

柴油機發電機組速度調節特性的研究

盧 節 壓

A Study on the Speed Control Characteristics of Diesel Power Generating Set

No. 37-1970

論文摘要
論文題名：柴油機發電機組速度調節特性研究
著者姓名：盧節壓
指導教師姓名：黃國基
系科名稱：機械工程系
學位類別：碩士
學位名稱：工程碩士
學位申請日期：民國七十年九月
論文內容摘要：本文研究的是柴油機發電機組的速度調節特性，這項研究的內容是將速度調節器與發電機組連接成一個閉迴路，並以此為研究對象。在研究過程中，我們發現了許多有趣的研究結果，這些結果對於改善發電機組的速度調節性能具有重要的意義。



Abstract

The research of speed control characteristics of the diesel power generating set is very important because the speed of the motor is controlled by the power generated and it is also specifically related to the power quality by the motor.

Given the characteristics of the internal combustion engine, the general load factor has varied with many approaches. But now days the fuel efficient approach has been adopted and the types of load have changed in different according to the progress in the civilization. The study on the most effective setting speed characteristics of the electrical induction engine or on the alternator. The writer's purpose has been confirmed, and the alternator is known to have the advantages in the field of the environmental protection. But until now has not been found any paper which can mainly analyze the speed characteristics of the alternator diesel power generating set.

In this paper the speed characteristics of the alternator of the generator, medium frequency, medium voltage, alternating current, variable frequency, step up, etc. The all characteristics calculate the block diagram of the speed control system are estimated by experiments.

The result of experiment analysis and represents such as the ratio of the ratio of angular frequency dependent frequency, constant, and the ratio of the

characteristics and the stability of speed control system of the diesel engine driving an alternator is studied theoretically and experimentally.

By means of an analogue computer simulation the author also examines and confirms the speed characteristics of the diesel engine with the values of parameters and constants obtained by experiments on the specific power generating set.

As a result of above investigation it is found that the transient characteristics can be considerably improved by adjusting the values of the parameters properly, but when the centrifugal governor is used, the speed off-set can by no means be completely neglected no matter how they may be adjusted.

記 號 說 明

C_0, C_1, C_2 速度式의 係數	[rad/sec N·m]	w_f 重錘 (fly-weight)의 重量	"
f_i 調速機內 等價粘性 係數		\bar{x} 動作點 랙크 變位	[mm]
G_o Loop 傳達函數		x 랙크 變位(增加量)	"
G_R 回轉系統의 傳達函數		$X(s)$ x 의 s函數	
k_1 調速機의 利得	[mm·sec/rad]	z_g 調速機와 機關의 速度比	
k_2 機關의 利得	[N·m/mm]	ω 機關 角速度(增分量)	[rad/sec]
k_3 回轉系統의 利得	[rad/N·msec]	α_1, α_2 第1, 2 動作狀態의 角速度	"
k 回轉粘性 抵抗係數	[N·msec/rad]	$\zeta(s)$ ω 의 s函數	
k_s 調速機 용수철 常數	[kg/mm]	ω_n 調速機의 等價固有 角周波數	[rad/sec]
J 回轉系統 慣性 모우먼트	[kg·m ²]	ω_o 根의 虛數部	"
p_1, p_2, p_3 極點		ω_p M_p 值 計算用 可變 角周波數	"
q 機關에서 發生하는 動作點의 回轉力 [N·m]		α_r M_p 值에서 角周波數	"
q_r 絶對負荷 回轉力(增分量)	"	θ 重錘 암의 動作點 角	[rad]
q_l 負荷 回轉力(增分量)	"	θ 重錘 암의 動作點 角(增分量)	"
q_e 機關의 有効 回轉力	"	θ_1 重錘의 動作點 角速度	[rad/sec]
q_f 機關의 摩擦 回轉力	"	θ_2 重錘의 回轉 角速度(增分量)	"
q_e 機關의 有効回轉力(增分量)	"	τ_E 機關의 時定數	[sec]
$Q_e(s)$ q_e 의 s函數		τ_R 回轉系統의 時定數	"
$Q_r(s)$ q_r 의 s函數		σ_1, σ_2 根의 實數部	[1/sec]
w_r 調速機中 可動部分의 重量	[kg]	ζ 調速機 等價減衰率比	

第一章 序 論

1945 해양대학 우수학위논문집 제1집은 우수한 학위논문을 목적으로 하는 학술적 저작이다. 船舶用發電機는自家用發電機처럼 小型化, 輕力化, 發生用, 電能利用에 편리한 船舶에 적합한 船舶用發電機로서 他電力系統과 離合시킬 수 있는 設計의 方面에서 得失를 살피는 調速特性에 대한 問題이 주제이다. 現在 船舶用發電機는 往往 기계부의 不良이나 改善運動率이 低劣하여 船舶의 運轉에 難便하다. 本論文에서는 船舶用發電機의 速度制御特性和 船舶의 運轉에 대한 問題를 살펴보면서 良質의 電力を 生产出 船舶에 적합한 船舶用發電機를 設計하는 원칙을 提出함으로써 船舶의 경済성을 低下하지 않는 原因과 그 解法를 提出함이다.

또한 最近 디이겔機閥의 平均 有効輸出功率 上昇, 駆轉速度 增加等으로 機閥의 动作特性和 運轉特성이 傾向으로 調變된다. 速度變動率은 더욱 커져서 問題적으로 挑戦되고 있다.

그리고 發電機의 原動機인 디이겔機閥의 速度特性가 考察되는 研究과는 달리 船舶用發電機의 动作特性和 運轉特성이 問題을 通過研究, 機閥에서 分離된 調速機閥에 對する 運轉結果는 過去까지 很나 難去되었다. 本論文에서는 實際 駆轉하고 있는 中型 이하 小型 디이겔 發電機의 全體의 速度特性에 對해서 理論的立場 考察하고 實驗을 通過하여 檢討한 行狀論文을 作者가 本論文敘述에서 本의 發法로 提出하였다.

本研究는 船舶用 디이겔 發電機의 速度特性의 調速 組合의 研究로 行事되며 本의 基礎研究로서 船舶用 디이겔 發電機의 速度特性를 改良하는 데 有益이 있다.

作者는 本研究에서 디이겔 發電機의 速度制御系統에 對하여 1) 特性을 理論的に 研究하고, 2) 이것을 理论적 研究하여 韓國海洋大學에서自家發電機를 驅動中에 试验한 디이겔 發電機와 供試發電機로 驅動하여 諸機械定數의 算定에 의하여 推定하고, 3) 諸機械定數의 基礎를 以て 디이겔 發電機의 速度特性에 關する 諸般 性質을 考察함과 同時に 重荷實驗을 通過하여 理論的結果의 合理性를 檢討하였다.

供試디이겔 發電機는 速度가 定格值로부터 벗어나거나 燃料噴射量이 变化함에 따라 여기 가진 機器特性的 變化와 調速機 内의 全機構에 存在하는 摩擦抵抗, 電磁抵抗, 電磁吸力, 駆轉速度의 變動等은 모두 非線型의 要素를 包含하고 있다. 本研究에서는 다음의 原 原則를 基本으로 하여 각 要素의 非線型性을 線型화한다.

(1) 駆轉數의 設定值은 負荷 駆轉力의 變化는 基準狀態에서 微小하게 變하고 動作點 近傍에서는 각 要素의 非線型性은 線型화한다.

(2) 機關의 燃燒狀態는 負荷의 大小와 關係없이 일정하고 大氣壓, 外氣溫度, 燃料의 作費 等諸般條件는 變化없는 것으로 基本이다.

本論文은 9개 章으로構成되어 있으며, 第1章은 序論이고, 第2章에서는 速度制御系統을 包含

되는 각 要素(調速機, 機關, 回轉系統)의 傳達函數를 誘導하고, 이것으로부터 系統의 傳達線圖를 構成하였다.

第3章에서는 速度應答을 나타내는 理論式과 이것에 包含된 各種 機械定數值의 變化가 過渡應答特性의 變化에 미치는 影響에 對해서 論했다. 第4章에서는 定常誤差特性에 對해서 考察하고, 특히 負荷變動이 있은 후 最終的으로 남게되는 速度 off-set에 對해서 重點的으로 論했다. 第5章에서는 調速機의 諸定數 및 디이젤 發電機의 크기가 달라질 경우에 速度安定度가 받는 영향에 對해서 考察하였으며, 第6章에서는 速度制御特性 解析에 必要한 諸機械定數值를 測定하는 裝置가 說明되어 있고, 몇 가지 負荷를 投入・除去하였을 때의 速度變化特性을 提示하였다. 第7章에서는 第6章에서 求한 諸機械定數值로써 理論的 速度特性式와 實測值와 比較 檢討하고 調速機 利得이 變할 경우 速度特性에 미치는 影響을 根軌跡法을 利用하여 論하고, off-set의 크기와 이것을 除去하는 方法 및 安定度 等을 論하였으며, 디이젤 發電機의 크기가 달라질 경우 및 調速機의 諸定數가 變할 경우에 對해서 아나로그 電子計算機에 의한 시무레이션 方法으로 速度特性을 檢討하였다.

第8章에서는 自乘偏差를 最小로 하기 為해 調速機의 最適 利得值를 求하고, 周波數應答의 M , 値에 依해서 過渡應答特性을 檢討하였다.



第二章 디젤發電機의 속도制御系統에對應 傳達函數 및 속도式

2·1 속도制御系의 組成

속도制御系는 構成을 通過する 과정을 以て 速度의 变化에 대처하는 能力을 表す. 即ち 調速機를 通して 速度의 变化에 대처하는 能力은 速度의 变化에 대처하는 能力을 表す. 即ち 調速機를 通して 速度의 变화에 대처하는 能力은 速度의 变화에 대처하는 能力을 表す.

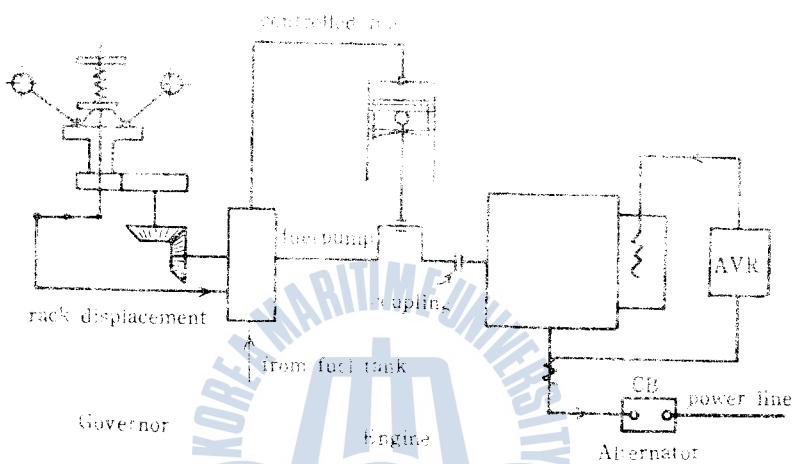


Fig 2·1 Speed control system of diesel power generating set

그림 2·1의 系統을 그게 나누어 調速機, 機關, 그리고 剎轉系 (發電機는 여기에 包含됨)이고 이들간의 制御信號傳達過程에 맞추어 亂線圖를 그려면 그림 2·2와 같다.

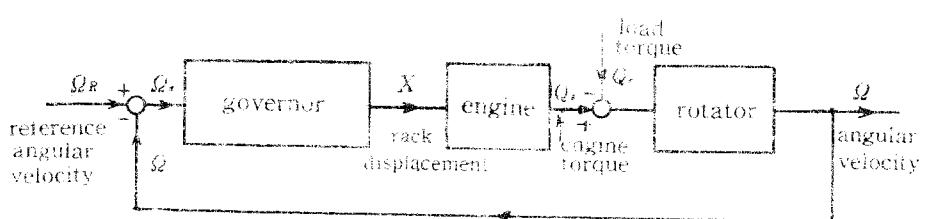


Fig 2·2 Block diagram of speed control system of diesel power generating set

本論文에서는 動作點近似의 微小한 角速度變化에 對하여 論하여 이를 動作點의 狀態 값을 가리킬 때는 文字위에 一撇를 붙이고 그의 增分量을 나타낼 때는 二撇을 붙이지 않기로 한다.

2·2 調速機의 傳達函數

調速機는 機關速度制御의 中樞役割을 하고 있음은 周知의 事實인 바 1784年 James Watt가 發明하여 蒸汽往復動機關에 使用한 것이 嘴矣의 式으로 알려져 있다.

2·2 調速機의 傳達函數

그 後 많이 改善・改良되어 오늘날에 와서는 種類도 많아졌고 優秀한 性能을 가진 것이 등장하게 되었다.

그 中에서 中型내지 小型 디이젤 發電機에 쓰여지고 있는 型은 遠心力を 利用한 機械式 調速機가 大部分이고 筆者가 實驗한 發電機의 調速機도 바로 이 型이기 때문에 이것에 關해서 論하고자 한다.

