

# 캐퍼시터 自勵式 三相同期發電機에 관한 研究

## A Study on the Capacitor-self-excited Three-phase Synchronous Generator

論 文

33~11~1

鄭 然 澤\* · 金 永 炳\*\*  
 (Yon-Tack Chung · Young-Dong Kim)

### Abstract

This paper is to propose a new self-excitation method of synchronous generator.

Instead of conventional exciter of synchronous generator, the additional winding which is arranged in addition to the armature winding, is used in this generator. The output terminal of the additional winding is connected to a capacitor and to a full wave rectifier in series. In this configuration, one source double excitation which is composed of capacitor-self-excitation by lead current and direct current excitation by rectifier, is induced. The result is that; The excitation efficiency is improved greatly and output waveform is improved also.

In three-phase synchronous generator using the new method of the one source double excitation, voltage element (shunt characteristics) and current element (series characteristics) are compounded in scalar by adapting star-point-open-rectifier system.

The result is as following; The effect of load power factor angle on voltage regulation is reduced greatly, compound characteristics is become manifold by controlling capacity of capacitor, and transient response is improved.

### 1. 序 論

單獨運轉 中小容量 同期發電機에서도 電力用 半導體素子들을 사용해서 브리쉬레스化<sup>1)-3)</sup>, 또는 액씨터레스化<sup>4)</sup> 가 이미 실용화되었고 最近에는 마이크로 프로세서 등의 새로운 制御方式을 導入하여 精度 높은 電压·周波數 調節을 행하면서 메인테이너먼스 프리 (maintenance-free) 를 추구하고 있다.<sup>5)</sup>

그러나 이들 同期發電機의 励磁方式은 대부분 磁氣抵抗이 크고 漏洩磁束이 많으며 電機子反作用이 심한 空隙回路를 통해서 磁氣的으로만 励磁에너지가 회전界磁極에 공급하고 있기 때문에 励磁効率과 電压應答이 낮다. 그리하여 高價高利得의 AVR 을 必要

로 한다. 그리고 励磁機를 갖고 있는 브리쉬레스方式에서는 主軸이 길어지고 製作工程이 복잡하며 回轉半導體 整流素子들의 보수점검, 보호회로 구성 및 그特性測定 등의 어려움이 問題로 되어왔다.

그리하여 電機子捲線과 동일한 固定子鐵心 슬롯에 병행으로 小容量의 励磁捲線을 對稱 Y 結線하여 종래 誘導發電機<sup>6)-9)</sup> 혹은 單相브리쉬레스 同期發電機<sup>10)-11)</sup>에서와 같이 그 線間에 캐퍼시터를 접속시켜 進相電流의 直軸分電機子反作用(增磁作用)에 의한 自動現象을 이용하고, 동시에 励磁捲線의 中性點을開放시켜 全波整流 界磁回路를 삽입하여 定常的인 直流界磁作用을 하는 캐퍼시터 2重自励方法을 제시하였다.<sup>12), 13)</sup>

本研究에서는 著者들이 제안한 캐퍼시터 2重自励方法을 三相同期發電機에 적용하여서 励磁効率의 向上에 따른 發電機 綜合効率의 改善, 励磁系容量의 經濟的인 設計, 励磁機 없이 初期電压確立과 自励維

\*正會員：明知大 工大 電氣工學科 教授·工博

\*\*正會員：木浦實業專門大 電氣科 助教授

接受日字：1984年 8月 1日

持를 확실하게 하며, 励磁 時定數를 낮춰서 速應性을 높이고 AVR을 생략하여 定電压持性을 갖는 單獨運轉 캐페시터 自励式 三相同期發電機의 基本特性을 밝히는데 目的은 두고 있다.

아울러 多軸行列法<sup>14)</sup>에 의해서 電压方程式을 誘導하고, 試作機에 대한 實驗結果를 보고한다.

## 2. 回路構成과 動作原理

### 2-1 基本回路 構成

그림 1에 캐페시터 自励式 三相同期發電機의 基本回路을 나타낸다.

