

### 參 考 文 獻

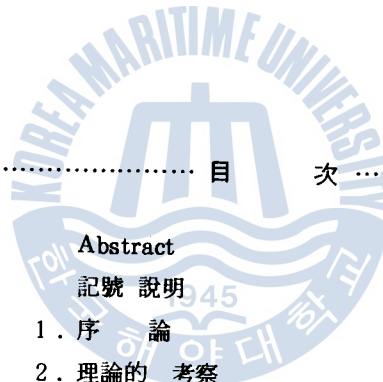
1. Schuster S., Über den Einfluss des Propellers und die Längs- und Drehschwingungen in der Wellenleitung, Schiff und Hafen, Jahrgang 13, H. 6, S. 498, 1961.
2. Schwanecke H., Gedanken zur Frage der hydrodynamischerregten Schwingungen des Propellers und Wellenleitung, STG Jahrbuch, B. 57, S. 252, 1963.
3. Spactgens, T.W., Holzer method for forced-damped torsional vibrations, J. Applied Mechanics, pp. 59, 1950/3.
4. Geiger J., Mechanical vibrations and their measurement, Springer-Verlag, Berlin, 1927.
5. Carter B.C., An empirical formula for crankshaft stiffness in torsion, Engineering, pp. 26, 1928, 7.
6. Ker Wilson W., Practical solution of torsional vibration problems, Vol. I, Chapman Hall, London, 1942.
7. Timoshenko S., Vibration problems in engineering, D. Van Nostrand Co., 1954.
8. Francis S. Tse, Mechanical Vibrations, Theory and Applications, 2nd Ed., Allyn and Bacon, Inc., 1978.
9. Thomson W.T., Theory of Vibration with Application, 2nd Ed., Prentice-Hall, Inc., 1981.
10. Hatter D.J., Matrix Computer Methods of Vibration Analysis, 1st Ed., London Butterworths, 1973.
11. Lazan B.J., Damping of materials and members in structural mechanics, Pergamon Press, 1968.
12. 全孝重, 機械力學, 釜山, 大和出版社, 1982.
13. 全孝重, 船用디젤機關軸系の 減衰強弱 비틀림振動解析에 관한 研究, 韓國船用機關學會誌, 第4卷 2號 pp. 4, 1980.
14. 赤堀昇, 船用上機關의 ねじり振動, 海文堂, 1966.
15. 丸山浩一, ティーセル機關の振り振動, 日本東京, 山海堂, 1961.
16. 全孝重, 津田公一, 船用往復内燃機關軸系ねじり連成自由振動의 理論的解析, 日本船用機關學會誌, 第4卷 7號, pp. 401, 1969/9.
17. 全孝重, 船用往復内燃機關 軸系ねじり連成自由振動의 理論的解析, 日本 船用機關學會誌, 第5卷3號, pp. 217, 1970/3.
18. 日本船用機關學會軸系研究委員會, フロヘラ翼とクランクの位相が軸系ねじり振動におよぼす影響, MEST 研究委員會報告, No. 68, 1976/10.
19. 富山修, 内燃機關의 ねじり振動と疲れ強さ, 日本東京, コロナ社, 1965.
20. 戸川年人, 有限要素法による振動解析, サイエンス社, 日本東京, 1975.

# ON-OFF 制御系統을 갖는 冷凍機의 最適制御에 관한 研究

吳 喆

A Study on the Optimum Control of Refrigerator  
with On-Off Control System

*Chel Oh*



## 目 次

Abstract

記號 說明

1. 序 論
  2. 理論的 考察
    2. 1 一般式 誘導
    2. 2 冷却過程
    2. 3 吸熱過程
    2. 4 評價函數
  3. 定數推定實驗 및 數值計算
    3. 1 實驗裝置
    3. 2 實驗方法
    3. 3 實驗結果
    3. 4 評價函數의 數值計算
  4. 檢 討
  5. 結 論
- 參考文獻

### Abstract

In the case of temperature control of air conditioning and refrigerating system, it is possible to operate the system continuously by controlling the cooling capacity of refrigerating machines. But on-off control system has been adopted for refrigerating system which has more large capacity than that required to remove the generated heat. In this on-off control system, it can be considered that there exists some optimum condition for the refrigerating capacity, operating cycle, running hour, and the temperature difference between thermostat setting value and real one.

In this paper, an equation was derived to express the temperature variation of the refrigerated object (Nybrine) and later two evaluating functions were derived. One is for the temperature difference and another is for operating cycle and running hour. The weighted sum of these two functions is defined as the criterion function for the evaluation of the control performance of the system, and then the optimum running condition is investigated in the sense of minimizing the criterion function. Experiments showed that the heat balance equation derived for the temperature variation and the estimation of the time constant of the refrigerated system are appropriate.

By conclusion, if a proper weighting factor  $D$  is selected, the optimum conditions exist for the refrigerating capacity, running hour, and operating cycle in the on-off temperature control of the refrigerating system.

## 記號說明

- $A_w$  ; 테스트부의 傳熱表面積  $m^2$   
 $C_v$  ; 空氣의 定積比熱  $kcal/kg^{\circ}C$   
 $D$  ; 加重係數[式(2·19)]  
 $e$  ; 冷却 및 吸熱過程에서의 損失熱量  $kcal$   
 $F_1$  ; 評價函數[式(2·15) 및 式(2·17)]  
 $F_2$  ; 評價函數[式(2·16) 및 式(2·18)]  
 $F_t$  ;  $=F_1+D \cdot F_2$  [式(2·19)]  
 $G_{air} C_{air}$  ; 空氣의 熱容量  $kcal/^{\circ}C$   
 $GC'$  ; 테스트부全體熱容量  $kcal/^{\circ}C$   
 $k_w$  ; 熱傳導率  $kcal/m \text{ hr}^{\circ}C$   
 $n$  ; 周波數  $1/day$   
 $q$  ; 熱發生率 또는 除熱率  $kcal/min$   
 $R$  ; 테스트부 傳熱壁의 熱低抗  $min \text{ }^{\circ}C/kcal$   
 $T$  ; 테스트부 内部溫度  $^{\circ}C$   
 $T_{air}$  ; 室内溫度  $^{\circ}C$   
 $T_h$  ; 테스트부内の 設定高溫  $^{\circ}C$   
 $t_h$  ; 한 사이클當 吸熱過程에 所要되는 時間  $min$   
 $T_l$  ; 테스트부内の 設定低溫  $^{\circ}C$   
 $t_l$  ; 한 사이클當 冷却過程에 所要되는 時間  $min$   
 $T_m$  ; 테스트部内の 平均溫度  $^{\circ}C$   
 $T_0$  ; 時定數  $min$   
 $\eta$  ; 效率  
 $\theta_h$  ;  $=T_h-T_{air}$   $^{\circ}C$   
 $\theta_l$  ;  $=T_l-T_{air}$   $^{\circ}C$   
 $\Delta\theta$  ;  $=\theta_h-\theta_l$   $^{\circ}C$   
 $\Delta l$  ; 테스트部内の 壁 두께  $m$