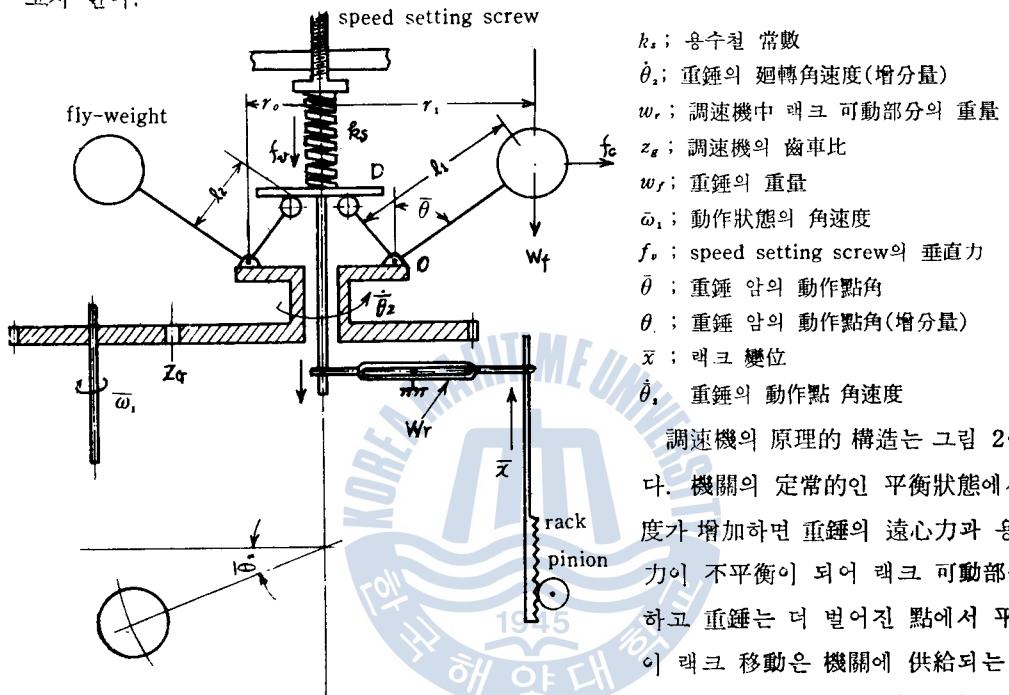


Fig. 2·3 Principle structure of centrifugal type governor

싫을 때는 速度設定용수철을 죄이며, 減小시키고 싫을 때는 용수철을 풀어 주면 된다.

$\bar{\omega}_1$ 에서 $\bar{\omega}_2$ 으로 階段狀 速度變化가 일어나는 경우 랙크를 移動케 하는 빙침쇠 D板의 運動式이 바로 랙크의 運動式이다.

D板에 階段狀으로 힘이 加해졌다면 랙크 可動部는 運動함에 있어서 이 系 内에 重量, 용수철, 粘性摩擦抵抗, 乾性摩擦抵抗, 로스트 모우숀 等을 包含하고 있으므로, 非線型 減衰振動이 된다.

i) 系 内에서 聯動되고 있는 重錘는 回轉運動을 하면서 並進運動을 하므로 그 運動方程式은 매우 複雜하겠지만 近似的으로相當 二階線型減衰振動으로 보고¹³⁾ 이를 數式으로 表示하면 式 (2-1)과 같다. (附錄 I 參照)

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \omega^2 n k_1 \omega \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

$$\text{但 } \zeta = \frac{f_i}{2\sqrt{k_1 l_1^2 \cos 2\theta - 2l_1 w_f \cos \theta}} \sqrt{2l_1^2 \frac{w_f}{g} + l_1^2 \frac{w_f}{R} \cos^2 \theta} \quad \dots \dots \dots (2-2)$$

$$\omega_1' = \frac{k_1 l_1^2 \cos 2\theta - 2l_1 \omega_1 \cos \theta}{2l_1^2 + l_2^2 - \frac{g}{g}} \text{ (rad/sec}^2\text{)} \quad (2-3)$$

$$k_1' = \frac{\theta}{\dot{\theta}_2} = \frac{\frac{4\omega_1}{g} l_1(r_o + l_1 \sin \theta) \cos \theta}{k_1 l_2^2 \cos 2\theta - 2l_1 \omega_1 \cos \theta} \quad (2-4)$$

$$k_1 = k_1' l_2 \cos \theta, z_g = \frac{\text{mm} \cdot \text{sec}^{-1}}{\text{rad}}$$

式(2-1)為初期條件 $t=0$ 時 $x=0, \dot{x}=0$ 下的 $\dot{\theta}$ 計算式。

極頻率爲

$$N(s) = \frac{\omega_n^2 k_1}{s^2 + 2s\omega_n s + \omega_n^2} \Omega(s) \quad (2-5)$$

k_1 為減速比，利用時域

2-3 機關의 傳達函數^[4-5,7]

機器運轉時，燃料消費量與變化率與運動的平均有效壓力成變換比。而當機器轉動力矩變化率時，門檻轉速與之成正比轉力矩傳達函數即為， Ω 轉轉力矩中摩擦轉動力矩除外，則當運動速度穩定時，其傳達函數為

$$\bar{q}_t = \bar{q} - \bar{q}/N \cdot m \quad (2-6)$$

\bar{q}_t : 有功轉轉力

無功轉轉力：機械的諸摩擦、以外的開關裝置、驅動力矩、轉速等，包含利

用於開關裝置發生時的總轉轉力 1945

\bar{q} 在有功轉轉力、無功轉速度 ω_1 及負荷之轉轉力矩時，必要無轉轉力矩平衡時，即為無功轉轉力與機器之定速度 ω_1 當時的轉轉力矩時，此時無功轉轉力矩為零時，有功轉轉力矩變化值。

多氣筒機器轉速 N 在變位 x 上同時時， Ω 在變位 x 上壓力變化與轉速變化之比，即爲機器轉速傳達函數， N 與 Ω 之比稱為機器轉速傳達比， Ω 與 N 之比稱為機器轉速傳達比， N 與 x 之比稱為變位 x 上相當於是多氣筒機器之制動轉轉轉力矩之比，此時傳達比為 τ_{Ω} ， τ_N ， τ_x ， τ_{Ω} 時間的安培常數，則傳達比 τ_{Ω} 為 $\tau_{\Omega} = \tau_N / \tau_x$ ，依此傳達轉轉力矩時定數 Q 為

表示式為，這個機器傳達函數為

$$Q(s) = \frac{k_2}{\tau_{\Omega} s + 1} N(s) \quad (2-7)$$

$$\text{但, } k_2 = \frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{mm}} \quad (2-8)$$

若以時間 t 計作用時間 t 上定期獲得， τ_{Ω} 機器轉速時定數， $Q(s), N(s), q_t, x$ 與 t 的關係

則當轉速 N 無轉給，此時對於機器對象之轉速 N 計得 τ_{Ω} 時定數 t 上當 t 作用時，此時

그 값이 매우 적으므로 無視하기로 한다.

2·4 回轉系統의 傳達函數

機關과 負荷間의 가장 important한 三大媒介變數는 回轉角速度(ω), 랙크의 變位(x), 有效回轉力(q_e)인 것이다. 이 3者間에는 서로 関數關係가 있다. 어느 平衡點($q_e\omega_1x$)에서 微小한範圍内에서의 變化는 線型解析的이라고 본다.

機關의 有效回轉力 q_e 는 ω 및 x 의 関數, 負荷回轉力 q_l 은 負荷의 크기 q_r 와 ω 의 関數라고 보면 디이젤發電機全體의 回轉系統의 慣性모우먼트(J)와 回轉力關係는 다음과 같다.

$$q_e = q_e(\omega, x) \quad q_l = q_l(q_r, \omega) \quad (N \cdot m) \quad \dots \dots \dots (2-9)$$

機關에서 發生하는 回轉力은 速度가 增加함에 따라 摩擦損失增加로 有効回轉力은 減少된다 따라서 動作點近傍에서 實際 ω 를 考慮한 有効回轉力 q'_e 는 式(2-10)과 같이 表示할 수 있다.

$$q'_e = q_e + \left. \frac{\partial q_e}{\partial \omega} \right|_{x=0} \omega \quad \dots \dots \dots (2-10)$$

負荷回轉力 역시 速度가 增加함에 따라 摩擦力이 增加하므로 式(2-11)과 같이 表示할 수 있다.

$$q_l = q_r + \left. \frac{\partial q_l}{\partial \omega} \right|_{q_r=0} \omega \quad \dots \dots \dots (2-11)$$

q'_e 와 q_l 같은 狀態에서는 平衡이 成立하여 回轉系統의 角加速度가 생기지 않지만 差가 있을 때는

$$J \frac{d\omega}{dt} = q'_e - q_l = q_e - q_r + \left(\left. \frac{\partial q_e}{\partial \omega} \right|_{x=0} - \left. \frac{\partial q_l}{\partial \omega} \right|_{q_r=0} \right) \omega \quad \dots \dots \dots (2-12)$$

로 된다.

$\frac{\partial q_e}{\partial \omega}|_{x=0}$ 와 $\frac{\partial q_l}{\partial \omega}|_{q_r=0}$ 項은 角速度增加에 따른 機關回轉力減少와 負荷回轉力增加를 나타내므로 全回轉系統의 等價回轉粘性抵抗係數 k 로 代置하고서 式(2-12)을 다시 整理하면

$$J \frac{d\omega}{dt} + k\omega = q_e - q_r \quad \dots \dots \dots (2-13)$$

$$\text{但, } k = \left. \frac{\partial q_e}{\partial \omega} \right|_{q_r=0} - \left. \frac{\partial q_l}{\partial \omega} \right|_{x=0} \quad \dots \dots \dots (2-14)$$

式(2-13)의 右邊에 있어서 機關에서 發生하는 回轉力이나 負荷回轉力의 크기에 變化가 생기면 回轉系統은 角加速度가 생기고 다시 다른 角速度點에서 平衡된다. 즉 이 差回轉力에 依하여 角加速度가 생긴다.

式(2-12)을 初期條件 $t=0, \omega=0$ 條件下에서 라플라스 變換하면

$$\Omega(s) = \frac{1}{Js+k} Q'(s) = \frac{k_3}{\tau_R s + 1} [Q_r(s) - Q_e(s)] \quad \dots \dots \dots (2-15)$$

$$\tau_R = J/k, \quad k_1 = \frac{1}{k} [\text{rad}/\text{N}\cdot\text{msec}]$$

그림 2-4에 說明한 대로, 1회전 強轉系統으로, 2차의 誘導자 傳達函數로서, 速度 制御系統의
總框圖를 製作하면 그림 2-4와 같다.

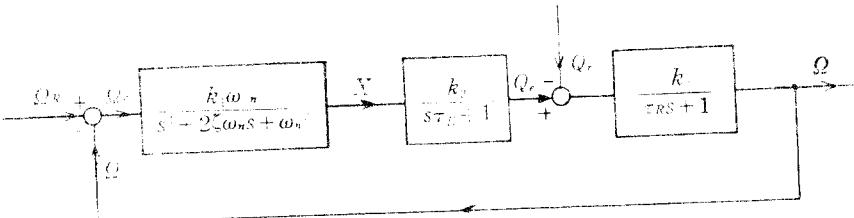


Fig. 2-4 Block diagram of speed control system expressed in transfer function

2.5 速度의 一般式

그림 2-4의 構造線圖로부터, 例轉數의 設定值 또는 負荷迴轉力의 變化에 對한 디이전 發電機 速度變化量 $\Omega(s)$ 는 式(2-16)으로 表示된다.

$$\Omega(s) = \frac{G_R}{1+G_o} \Omega_R(s) - \frac{G_R}{1+G_o} Q_r(s) \quad (2-16)$$

但し, $G_o = \frac{k_1 \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \cdot k_2 \frac{k_3}{\tau_R s + 1}$

$$G_R = -\frac{k_3}{\tau_P s + 1}$$

一般의 工程 發電機는 定值制御의 一種으로서 定常運轉中에 設定值를 變化시키지 않고 負荷變化에 對한 應答特性를 考慮한다.

即, 式(2-16)에서 $\Omega_R(s) = 0$ 로 둔다. 따라서 式(2-16)은

$$\Omega(s) = \frac{-G_R(s)}{1+G_o(s)} Q_r(s) = \frac{-k_3(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2) Q_r(s)}{\tau_R s^2 + (1 + 2\zeta\omega_n \tau_R) s^2 + (\tau_R \omega_n^2 + 2\zeta\omega_n) s + \omega_n^2 (1 + k_1 k_2 k_3)} \quad (2-17)$$

즉, 負荷變化와 同時に 設定值를 바꾸어 준다면 式(2-16)의 前項을 考慮해야 한다.

