로 誘起電壓에서 iR_a , $(L_a \pm M_a \pm M_{a1}) \frac{di}{dt}$ 및 e_b 를 減한 것이 될 것이다.

그러나 $\frac{di}{dt}$ 는 時間에 關해서는 變化없는 測定을 할때는 容易하다.

따라서 誘起電壓과 端子電壓과의 差는

$$\Delta v = iR_a + e_b$$

로 表示된다. 誘起電壓과 端子電壓曲線 중 任意의 두 點에서 Δv_1 , Δv_2 를 구하여 R_a 를 계산하면 되지만 이 研究에서는 R_a 의 값이 要求되지 않는다.

e_b 는 勵磁電流가 零에 가까울때의 Δv 의 값이 매우 이 값에 接近하고 있으나 實驗을 通해서 얻어지는 記錄에서는 거의 區別 할 수 없으므로 여기서는 無視하였다. (fig 11의 cd)

4. L_o 의 測定

이 값은 L_f , L_a , M 의 三者의 總體的인 값을 要求하고 各別的인 값은 必要치 않으므로 全體의 값을 구하기로 한다.

誘起電壓에서 iR_a , 누러쉬에 의한 電壓降下, 그리고 iR_f 를 減한 것이 $L_o \frac{di}{dt}$ 가 된다. L_o 의 값은 磁路의 飽和度에 따라 크게 變하고 있으므로 $L_o = L_o \frac{di}{dt} / \frac{di}{dt}$ 로써 구할 수 있다. $L_o \frac{di}{dt}$ 는 fig. 11에서 cb 의 길이로써 容易하게 實測된다.

$\frac{di}{dt}$ 를 구하기 위해서 被試驗機의 定格電壓 보다 훨씬 높은 電壓에서 電壓이 確立될 界磁抵抗으로 調整해 두고 界磁回路의 SW 를 닫았을때 電壓의 變化 過程과 勵磁 電流의 變化를 기록하였다.

fig 6의 勵磁電流曲線에서 di/dt 를 계산한 것이 fig 8이다.