별도의 励磁機 없이 (exciterless) 단일 固定子鐵心에 電機子捲線  $W_a$  와 平衡對稱인 캐페시터 励磁捲線  $W_c$  를 병행으로 실시하여 그 端子間 a, b, c 에 캐페시터 C를 三相平衡  $\Delta$  接續하여 励磁回路을構成하고 한편 Y結線의 中性點 P를開放하여 三相全波整流보리지  $R_{fc}$ 로 각相의 進相電流  $I_{fc}$ 를 整流시켜 슬리밍을 통해서 回轉界磁捲線  $W_f$ 에 分捲特性(電压要素) 磁電流로 공급하는 界磁回路構成을 갖는다.

그리고 종래 自勵交流發電機<sup>15)</sup>의 CT 대신에 적극적으로 電機子捲線  $W_a$ 의 中性點 P도開放하여 整流보리지 方式을導入 각相의 負荷電流을  $R_{fa}$ 로 整波시켜서 直捲特性(電流要素) 界磁電流로 공급하는構成方式을 갖는다. 다이오우드  $D_{fd}$ 와  $D_{fq}$  역시  $R_{fc}$ 와  $R_{fa}$ 와 함께 靜止勵磁系를 併둔다. 한편  $R_{fa}$ 에 추가된 다이오우드 암은 中性點 引出을 위한 것이다.

回轉子는 圓筒型 혹은 突極型 어느것이나 취할 수 있는데 여기서는 前者를 例하여 正弦波發電方式을 취한다.

### 2-2 動作原理

本 發電機의 電压確立 과정을 고찰하고자 한다.

먼저 源動機로 回轉子의 回轉角速度  $\omega$ 를 慢차 증가 시켜가면서 回轉界磁極의 残留磁氣에 의해서 電機子捲線  $W_a$ 와 캐페시터 励磁捲線  $W_c$ 에 誘起되는 残留電压은 캐페시터 C의 充放電에 의해서 進相電流  $I_{fc}$ 를 흐르게 한다.  $I_{fc}$ 는 一次의으로 固定子鐵心, 空隙, 回轉子鐵心으로構成되는 磁氣回路에 直軸分電機子反作用(增磁作用)을 일으켜서 자신을 있게 한 残留起磁力を 增加시킬 뿐만 아니라 二次의으로는  $R_{fc}$ 로 整流되어서 界磁捲線  $W_f$ 의 a, b 相에 공급된다. 따라서 界磁磁化作用이 한층 촉진되면서 回轉速度가 同期速度에 이르게 되면 캐페시터 励磁

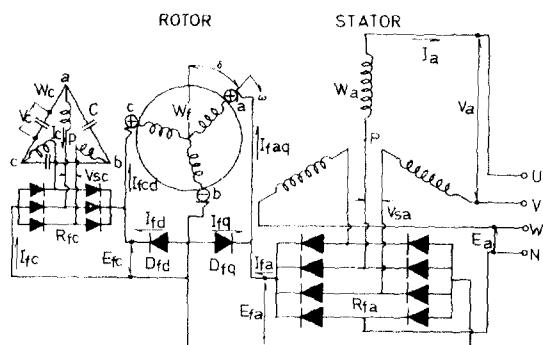


그림 1. 캐페시터 自励式 三相同期發電機의 基本回路圖

Fig. 1. Circuit diagram of the capacitor-self-excited synchronous generator

回路의 임파이던스가 급속히 감소하여 磁氣飽和曲線과 励磁回路 임파이던스直線이 交叉되는 點에서 電压確立이 이루어진다.

電压確立 과정에 작용하는 變數들은 殘留磁氣의 세기, 캐페시터容量, 回轉速度, 磁氣抵抗, 鐵心의 鮑和特性, 界磁回路을 포함한 캐페시터 励磁回路의 임파이던스曲線, 負荷임파이던스의 크기 등이다.

自勵維持는 源動機로 同期速度를 一定하게 유지시켜주면 캐페시터 励磁回路와 進相電流  $I_{fc}$ 는 일정 값을 유지하면서 空隙回路는 통한 增磁作用을 일으키고, 다시  $R_{fc}$ 로 整流되어서 定常의 界磁作用을 한다. 즉, 단일 勵磁電源으로 增磁作用에 의한 電氣的 励磁에너지 전달방식이 겸용되는 2重勵磁作用을 하고 있다. 따라서 容量이 작은 励磁 시스템으로 自勵維持를 확실하게 할 수 있으며 励磁効率이 改善되어 綜合効率의 向上을 가져온다.