## 1. 序 論

空氣調和, 冷却 및 吸熱過程에 있어서 溫度制御를 할 경우, 冷凍機에 의한 除熱量과 溫度制御對象에서의 吸熱량사이의 熱平衡을 正確히 維持할 수 있으면 冷凍機는 連續運轉이 可能하지만, 實際적인 경우 이들 熱量間에 正確한 熱平衡을 維持시키는 것은 不可能하다. (1), (2)

즉 溫度制御對象內에서의 自體의 發熱 및 外氣溫도의 變化에 따라 吸熱量도 變化한다. 理想的으로는 冷凍機의 冷熱能力을 制御하여 連續運轉이 可能하게도 할 수 있지만, 實際적으로는 除熱하여야 할 冷凍機의 冷熱能力보다 容量이 큰 冷凍機를 使用하여 ON-OFF制御를 하고있다.

이와 같은 ON-OFF制御에 있어서 冷凍機의 冷熱能力이 冷凍制御對象에서의 吸熱量에 比하여 相當히 크거나, ON-OFF幅이 작은 경우는 한 싸이클當 冷凍機의 運轉時間은 짧아지고, 따라서 하루中の 運轉 싸이클數는 增加하며, 反對로 冷凍機의 冷熱能力이 比較的 작거나 ON-OFF幅이 클 경우는 한 싸이클當 冷凍機의 運轉時間은 길어지고, 따라서 하루中の 運轉 싸이클數는 減少하게 된다. 또한 制御對象의 目標溫度를 最適의 溫度라 할 경우 ON-OFF 制御溫度幅에 對하여도 制御對象內에서 目標溫度와의 時間的 誤差上 適當한 制御幅을 決定할 必要가 있다.

이와 같은 주어진 冷凍制御對象의 對하여 運轉時間, 所要動力, 運轉싸이클數 및 目標溫度와의 誤차에 對한 2乘面積間에는 最適의 狀態가 있다고 생각된다. (3)

本論文에서는 冷却 또는 冷凍制御對象物에 關하여 溫度制御對象의 溫度變化를 表現하는 數式을 誘導하고, 또한 二次的으로 目標溫度와의 差에 關한 2乘面積과 冷凍機 自體의 機械적 손실에 關한 影響을 미치는 冷凍機의 運轉싸이클數 및 運轉時間에 關하여 各各의 評價函數를 誘導하고, 總合的인 評價函數에 關하여도 評價를 行하였다.

또한 實驗을 通하여, 制御對象內에서의 溫度의 時間的 變化를 나타내는 熱平衡式의 妥當性을 確認하고, 制御系에서 必要로하는 時定數의 推定實驗도 行하였다.

## 2. 理論的 考察

## 2.1 一般式的 誘導

그림 (2.1)에서 制御對象 테스트부에 關하여 冷却過程 및 吸熱過程에 있어서의 熱平衡으로 부터 式(2.1)을 誘導할 수 있다.

$$qdt = GC' \Delta T + \frac{k_w A_w}{\Delta l} (T - T_{air}) \Delta t \quad (2.1)$$

上式을 整理하면 다음 式과 같이 된다.

$$q = GC' \frac{\Delta T}{\Delta t} + \frac{k_w A_w}{\Delta l} (T - T_{air}) \quad (2.2)$$

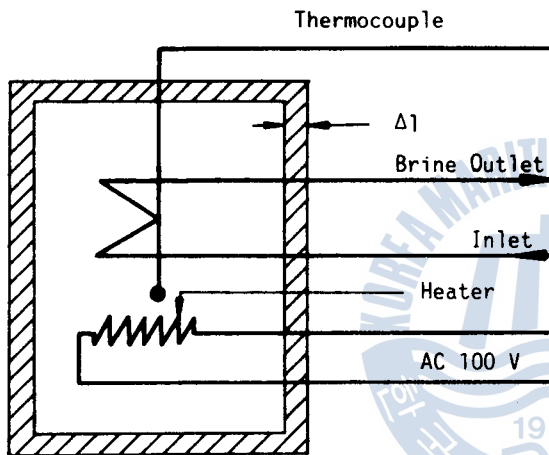


Fig. 2.1 Schematic diagram of test section.

式(2.2)에서 테스트부의 全熱容量을  $C'$ 라 하고, 熱抵抗을  $R$ , 또한 테스트部內 溫度와 外氣와의 差를  $\theta$ 라고 하면 上式은 다음과 같이 表現 된다.

$$\begin{aligned} q &= C \frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{R} \theta \\ &= C\dot{\theta} + \frac{1}{R} \theta \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\text{단, } \begin{cases} \frac{1}{R} = \sum \frac{\Delta l_i}{k_{wi} A_{wi}} \\ C = GC' \\ \theta = T - T_{air} \end{cases}$$

式 (2.3)의 一般解는 다음과 같다.

$$\theta = Rq + C_1 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.4)$$

또한 式(2.3)을 制御系에 關한 一般式으로 表現하면

$$T_0 \dot{\theta} + \theta = Rq \quad (2.5)$$

가 되며, 上式에서 制御對象 테스트부의 時定數  $T_0$ 는  $T_0 = RC$ 로 된다. 여기서는 冷却 또는 吸熱過程에서의 熱量  $q$ 는 一定하다고 假定한다. 式(2.3) 또는 式(2.4)에서 알 수 있는 바와 같이, 테스트부의 熱傳導에 依하여 流入되는 熱量과 冷凍機의 冷凍能力과는, 外氣溫度 또는 冷凍室內의 積載物量에 따라 非平衡狀態를 이루는게 實際의 경우이다. (4)

이와 같은 實際的 경우에 있어서는 式(2.3)에서 알 수 있는 바와 같이 ON-OFF制御가 必要하며, 또한 이의 最適化가 要求된다고 생각된다.