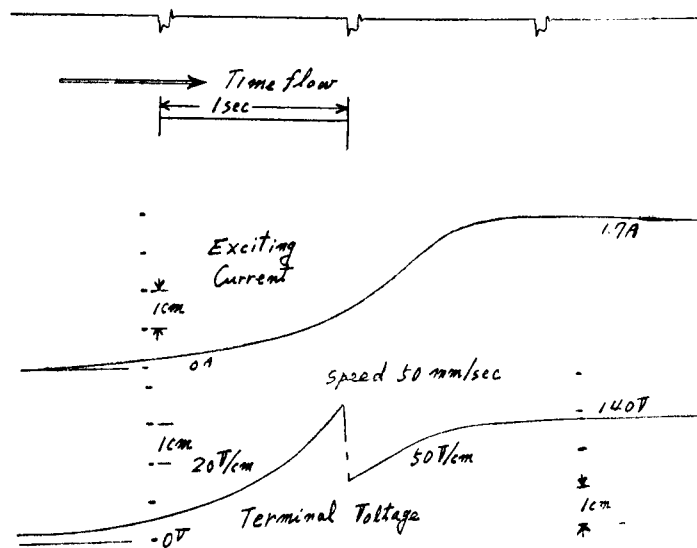


fig. 6

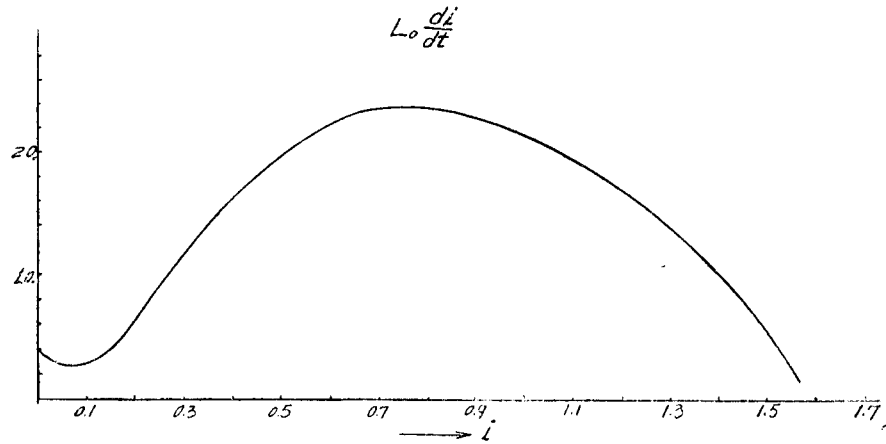


fig. 7

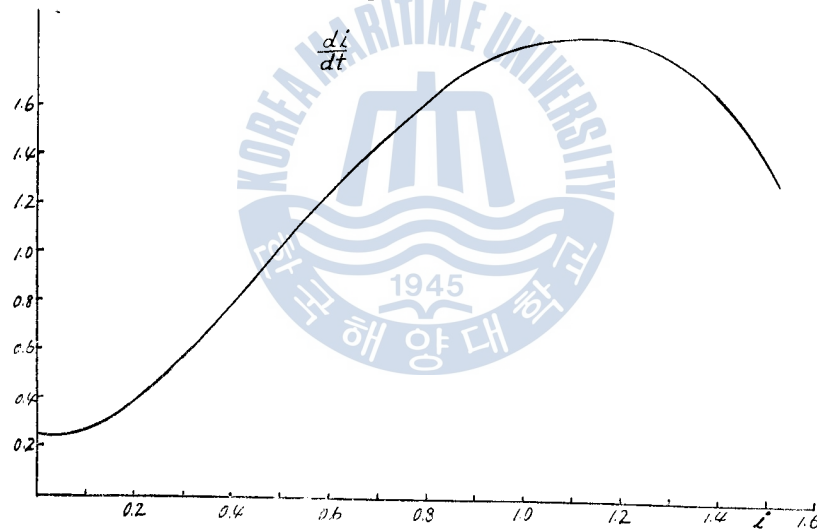


fig. 8

L_0 의 求하는 過程에서 i 가 微少한 경우 즉 壓電確立의 初期에서는 부러쉬의 接觸抵抗의 不定한 값이 影響을 미치므로 fig. 6의 電流曲線에서는 약간의 脈動을 가지고 있다.

혹시 이런 現象이 L_0 의 계산에 影響을 미칠지 모르기 때문에 L_0 값의 補完으로 時定數를 利

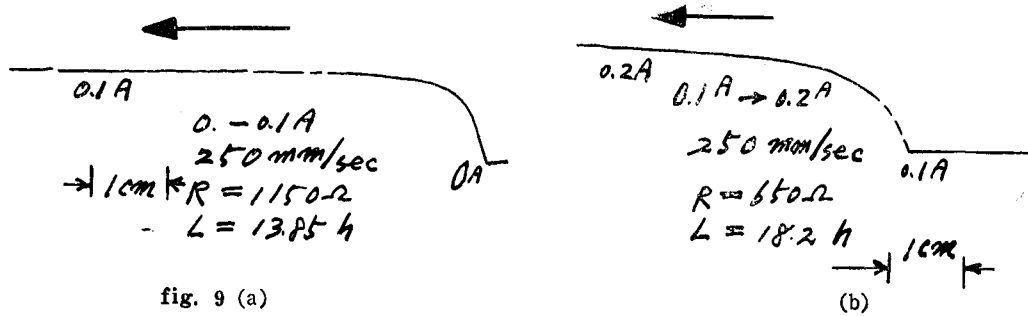


fig. 9 (a)

(b)

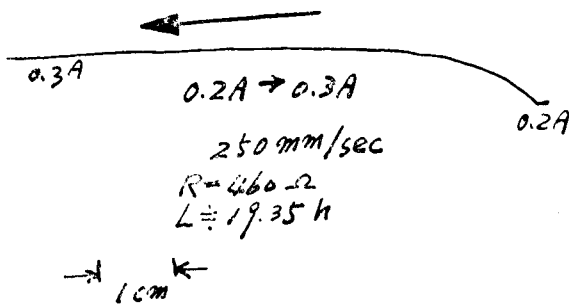


fig. 9 (c)

利用하여 L_0 을 測定하여 보았다.

電流의 微少部分에 對해서는 時定數에서 補充받고 그 外部分에서는 fig. 7과 fig 8에서 L_0 을 구하여 그의 變化를 그린 曲線이 fig. 10이다.

L_0 의 값을 考察하면 電流의 微少한 部分 L_0 의 값이 不安定히 급격히 증가하였다가 일단 L_0 最大値에 달한 후에서 다시 서서히 감소 하고 있다.

이상으로써 ⑤式에 들어있는 모든 變數에 關한 값이 求해 졌으므로 fig. 6에서

얻어진 記錄과 實計算의 値가 比較해 보코자 한다.