式(2-17)의 特性方程式은 다음과 같이 된다.

$$s^2 + \left(\frac{1}{\tau_R} + 2\zeta\omega_n\right) s^2 + \left(\omega_n^2 + \frac{2\zeta\omega_n}{\tau_R}\right) s + \frac{\omega_n^2}{\tau_R} + K = 0 \quad (2-18)$$

但し $K = \frac{\omega_n^2 k_1 k_2 k_3}{\tau_R}$

이제 發電機의 速度制御系統의 過渡應答, 定常應答 및 安定度 等은 式(2-18)으로 由來하는 特性方程式의 根에 依하여 決定되므로 우선 式(2-18)의 根을 s_1, s_2, s_3 라 하면 이를 求해보면 다음과 같다.

$$s_1 = -\sigma_1, \quad s_2 = -\sigma_2 + j\omega_n, \quad s_3 = -\sigma_3 - j\omega_n \quad (2-19)$$

$$\text{但}, \sigma_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{\tau_R} + 2\zeta\omega_n \right) + \sqrt{\frac{\sqrt{B^2 + 4A^3} + B}{2}} - \sqrt[3]{\frac{\sqrt{B^2 + 4A^3} - B}{2}} \quad \dots\dots (2-20)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\tau_R} + 2\zeta\omega_n - \sigma_1 \right) \quad \dots\dots (2-21)$$

$$\omega_o = \frac{1}{2} \sqrt{4[\omega_n^2 + 2\zeta\omega_n/\tau_R - 2\sigma_1\sigma_2] - 4\sigma_1^2} \quad \dots\dots (2-22)$$

$$A = -\frac{1}{3} \left[-\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\tau_R} + 2\zeta\omega_n \right)^2 + \omega_n^2 + 2\zeta\frac{\omega_n}{\tau_R} \right] \quad \dots\dots (2-23)$$

$$B = -\frac{2}{27} \left(\frac{1}{\tau_R} + 2\zeta\omega_n \right)^3 - \frac{1}{3} \left(\frac{1}{\tau_R} + 2\zeta\omega_n \right) \left(\omega_n^2 + 2\zeta\frac{\omega_n}{\tau_R} \right) + \omega_n^2 \frac{k_1 k_2 k_3}{\tau_R} + \frac{\omega_n^2}{\tau_R} \quad \dots\dots (2-24)$$

定常運轉中 負荷를 階段狀으로 除去하였을 때 即 $Q_r = -\frac{a}{s}$ ($a=1$ 인 경우)인 경우를 생각해 본다. 이때 $\Omega(s)$ 는

$$\Omega(s) = \frac{k_3/\tau_R(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}{s(s + \sigma_1)(s + \sigma_2 + j\omega_o)(s + \sigma_2 - j\omega_o)} \quad \dots\dots (2-25)$$

$$= \frac{C_0}{s} + \frac{C_1}{s + \sigma_1} + \frac{C_2}{s + \sigma_2 + j\omega_o} + \frac{C_3}{s + \sigma_2 - j\omega_o} \quad \dots\dots (2-26)$$

따라서 速度의 時間 函數 $\omega(t)$ 는 式(2-27)과 같다.

$$\omega(t) = C_0 + C_1 e^{-\sigma_1 t} + 2|C_2| e^{-\sigma_2 t} \cos(\omega_o t + \phi) \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec N}\cdot\text{m}} \right] \quad \dots\dots (2-27)$$

但,

$$C_0 = \frac{\frac{k_3}{\tau_R}}{\frac{k_1 k_2 k_3}{\tau_R} + \frac{1}{\tau_R}} = \frac{k_3}{k_1 k_2 k_3 + 1} \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec N}\cdot\text{m}} \right] \quad \dots\dots (2-28)$$

$$C_1 = \frac{-k_3/\tau_R(\sigma_1 - 2\zeta\omega_n\sigma_1 + \omega_n^2)}{\sigma_1[(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + \omega_o^2]} \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec N}\cdot\text{m}} \right] \quad \dots\dots (2-29)$$

$$C_2 = \frac{k_3/\tau_R[2\sigma_2\omega_o - 2\zeta\omega_n\omega_o - j(\sigma_2^2 + \omega_n^2 - \omega_o^2 - 2\zeta\omega_n\sigma_2)]}{2\omega_o(\sigma_2 + j\omega_o)(\sigma_1 - \sigma_2 - j\omega_o)} \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec N}\cdot\text{m}} \right] \quad (2-30)$$

$$C_3 = \frac{k_3/\tau_R[2\sigma_2\omega_o - 2\zeta\omega_n\omega_o + j(\sigma_2^2 + \omega_n^2 - \omega_o^2 - 2\zeta\omega_n\sigma_2)]}{2\omega_o(\sigma_2 - j\omega_o)(\sigma_1 - \sigma_2 + j\omega_o)} \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec N}\cdot\text{m}} \right] \quad (2-31)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sigma_2^2 + \omega_n^2 - \omega_o^2 - 2\zeta\omega_n\sigma_2}{2\sigma_2\omega_o - 2\zeta\omega_n\omega_o} + \tan^{-1} \frac{\omega_o}{\sigma_2} - \tan^{-1} \frac{\omega_o}{\sigma_1 - \sigma_2} \quad \dots\dots (2-32)$$

式(2-27)는 定數值, 指數函數 振動指數函數의 合으로서 式에 포함되어 있는 定數值에 따라 減衰振動, 또는 發散振動으로 될 수 있다. 減衰振動이 된다고 하니라도 最終的으로 남은 偏差 C_0 (off-set)에 對해서는 第4章에서 說明하기로 한다.

第三章 디이젤發電機의 速度制御系統에 있어서各機械定數值의 影響

3.1 調速機의 定數值가 過渡應答에 미치는 影響

過渡特性에 影響을 주는 諸機械定數子이 變化する 時 周轉特性能會論述하는 根軌跡法이 便 利하다. 即, 調速機의 定數와 以아울러 發電機의 離轉系統의 内阻抗과 依하여 定解자는 根軌跡

을 獨奏場面上에 나와 대로 連度特應을 試易하게 指定한 바 있다.

根軌跡을 그리기 為하여 式(2-18)에서 $K=0$ 로 하여 μ 를 계산한 결과를 그림 2-18에 표시하였다.

$$p_1 = -1/\varepsilon_R \quad \text{and} \quad p_2 = -\varepsilon_R$$

$$p_1 = -\zeta \omega_n + j\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \quad (3-2)$$

로 되어 이 점은 이根軸의始發點이 된다.

Ex: (3-1), (3-2), (3-3)에서 보면,

式(3-1), (3-2)에 의해 각 전동기의 회전수를 구할 때는 그에 대한 회전수로 표기되는

3個의 根 中에서 찾는 거

의 定數에 依하여 定해진다.

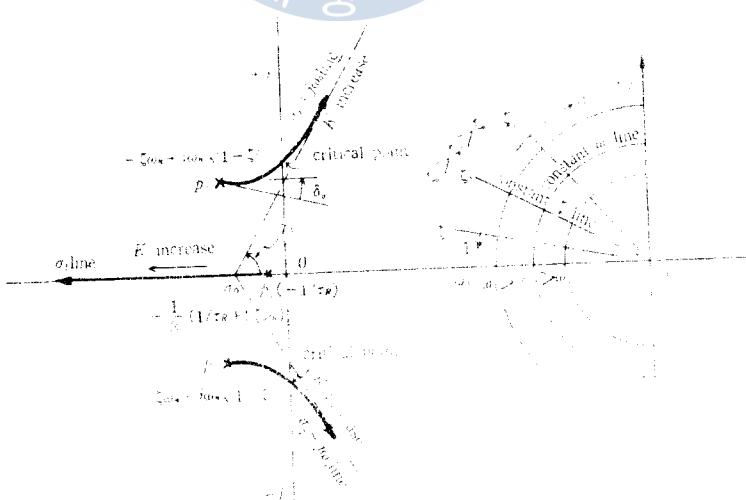


Fig. 3.1 Price contours by governor's constants and test test

$$\delta_o = 180^\circ - \left(\tan^{-1} \frac{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}{\sqrt{\zeta \omega_n - \frac{1}{\tau_R}}} + 90^\circ \right) \dots \dots \dots \quad (3-6)$$

이것으로부터 根軌跡을 推定한 것 이 그림 3·1과 같다.

여기서 $\sigma_0, \gamma_1, \delta_0$ 의 값에 影響을 주는 因子中 $1/\tau_R$ 은 그 값이 적으므로 根軌跡의 形態에는 거의 影響을 미치지 않으며 主로 調速機의 特性에 依하여 定해진다고 보아도 된다.

(1) 調速機 利得 (k_1)의 影響²⁰⁾

式(2-18)의 K 에는 k_1 以外에 $k_2, k_3, \omega_n, \tau_R$ 等의 因子가 包含되어 있으나 ω_n, τ_R 값이 變할 경우에 대해서는 다음에 繼續 論하므로 여기서는 說明을 省略하고, k_2 는 機關의 利得으로서 機關이 定해지면 特定值를 갖게 되며 k_3 역시 그려하다.

그림 3·1에서 $K = \omega_n^2 k_1 k_2 k_3 / \tau_R = 0$ 일 때는 極點이고 또한 根軌跡의 始發點이지만 k_1 이 增大해짐에 따라 그림 3·1에 나타낸 軌跡을 따라 特性方程式의 根은 移動해 나아간다.

σ_1 線은 k_1 이 增大함에 따라 急速히 減少함을 말해 주나 $\sigma_2 + j\omega_n$ 線은 k_1 이 增大함에 따라 負實數는 減少하고 虛數는 커져 가므로 振動函數의 振幅減少는 완만해진다.

k_1 이 增大하여 軌跡이 虛軸과 交叉하는 點(臨界點)을 넘어서면 $\sigma_2 < 0^\circ$ 되어 振動 振幅은 커지고 振動周波數도 높아짐을 나타내므로 k_1 을 調整할 수 있는 上限點이 定해진다.

(2) 固有角周波數(ω_n)의 影響

ω_n 의 값을 決定짓는 因子들은 式(2-3)에서 찾아 볼 수 있다. 이것들 中에서 큰 影響을 미치는 값은 k_3, w_f 이고 나머지 값은 設計時 調整할 수 있는 量들이다. 한편 ω_n 값은 近似的으로 $\sqrt{gk_3/w_f}$ [式(부-1-15) 參照]에 比例한다고 볼 수 있다.

機關設計時 出力當 랙크 移動距離가 確定되면 랙크 可動部分을 그만한 거리만큼 移動시키는 데 必要한 最小限의 驅動力 f_v 가 決定된다. 近似的으로 랙크의 微小한 變位에 대하여 $f_v = k_s x$ 가 成立하고 k_s 를 增加시키려면 f_v 를 增加(即 重錘을 크게)시켜야 한다. 萬一 그렇지 않으면 調速機利得이 變해 버린다.

調速機 利得을 一定하게 維持하면서 ω_n 을 바꾸는 것은 ω_n 을 바꿈으로 因하여 發生하는 利得變化는 外部 지렛대의 支點變更으로 이를 補償하는 境遇이다.

負荷가 階段狀으로 除去되었을 때 디이젤 發電機는 새로운 速度에서 安定된다. 式(2-27)에서 보면 σ_1 과 σ_2 가 클수록 빨리 過渡狀態를 지나 定常狀態로 突入함을 알 수 있다.

σ_1, σ_2 의 크기가 ω_n 에 依하여 받는 影響은 式(2-20), (2-21), (2-23), (2-24)에서 檢討하면 알 수 있다. 式(2-20)에서 3乘根의 項은 ω_n 에 依한 크기 變化는 적으므로 ω_n 이 커질수록 σ_1 이 커진다. σ_2 는 式(2-21)에서 檢討할 수 있다. 即 $-\sigma_1$ 이 包含되어 있기는 하나 增加되는 係數가 더 크기 때문에 結果的으로 ω_n 이 增加할수록 σ_1, σ_2 는 커지고 過渡期間을 짧아져서 빨리 整定狀態로 들어 간다.

(3) 減衰率比 (ζ)의 影響

ω_n 을 일정하게 하여 ζ 만 변화시킨다. ω_n , k_s 는 일정하게 하여 可動部分의 抵抗와 그 크기가 일정한 境遇로서 設計時 이는 程度 調整 可能한 量이다.

一般的으로 대고 可動部分의 抵抗은 크기가 일정한 積性抵抗과 速度에 比例한 粘性抵抗이 합성되어 있으나 線形解剖을 爲해서 調速機의 動作範圍內에서는 實際抵抗과 等價的是 地理比例型 粘性抵抗係數 σ_1 을 決定하고 調速機의 可動部分에 抵抗이 크게 될 경우 等價的粘性抵抗도 커지고 따라서 ζ 도 커진다.

ζ 가 變化할 경우의 影響도 ω_n 의 경우와 같은 方法으로 考察해 보면 알 수 있다. ζ 가 커질수록 σ_1 은 커지고 ω_n 은 작아진다. 즉 振動性은 빨리 消滅한다. 調速機는 減衰振動이므로 ζ 의 範圍은 $1 > \zeta > 0$ 이 되고 ζ 가 1에 가까울수록 過渡振動이 빨리 定常狀態에 入入한다.

3·2 디이젤發電機의 回轉系統의 時定數가 過渡應答에 미치는 影響

回轉系統의 時定數(τ_R)은 回轉系統의 惣性矩量(J)와 回轉粘性抵抗係數(k)로서 定해지는 定數($\tau_R = J/k$)이다.