테스트部內의 高溫側 設定溫度  $T_h$  및 低溫側 設定溫度  $T_l$ 은 外氣溫度  $T_{air}$ 를 基準溫度로 하면, 式(2.3)에서와 같이 各各  $\theta_h$  및  $\theta_l$ 로 表示된다. 그러므로 式(2.5)에 關하여 이를 位相面圖로 表示하

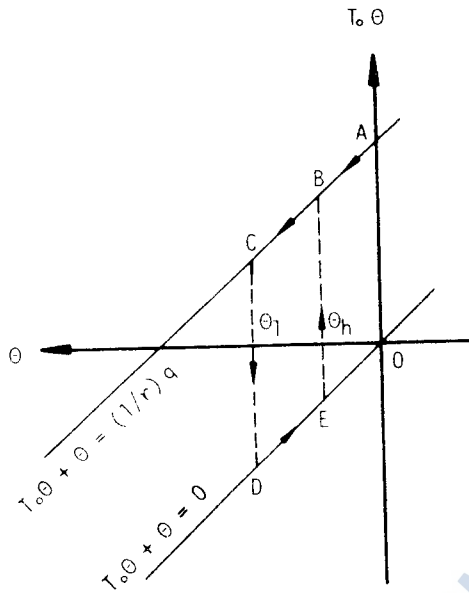


Fig. 2.2 Phase diagram of refrigerator control system.

$$C_1 = \theta_h - Rq_c$$

가 된다. 여기에서  $q_c$ 는 단위시간당의 溫度制御 對象物로부터의 除熱率을 의미한다. 그러므로 이 結果를 式(2.4)에 代入하면, 冷却過程의 任意的 時間  $t$ 에서의 테스트 部內의 溫度  $\theta$ 는 다음 式과 같이 된다. (6)

$$\theta = Rq_c(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) + \theta_h e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.6)$$

따라서 테스트 部內의 冷却에 所要되는 全時間  $t_i$ 은  $t=t_i$ 에서  $\theta=\theta_l$ 이 되므로 上式에서 다음과 같이 求해진다.

$$t_i = T_0 \ln \frac{\theta_h - Rq_c}{\theta_l - Rq_c} \quad (2.7)$$

冷却 또는 吸熱過程에 있어서, 그림(2.3)에서 冷凍機가 ON-OFF하는 溫度의 算術的 平均値  $T_{m1} = \frac{\theta_h + \theta_l}{2}$  外에, 다음과 같은 時間平均溫度를 생각할 수 있으며, 式(2.6)을 代入하여 整理하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} T_{m2} &= \int_0^{t_i} \theta dt / t_i \\ &= \int_0^{t_i} \{ Rq_c(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) + \theta_h e^{-\frac{t}{RC}} \} dt / t_i \\ &= \{ Rq_c C \theta_l (1 - e^{-\frac{t_i}{RC}}) + Rq_c t_i \} / t_i \quad (2.8) \end{aligned}$$

Fig. 2.3 Temperature cycle in an on-off control system.

면, 그림 (2.2)와 같이 된다.

그림(2.2)에서 알 수 있는 바와 같이 테스트 部內의 溫度는 狀態點, A를 出發하여 溫度下降과 함께 B, C로 나아간다. 點 C에서 壓縮機는 OFF되는 時間  $t=t_i$ 에서부터 點 D를 向하여 움직인다.

溫度上昇으로 因하여 테스트 部內의 溫度는 點 E에 이르고, 壓縮機는 ON되어 點 B로 움직인다. 以後 軌道는 B→C, D→E를 反復한다. 테스트 部內의 應答特性에 比하여, 壓縮機는 比較的 制御裝置가 簡單하며 初期動作을 包含한 壓縮機의 應答時間은 훨씬 빠르다.

### 2.2 冷却過程

式(2.3)의 一般解인 式(2.4)에 關하여 積分常數를 求하기 위하여, 冷却開始時刻  $t_i=0$ 에서의 初期條件  $\theta=\theta_h$ 을 代入하면

## 2.3 吸熱過程

同一한 方法으로 吸熱過程에 있어서는  $t=0$ 에서  $\theta=\theta_i$ 이 되므로 式(2.4)의 積分常數  $C_1$ 은

$$C_1 = \theta_i - Rq_h$$

가 된다. 이 식에서  $q_h$ 는 溫度制御對象物의 熱發生率을 나타낸다. 그러므로 吸熱過程의 任意의 時刻  $t$ 에 있어서의 테스트部內의 溫度  $\theta$ 는 다음 式

$$\theta = Rq_h \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) + \theta_i e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.9)$$

와 같이 된다. 吸熱過程의 全所要時間  $t_h$ 는  $t=t_h$ 에서  $\theta=\theta_h$ 가 되므로

$$t_h = -T_0 \ln \frac{\theta_i - Rq_h}{\theta_h - Rq_h} \quad (2.10)$$

로 表現된다. 또한 時間的 平均溫度  $T_{m2}$ 는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} T_{m2} &= \int_0^{t_h} \theta dt / t_h \\ &= \int_0^{t_h} \left\{ Rq_h \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) + \theta_i e^{-\frac{t}{RC}} \right\} dt / t_h \\ &= \left\{ Rq_h C \theta_h \left(1 - e^{-\frac{t_h}{RC}}\right) + Rq_h \right\} / t_h \end{aligned} \quad (2.11)$$

## 2.4 評價函數

本 研究에서는 溫度制御對象의 溫度를 되도록 目標溫度에 接近시켜 維持시키고, 冷却過程에서 하루中에 所要되는 冷凍負荷를 最適化시키기 爲하여 다음과 같은 評價函數를 導入했다.