$W_c$ 捲線과 C로構成되는 励磁回路와  $W_f$ 捲線과  $R_{fc}$ 로構成되는 界磁回路는 簡単적으로 基本波에 대해서는 分捲特性(電压要素) 만을 갖게 된다. 그리하여 負荷增加에 따른 電機子反作用에 의한 電压降下를 보상시켜주기 위해선  $R_{fa}$ 로各相의 負荷電流을 全波整流하여  $W_f$ 의 a, b 相에 直捲特性 界磁電流로 공급해 주어야 한다. CT 方式에 비교하여 速應성이 매우 빠른 강력한 直捲界磁電流를 얻게 된다.

따라서 本 캐페시터 自励式 三相同期發電機는 엑사이너레스이며서 速應勵磁特性을 갖으며 AVR이 생략되면서 分捲特性과 直捲特性이 적의하게 합성되는 平複捲特性(定電压特性)을 갖는다.

기타 本 励磁回路方式은 回轉電氣機械에 대한 캐  
페시터 第3捲線方式의 새로운 시도이며, 基本波는  
물론 高調波까지 흡수 整流되어서 界磁電流로 이용  
하는 理想의 電流源方式이라 할 수 있다. 또한 過  
負荷나 短絡事故 등에 의한 브레이크 다이오우드 파괴  
에 따른 捲線의 소손 염려가 없는 특징을 갖는다.

### 3. 電壓方程式

基本回路 그림 1에 제시된 캐페시터 自励式 三相同期発電機를 d-g 모델로 解析하면 實捲線軸과 일  
치하지 않기 때문에 回轉行列를 變換行列로 사용해야  
하는 번잡성이 따른다. 그리하여 本章에서는 多軸  
行列法<sup>15)</sup>에 의해서 定常狀態의 電壓方程式을 誘導  
한다.

解析을 간단히 하기 위하여 同期角速度  
 $\omega_r$ 로 一定하게 回轉하며, 空隙에서의 空間高調波 및  
磁气回路의 非直線性은 무시한다.

여기서  $r$ ,  $l$ ,  $L$  및  $M$ 은 각捲線의 抵抗, 漏洩 인  
터던스 自己인터던스 및 相互인터던스이고, 첨자 a, c, f는 각捲線, 1, 2, 3은 각相, o, p, n은 對稱  
成分을 가리킨다.

$$\begin{bmatrix} e_{ap} \\ e_{an} \\ e_{cp} \\ e_{cn} \\ e_{fp} \\ e_{fn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_a + (l_a + \frac{3}{2}L_a)P & \frac{3}{2}M_{ac}P \\ r_a + (l_a + \frac{3}{2}L_a)P & \frac{3}{2}M_{ac}P \\ \frac{3}{2}M_{ac}P & r_c + (l_c + \frac{3}{2}L_c)P \\ \frac{3}{2}M_{ac}P & r_c + (l_c + \frac{3}{2}L_c)P \\ \frac{3}{2}M_{af}P\epsilon^{-j\theta} & \frac{3}{2}M_{cf}P\epsilon^{-j\theta} \\ \frac{3}{2}M_{af}P\epsilon^{+j\theta} & \frac{3}{2}M_{cf}P\epsilon^{+j\theta} \end{bmatrix}$$

순차 시 電壓方程式은

$$\begin{bmatrix} e_{a1} \\ e_{a2} \\ e_{a3} \\ e_{c1} \\ e_{c2} \\ e_{c3} \\ e_{f1} \\ e_{f2} \\ e_{f3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ac} & Z_{af} \\ Z_{ca} & Z_{cc} & Z_{cf} \\ Z_{ta} & Z_{tc} & Z_{tf} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a1} \\ i_{a2} \\ i_{a3} \\ i_{c1} \\ i_{c2} \\ i_{c3} \\ i_{f1} \\ i_{f2} \\ i_{f3} \end{bmatrix}$$

로 된다. (1) 式을 간단히 표시하면

$$[e] = [Z] [i] \quad (1)$$

로 표시된다.