最近 디이엔 機關의 材質, 製作技術의 發達과 너울의 有効壓力의 上昇과 대고 回轉速度가 높아짐으로써 機關의 크기가 점점 작아지는 傾向에 있고 機關과 直結된 發電機亦是 磁性材, 絶緣材와 材質向上, 發電機 冷却技術의 發達, 高速化 等의 理由로 發電機의 크기는 점점 작아지며 單位體積當 處理에너지 量이 커지고 있다.

이 傾向에 맞추어 回轉系統의 時定數는 작아지고 있다. (附錄Ⅱ 參照) 이 變化가 速度特性和 어떤 影響을 미치는가를 考察하고자 한다.

그림 3·1에서 τ_R 에 依하여 定해지는 根軌跡의 始發點은 τ_{R0} 이므로 $1/\tau_{R0}$ 을 그 값이 커야 根軌跡의 形態上의 變化는 가지오지 않는다. 速度 off-set에는 影響이 없으나 τ_R 이 작아지면 σ_1 은 커지고 σ_1 은 等者가 되는 값範圍內에서 완만히 減少함을 式(2-20)~(2-24)에서 알 수 있다. 即 σ_1 은 작아지므로 振動性이 오래 持續되고 速度는 缓慢화된다.

第四章 디이젤 發電機의 速度制御系統의 定常諧美特性

4·1 速度 off-set

负荷가 단계적으로除去되었을 때의 定常誤差 即, off-set를 最終值定理로서 求해보면 式(2-25)의 $\Omega(s)$ 에서

$$\text{速度} \mid_{\text{off set}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \mathcal{Q}(s) = \frac{G_R}{1 + G_o} \Big|_{s=0}$$

$$= \frac{k_3}{k_1 k_2 k_3 + 1} = \frac{1}{k_1 k_2 + k} \quad \dots \dots \dots \quad (4-1)$$

이 결과는 式(2-28)의 C_0 의 값과一致하고 있다.

4·2 機械定數値가 off-set에 미치는 影響

式(4-1)에包含된定數中廻轉系統의慣性모우먼트는off-set에影響을미치지않으며 k_2 은機關의利得으로서액크의單位移動當出力이큰大型機關일수록 k_2 는크므로off-set은減少된다.

한편 k 는 大型機關일 수록 커지므로 [式(부-2-10)参照]역시 off-set도 줄어든다고 할 수 있으나 그 影響이 k_1, k_2 에 比해 적으므로 考慮할 必要가 없다. 따라서 off-set에 가장 큰 영향을 미치는 定數는 k_1, k_2 이나 k_2 는 不變이므로 오직 調速機의 利得(k_1)에 依하여 調整되다고 말할 수 있다.

式(4-1)에서 보면 off-set는 ω_n^2 과는 無關한 것으로 나타나 있지만 式(부-1-11), 式(부-1-12)에서 考察해 보면 近似的으로 調速機의 動作點 近傍의 利得을 $k_1 = G/k_s$ 로 나타낼 수 있고 [式(부-1-15) 參照] off-set式은

$$C_o = \frac{1}{\frac{G}{k_2}k_2 + k} = \frac{1}{\frac{gm^2Gk_2}{m\omega_o^2} + k} \quad \dots \dots \dots \quad (4-2)$$

로 表示할 수 있다.

루우프 개인을 크게 할수록 off-set를 減少시킬 수 있으므로 이 目的으로 利得을 크게 하려면
도 크게 하는 것이 좋다. 그러나 5가 커지면 整定時間은 짧아지나 機械式 調速機에서는 乾性摩
擦抵抗에 依한 不感帶가 커지게 되므로 이 點을 考慮하여 5의 값을 決定해야 한다. 한편 油壓
式 調速機에 있어서는 不感帶를 考慮할 必要가 없다.

(3) τ_{R^0} 미치는 影響

로서 式(5-5)의 첫 항과 두째 항이 모두零보다 크므로 τ_R 이 增加할수록 安定度는 커지나 實際問題에 있어서 τ_R 값은 調整할 수 있는 量이 아니므로 큰 意義를 가질 수 없다.



第六章 實驗室

6-1 實驗裝置 起動法

第2章圖6-1為實驗室試驗裝置。此裝置由一試驗室，一試驗車輛及試驗機組成。試驗室內有起動裝置、試驗車輛及試驗機組。試驗車輛為試驗機組的載具，可使試驗機組在不同速度下運轉。試驗機組由三相發電機、三相電動機、起動器、變壓器、起動電容及試驗電線等組成。試驗機組之發電機為三相發電機，其額定功率為15瓩，其額定轉速為每分鐘1500轉。試驗機組之電動機為三相電動機，其額定功率為15瓩，其額定轉速為每分鐘1500轉。

Table 6-1 Rated values of power plant in laboratory test

	試驗機組	試驗電動機	試驗發電機
額定功率	15瓩	15瓩	15瓩
額定轉速	1500轉/分	1500轉/分	1500轉/分
額定電壓	220V	220V	220V
額定電流	2A	2A	2A

試驗機組之發電機為三相發電機，其額定功率為15瓩，其額定轉速為每分鐘1500轉。

試驗機組之電動機為三相電動機，其額定功率為15瓩，其額定轉速為每分鐘1500轉。

Fig. 6-1 Experimental equipment

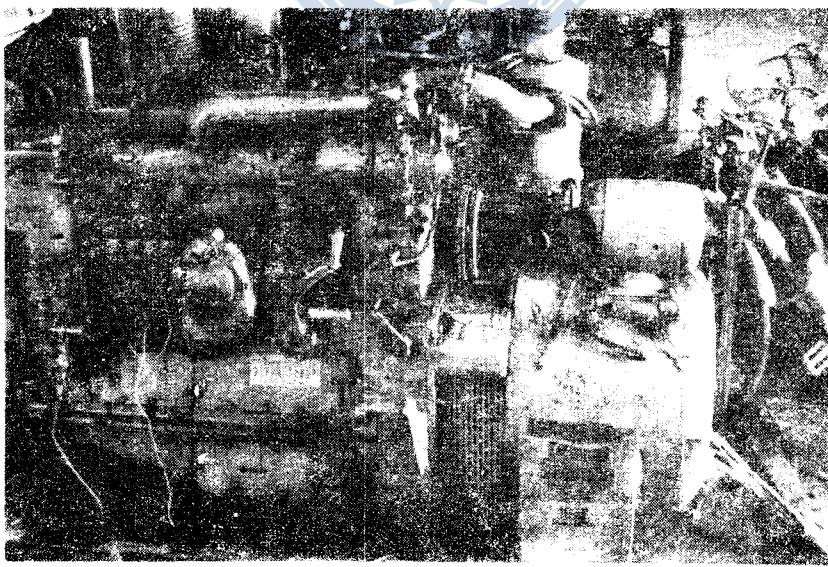


Fig. 6-1 Experimental equipment

그림 6·1에서 알 수 있는 바와 같이 發電機의 回轉速度, 燃料 噴射量, 負荷의 크기 (電力, 電流電壓) 等 各種 測定值는 pen recorder에 記錄될 수 있도록 하였다. 負荷는 니크롬 線을 架空電線처럼 매달고 나이프스위치로써 4段으로 調整할 수 있도록 하였다. 速度檢出은 原來 이 供試發電機에 附着되어 있는 배터리 充電用 小型 直流分捲發電機를 他屬發電機로 바꾸어 DC 12[V] 電源으로 一定하게 励磁시켜 주어 速度에 比例한 電壓을 얻도록 하였다.²¹⁾

래크 變位의 記錄을 為해서는 래크의 移動과 聯動되도록 한 레버끝에 달려있는 조그만한 銅 롤리가 슬라이더형으로 감겨있는 抵抗線과 롤링콘택트 되도록 하여 래크 移動에 比例한 電壓을 얻을 수 있도록 하였다.

本 速度特性 研究에 必要한 諸機械定數值를 供試이젤 發電機로부터 求한 값은 表 6·2와 같다.

6·2 負荷實驗

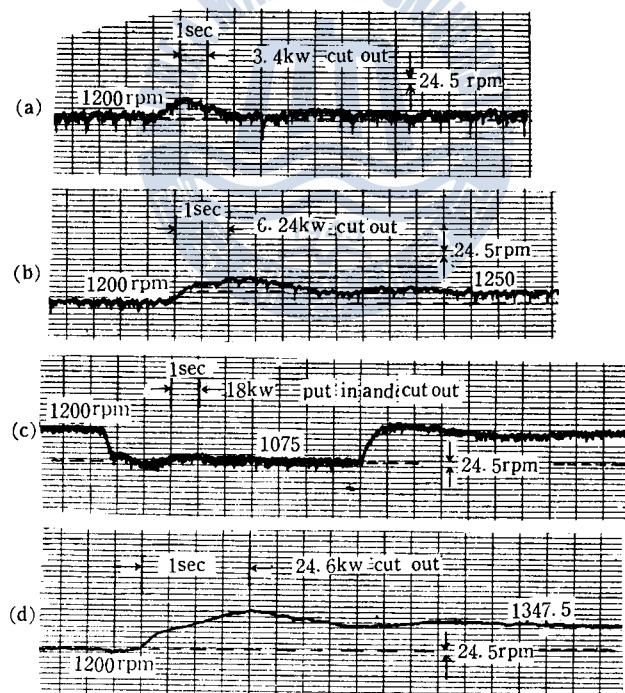


Fig. 6·2 The transient speed variation corresponding to the stepwise load variation

Table 6·2 Experimentally determined values of coefficients of speed control system for sampled power generating set

gain of governor(k_g) 0.44[mm·sec/rad]	natural angular velocity of governor(ω_n)	5.62[rad/sec]
gain of engine(k_e) 25.45[N·m/mm]	damping ratio(ζ)	0.45
gain of rotator(k_r) 1.67[rad/N·m sec]	time constant of rotator(τ_R)	6.08[sec]
polar moment of inertia of rotating system(J) 3.65[kg·m ²]	viscous frictional coefficient of rotator(k)	0.6[N·m sec/rad]

1200[rpm]의 定格速度로 調整해 두고서 몇 가지 크기의 負荷를 投入遮斷하였을 때 發電機 角速度의 過渡應答波形은 그림 6·2과 같다.

負荷 크기에 韻動이 發生하였을 때 振動性過渡期를 지나 速度가 整定되는데 그 時間은 1.5[sec] 以內이다. 한편 같은 크기의 負荷를 投入遮斷하였을 때는 off-set가 남지 않고 原來의 速度로 回復되고 있다.



第七章 實驗結果 및 檢討

7·1 諸機械定數 變化에 對한 各 特性定數計算

第6章에서 本速度制御系統에 나온 單位別 傳達函數의 各 機械定數值가 實驗을 거쳐 구해졌다. 이려한 值들로부터 式(2-27)에 주어진 諸特性定數值를 計算해 보면 다음과 같다.

$$C_0 = 0.084813, \quad C_1 = -0.05448, \quad 2|C_2| = 0.031594, \quad \sigma_1 = 3.741$$

$$\sigma_2 = 0.7410, \quad \omega_0 = 5.128 \quad \phi = 195.6^\circ$$

위의 值들을 式(2-27)에 代入하면 單位廻轉力 變化에 對한 供試機關의 速度特性式이 된다.

Table 7·1 The values of parameters for various values of ω_n^2 $(\zeta = 0.45, \tau_R = 6.08)$

ω_n^2	C_0	C_1	$2 C_2 $	σ_1	σ_2	ω_0	ϕ
15	0.084813	-0.04418	0.041411	3.055	0.025	3.259	212°
20	"	-0.050144	0.039820	3.465	0.3465	4.25	209.3°
※31.58	"	-0.05448	0.031594	3.741	0.7410	5.128	195.6°
40	"	-0.057542	0.027616	3.838	1	5.67	188°
50	"	-0.06134	0.019614	3.958	1.285	6.25	183°

Table 7·2 The values of parameters for various values of ζ $(\omega_n^2 = 31.58, \tau_R = 6.08)$

ζ	C_0	C_1	$2 C_2 $	σ_1	σ_2	ω_0	ϕ
0.2	0.084813	-0.09316	0.011714	3.04	0.036	5.811	203°
0.3	"	-0.064194	0.023122	3.22	0.16	5.59	200.7°
※0.45	"	-0.05448	0.031594	3.74	0.7410	5.128	195.6°
0.6	"	-0.03458	0.051382	4.62	1.135	4.55	173°
0.8	"	-0.015985	0.070428	6.45	1.35	3.71	196.6°

Table 7·3 The values of parameters for various values of τ_R $(\omega_n^2 = 31.58, \zeta = 0.45)$

τ_R	C_0	C_1	$2 C_2 $	σ_1	σ_2	ω_0	ϕ
3.5	0.084813	-0.04452	0.06041	5.68	0.029	5.63	217°
4	0 " "	-0.047877	0.050505	4.99	0.16	5.59	216.5°
6	"	-0.05413	0.031720	4.90	0.71	5.21	201.3°
※6.08	"	-0.05448	0.031594	3.741	0.74	5.128	195.6°
10	"	-0.061894	0.008324	3.03	1.08	4.95	178.2°

[表中※는 供試發電機의 動作 狀態를 가리킴.]