먼저 冷却 또는 吸熱過程에 있어서 溫度誤差의 2乘面積  $F_1(q)$ 를 다음과 같이 定義한다.

$$\begin{aligned} F_1(q) &= \int_0^{t_i} e^2 dt \\ &= \int_0^{t_i} (\theta - \theta_i)^2 dt \end{aligned} \quad (2.12)$$

다음에 하루中의 所要動力에 關하여는 다음과 같은 式을 생각한다.

$$F_2(q) = \eta \times q_c \times t_i \times n \quad (2.13)$$

上式에서  $\eta$ 는 效率이며,  $n$ 은 하루中의 運轉사이클數로서 다음과 같다.

$$n = \frac{1440}{t_h + t_i} \quad 1/day \quad (2.14)$$

따라서 冷却過程에 있어서 式(2.6)의 結果를 利用하여 評價函數  $F_1(q_c)$ ,  $F_2(q_c)$ 를 求하면 各各 다음 式과 같이 된다.

$$\begin{aligned} F_1(q_c) &= T_0 \left\{ \frac{1}{2} (\theta_h - Rq_c)^2 \left(1 - e^{-\frac{\theta_i - Rq_c}{\theta_h - Rq_c} \frac{t_i}{RC}}\right) + 2(Rq_c - \theta_i)(\theta_h - Rq_c) \right. \\ &\quad \left. \left(1 - e^{-\frac{\theta_i - Rq_c}{\theta_h - Rq_c} \frac{t_i}{RC}}\right) + (Rq_c - \theta_i)^2 \ln \frac{\theta_h - Rq_c}{\theta_i - Rq_c} \right\} \end{aligned} \quad (2.15)$$



$$F_2(q_c) = \frac{\gamma \times q_c \times T_0}{t_h + t_l} l_n \frac{\theta_h - Rq_c}{\theta_l - Rq_c} \quad (2.16)$$

또한 吸熱過程에 關하여도, 吸熱過程에서의 媒質部의 溫度變化를 나타내는 式(2.9)를 利用하여 評價函數  $F_1(q_h)$ ,  $F_2(q_h)$ 를 各各 求하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} F_1(q_h) &= \int_0^{t_h} \left\{ Rq_h \left( 1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right) + \theta_l \frac{t}{RC} - \theta_h \right\}^2 dt \\ &= T_0 \left\{ \frac{1}{2} (\theta_h - Rq_h)^2 \left( 1 - e^{2l_n \frac{\theta_h - Rq_h}{\theta_l - Rq_h}} \right) + 2(Rq_h - \theta_h)(\theta_l - Rq_h) \right. \\ &\quad \left. \left( 1 - e^{l_n \frac{\theta_h - Rq_h}{\theta_l - Rq_h}} \right) + (Rq_h - \theta_h) l_n \frac{\theta_l - Rq_h}{\theta_h - Rq_h} \right\} \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$F_2(q_h) = 0 \quad (2.18)$$

本 研究에서는 式(2.19)와 같이 評價函數  $F_1(q)$ 와  $F_2(q)$ 에 加重因子를 곱한 綜合的인 評價函數를 정의하고, 이 評價函數를 最小로 하는 意味에서의 最適運轉條件을 求하고  $q_c$  및 加重因子  $D$ 의 값이  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_l$ ,  $t_l$ ,  $n$  등에 미치는 影響에 對해서 考察해 보기로 한다.

$$F_l(q_c) = F_1(q_c) + D \cdot F_2(q_c) \quad (2.19)$$

式(2.15)를 最小로 하는  $q_c$ 의 값은 式(2.20)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F_l}{\partial q_c} &= 0 \\ \frac{\partial^2 F_l}{\partial q_c^2} &> 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

의 解로써 求하여 진다. 그러나 式(2.20)의 解를 解析的으로 求하기는 困難하나, 이를 數値解로 求하기는 容易하므로 本 研究에서는 數値計算을 통하여 檢討한다.

### 3. 定數推定實驗 및 數值計算

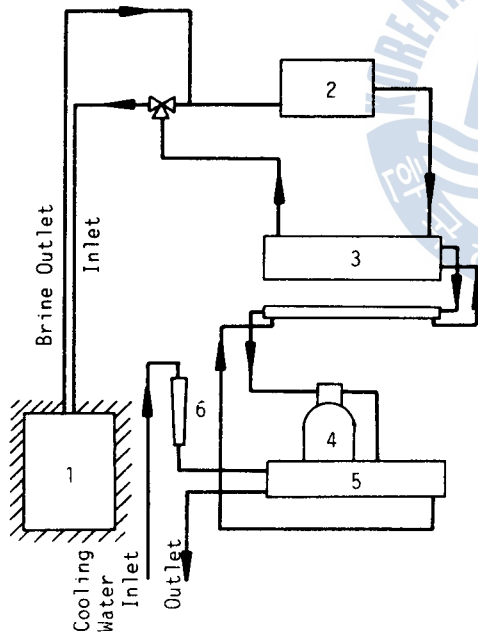
#### 3-1 實驗裝置

그림(3.1)은 實驗裝置의 配置圖이며, 그림(3.2)는 테스트부의 結線圖를, 그림(3.3)은 테스트부의 詳細圖를 나타낸다.

또한 그림(3.4)는 實驗裝置의 全景寫眞이고, 그림(3.5)에는 테스트부의 寫眞이다.

冷却用 傳熱管은 길이 約 10m, 두께 0.08mm, 內徑 4/8"인 銅파이프를 앵글로 組立한 支持臺의 돌레에 設置하였다.

브라인의 循環用 고무 호오스는 內徑 5/8"이며, 外部로부터의 熱流入을 防止하기 爲하여 斷熱材로 斷熱하였으며, 또한 冷凍負荷를 正確히 算出하기 爲하여 테스트부와 室內에 露出되어 있는 必要한 部分은 斷熱材로 充分히 斷熱하였다.



- 1: Test Section
- 2: Brine Chamber
- 3: Heat Exchanger
- 4: Compressor
- 5: Condenser
- 6: Flow Meter

Fig. 3.1. Schematic diagram of experimental apparatus.

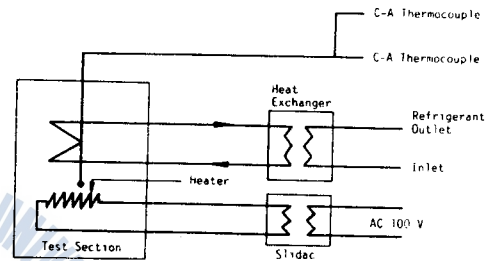


Fig. 3.2. Schematic diagram of measuring apparatus.