對稱座標變換行列

$$[A] = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

로 (1) 式을 變換시켜 零相分을 제외한 正相分과 逆  
相分만을 나타내면

$$\begin{bmatrix} \frac{3}{2}M_{af}P\epsilon^{+j\theta} \\ \frac{3}{2}M_{af}P\epsilon^{-j\theta} \\ \frac{3}{2}M_{cf}P\epsilon^{+j\theta} \\ \frac{3}{2}M_{cf}P\epsilon^{-j\theta} \\ r_f + (l_f + \frac{3}{2}L_f)P \\ r_f + (l_f + \frac{3}{2}L_f)P \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ap} \\ i_{an} \\ i_{cp} \\ i_{cn} \\ i_{fp} \\ i_{fn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

간단히 쓰면

$$[e'] = [Z'] [i'] \quad (3')$$

로 된다. 但,  $p = d/dt$ ,  $\theta = \omega t + \delta$ ,  $\delta$ 는  $t=0$   
일때  $W_a$ ,  $W_c$  捲線軸과  $W_f$  捲線軸의 이루는 電氣角  
이다.

(3) 式의 임피이던스 行列  $[Z']$ 에는 時間極數  $\theta$ 가  
포함되어 있으므로 이를 소거하기 위하여 整流行列  
 $[K]$ 를 定義한다.

여기서  $[K]$ 는  $[K]_t = [K]$ ,  $[K]_t^* = [K]^{-1}$   
의 관계가 성립되며 다음 공식에 의해서 임피이던스

$$[K] = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & 1 & & & & \\ & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & \epsilon^{-j\theta} & \\ & & & & & \epsilon^{+j\theta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

텐서 ( impedance tensor ) 를 求할 수 있다.

$$[Z''] = [Z]^{-1} [Z'] [K] = [K]_t^* [Z'] [K]$$

$$= [K]^* [Z'] [K] \quad (5)$$

$$[Z''] = \begin{bmatrix} r_a + (l_a + \frac{3}{2}L_a)P & \frac{3}{2}M_{ac}P \\ \frac{3}{2}M_{ac}P & r_c + (l_c + \frac{3}{2}L_c)P \\ \frac{3}{2}M_{af}(P - j\omega_r) & \frac{3}{2}M_{fc}(P - j\omega_r) \\ & \frac{3}{2}M_{af}(P + j\omega_r) \\ \frac{3}{2}M_{af}P & \frac{3}{2}M_{fc}P \\ \frac{3}{2}M_{fc}P & r_f + (l_f + \frac{3}{2}L_f)(P - j\omega_r) \\ \frac{3}{2}M_{fc}(P + j\omega_r) & r_f + (l_f + \frac{3}{2}L_f)(P + j\omega_r) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\text{但}, p + j\omega r = e^{-j\theta} p e^{j\theta}, p - j\omega r = e^{j\theta} p e^{-j\theta}$$

(推理定理).

基本回路의 各捲線의 순시자 전류 방향을 中性點을 향하는 것으로 하면 發電機의 電壓 · 電流 빠터는

$$[e''] = [-e_{ap} -e_{an} -e_{cp} -e_{cn} e_{fp} e^{j\theta} e_{fn} e^{-j\theta}] t \quad (7)$$

$$[i''] = [i_{ap} i_{an} i_{cp} i_{cn} i_{fp} e^{j\theta} i_{fn} e^{-j\theta}] t \quad (8)$$

로 된다. 따라서 (3) 式은 (6), (7), (8) 式을 모아서

표현하면

$$[e''] = [Z''] [i''] \quad (9)$$

式으로 変換된다.

(6) 式의  $[Z'']$  는  $\theta$  를 포함하지 않으므로 逆行列를 쉽게 求할 수 있으며, 따라서 어드미티스 行列  $[Y''] = [Z'']^{-1}$  로 부터 各捲線의 電流를 算출 할 수 있다.