7-1. 7-2. 7-3에서 3개의 機械定數變化가 σ_1, σ_2 에 미치는影響을 調速機 利得의 特性曲線에 미친影響과 同様에 異同. 式(2-27)의 諸機械定數值은 具體的値로 計算하여 그에 대응하는 值를 표기함.

Table 7-4 The values of parameters for various values of k_1

k_1	C	C_1	C/C_1	σ_1	σ_2	σ_s	ϕ
0.85	0.044934	-0.02564	0.020003	5.514	-0.16	5.84	229.1°
0.76	0.050164	-0.02811	0.021102	5.294	0	5.691	224°
0.6	0.062041	-0.03629	0.031880	4.586	0.321	5.421	213.1°
0.44	0.084913	-0.05148	0.031504	3.741	6.7410	5.128	195.6°
0.1	0.318716	-0.11879	0.008281	0.646	2.142	4.872	191.5°
0.65	0.536166	-0.45402	0.006863	0.531	2.344	5.413	204.4°

7-1, 7-2, 7-3에서 3개의 機械定數變化가 σ_1, σ_2 에 미치는影響을 調速機 利得의 特性曲線에 미친影響은 ω_s 와 τ_R 의 値과 対應로 되고 있다.

7-2 調速機 利得 變化에 對한 速度特性 變化

3-1章에서는 本 制御系統의 速度特性을 根軌跡法에 依한 一般的인 解析法을 簡略하게 記述하였다.

여기서는 實驗을 通하여 얻은 諸機械定數值을 式(2-18)에 代入하여 調速機 利得이 變化 경우 速度特性을 具體的으로 考察해 보고자 한다.

式(2-18)의 特性方程式에 求해진 諸機械定數值을 代入하여 보면

$$s^3 + 5.22s^2 + 32.39s + 5.02 + 31.58 \times 25.45 \\ \times 0.27 \times k_1 = 0 \dots \dots \dots (7-1)$$

$k_1=0$ 일 때 式(7-1)의 根, 即 根軌跡의 極은 $p_1=-0.16, p_2=-2.53+j5.02, p_3=-2.53-j5.02$, 漸近線의 交點 $\sigma_0=-1.74$, 根軌跡의 始發角 $\delta_0=26.4^\circ$ 等으로 되고 이들을 利用하여 本 速度制御系統의 根軌跡를 그린 것 이 그림 7-1이다. k_1 이 커짐에 따라 根은 3方向으로 멀어지 가는데 그 中 虛軸과 交叉하는 점에서 調速機의 利得은 $k_1=0.76$ 이다. 이 값은 式(7-1)에 $s+5.22=0$ 을 代入하면 쉽게 求할 수 있다.

이 點은 p_c 로서 表示되어 있다. 따라서 調速機의 利得을 이 點 以上에 調整하면 機關은 험팅이 發生하게 된다.

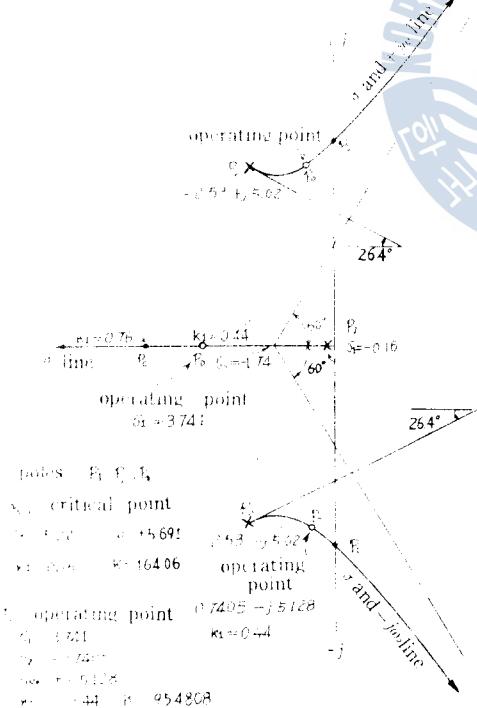


Fig. 7-1 The root locus of the speed control system

現在 이 供試디이젤 發電機의 動作狀態는 $k_1=0.44$ 으로 臨界點까지는 $0.76 - 0.44 = 0.32$ 의 餘裕가 있다.

7·3 過渡應答의 比較

供試디이젤 發電機는 $k_1=0.44$ 에서 動作하고 있으므로 이 때의 各 機械定數值를 式(2-27)에 代入하면 이 式은 單位負荷迴轉力[N·m] 減少當 供試디이젤 發電機 角速度 變化[rad/sec]의 理論的 計算式이 된다. 그림 7·2는 24 [6kw]의 負荷가 遷斷되었을 때 角速度變化를 rpm 單位로 바꿔 理論值와 測定值를 比較한 것이다.

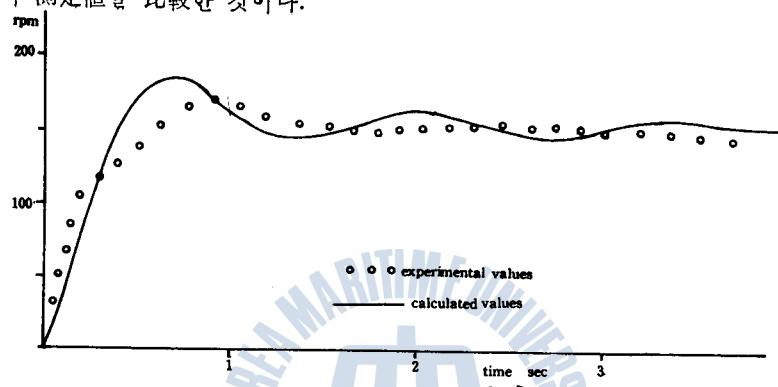


Fig. 7·2 Comparision of calculated values and experimental values of speed

그림에서 보면 오버슛트에 있어서 理論的 計算值가 實測值보다 크게 나오고 脈動周波數에 있어서도 理論的 計算值가 實測值보다 크게 나오고 있다. 그 理由는 理論式을 誘導할 때 近似線型化하였고, 本速度制御系에 包含되는 全機構의 非線型性抵抗, ロスト 모우숀 等에 基因한 것으로 推測된다.

7·4 速度 off-set에 對한 檢討

負荷變動이 있은 후 1.5[sec] 以內에 새로운 定常狀態로 들어가는데 過渡的 變化는 時間이 짧아 發電機에 對해서는 아무런 問題될 것이 없다. 다만 時間이 經過해도 끝까지 남게 되는 off-set는 發電機로서는 致命的 缺點이 된다. 即 發電周波數가 변화하기 때문이다.

그림 7·3에서 보면 理論值와 實際值가 中間負化에서는 比較的一致되고 있는데 輕負荷와 重負荷에서 약간의 不一致性를 보이고 있다.

그림 7·3에 臨界值 off-set 線이 그어져 있는데 供試디이젤 發電機로서는 off-set를 줄이기 為해 利得을 增加시킴에 있어서 이 線以上이 되도록 할 수 없다.

結局 利得 增加만의 方法으로서 off-set를 없앨 수 없다.

實驗 記錄을 보면 off-set는 負荷의 크기에 거의 比例하고 있으므로 off-set를 없애는 方法으로 負荷의 크기에 比例하여 速度設定值를 바꿔 주는 것도 하나의 方法이다. 이 경우에

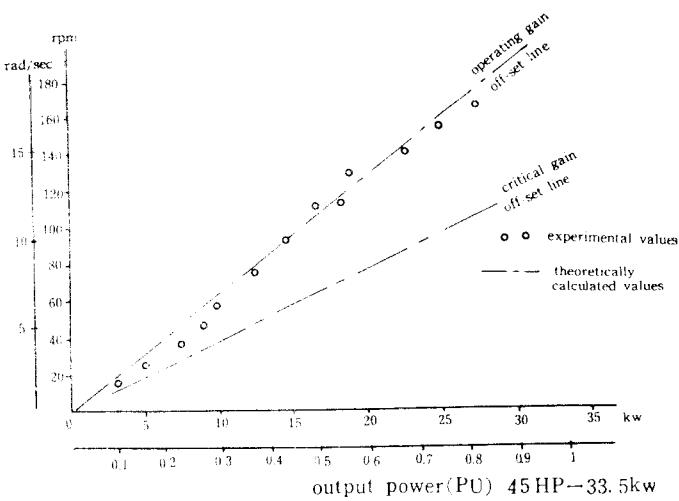


Fig. 7-3 The comparison of experimental values and calculated values of speed off-set

$Q_r = \frac{-1}{s} G_0$ 階段狀負荷에對하여 이것과 크기가 같은反對方向의 off-set가 생기도록 Ω_R 을變化

시작할 때의 단위에 ω_r 이 같은 V 를 하면 式(2-16)으로부터 다음과 같이 된다.

$$\lim_{s \rightarrow \infty} s + \frac{G_0}{1+G_0} + \frac{V}{s} = \lim_{s \rightarrow \infty} s - \frac{G_R}{1+G_0} - \frac{1}{s} \quad (7-2)$$

計算結果

$$V = \frac{1}{k_1 k_2} \quad (7-3)$$

off-set은 相殺계로 調速機의 設定值變化로 바꾸려면

$$\Delta x_B = \frac{k_1}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 + 1} \cdot \frac{1}{k_1} \cdot \frac{P_0}{40\pi} \quad [\text{mm}] \quad (7-4)$$

P_0 : 發電機出力

式(7-4)는 出力 P_0 에 對する 設定值變化의 組과로서 調速機의 轉子轉矩 強度에 따라 Δx_B 가 移動계 組과 為한 裝置의 設計에 基礎가 된다.

7-5 아나로그 電子計算機에 依한 檢討

機械發電機의 速度特性能을 아날로그 電子計算機에 依하여 檢討하는 데는 一般에 難이한 問題이다. 速度特性能을 依하여 速度特性에 影響하는 各種諸因子를 考慮하는 것은 不可能하다. 但して 計算機에 依한 시뮬레이션은 有能하다. 第5章에서 説明한通り, 速度特性에 影響하는 因子는 計算機에 依한 시뮬레이션에 依하여 速度特性에 影響하는 各種諸因子를 考慮하는 데에 方便하다. 第6章에 提示한 各種諸機械數值을 利用하여 아나로그 電子計算機에 依하여 速度特性를 檢討한다.

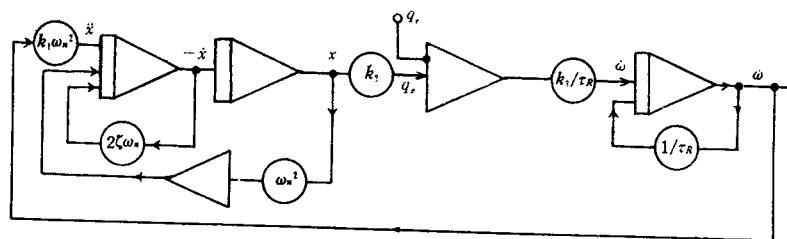


Fig. 7·4 Programming of analogue computer for the speeed control system

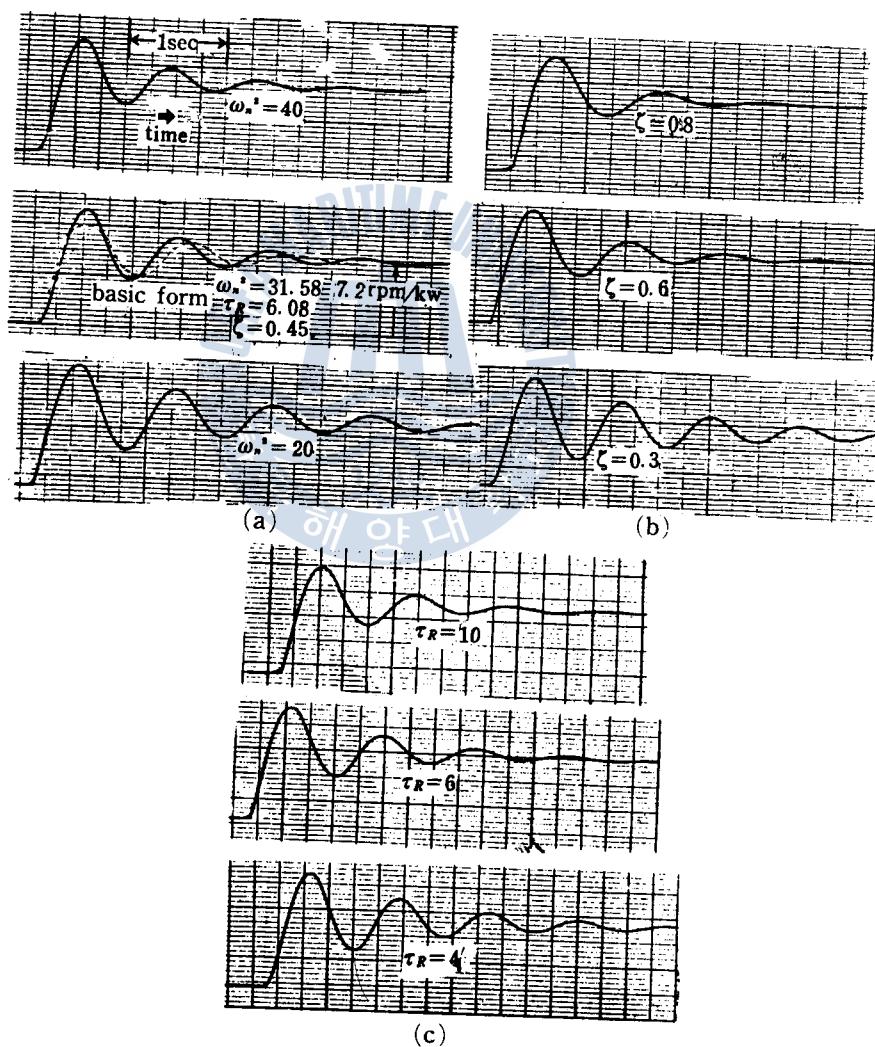


Fig. 7·5 The speed response in analogue computer when each parameters is varied

3. 3. 3. 破壊機理 속도制御增益의 調整 領域

图 7.4와 같이 2.5.3.3. 와 다음 각 組數를 바꿔가면서 單位負荷을 除去하였을 때 速度變化增益을 計算한 결과 그림 7.5이다. 이때 電力電壓는 $2[V/cm]$ 로 하고 off-set는 $7.2[rpm/kW]$ 로 調整하였다. 그림의 (a)는 基本 機械定數 $\omega_n = 31.56$, $\zeta = 0.45$, $\tau_R = 6.08$ 에서 ω_n 만 바뀌자는 경우, (b)는 ζ 만 바뀌자는 경우, (c)는 τ_R 만 바뀌자는 경우이다.