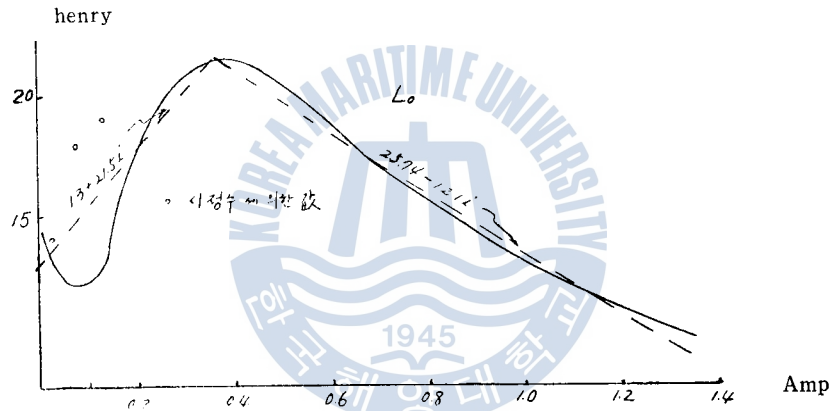


fig. 10

5. 考 察

위에서 얻어진 $L_0(i)$, fig. 4의 $e(i)$ 曲線등이 解析的일것 같으면 ⑤式에 의하여 積分함으로써 時間은 계산되는 것으로 된다. 그러나 $L_0(i)$ 가 fig. 10에서 나타낸것 같이 函數化되지 않는다 그러므로 近似計算法으로 fig. 4의 曲線을 몇개의 直線으로 간주하고 L_0 역시 두직선으로 나누어 부분적으로 時間을 구하여 合해보기로 한다.

fig. 11의 誘起電壓에 가장 잘 접하는 직선의 식을 $2.5 + \frac{43}{0.4}i$ $0 < i < 0.7$ 다음 0.38를 넘는 경우에는 $18.5 + 90i$ $0.7 < i < 1.1$. 다음 L_0 의 최대치가 되는 곳까지의 근사식을 $13 + 21.5i$, 그후부터는 $25.74 - 12.1i$ 먼저 $0.5 + \frac{43}{0.4}i$ 의 近似直線이 有效한 곳 즉 $i = 0.7(A)$ 되는 곳 電壓 80(V)로 될때 까지의 時間을 計算한다.

界磁 저항은 L_0 를 測定하기 위해서 140 V 로 이미 調整된 값인 $45/0.55 = 81.8[\Omega]$ 로 보면

$$t = \int_{i_1}^{i_2} \frac{L_0(i)}{e - iR} di = \int_0^{0.38} \frac{13 + 21.5i}{2.5 + 25.5i} di + \int_{0.38}^{0.7} \frac{25.74 - 12.1i}{2.5 + 25.5i} di$$