(9) 式의  $p = j\omega, \omega r = \omega$  (同期機이기 때문) を 用아서 實効值로 変換시키면

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_{ap} \\ \dot{E}_{an} \\ \dot{E}_{cp} \\ \dot{E}_{cn} \\ \dot{E}_{fp} \\ \dot{E}_{fn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_a + jX_a & jX_{ac} & jX_{af} & \dots \\ \dots & r_a + jX_a & jX_{ac} & jX_{af} \\ jX_{ac} & \dots & r_c + jX_c & jX_{fc} \\ \dots & jX_{ac} & \dots & r_c + jX_c \\ \dots & \dots & \dots & r_f \\ j2X_{af} & \dots & j2X_{fc} & \dots & r_f + j2X_f \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_{ap} \\ \dot{I}_{an} \\ \dot{I}_{cp} \\ \dot{I}_{cn} \\ \dot{I}_{fp} \\ \dot{I}_{fn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

로 된다.

$$\text{但}, X_a = \omega (l_a + \frac{3}{2}L_a), X_c = \omega (l_c + \frac{3}{2}L_c),$$

$$X_{fc} = \frac{3}{2}\omega M_{fc}, X_{af} = \frac{3}{2}\omega M_{af}$$

$$X_f = \omega (l_f + \frac{3}{2}L_f), X_{ac} = \frac{3}{2}\omega M_{ac},$$

(10) 式은 實効值로 表示된 本 發電機의 電壓 方程式이다.

## 4. 實驗結果 및 考察

試作機은 三相捲線型誘導電動機 10 HP을 固定子捲線만 해체하고 表 1 과 같이 再捲線하였다. 充電機

出力은 約 6 [KVA]이다.

試作機 固定子鐵心의 內徑  $D_o = 160 \text{ mm} \phi$ , 外徑  $D = 257 \text{ mm} \phi$ , 鐵心高度  $\ell = 115 \text{ mm}$  이다.

## 表 1. 試作機의 捲線仕様

Table 1. Specification of winding for the test machine

項 目	固 定 子捲 線		回 転 界 磁捲 線 Wf
	Wa	Wc	
相 数	3	3	3
極 数	4	4	4
Slot 数	48	48	36
每極每相 Slot 数	4	4	3
Coil捲回数	4	5	—
每極捲回数	16	20	—
直列捲回数	64	80	—
捲線種類	2層重捲	2層重捲	2層重捲
Coil Pitch	9/12短節捲	9/12短節捲	—
Coil素線數	1.0 mm $\phi$ × 6本	1.0 mm $\phi$ × 2本	—

## 4-1 無負荷特性

그림 2의  $E_{a1}$ (相電圧)은 캐리시터 自励式 三相同期充電機의 無負荷飽和曲線이다.

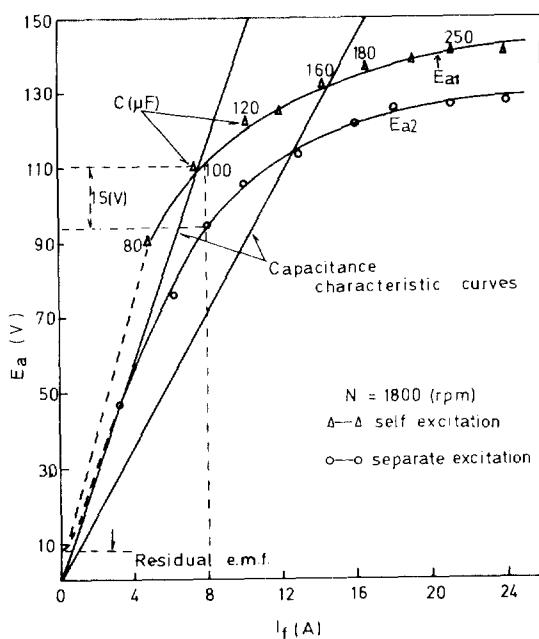


그림 2. 無負荷 饱和曲線

Fig. 2. No-load saturation curves

$E_{a2}$ 는 界磁電流  $I_f$ 를 外部 望む 直流電源으로 他励磁磁場을 성우다.  $I_f = 8$  [A]에서 두 曲線은 15 [V]의 차이로 캐리시터 自励式이 13.6%의 增加를 呈하고 있다. 이것은 進相電流에 의한 增磁作用과 二重励磁作用이 일어나고 있음을 입증한다.