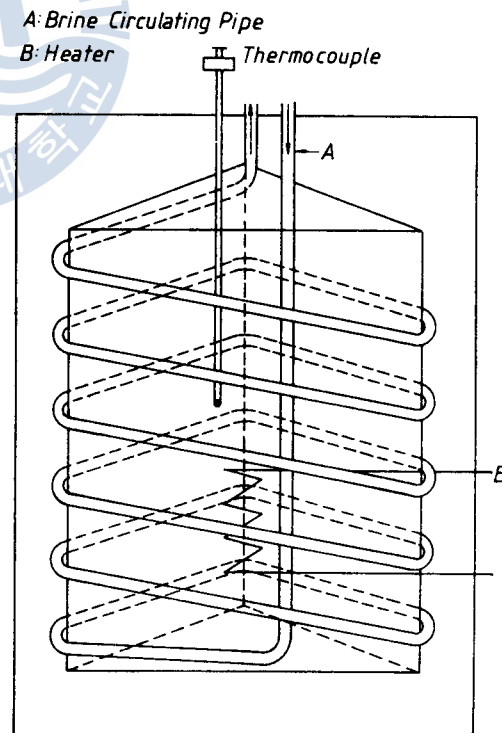


Fig. 3.3. Detail of test section

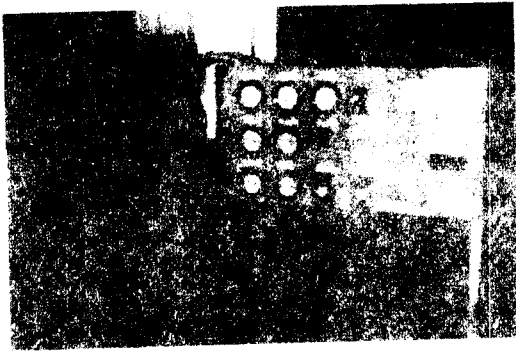


Fig. 3-4. Photo of experimental apparatus

本實驗에 사용된 冷凍裝置는 熱交換器에 의하여 1次冷媒로부터 2次冷媒에 熱을 傳達하는 形態의 一段壓縮式 冷凍機이다. 凝縮器에 供給되는 冷却水 量은 400l/hr이고, 테스트部에 供給되는 冷媒 流量은 200l/hr이다.<sup>(6)</sup>

1次冷媒로서는 R-12를 使用하고 테스트部에 供給되는 2次冷媒로는 NYBRINE 溶液을 使用하였다.

### 3.2 實驗方法

또한 테스트部內의 實驗流體로서는 40%의 NYBRINE 溶液을 使用하였다. NYBRINE은 溫度變化에 따른 蒸發 및 腐蝕性이 적고, 有毒性이 없는 長點을 가지고 있다.

實驗은 實驗裝置 各部의 溫度 및 壓力를 正常狀態로 維持하며 行하여졌고, 구체적인 實驗條件은 表(3.1)과 같다.

테스트部內의 傳熱容量  $GC'$ 는 實驗熱容量은 물론 테스트部內에 設置된 冷却코일, 加熱히터 등의 熱容量을 考慮하여 다음 式과 같이 表現할 수 있다.

$$GC' = G_1C_1 + G_2C_2 + G_3C_3 + \dots \quad (3.1)$$

그러므로 테스트部 全體의 熱容量은 加熱히터를 利用한 豫備實驗을 通하여

$$Q = GC' \Delta T \quad (3.2)$$

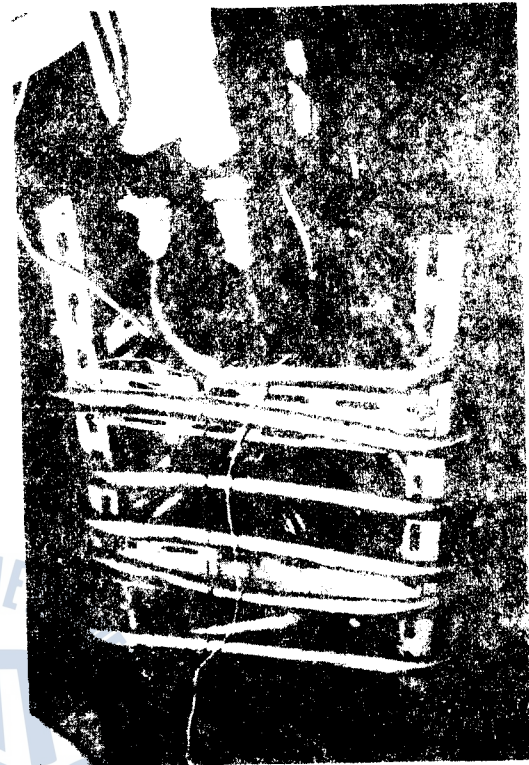


Fig. 3-5. Photo of test section



Table 3-1 Experimental Condition.

	$\Delta T/\Delta\theta$ °C	$T_h/\theta_h$ °C	$T_l/\theta_l$ °C	Heating Period min	Cooling Period min	주파수 1/day
RUN 1	4.0	11.0 -4.0	7.0 -8.0	18.3	9.0	52.75
RUN 2	4.0	11.0 -4.0	7.0 -8.0	8.0	9.0	84.71
RUN 3	8.0	11.0 -4.0	3.0 -12.0	15.0	16.5	45.71
RUN 4	12.0	11.0 -4.0	-1.0 -16.0	23.0	24.5	30.32

 $T_{air}=15.0^{\circ}\text{C}$ 

로부터  $GC'$  값을 推定할 수 있었으며,  $GC'=8.45\text{Kcal}/^{\circ}\text{C}$ 이었다.

이러한 테스트部內的 熱容量을 空氣의 量으로 換算하면,  $G_{air}=\frac{GC}{C_v}=49.4\text{ kg}$ 이므로 標準狀態에서(空氣의 比體積은  $0.8158\text{ m}^3/\text{kg}$ ) 약  $40.3\text{ m}^3$ 의 空氣의 體積에 相當한다.

實驗中 室內的 溫度는  $15^{\circ}\text{C}$ 로 維持하였다. 또한 式(2.3)에 必要한  $R$ 은 斷熱材의 두께 및 傳熱面積으로부터  $R=31.06\text{ min}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ 로 推定되었다. (7)

$$\sum \frac{A_w K_{wi}}{\Delta l_i} = \frac{1}{R} \quad (3.3)$$

따라서 時定數  $T_0=RC$ 이므로  $T_0$ 의 값은  $262.4\text{ min}$ 가 된다.