理論結果를 보면 ω_n , ζ , τ_R 가 각각 다른 σ_1 , σ_2 의 그기 比率에 있어서 σ_1 이 커지고 σ_2 는 減少하여 振動狀態가 手續화되며 速度特性이 나빠지는 傾向은 不安定性으로 되어가는 것은 理論結果와 同一하다. 따라서 ω_n , ζ , τ_R 가 커지면 安定度가 增加되어 臨界利得도 커지므로 off-set을 즐이기 위하여 利得을 增加시킬 수 있는 餘裕가 생긴다.



第八章 調速機의 最適利得值 考察

本速度制御系統에 包含되고 있는 퍼래미터는 $k_1, k_2, k, \zeta, \omega_n, \tau_R$ 이며 이 중 디이겔發電機가 決定되면 k_2, k, τ_R 等은 不變定數로 定해져 버린다. 따라서 調速機의 ζ, ω_n, k_1 을 如何히 調整함으로써 負荷가 階段的인 變化時 過渡偏差와 殘留偏差를 最小로 할 수 있느냐가 問題된다.

實際問題로서 調速機를 設計할 때 利用할 디이겔發電機의 機械的 特性에 맞추어 ω_n, ζ, k_1 을 調程할 수 있겠으나 發電機를 操作하는 者는 調速機가 確定되고 나면 오직 調速機 利得 k_1 만을 바꿀 수 있다. 지금까지 論한 바와 같이 k_1 을 크게 하면 速度off-set는 줄일 수 있으나 過渡應答이 나빠지므로 k_1 을 어떠한 값으로 調整할 것인가가 問題가 된다. 여기서는 過渡偏差의 2乘面積과 速度off-set의 2乘의 합으로 構成되는 評價函數를 最小로 하는 k_1 을 最適值라 하고 이를 計算해 보기로 한다.

8·1 調速機의 利得(k_1)의 最適值

評價函數를 다음과 같이 定義한다.

$$S = \int_0^\infty |e(t) - e(\infty)|^2 dt + \alpha C^2 = I_1 + \alpha I_2 \quad \dots \dots \dots \quad (8-1)$$

誤差의 s 函數는 式(8-2)과 같다.

$$J_0(k_1) = L \left\{ e(t) - e(\infty) \right\} = \frac{k_3/\tau_R(s^2 + 2\zeta\omega_n + \omega_n^2)}{s^3 + (1/\tau_R + 2\zeta\omega_n)s^2 + (\omega_n^2 + 2\zeta\omega_n/\tau_R)s + \omega_n^2/\tau_R(1 + k_1k_2k_3)} \quad \dots \dots \dots \quad (8-2)$$

式(8-1)의 첫 項은 過渡偏差, 둘째 項은 殘留偏差의 제곱에 weighting coefficient를 곱한 것이다. 最適值를 求함에 있어서 過渡偏差와 殘留偏差 어느 쪽에 重點을 두느냐에 따라 α 의 크기가 정해진다.

Parsevals定理²²⁾에 따라 式(8-1)을 計算해 보면

$$I_1 = \frac{b_2^2 d_0 d_1 + (b_1 - 2b_0 b_2) d_0 d_3 + b_0^2 d_1 d_3}{2d_0 d_3 (-d_0 d_3 + d_1 d_2)} \quad \dots \dots \dots \quad (8-3)$$

$$I_2 = \frac{k_3^2}{(k_1 k_2 k_3 + 1)^2} \quad \dots \dots \dots \quad (8-4)$$

$$\text{但 } \begin{cases} d_0 = \omega_n^2/\tau_R + \omega_n^2 k_1 k_2 k_3 / \tau_R, & d_1 = \omega_n^2 + 2\zeta\omega_n/\tau_R \\ d_2 = 1/\tau_R + 2\zeta\omega_n, & d_3 = 1, \quad b_0 = \omega_n^2, \quad b_1 = 2\zeta\omega_n, \quad b_2 = 1 \end{cases}$$

式(8-1)의 C 는 速度off-set로서 이 값은 時間과 關係 없고 理想的인 경우는 零이다. 여기서는 $\alpha=1$ 로 보고서 ω_n, ζ 의 몇 가지 값에 對하여 k_1 이 變할 경우 J_0 最小值와 그때의 k_1, I_1, I_2 를 求하여 表 8·1에 表示하였다. 이 表에 依하면 供試디이겔發電機는 現在 諸機械定數狀態가 最適이 아님을 알 수 있다.

各 ω_n, ζ 에 對하여 最適 k_1 이 存在하나 ω_n 가 增大된 값일수록 k_1 이 커지고 ζ 가 큰 값일수록 k_1

Table 8·1 Optimal gain of governor

ζ	ω_n	4.5	5.62	6.5	7.5
0.3	k_1	0.25	0.30	0.34	0.40
	I_1	0.431708	0.352024	0.303462	0.268715
	I_2	0.020636	0.014750	0.0011683	0.008607
	J_s	0.45234	0.366774	0.319140	0.277322
0.4	k_1	0.28	0.35	0.41	0.47
	I_1	0.411779	0.335496	0.272816	0.255858
	I_2	0.016758	0.011066	0.008218	0.006339
	J_s	0.428537	0.346521	0.301633	0.319248
0.45	k_1	0.3	0.38	0.44	0.51
	I_1	0.407948	0.332357	0.290086	0.25340
	I_2	0.014750	0.009482	0.007188	0.005226
	J_s	0.422698	0.341853	0.277268	0.258626
0.6	k_1	0.35	0.40	0.51	0.58
	I_1	0.408930	0.335127	0.291052	0.254362
	I_2	0.011066	0.008607	0.0053505	0.004230
	J_s	0.419995	0.343734	0.2964011	0.258600
0.8	k_1	0.40	0.50	0.56	0.66
	I_1	0.424668	0.346715	0.303086	0.265005
	I_2	0.008607	0.005632	0.004534	0.003305
	J_s	0.4332752	0.352348	0.307620	0.268309

도 커진다. 즉 ω_n, ζ 가 커질수록 安定度는 좋아지고 이에 따라 最適 k_1 도 함께 커지고 있다.

8·2 周波數應答에 依한 檢討

本速度制御系統의 特性을 周波數應答으로 檢討해 보기 위하여 M_p 值를 計算해 보기로 한다.

$Q_r(s)$ 에서 $Q(s)$ 까지의 傳達函數를 $F(s)$ 라 하고 $|F(j\omega_p)|$ 를 M 라 하면

$$M = |F(j\omega_p)| = \frac{k_1}{\tau_R} \sqrt{(\omega_n^2 - \omega_p^2)^2 + (2\xi\omega_n\omega_p)^2}$$

$$\sqrt{\left[\frac{\omega_n^2}{\tau_R} (1 + k_1 k_2 k_3) - (1/\tau_R + 2\xi\omega_n) \omega_p^2 \right]^2 + \left[\left(\omega_n^2 + \frac{2\xi\omega_n}{\tau_R} \right) \omega_p + \omega_p^3 \right]^2}$$

.....(8-5)

式(8-5)에 动作狀態의 $\omega_n=5.62, \zeta=0.45$ 에서 最適 調速機利得 $k_1=0.38$ 인 것에 對해서 M 의 值을 計算해 보면 表 8·2와 같아 된다.

Table 8·2 Values of M at $\omega_n=5.62, \zeta=0.45, k_1=0.38$

ω_p	0.1	0.2	0.4	0.6	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	2.0	4.0
M	0.34	0.36	0.43	0.56	0.93	1.12	1.35	1.58	1.65	1.48	0.77	0.26

즉 이 系統의 共振值 M_s 는 1.69가 되며 이때 共振 周波數 $\omega_r = 1.3\text{c}$ 된다. 普通 自動調整系에 있어서는 $M_s = 1.45$ 程度가 제일 좋은 것으로 되어 있으나 高次系에서는 반드시 그렇지 않음을 알 수 있다.

M_s 值 計算에서 ω_n, ζ 가 달라짐에 따라 ω_r, M_s 의 값이 달라지겠지만 위 計算에서 $\omega_n^2(1+k_1k_2k_3)/\tau_R - (1/\tau_R + 2\zeta\omega_n)\omega^2_s = 0$ 近傍의 ω_s 값에서 M_s 가 存在함에 留意할 때 $\omega_n\zeta$ 增大할수록 ω_r 값이 큰 쪽으로 移動하고 M_s 값은 조금식 增大하는 傾向을 가리키며 ζ 의 값은 거의 影響을 미치지 않는 것을 式(8-5)에서 알 수 있다.

M_s 值 計算過程에서 보면 本速度制御系統은 帶域幅이 좁은 low pass filter의 特性을 가지므로 실린더內의 燃燒狀態變化와 피스턴과 크랭크 角度關係에서 생기는 高周波性 加振力에 對해서는 鈍感하고 周期가 4[sec] 전후의 加振力에 對해서는 銳敏함을 알 수 있다.



第九章 結論

以上의 대니센發電機의 速度調節特性的에 關する理論的解説과 實驗的結果는, 電子計算機에
依存하지 아니하는, 대니센發電機의 速度調節特性的에 關する 結論을 주고자 한다.

(1) 대니센發電機의 速度調節示流形에 包含되어 있는 非線形要素은 速度特性的 過渡特性的
特性和 理論의 解析와 實驗의 結果는 比較的一致하였다.

(2) ω_n, ζ, τ_n 은 速度特性的 同上은데, すなはち 調速機의 容量이 強弱, 単位出力當 一单位
を 發電機(機關)할 때의 速度安定度는 向上된다.

(3) 連心型 機械式 調速機는 能利用하고 있는 中型 대지 小型 기관 發電機의 速度應答特性
은 指定時間 10秒 이내(供試機 기관 發電機에서는 1.5 sec)이나 더욱 빨라지도록 改善되 어야
한다.

(4) 連心型 機械式 調速機는 負荷變動에 따른 off-set가 不可避外로 그려 생긴다. Off-set의 크
기는 調速機의 利得이 100%를, 大量機械을 有する 시스템의 鈕轉粘性 係數(k)는 影響을 미친
미치고 ζ 와 構造도 有する 것은 影響을 미치지 않는다.

이 off-set는 調速機의 利得을 크게 當으로서 速度 할 수 있으나 이 方法에는 限制點이 있다.

(5) 過渡速度特性을 改善하기 為하여 調速機의 利得을 最適值로 調節하면 過渡偏差는 亳
全 없으나 off-set는 커진다.

(6) 供試發電機에 對하여 1/4 [cycle/sec] 程度의 高은 周波数의 加振力에는 速度應答特性이
銳敏하여 不安定한 狀態가 되기 쉽다.

以上으로서 대니센發電機의 速度特性에 關한 一般的 理論, 實驗을 通過 定數決定, 이 定數
로부터 諸般 特性和 各 定數間의 相互 影響을 考察하였다.

速度 off-set는 不可避外로 存在함으로서 이를 減少시키는 方案을 다음과 같이 提示한다.

(1) 發電機 出力側에 電力變化를 檢出하여 이것에 比例하게 設定値를 取하기 주는 方法을 採
擇할 수 있다.

(2) ζ 와 ω_n 을 크게 하면 安定度의 臨界値는 増大하므로 調速機의 利得을 크게 하여 off-set을 全
消할 수 있다. 調速機의 利得을 크게 하면 過渡特性이 大幅으로 改善하기 為해서는 電機의
移動을 既存의 메커니즘 以外에 二重으로 출작할 수 있도록 하여 負荷의 증가에 比例한
원스形 움직임을 넣어야 주도록 한다.