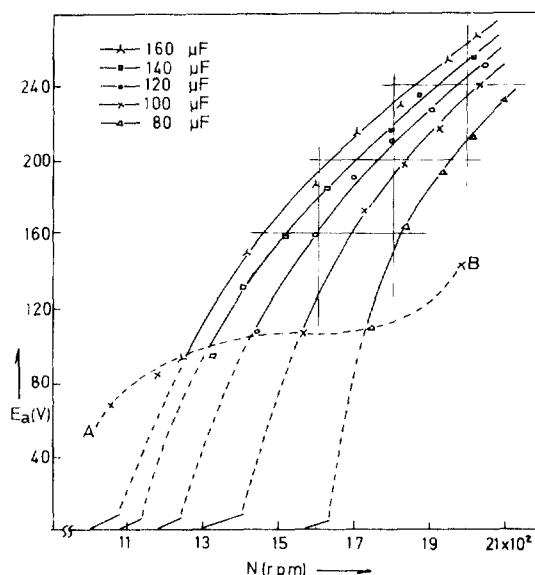


그림 3. 回轉速度에 대한 起電力曲線

Fig. 3. Speed vs. e.m.f. curves at no-load

本試作機의 回轉子 定格電流는 24 [A]로 그 이상에서는 饰和狀態가 심화됨을 알 수 있다.

그림 3은 回轉速度 N에 대한 無負荷時 誘起起電力曲線으로 N의 增加에 따라서 거의 直線에 가깝게 上昇하는 것은 励磁 임피던스가 급속히 낮아지고 있음을 의미한다.

A~B曲線은 發電開始曲線으로 本試作機는  $C = 80 \mu\text{F}$  ( $3\phi$ ) 以上에서 안정된 電圧確立이 이루어져 自励維持가 잘 되었다.

#### 4-2 抵抗負荷特性

그림 4는 純抵抗負荷 特性曲線이다. 캐리시터 二重自励回路의 分捲界磁電流  $I_{fcd}$ 는 負荷變動에 관계 없이 일정하게 유지되고 있으나 直捲界磁電流  $I_{faq}$ 는 負荷電流에 비례해서 증가되고 있다.

따라서 本發電機는 AVR 없이도 캐리시터 容量의 적의한 설정으로 定電圧特性을 갖는다.

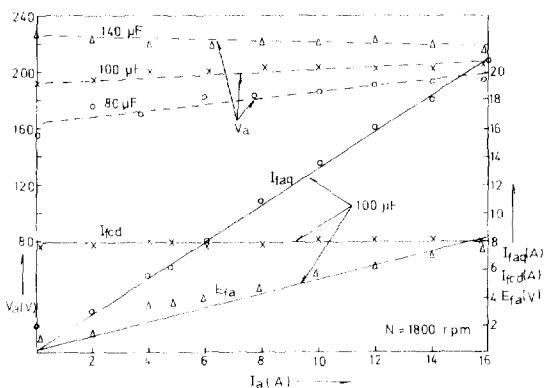


그림 4. 抵抗負荷特性曲線

Fig. 4. Resistive load characteristics curves

#### 4-3 誘導性負荷特性

그림 5는 誘導性負荷時 ( $\cos \theta = 0.7$ ) 外部 特性曲線이다. 發電機回轉速度가 驅動 모터의 슬립에 의해서 2171 (rpm)에서 2148 (rpm) 까지 떨어져도  $I_{faq}$ 가 무하 증가에 비례해서 증가하고 있기 때문에 端子電圧은 오히려 一定하게 유지되고 있다. 이 역시 AVR을 생략하고 定電圧特性을 얻을 수 있음을 입증한다.

그림 6의 (a)는 抵抗負荷 투입시 오실로 그래프로 電圧應答時間이 0.01 [sec] 이내에 安定되고 있다. 약 5 [V]의 上升분은 적의한 캐리시터 容量 선택으로 없앨 수 있다. (b)는 瓣型誘導電動機를