實驗에 使用되는 C-A熱電對는 素線의 成分, 열음箱子, 選擇스위치 등의 接觸抵抗에 따른 起電力特性이 一般의으로 다르며, 正確한 溫度測定을 爲하여 檢定을 하였다.

이 檢定方法은 標準溫度計를 檢定하고자 하는 熱電對 素線의 尖端部分과 一致시켜 一定한 溫度를 維持할 수 있는 斷熱된 容器속의 물에 넣어 檢定을 하여 멀티미터에 나타난 直流電壓과 溫度와의 關係를 얻었으며, 그 한 例를 그림 (3.6)에 보인다.

表 (3.2)은 各 熱電對의 起電力값을 最小自乘法으로 處理하여 數式化한 것이다.

Table 3-2 Calibration Results of C-A Thermocouples.

No. 1	$^{\circ}\text{C}=24.365\text{mV}+9.314$
No. 2	$^{\circ}\text{C}=24.569\text{mV}+9.71$
No. 3	$^{\circ}\text{C}=24.726\text{mV}+9.121$

°C; Temperature  
mV; Thermoelectric voltage

### 3.3 實驗結果

그림(3.7), 그림(3.8), 그림(3.9), 그림(3.10)은 本 實驗의 測定結果를 나타낸다. 이들 그림에

는 冷却過程에서 測定한 冷却時間 및 時定數를 利用하여 式(2.7)에 依하여 冷却期間中の 平均的 冷

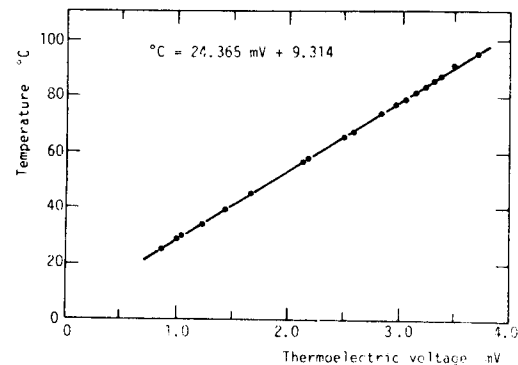


Fig. 3-6 Calibration curve of C-A thermocouple (No. 1)

却熱量  $q_c$ 를 推定하고, 이를 式(2.6)에 代入하여 얻어지는 테스트部内の 時間에 따른 溫度變化의 計算結果를 比較하여 나타냈다.

또한 式(2.7)에서 上記方法으로 推定한 冷却熱量( $q_c$ )은 테스트部의 冷凍負荷와 커다란 誤差를 發生하지 않음을 알 수 있었다.

따라서 冷却過程에 있어서 式(2.6)에 依하여 테스트部内の 溫度變化를 充分히 豫測할 수 있다고 생각된다.

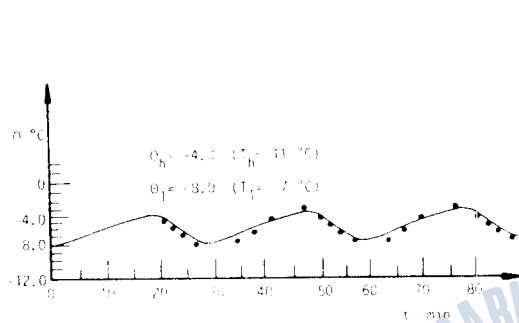


Fig. 3.7 Temperature history of refrigerator on-off control system.

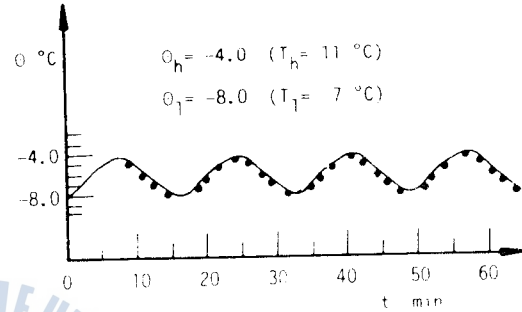


Fig. 3.8 Temperature history of refrigerator on-off control system.

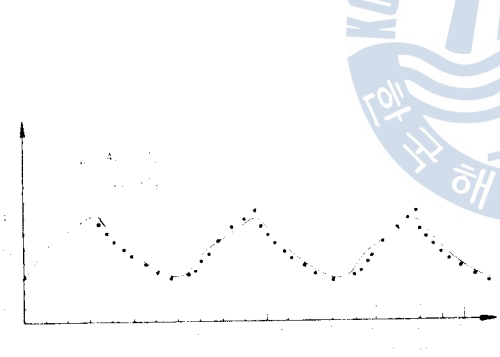


Fig. 3.9 Temperature history of refrigerator on-off control system.

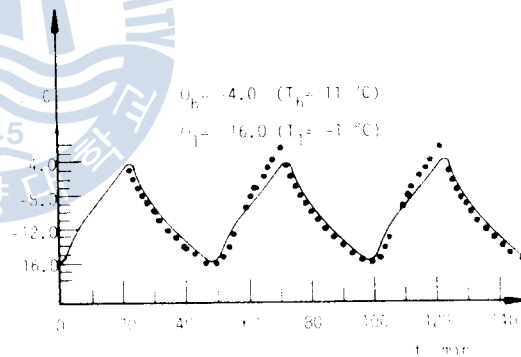


Fig. 3.10 Temperature history of refrigerator on-off control system.

### 3.4 評價函數의 數值計算

그림(3.11), 그림(3.12) 및 그림(3.13)은 式(2.19)에 있어서 및가지 境遇의 加重係數에 對하여  $F_1(q)$ 와  $F_2(q)$  및  $F_3(q)$ 를 計算한 結果를 나타낸다.

各 그림에서 熱量  $q_c$ 가 增加할수록 評價函數  $F_1(q_c)$ 의 값도 增加하고,  $F_2(q_c)$ 의 값은 漸次 減少하는 傾向을 보임을 알 수 있다.

그림(3.14), 그림(3.15) 및 그림(3.16)은 表(3.1)의 實驗條件의 各 境遇에 對하여 式(2.19)에 있어서 加重係數  $D$ 의 값을 變化시켰을 때의 最終的인 評價函數  $F_1(q_c)$ 의 變化傾向을 나타낸다.

各 그림에서 加重係數  $D$ 의 값을 增加시킬수록 따라서  $F_1(q_c)$ 가 最小值를 갖는 位置의  $q_c$ 값도 增加

함을 알았다.

