

멀티형 패키지에어컨에서의 高效率自律分散制御

1. 머리말

최근에 地球의規模의 環境問題가 많이 거론되고 있으며 그중에서도 地球温暖化나 오존層과괴와 같은 문제가 주목을 끌게 되었다. 이와 같은 문제로 空調업계에서도 “省에너지化”, “省프레온化”가 중요과제가 되었으며 環境에 적합한 機器의 개발이 요청되고 있다.

한편, 空調機器의 시스템의 標準化나 信賴性向上的의 견지에서 室內機와 室外機를 독립적으로 制御하는 自律分散制御에 대한 구상이 널리 퍼지고 있다. 그 중에서도 시스템化의 중추이며 해마다 需要가 증가하고 있는 멀티형에어컨은 制御方式이 복잡하고 다양하므로 自律分散化의 필요성이 제창되고 있다. 이에 따라 멀티형에어컨에서의 효율적이고도 環境에 적합한 새로운 制御回路를 추구하게 되었다. 그리하여 冷媒를 바이패스시켜 熱交換하는 SR(Self-Return) 효과를 응용한 新 冷凍사이클 “에코사이클”을 개발하였다. 이 에코 사이클은 Heat Inter Changer回路와 壓縮機 및 送風機의 同時制御에 의한 NSS(Next Stage Self-controlled) 制御를 조합한 自律分散制御로서 高效率(에코노미), 省프레온 및 메인テナンス負

荷의 低減 등, 環境에의 적합(에콜로지)을 고려한 制御가 가능하게 된다.

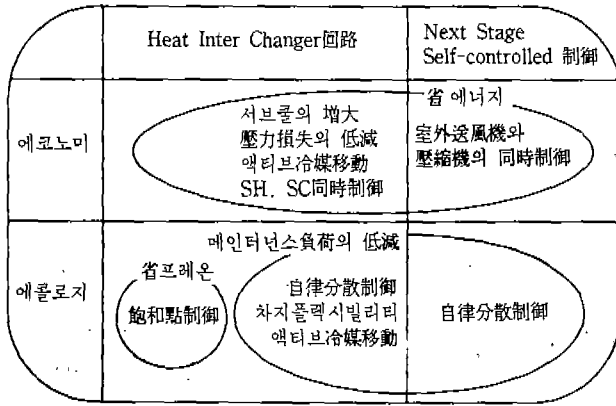
본고에서는 멀티형패키지에어컨 “슬림멀티”에 應用한 이 두개의 制御方法에 관하여 原理에 대한 설명과 시뮬레이션에 의한 理論解析을 중심으로 기술한다.

2. 에코사이클

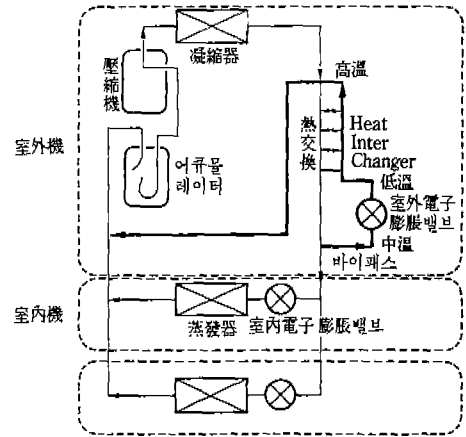
그림 1에 에코사이클의 기본개념을 나타내었다. 에코사이클이란 省에너지, 省프레온, 메인テナンス負荷의 低減을 목적으로 한 새로운 冷凍사이클이며 이를 실현하기 위하여 Heat Inter Changer回路와 NSS 制御를 응용하고 있다. 이들 制御의 특징에 대하여 간단히 기술한다.

Heat Inter Changer回路에는

- ① SR效果에 의한 冷凍效果의 增大와 壓損의 低減
- ② 冷媒의 바이패스量制御에 의한 액티브冷媒 移動
- ③ 수퍼히트(SH)와 서브쿨(SC)의 同時制御



<그림 1> 에코사이클



<그림 2> Heat Inter Changer回路

④ 메인터넌스負荷의 低減

등의 효과가 있다. 또 凝縮器出口冷媒에 서브콜을 달지 않는 飽和點制御를 함으로써 省프레온화도 가능하다.