그러나 이러한 裝置를 하였을 때 數個 대니센發電機가 並列運轉일 경우 負荷의 分配에 미치
는 影響等은 앞으로 繼續研究되어야 할 問題이다.

速度 off-set을 減縮하기 為한 具體的인 方法 몇 가지에 對한 實驗, 速度 off-set의 減少가 船舶의
發電機 設置 容量을 輕減시키는 程度 等에 對해서는 앞으로 더욱 研究되어야 할 問題이다.

參 考 文 獻

- 1) 李成龍 : 最近商船에 있어서 發電機 容量에 對한 考察, 韓國海洋大學 論文集 第9輯, 1974, p. 6.
- 2) 日本船用機關學會誌 : 船用ティーゼル 發電裝置の速度變動率について, 日本船用機關學會, 中小型ディーゼル機關研究委員會, 1974, 9月號
- 3) 磯村修一, 表原功 : 2サイクル ティーゼル 機關の動特性, 三菱重技報, Vol. 3, No. 5, 1966-9
- 4) 伊藤堅 : カソリン機關の動特性, 計測自動制御學會 論文集, 1966, 第3卷 第2號, p. 21.
- 5) 葉山眞治, 小泉磐夫 : 船用ティーゼル 機關の動特性, 内燃機關 Vol 9, No100, 1970. 8
- 6) D. E. Bowns, MI Mech E : The Dynamic transfer characteristics of reciprocating engine, proc Instn Mech. Engrs 1970-71 Vol. 185 16/71
- 7) 高橋利衛 : 内燃機關の調速について(その1) 日本機械學會誌 第62卷 第48-3號, 1959. 4
- 8) 同人 : 同 題目 (その2) 日本機械學會誌, 第62卷 第48-4號, 1956. 5
- 9) 萩野英夫, 中村入州夫, 田中規稔 : 流體ガバナ, 内燃機關, 8卷9號, 1969-9
- 10) FERBER R SCHLERLF, RAYMOND R ANGELL : Governor tests by simulates isolation of hydraulic turbine units, IEEE transaction on power apparatus and system Vol pas-87, No. 5, May. 1968.
- 11) N. G ALVIS : Electric hydraulic governor control for industrial and commercial gas turbine use, transaction of the ASME Journal of Engineering for power, July, 1966/243
- 12) D. G RAMEY JHON, W SKOOLGLUND : Detailed hydrogovernor representation for system stability studies의 appendix 1. IEEE. transaction on power apparatus and system Vol. pas-89 No. 1 January. 1970
- 13) 中田考 : 自動制御の理論, オーム社, 東京, 1967. 5, p. 125.
- 14) 長尾不二夫 : 内燃機關講義, 義賢堂, 東京, 1968. 4, p. 225.
- 15) 上掲書, p. 13.
- 16) Benjamin C Kuo : automatic control system 2nd Ed. Prentice Hall INC, 1967, p. 23
- 17) 河注植 : 自動制御, 海事圖書出版部, 釜山, 1974, p. 106.
- 18) 前掲書, p. 41.
- 19) 盧彰注 : 디이젤엔진의 諸定數가 速度特性에 미치는 影響에 關한 研究, 大韓機械學會誌 15卷 4號, 1975, 12
- 20) 河注植, 盧彰注 : 船舶에 있어서 内燃機關驅動發電機의 速度安定度에 關한 研究, 大韓電氣學會誌 24卷 4號, 1975, 7
- 21) 盧彰注 : 디이젤機關의 傳達函數 測定方法에 關한 研究, 韓國海洋大學論文集 第10輯(1975. 4)의 附錄
- 22) John E. Gibson : Nonlinear automatic control, Mc Grawhill New York, 1963. p. 34.
- 23) Gordon J. Murphy : Basic Automatic control theory, D. VAN Nostrand company INC, London, p. 419.

附錄 I. 調速機의 傳達函數 誘導

本論 그림2·3을 참조하여 運動式을 세워 보면 自由度1인 運動으로서 重錘는廻轉하면서 舌의 자고 오므라지는 運動을 하므로 可能한 實際와 接近시키기 為하여 Lagrange 運動方程式을 適用 시키기로 한다.

이 系의 全運動에너지 는

$$T = \frac{1}{2} \left[2 \frac{w_f}{g} \left\{ (r_o + l_1 \sin \theta)^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + l_1^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} + \frac{w_r}{g} l_1^2 \cos \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \quad (\text{부-1-1})$$

式(부-1-1)에는 重錘의 運動에너지, 랙크可動部의 運動에너지가 包含되고 나머지는 無視되고 있다. 重錘을 廻轉시켜주는 齒車의 運動에너지는 랙크의 運動系와는 關係없으므로 考慮하지 않아도 된다.

外力에 依한 모우면트는 w_f 의 自重과 용수철의 壓縮에 依한 두 가지이다.

$$M = 2l_1 w_f \sin \theta - k_3 l_2^2 \sin \theta \cos \theta \quad (\text{부-1-2})$$

但 용수철은 $\theta=0$ 에서 自由로운 狀態라고 假定한다.

Lagrange 運動方程式은 式(부-1-3)과 같다.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k \quad (k=1, 2, 3, \dots) \quad (\text{부-1-3})$$

式(부-1-3)에 따라 θ 을 座標로 定하고서 $\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}}, \frac{\partial T}{\partial \theta}, \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right)$ 을 求하면

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} = \frac{1}{2} \left[2 \frac{w_f}{g} \left\{ 2(r_o + l_1 \sin \theta) l_1 \cos \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} - 2 \frac{w_r}{g} \cos \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \quad (\text{부-1-4})$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{1}{2} \left[4l_1^2 \frac{w_f}{g} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \frac{2l_1^2 w_r}{g} \cos \theta \frac{d\theta}{dt} \right] \quad (\text{부-1-5})$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) &= \frac{1}{2} \left[2 \frac{w_f}{g} \left\{ 2l_1 \frac{d\theta}{dt} \right\} + \frac{2w_r}{g} l_1^2 \left\{ -2 \cos \theta \sin \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \cos \theta \frac{d^2 \theta}{dt^2} \right\} \right] \\ &= \left\{ 2l_1 \frac{w_f}{g} + l_1^2 \frac{w_r}{g} \cos \theta \right\} \frac{d^2 \theta}{dt^2} - \frac{2l_1^2 w_r}{g} \cos \theta \sin \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \end{aligned} \quad (\text{부-1-6})$$

式(부-1-2), (4), (5), (6)을 式(부-1-3)에 代入하여 整理하면

$$\left\{ 2l_1 \frac{w_f}{g} + l_1^2 \frac{w_r}{g} \cos \theta \right\} \frac{d^2 \theta}{dt^2} + k_3 l_1 \sin \theta \cos \theta - 2l_1 w_f \sin \theta$$

$$= 2 \frac{w_f}{g} (r_o + l_1 \sin \theta) l_1 \cos \theta \left(-\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad \text{(부-1-7)}$$

調速機가 $\dot{\theta}_2$ 로廻轉될 때 重錘도 θ 에서平衡되어 있던 중 機關速度變化로 調速機가 $\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_1$, 重錘은 $\dot{\theta} + \theta = \dot{\theta}_1$ 에서平衡되게 된다. 그런데 그 差가 微小할 경우에는 式(부-1-7)의 左邊項中 w_r 는 w_f 에 比해 그 값이 적어서 $\dot{\theta}_1$ 이 變해도 이 項 全體에 미치는 影響이 적으므로 이 項은 θ 變化에 關係없는 것으로 보고, 式(부-1-7)의 左邊項에 있어서는 3函數의 積이지만 그 中 $(d\theta_1/dt)^2$ 가 다른 것에 比해 크게 變化하므로 나머지函數는 一定한 것으로 본다. 調速機의 速度가 $\dot{\theta}_1$ 에서 $\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2$ 로 階段狀으로 變했다고 假定하면 調速機의 全機構는 運動하기 始作하고 離去運動에 抵抗을 받기 始作한다.

두 平衡狀態의 差에 運動時 粘性摩擦力を考慮한 式은

$$\begin{aligned} & \left(2l_1^2 \frac{w_f}{g} + l_1^2 \frac{w_r}{g} \cos^2 \theta \right) \frac{d^2 \theta}{dt^2} + f_i \frac{d\theta}{dt} + (k_s l_1^2 \cos 2\theta - 2l_1 w_f \cos \theta) \theta \\ & = \frac{4w_f}{g} l_1 (r_o + l_1 \sin \theta) \cos \theta \dot{\theta}_1 \theta, \quad \text{(부-1-8)} \end{aligned}$$

f_i : 調速機內 等價粘性摩擦係數

但, $f_i \frac{d\theta}{dt}$ 中에 粘性摩擦成分은 勿論 乾性摩擦成分도 包含된 것으로 假定한다.

式 (부-1-8)을

$$\ddot{\theta} + 2\zeta \omega_n \dot{\theta} + \omega_n^2 \theta = \omega_n^2 k' \dot{\theta}_1 \quad \text{(부-1-9)}$$

로 고치고 보면

$$\zeta = \frac{f_i}{2\sqrt{k_s l_1^2 \cos 2\theta - 2l_1 w_f \cos \theta}} \quad \text{(부-1-10)}$$

$$\omega_n^2 = \frac{k_s l_1^2 \cos 2\theta - 2l_1 w_f \cos \theta}{2l_1^2 \frac{w_f}{g} + l_1^2 \frac{w_r}{g} \cos^2 \theta} \quad \text{(부-1-11)}$$

$$k' = \frac{\frac{4w_f}{g} l_1 (r_o + l_1 \sin \theta) \cos \theta \dot{\theta}_1}{k_s l_1^2 \cos 2\theta - 2l_1 w_f \cos \theta} \quad \text{(부-1-12)}$$

機關 角速度가 齒車列을 거쳐 z_g 倍로 되어 調速機를 돌려준다고 보고, θ 를 x 變位로 換算하여 式(부-1-7)을 表現하면

$$\ddot{x} + 2\zeta \omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \omega_n^2 k_1 \omega \quad \text{(부-1-13)}$$

$$\text{但 } k_1 = k'_1 \cdot l_1 z_g \cos \theta \quad \text{(부-1-14)}$$

略算으로서 w_r 는 w_f 에 比해 그 값이 적어 무시하고 θ 는 90° 에 가깝고 $r_o \ll l_1$ 이면

$$\omega_n = m \sqrt{g \frac{k_s}{w_f}}, \quad k_1 = \frac{G}{k_s} \quad \text{(부-1-15)}$$

但 m, G ; 常數

로 나타낼 수 있다.

附錄 II. 回轉系統의 時定數 變化에 對한 推移

回轉系統의 時定數는 式(부-2-1)과 同一인 動轉系統의 惯性矩를 곱한 (J_f) 와 離心慣性抵抗(離心慣性抵抗)로, 定轉자는 間接시다.

b. 回轉系統의 惯性모수변트의 變化比

機械의 出力은 W 라 하면 이는 式(부-2-1)으로 表示된다.

$$W = \lambda_p r v \omega^2 \quad \dots \quad (\text{부-2-1})$$

但, λ_p : 比例常數 p : 積면대 平均有効率方

r : 軸距
 ω' : 機關의 回轉角速度

但, 同一의 出力を 내는 2台의 相似型 機關의 離心, 容積, 角速度가 각각 p_1, v_1, ω_1' 및 p_2, v_2, ω_2' 라 하면 이는 式(부-2-2)과 같은 比例式이 成立한다

$$1 = n_f \cdot n_v \cdot n_\omega \quad \dots \quad (\text{부-2-2})$$

但, $n_p = p_2/p_1$, $n_v = v_2/v_1$, $n_\omega = \omega_2'/\omega_1'$

式(부-2-2)中 치수에 關係하는 項은 n_v 로서 길이 比(r)의 3乗에 比例한다

但, 惯性모수변트의 比(n_{JE})는 r 의 5乗에 比例하므로

$$n_{JE} = J_{E_2}/J_{E_1} = r^5 = \left(\frac{1}{n_F n_\omega} \right)^{1/3} \quad \dots \quad (\text{부-2-3})$$

式(부-2-3)에서 離心과 角速度가 變化에 따라 同一出力を 내는 機關의 惯性모수변트가 變化하는 比率을 算할 수 있다.

機關과 直結된 發電機의 경우 每 極當出力은 式(부-2-4)와 같이 表示된다.

$$S = \lambda_c F \phi \omega' \quad \dots \quad (\text{부-2-4})$$

λ_c : 比例常數 F : 電氣裝荷 ϕ : 磁氣裝荷

比較되는 두 發電機가 完全相似(單位 面積當 同一한 電·磁裝荷)인 경우에는 F 및 ϕ 는 각각 r 에 比例하므로 結果的으로 S 는 r 의 4乗에 比例한다.