즉 冷却熱量  $q_c$  (冷却能力)를 增加시킴에 따라서 冷却速度는 增加하지만, 反面에 所要動力이 增加하는 것을 意味한다.

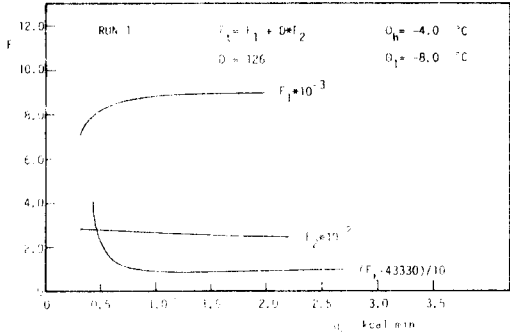


Fig. 3-11 Diagram of  $F_t$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  for the variation of  $q_c$

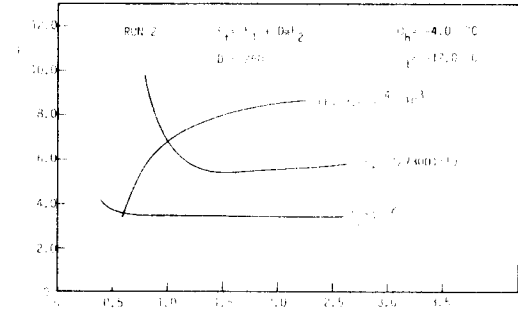


Fig. 3-12 Diagram of  $F_t$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  for the variation of  $q_c$

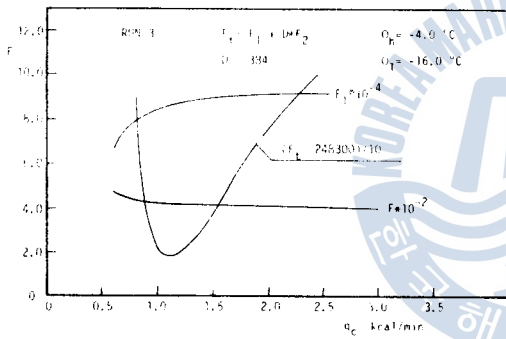


Fig. 3-13 Diagram of  $F_t$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  for the variation of  $q_c$

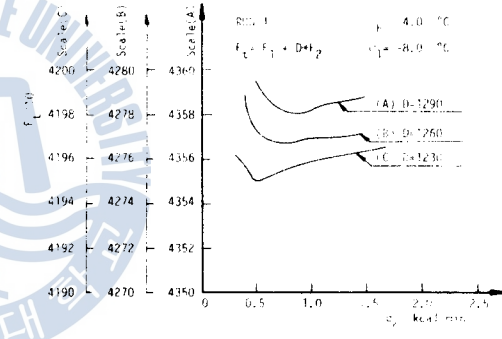


Fig. 3-14 Diagram of  $F_t$  for the variation of  $q_c$  and  $D$

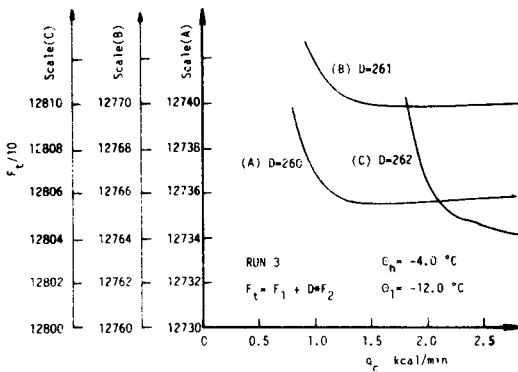


Fig. 3-15 Diagram of  $F_t$  for the variation of  $q_c$  and  $D$ .

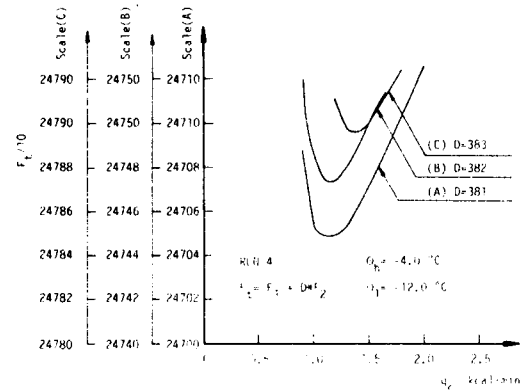


Fig. 3-16 Diagram of  $F_t$  for the variation of  $q_c$  and  $D$ .

## 4. 檢 討

4.1  $q_c$ 의 最適値에 關한 檢討

그림(3·11), 그림(3·12) 및 그림(3·13)은 RUN 1, RUN 3, RUN 4의 경우에 대하여 冷却熱量  $q_c$ 의 變化에 따른  $F_1(q_c)$ ,  $F_2(q_c)$  및  $F_i(q_c)$ 의 값을 나타낸다.

$q_c$ 의 값이 增加할수록  $F_1(q_c)$ 의 값은 크게 增加하고,  $F_2(q_c)$ 의 값은 微小하게 減少하는 것을 알 수 있다.

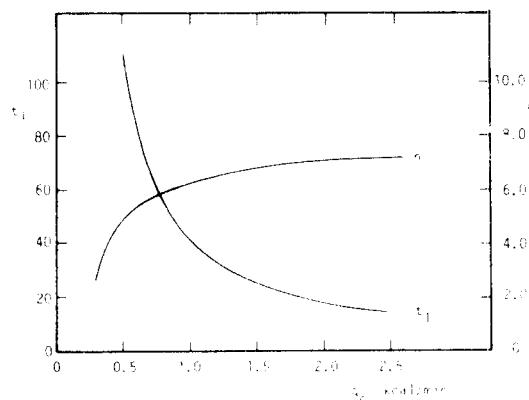
冷却過程에서 式(2·15)로 表示되는 評價函數  $F_1(q_c)$ 는  $\theta = \theta_i$ 에서 最小値가 되며, 이는 冷却裝置의 冷却熱量( $q_c$ )와 外部에서의 吸熱量間에 熱平衡을 이루어 溫度가 一定히 維持되면서 冷凍機가 連續的으로 運轉될 경우를 意味한다.