단 $e - iR = 2.5 + \frac{43}{0.4}i - \frac{45}{0.55}i = 2.5 + 25.5i$

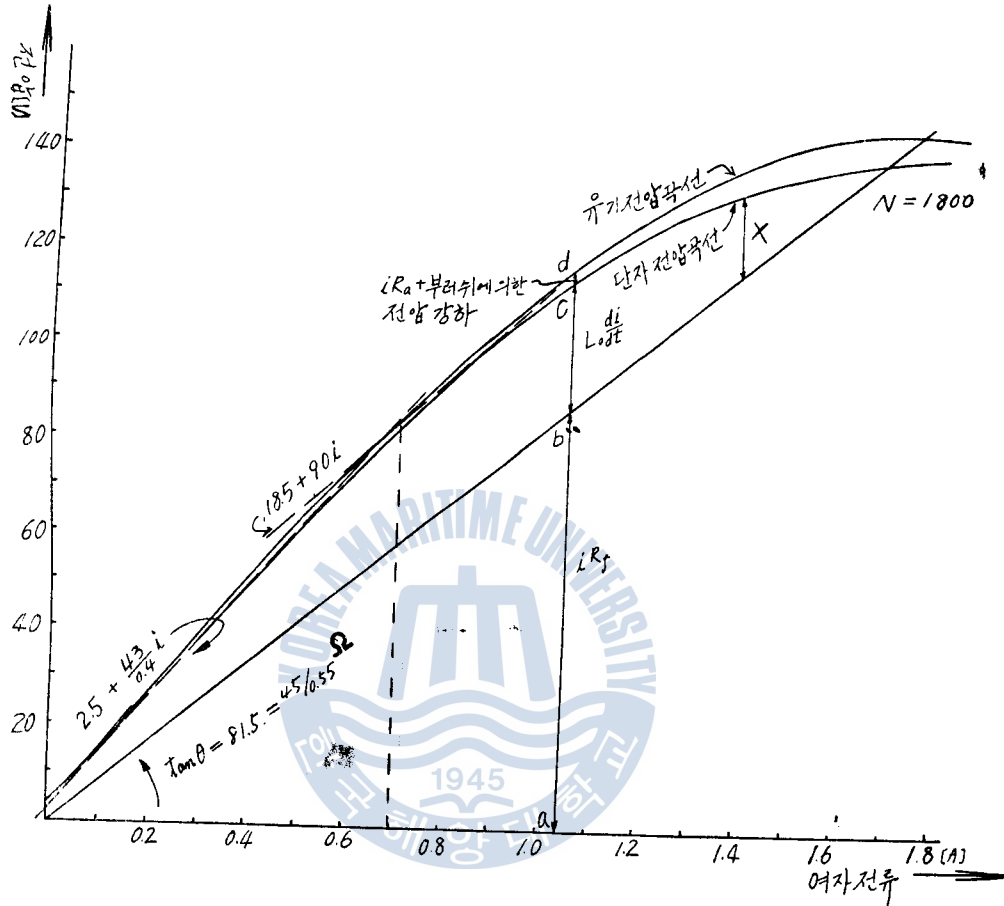


fig. 11

$$= 1.04 + 0.32 = 1.4 \text{ [sec]}$$

⑦

즉 $i=0$ 에서 $0.38 A$ 까지는 1.04 [sec]

$0.38 A$ 에서 $0.7 A$ 까지 (이때 전압 $80 V$) 0.32 [sec] 이다. fig. 6에서 實際 記錄된 값을 알아보면 前者가 1.13 [sec] 後者가 0.35 [sec] 로써 약간의 差를 가지고 있다. 그러나 相對誤差를 구해본 결과 1.4% 라는 매우 實測에 가까운 正確性을 가진 점에는 注目할 만하다.

萬一 fig. 11에서 電壓曲線을 보다 正確한 函數로 나타내고 L_0 의 값도 精確하게 表示 된다면 時間의 값은 實測과 一致 할 것을 豫測할 수 있다.

다음 단계의 계산도 역시 같은 방법으로 $0.7 A$ 에서 다시 근사 直線을 구해서 계산한다. 마지막 電壓確立할 때까지의 시간은 저항직선과 端子電壓曲線과의 交點까지 해야 하는데 이 때는 時間은 ∞ 로 要求하게 된다. 이것은 電壓이 確立된 발전기도 確立하는 中이라고 보된다.

R 가 變할때를 考察하면 fig. 11에서 $\tan \theta = R_f$ 의 θ 가 變하는 것으로써 R_f 가 증가하면 R_f 直線은 電壓 曲線에 더욱 接近하게 되고 fig. 11에서 X 의 逆數에 L_0 를 곱하여 i 에 關한 積分이 電壓確立時間이 되므로 당연히 R 가 증가할 수록 電壓確立하는 時間은 增加함은 當然하다.