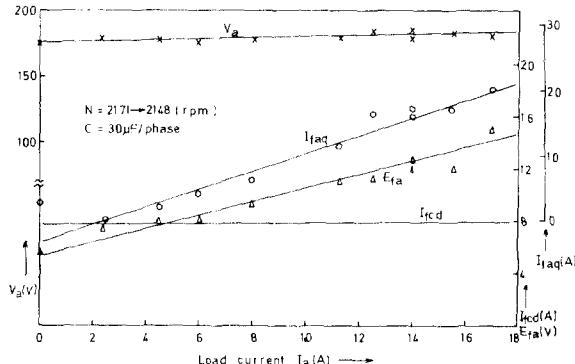
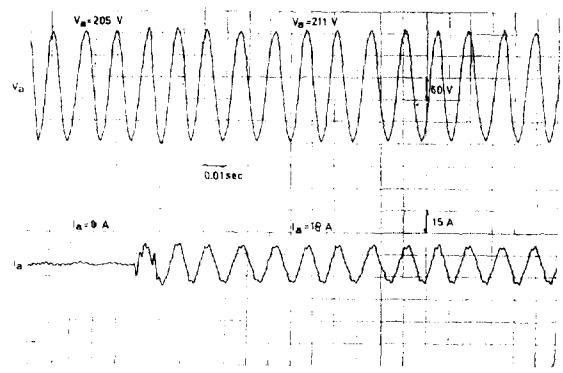
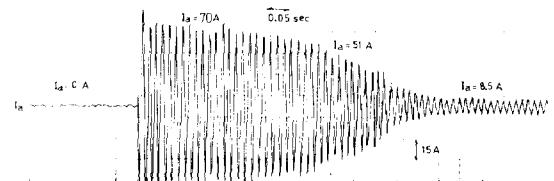


그림 5. 誘導性 負荷 特性曲線

Fig. 5. Inductive load characteristics curves



(a) 抵抗負荷



(b) 誘導性 負荷

그림 6. 負荷投入時 電壓・電流 오실로 그래프

Fig. 6. Voltage and current oscillographs

(a) Resistive load, (b) Inductive load

起動시켰을 경우의 過渡應答 오실로 그래프로 發電機를 驅動하고 있는 모터의 슬립을 포함해서 電圧變動率은 最大 10.8 %이고 起動時間은 0.7 [sec]

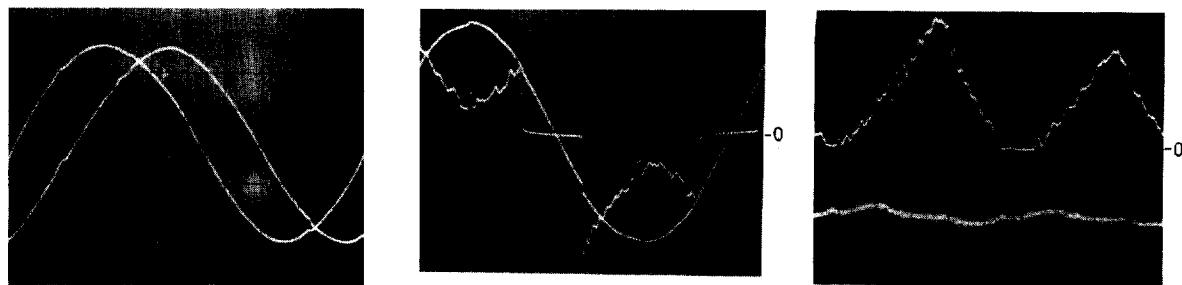
(a)  $V_a$  : 100 V/div, 2 ms/div(b)  $\frac{V_{ec}}{V_c}$  5V/div, 2 ms/div(c)  $\frac{I_{fc}}{E_{fc}}$  5 A/div, 2 ms/div

그림 7. 波形

Fig. 7. Waveforms

로 IEC 規格<sup>15)</sup> 의 범주안에 충분히 들어가고 있다.

그림 7 은 抵抗負荷時 각 부문의 電圧・電流 과형 사진이다.

(a) 的  $V_a$  是 出力端의 線間電圧波形으로 거의 正弦波이고, (b) 는 中性點 開放 整流모터의  $R_{fc}$  的 入力電圧  $V_{sc}$  와 캐패시터 양단 전압과형이다.  $V_{sc}$  에는 高調波를 많이 포함하고 있다.  $V_{sa}$  역시 비슷한 과형을 갖는다. 이점은 각 전선에서 발생되는 高調波가 中性點 整流모터를 통해서 界磁電源으로 유효하게 이용되고 있다고 본다. (c) 的 과형은 分捲界磁電流  $I_{fc}$  와 電圧  $E_{fc}$  的 과형으로 界磁電流의 백동률이 극히 낮아 界磁磁束은 界磁捲線의 인터 턴스의 작용으로 거의 일정하다고 판단된다.