式(2·19)로 나타내는 最終的인 評價函數  $F_i(q_c)$ 는 適切한 可重係數  $D$ 가 決定되면  $q_c$ 의 最適値가 決定되는데  $D$ 의 값은  $F_1(q_c)$ 와  $F_2(q_c)$ 와의 價値評價에 따라서 달라진다. 예를 들어  $F_2(q_c)$ 를 重要視하는 경우에는  $D$ 의 값이 크게 되며, 이에 相應하는  $q_c$ 의 最適値를 求할 수 있다.

表(4·1)은 各 경우에 있어  $D$ 값의 變化에 따른  $q_c$ 값의 計算例를 나타낸다.

Table 4-1 Optimum  $q_c$  for the variation of  $D$ .

$D$	123.0	124.0	125.0	126.0	127.0
$q_c$	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9
$D$	260.0	261.0	262.0	263.0	264.0
$q_c$	1.6	1.9	2.3	2.9	4.1
$D$	376.0	377.0	378.0	379.0	380.0
$q_c$	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1

Fig. 4-1 Diagram of  $t_i$  and  $n$  for the variation of  $q_c$ .4.2  $q_c$ 값이  $t_i$ 과  $n$ 에 미치는 影響에 對한 檢討

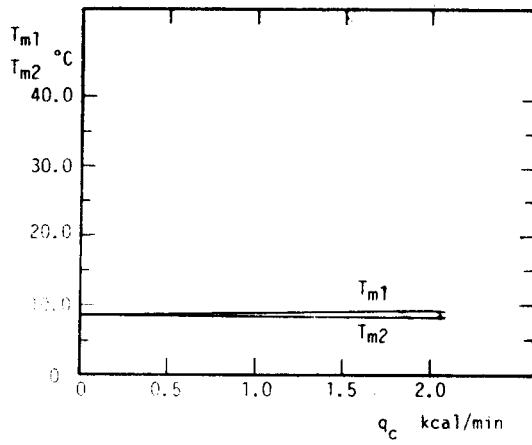
式(2·7)에서 冷凍機의 冷却熱量  $q_c$ 의 값이 增加할수록 한 사이클當 冷却에 所要되는 時間  $t_i$ 값은 減少하고 또한 式(2·14)로부터  $q_c$ 의 값이 增加할수록 하루當의 運轉사이클數는 增加하는 것을 알 수 있다.

그림(4·1)은 RUN 1의 경우에 關하여 上記에는 冷凍機의 冷却熱量  $q_c$ 와 運轉사이클  $n$  및 한 사이클當 冷却에 所要되는 時間  $t_i$ 의 計算例를 나타낸다.

4.3  $T_{m1}$ 과  $T_{m2}$ 에 對한 檢討

그림(4·2)는 冷却 및 吸熱過程에 있어서 單純平均溫度  $T_{m1}$ 과 時間平均溫度  $T_{m2}$ 를 比較한 값을 나타낸다.

ON-OFF 制御溫度幅에 따라 決定되는 單純平均溫度  $T_{m1}$ 은 制御溫度幅이 決定되면 一定한 값을 취하지만 式(2·8)로 表現되는 時間平



均溫度  $T_{m2}$ 는 테스트부의 溫度變化曲線 즉 冷凍機의 冷却熱量의 값에 따라 다르며 그림(4.2)의 RUN 1에 나타난 바와 같이  $T_{m2}$ 는  $q_c$ 가 증가할수록 時間平均溫度  $T_{m2}$ 는 增加함을 알 수 있다.

Fig. 4.2 Diagram of  $T_{m1}$  and  $T_{m2}$  for the variation of  $q_c$ .





## 5. 結 論

本 研究에서는 冷却 또는 吸熱過程의 溫度變化를 나타내는 基礎式을 誘導하고, 임의의 目標溫度에 對한 溫度誤差의 2乘面積과 所要動力에 注目하여 最終的인 評價函數를 定義하였으며, 이 評價函數의 값이 最小로 되는 意味에서의 最適運轉條件을 求하고, 冷却熱量  $q_c$ 의 變化가 運轉時間에 對한 乘數 및 溫度誤差의 2乘面積 등에 미치는 影響에 對해서 理論 및 實驗的 檢討을 行하였던 結果에 對한 結論을 얻었다.

1) 冷却過程에 所要되는 冷却熱量  $q_c$ 가 增加할수록  $F_1(q_c)$ 의 값은 增加한다.  
 2) 冷却過程에 所要되는 冷却熱量  $q_c$ 가 增加할수록  $F_2(q_c)$ 의 값은 微小하게 減少한다.  
 3)  $F(q_c)$ 를 매우 重要視하였을 경우엔,  $D=1$ 로 近似시킬 수 있으며, 最適運轉條件은 冷却熱量의 冷凍負荷와 同一한 最小容量의 冷凍機를 連續運轉하는 意味이며, 이 場合엔 初期冷凍負荷에 對한 別途의 冷凍機가 必要하다.

4) 2乘面積  $F_1(q_c)$ 보다 所要動力  $F_2(q_c)$ 의 값이 重要視되는 경우엔 加重係數  $D$ 의 값을 如何로 取할 必要하며,  $D$ 의 값을 크게 取한 때에는 最適運轉條件은 評價函數  $F_2(q_c)$ 의 값이 最小이 되며,  $q_c$ 의 값이 存在하게 된다.

실제적으로 冷凍機를 ON-OFF 制御하는 경우, 冷凍사이클數가 增加하는 機械的 壽命短縮의 影響을 미칠 것으로 推測되나, 本 研究에서는 이를 評價函數에 包含시키지 未하였는 바, 이에 對해서는 앞으로 檢討을 行하여야 할 것이다. 또한 最適狀態가 되는 條件의 評價函數의 定義方法의 如何에 따라 相違하게 되는 것이므로 앞으로 더욱 더 合理的인 評價函數를 定義하는 問題에 對하여도 더욱 研究를 行하여야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

1. 廣田實, 船舶制御 システム工學, 成山堂書店
2. 清水邦雄, 空氣調和設備の實務と知識, オーム社 (1976)
3. 河注植, 自動制御工學, 海洋大學圖書出版部 (1976)
4. J. P. Holman: Heat Transfer, 光林社 (1982)
5. 犬井鐵郎, 微分方程式, 東京大學出版會 (1975)
6. Refrigeration Test Bench (RAP-3000), 東京 メータ(株)
7. 植田辰洋, 傳熱工學資料, 日本機械學會 (1975)