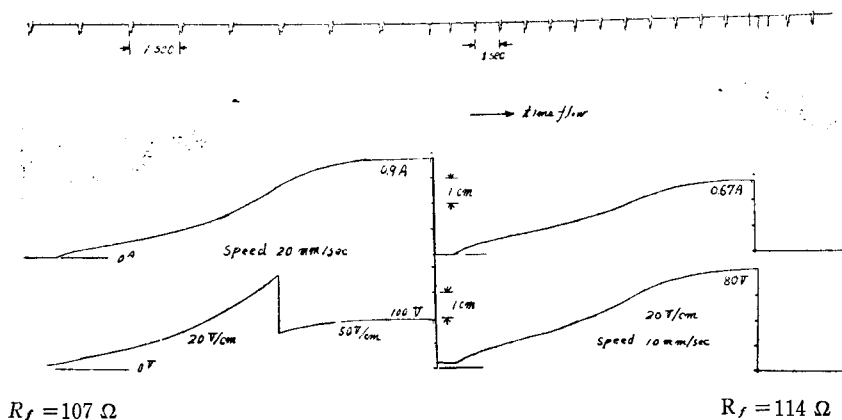


fig. 12 R의 變化에 따른 電壓確立時間의 變化

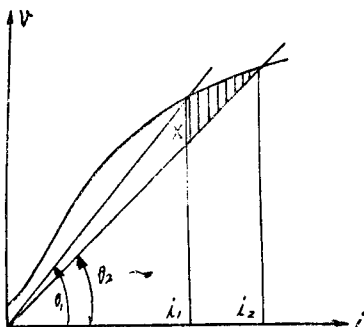


fig. 13

萬一 R의 값을 臨界抵抗 값을 잡으면 X의 길이가 最短의 경우가 되고 電壓 確立하는 時間은 最長時間이 됨은 當然한 것이며 本人의 實驗 經驗과 일치하고 있다.

한편 發電機를 어느 電壓으로 運轉中인 狀態에서 보다 높은 電壓으로 調整하기 위해서 界磁抵抗 값을 單位 함수 적으로 바꿨다면 이때의 時間계산도

$$\int_{i_1}^{i_2} \frac{L}{X} di \quad \textcircled{8}$$

로 되겠지만 萬一 Δi 의 범위가 커지면 Δi 로 인한 코일의 逆起電力으로

突變의인 현상이 일어난다.

註 : 이 관계는 界磁의 모든 諸元과 電流變化의 量과 時間 등이 定해져야만 解析이 가능할 것이다.

實際로 發電機를 負荷를 걸어 運轉中인 경우에는 지금까지 무시하였던 電機子 反作用, 부리쉬의 영향, 電機子의 溫度上昇等과 같은 모든 因子들이 포함되게 되고 이런경우의 부하증감 界磁抵抗의 變化에 의한 發電機의 端子電壓變動에 따른 時間의 계산은 電壓確立의 方法과 類似하게 다루어 질것으로 믿어지나 매우 흥미로운 課題가 될 것이다.

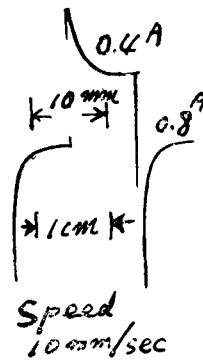


fig. 14

8. 結 論

發電機의 電壓確立의 時間은 ⑤式에 따라 계산을 하면 된다. 그러나 i의 돌발적인 變化에 따른 e(i)가 非線型의 變化를 하고 界磁의 L의 값도 非線型으로 磁路의 勵磁度에 따라 變한다. 그러므로 그의 계산을 精確하게 할수 없으므로 近似方法으로 直線으로 假定하여 몇개의 구분으로 나누어 계산하여도 상당히 精確하게 실험치와 一致하고 있다.

따라서 이점에 근거를두고, 이 시간을 줄이는 방법은.

1. 권류자기가 큰 界磁의 材料를 選定
2. 磁化曲線의 여자 권류증가에 對한 磁束 密度의 증가가 큰 界磁

3. 회전수를 증대
4. L_0 가 적도록 할것
5. 저항선의 기울기와 磁化曲線의 기울기의 差가 크도록 설계할것

이상의 條件가운데는 서로 相反되는 것도 있다. 그러나 한가지로 集約적으로 弄아보면 자화곡선(電壓曲線)이 抵抗線의 位置보다 훨씬 높도록 하는 것이 가장 좋다. 電壓을 확립하는데 時間은 初期와 末期에서 많이 要求되고 있는데 其 理由는 초기에서는 자화곡선이 S 型으로 되어있기 때문에 초기에 X 의 값이 (fig. 11) 적기 때문이고 그곳을 지난 후에는 빨리 上昇하다가 거의 電壓이 完全 確立에 가까울수록 시간이 길어지고(X 의 값이 한 없이 감소) 時間은 無限大로 要求하게 된다.

초기의 時間은 줄이는 방법은 殘留磁氣를 크게 하면 相當한 效果가 있고 末期의 時間을 줄이기 위해서는 界磁抵抗値를 일단 매우 적은 값으로 調整 하였다가 電壓이 거의 要求되는 값으로 上昇하였을때 다시 界磁 저항을 증가시켜주면 될 것이다.

參 考 文 獻

1. 電氣工學 ハントグック p. 536—540
p—589
2. 電氣機器 II
高田勇次郎 著 オーム社
3. 直流機 電氣學會
4. Electrical Machine Design
by Gray. Mc-Grawhill