## 5. 結論

同期發電機의 励磁機 대신에 같은 固定子 鐵心의 슬롯에 電機子捲線과 複式으로 励磁捲線을 실시하여 그 端子間に 캐패시터를 접속시키고, 한편 中性點을 개방하여 全波整流모터를 접속시켜서 励磁回路을 형성하는 캐패시터 自励式 三相同期發電機를 제작하였다.

그리하여 多軸行列法에 의해서 定常狀態의 電圧方程式을 誘導하였으며 試作機의 實驗을 통해서 그 基本特牲을 밝혔다. 結果를 요약하면;

- 1) AVR 없이 定電圧特性을 갖는다.
- 2) 액싸이터레스構造의 電圧確立와 自励維持가 확실하였다.
- 3) 2重自励效果로 励磁効率이 改善되었다.
- 4) 過渡負荷에 대한 電圧應答이 좋았다.
- 5) 出力電圧波形이 正弦波에 가까웠다.

그러나 本研究에서 제시된 電圧方程式에 대한 数値解析문제는 계속적인 연구과제라고 본다.

## 参考文献

- 1) A. W. Ford, ; "Brushless Generators for Aircraft - a Review of Current Developments," Proc. IEE, paper No. 3812 U, pp. 437 ~ 455, 1962
- 2) D. H. Miller and A. S. Rubenstein, ; "Excitation Systems for Small Industrial and Commercial Generators," AIEE Trans. PAS, Vol. 82, pp. 739 ~ 747, 1963.
- 3) T. L. Dillman, F. W. Keay, C. Raczkowski, J. W. Skooglund and W. H. South, ; "Brushless Excitation," IEEE spectrum, pp. 58 ~ 66, 1972.
- 4) S. Nonaka, K. kesamaru and S. Fujii, ; "Exciterless, Brushless Separately Excited Three Phase Synchronous Generator and its Characteristics," Society for the study of Rotating Machines in IEEJ, RM - 82-5, 1982. (Japanese)
- 5) F. Pender and H. Herzog, ; "Modern Excitation Equipment for Hydro-Electric Generators," Brown Boveri Rev., Vol. 67, pp. 141 ~ 151, 1980.
- 6) Y. Adachi, ; "Self-Excitation of Induction Machines with Static Condensers," JIEEJ, Vol. 80, No. 864, pp. 1236 ~ 1243, 1960. (Japanese)

- 7) Michael B. Brennen and Alberto Abbondanti, ; " Static Exciters for Induction Generators," IEEE Trans. IA, Vol. IA-13 No. 5, pp. 422 - 428, 1977
- 8) J. A. A. Melkebeek and D.W. Novotny, ; " Steady State Modelling of Regeneration and Self -Excitation in Induction Machines," IEEE Trans. PAS, Vol. PAS - 102, No. 8, pp. 2725 - 2733, 1983.
- 9) J. M. Elder, J.T. Boys and J.L. Woodward, ; " The Process of Self Excitation in Induction Generators," IEE Proc., 130, Pt. B, No. 2, pp. 103 - 108, 1983.
- 10) S . Nonaka and I. Muta, ; "Characteristics of the Brushless Self -Excited Type Single -phase Synchronous Generator," JIEEJ, Vol . 91, No . 7, pp . 1291 - 1300, 1971
- 11) S . Nonaka and I. Muta, ; " Analysis of the Brushless self -Excited Cylindrical - Rotor Type Single -Phase Synchronous Generator," Trans . IEEJ , Vol . 92 - B, No . 3, pp . 205 - 214, 1972.
- 12) 鄭然澤, 金永炯, ; "自励式 複捲三相 同期発電機," 大韓電氣學會夏季學術會議講演論文抄錄集, pp. 85 - 87, 1983.
- 13) 鄭然澤, 金永炯, ; " 캐리시티 自励式 三相複捲 同期発電機의 基本特性," 電氣機器研究會 學術 発表論文集, 第 19 回, ( 19-1-9 ), 1984.
- 14) 竹内壽太限, ; " 電氣機器テンソル解析," オーム社, 1963.
- 15) 小田莊一, ; " 自励交流発電機," 電氣書院, 1967.