最近의 發電機에는 磁性體와 絶緣物의 材質向上 및 冷却方法의 發達로 電·磁裝荷가 增加되었으므로 同一出力を 내는 두 發電機의 F, ϕ, ω' 를 각각 F_1, ϕ_1, ω_1' 및 F_2, ϕ_2, ω_2' 라 하면

$$1 = r^4 \cdot n_F \cdot n_\phi \cdot n_\omega \quad \dots \quad (\text{부-2-5})$$

$$n_r = F_2/F_1, \quad n_\phi = \phi_2/\phi_1, \quad n_\omega = \omega_2'/\omega_1'$$

但, n_r 는 1이 아는 手 發電機의 惯性모수변트의 比(n_{JC})는

$$n_{JC} = J_{C_2}/J_{C_1} = \left(\frac{1}{n_F n_\phi n_\omega} \right)^{1/4} \quad \dots \quad (\text{부-2-6})$$

但, J_{C_1}, J_{C_2} , 1, 2發電機의 惯性모수변트

直結된 全發電機의 惯性모수변트 比는

$$\frac{J_{E_1} + J_{G_1}}{J_{E_1} + J_{G_1}} = \frac{n_{JE_1} \cdot J_{E_1} + n_{JG_1} \cdot J_{G_1}}{J_{E_1} + J_{G_1}} = \frac{n_{JE} + n_{JG} k_n}{1 + k_n} \quad \dots \dots \quad (\text{부-2-7})$$

但, $k_n = J_{G_1}/J_{E_1}$

2. 回轉粘性 抵抗係數(k)의 變化比

潤滑이 잘된 機關에 있나서는 機關의 크기, 有効壓力의 變化 等이 乾性抵抗의 變化에는 큰 影響을 주지 않으므로 一定한 평으로 보고, 速度의 크기에 依하여 變하는 粘性抵抗 보우먼트를 考察해 보기로 한다.

粘性抵抗이 發生하는 곳은 可動部과 靜止部間의 接觸面이고 抵抗의 크기는 接觸面積과 速度의 積에 比例한다. 따라서 粘性摩擦 보우먼트는

$$k\omega = \lambda_1 A d \omega \quad \dots \dots \dots \quad (\text{부-2-8})$$

λ_1 ; 比例常數, d ; 抵抗이 發生하는 接觸面積의 直徑

A ; 接觸面積

即 延轉粘性 抵抗係數(k)는 機關의 有効壓力 速度와는 無關하고 차수(r)의 3乘에 比例한다

$$n_t = r^3 \quad \dots \dots \dots \quad (\text{부-2-9})$$

但, $n_t = k_{p1}/k_{p2} = k_{p1}, k_p ; 1, 2$ 發電機의 延轉粘性抵抗係數

發電機 全體의 時定數 τ_R 의 比率은 式(부-2-9)과 같아 된다

$$n_{tR} = \frac{\left(\frac{1}{n_p \cdot n_w}\right)^{1/3} + \left(\frac{1}{n_p \cdot n_F \cdot n_w}\right)^{1/3}}{\left(\frac{1}{n_p \cdot n_w}\right)^3 + \left(\frac{1}{n_F \cdot n_p \cdot n_w}\right)^3} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{부-2-10})$$

但 $n_{tR} = \tau_{R2}/\tau_{R1}$
 n_p, n_w, n_F, n_ϕ 等 모든 定數가 1보다 커짐에 따라 n_{tR} 는 커져짐을 알 수 있다.

Table. A-1
Decreasing tendency of moment of inertia of alternator

alternator capacity KVA	rpm	GD ² kg·m ²			change rate of GD ²	
		before '60 (B)	65~67 '73 (C)	73 (D)	B/A %	C/A %
450~500	600	873	547	429	62	49

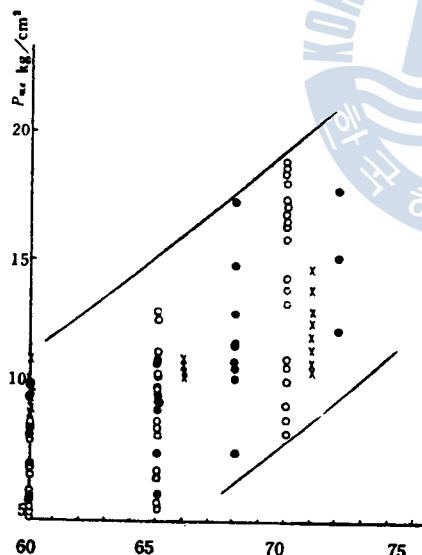


Fig. A-1 Increasing tendency of mean effective pressure

그림 A-1는 日本의 數個 著名 機關製作所에서 製作한 機關의 平均有効壓力 上昇 推移를 나타낸 것이다.

表A-1은 日本의 某機關製作所에서 使用한 發電機의 慣性 모우먼트(GD^2)의 減少比率를 보여 주고 있다.

한편 發電機의 延轉速度는 600[rpm]에서 720으로, 720[rpm]에서 900로 높아지고 있다.

附錄Ⅲ. 供試 디이젤 發電機의 諸機械 定數值 測定法

(1) ω_n 및 ζ 의 測定

式(2-5)에서 고민 ζ , ω_n , k 를 求해치면 調速機의 傳達函數는 決定된다.

調速機의 電磁 可動部分의 運動方程式은 어디까지나 動作狀態와 같은 條件下에서 階段狀 角速度變化率을 有する 때 맥크의 運動을 測定하여 決定해야 한다. 移動하고 있는 機關의 調速機를 빼어놓고 주도 部分은 階段狀 角速度變化率을 有하지 않다. 그러나 部分은 利得 $k_1 = \frac{dx}{d\omega_1}$ 이 $k_1 = 1$ 로 하였을 때의 맥크 運動을 分離하여 測定하기로 하였다.

供試디이젤 發電機에는 直結型 同期 發電機가 있으므로, 이기록은 他電源과 幷列로 運轉시킨 때에 供試機關이 燃料를 서서히 連斷하여 發電機가 電動機로 動作하도록 하였다. 이 狀態下에서는 調速機의 全機構는 機關의 運轉되고 있음 때와 同 程度로 動作하고 있다. 이때 人爲的으로 맥크의 可動部分을 擊쳤다. 놓으면 마치 $A\bar{\omega}_1$ 의 信號가 階段狀으로 有하는 格이 되고, 可動部分

이 原位置로 ပ 돌아 가는데 이때 맥크運動은 그림 A-2와 같이 記錄되었다. 이 曲線을 近似 2階線型 減衰振動曲線으로 보고, 이것 으로부터 ζ , ω_n 를 求하기로 한다.

그림 A-2은 式(2-5)의 階段狀 入力에 對한 應答曲線을 實驗的으로 求한 것인데 乾性抵抗, 로스트보우손等에 依하여 깨끗한 減衰振動曲線과 많은 差가 있다.

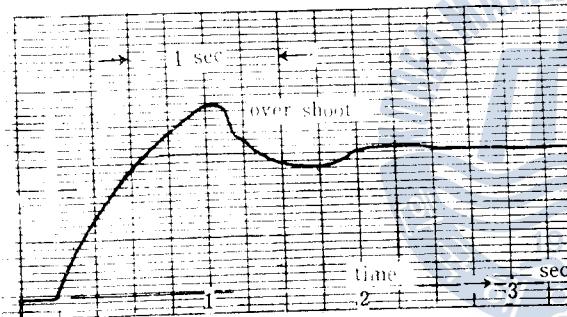


Fig. A-2 Transient response of governor
to step input

最大 over shoot θ_m 은 ζ 만의 函數로서²³⁾

$$\theta_m = e^{-\pi \zeta \sqrt{1-\zeta^2}} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{부-3-1})$$

인 關係가 있다.

over shoot를 測定하여 0.21을 얻었다. 이것을 式(부-3-1)에 代入하여 ζ 를 求하면 $\zeta = 0.45$ 가 얻어진다.

그림 A-2에서 近似的으로 測定되는 周期는 $T_s = 1.25\text{sec}$ 이 를 $\omega_n = \sqrt{1-\zeta^2} \cdot T_s = n\pi (n=2)$ 에서 ω_n 를 求하면

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{1-0.45^2}} \cdot \frac{2\pi}{1.25} = 5.62[\text{rad/sec}] \quad \dots \dots \dots \quad (\text{부-3-2})$$

(2) 調速機 利得 測定

利得은 動作點 近傍의 $\frac{4x}{4\bar{\omega}_1}$ 로서 發電機의 定格速度를 基準으로 하여 조금 變하는 경우 맥크

가 얼마나 움직이는가의 比率이다.

供試發電機는 電動機化하여 發電機를 回轉시켜 주면 重錘는 둘려주는 角速度에 따라 떨어지게 되고 이에 韓動되는 모든 部分은 準 動作狀態와 같이 움직이고 $\bar{\omega}_1$ 를 바꾸면서 \bar{x} 를 記錄하면 $\frac{dx}{d\bar{\omega}_1}$ 를 計算할 수 있다.

Table A-2 Recorded values of rack displacement according various r. p. m.

r. p. m.	1125	1150	1200	1250	1270
x mm	-3.48	-2.32	0	2.31	3.22

驅動發電機의 周波數를 定格周波數 近傍에서 變化시켜 주었을 때 랙크의 移動을 記錄한 것이 表 A-2이다. 이 表로부터 平均기울기 $A\bar{x}/A\bar{\omega}_1$ 를 求해 보면

$$k_1 = \frac{A\bar{x}}{A\bar{\omega}_1} = \frac{60 \times 3.23}{70 \times 2\pi} = 0.44 [\text{mm} \cdot \text{sec}/\text{rad}] \quad \dots\dots\dots(\text{부-3-3})$$

를 얻었다.

(3) 機關의 利得(k_2)測定

理論的 計算은 別 뜻이 없고 實驗的으로 다음과 같이 求한다. 機關을 定格速度로 維持시키고서 發電機의 負荷를 增加 시킬 때 電力計에서 얻어지는 電力值와 랙크(rack)의 變位 \bar{x} 을 記錄하여 平均기울기를 求할 수 있다.

有効回轉力 \bar{q}_e 는 電力值을 $\bar{\omega}_1 = 40\pi$ 로 나누면 求해지고 \bar{x} 는 测定電壓에서 다시 換算해야 한다.

그림 A-3에서 平均기울기는 3.2kw/mm이고 이를 40π 로 나누면 된다.

$$\text{即 } k_2 = \frac{A\bar{q}_e}{A\bar{x}} = \frac{3.2 \times 1000}{40\pi} = 25.45 \left[\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{mm}} \right] \quad \dots\dots\dots(\text{부-3-4})$$

(4) 回轉粘性摩擦係數(k) 测定

發電機가 定常狀態에서 一定速度로 回轉하고 있을 때 回轉力에는 平衡이 成立되고 있다. 即

$$\bar{q}_{f1} = \bar{q}_{r1} + \frac{P_i}{\bar{\omega}'_1} \quad \dots\dots\dots(\text{부-3-5})$$

\bar{q}_{r1} : 角速度 $\bar{\omega}'_1$ 에서 機關의 全抵抗 모우먼트

P_i : 角速度 $\bar{\omega}'_1$ 에서의 出力

랙크를 固定시킨 채 出力 負荷를 減少시키면 機關에서 發生하는 回轉力은 變化 없으므로 發電

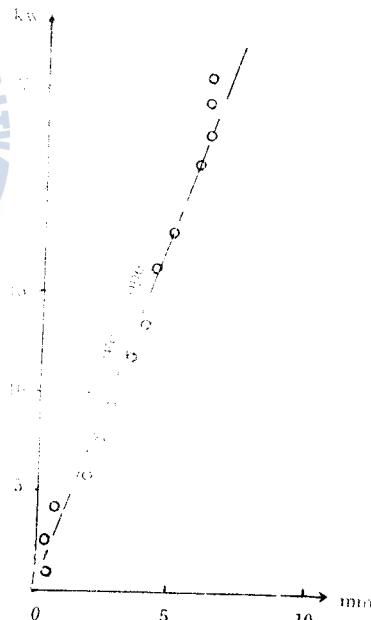


Fig. A-3 The ratio of out put power to rack displacement

그림A-4에서 测定된 初期瞬間 減角加速度 α_i 는 $\alpha_i = -34.91[\text{rad/sec}^2]$ 이었다.

並列運轉을 거쳐 發電機를 電動機로 바꾼 상태에서 機關을 定格速度 1200[rpm]으로 延轉시키는 데 要求되는 電力を 测定하면 機關의 抵抗馬力이 测定된다. 이 값이 17.16[kw], 그 中에서 發電機損失 1[kw] (1/3負荷 効率90%로 假定) 線路抵抗에 依한 損失을 0.16[kw] (外部電線의 抵抗 및 接觸抵抗) 一線當 0.0084[Ω] 電流 80[A]였음)로 보고나면 $1600/40\pi[\text{N}\cdot\text{m}]$ 가 機關의 抵抗 모우먼트 \bar{q}_r 와 平衡된다. 即

$$16000/40\pi = \bar{q}_r = -J\alpha_i \quad \dots \dots \dots \quad (\text{부-3-10})$$

따라서 구하고자 하는 J 는

$$J = \frac{1}{\alpha_i} \cdot \frac{16000}{\bar{\omega}_i} = \frac{-1}{-34.91} \times 16000/40\pi = 3.65[\text{kg}\cdot\text{m}^2] \quad \dots \dots \dots \quad (\text{부-3-11})$$