한편 NSS制御에서는 室外送風機와 壓縮機의 同時制御에 의한 省에너지效果 외에 自律分散에 의한 메인터넌스負荷의 低減效果도 있다. 이들 두개의 制御를 조합함으로써 보다 효과적인 省에너지, 省프레온, 메인터넌스負荷의 低減을 실현할 수 있다.

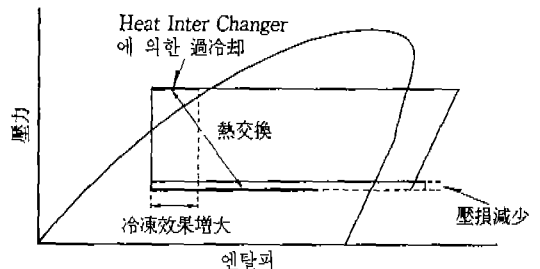
3. Heat Inter Changer回路

3.1 Heat Inter Changer回路構成

그림 2에 Heat Inter Changer回路를 표시한다. 回路는 壓縮機, 凝縮器, Heat Inter Changer, 室外電子膨脹밸브, 어큐물레이터로 구성되는 室外機와 室內電子膨脹밸브, 蒸發器로 구성되는 複數의 室內機로 구성되어 있다. Heat Inter Changer는 凝縮器出口高溫冷媒를 低溫冷媒와 熱交換함으로써 過冷却을 행하는(SR효과) 熱交換器이다. 壓縮機, 凝縮器를 거친 高溫冷媒는 Heat Inter Changer 통과후, 主流과 바이패스流로 나누어진다. 主流는 室內機로 흘러 각 室內電

子膨脹밸브와 蒸發器를 통과한 후, 어큐물레이터 바로 앞에서 바이패스流와 합류하여 어큐물레이터를 거쳐 壓縮機로 돌아온다. 한편 바이패스流는 室外電子膨脹밸브를 통과하여 低溫化된 후 Heat Inter Changer에서 高溫冷媒를 冷却하고 어큐물레이터 바로 앞에서 主流와 합류한다. 바이패스되는 冷媒流量은 주로 室外電子膨脹밸브에 의해 조정할 수 있도록 되어 있다.

이 回路의 특징을 그림 3에 표시하는 모리엘線圖를 사용하여 설명한다. Heat Inter Changer回路에서는 Heat Inter Changer에서 熱交換을 하여 凝縮器出口冷媒를 過冷却하고 있다. 이 때문에 통상 回路보다 冷凍效果가 증대한다. 또 冷媒量에 의하지 않고 室內膨脹밸브를 수퍼히트制御



<그림 3> Heat Inter Changer回路 모리엘線圖

할 수 있으므로 壓力損失이 커지는 二相流부분이 減少되어 통상보다 壓損이 低減된 사이클이 된다.

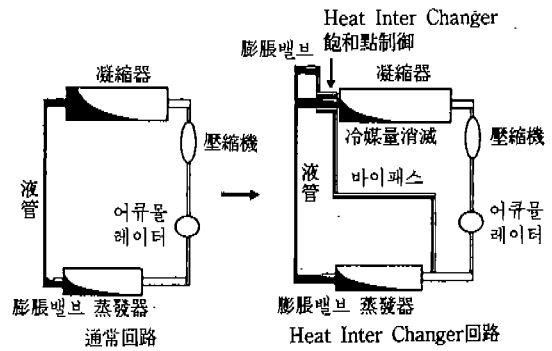
3.2 슈퍼히트, 서브쿨의 同時制御

Heat Inter Changer回路에서는 室內機와 室外機 양쪽에 電子膨脹밸브를 갖추고 있다. 各室內機에 있는 電子膨脹밸브는 통상의 冷凍사이클의 膨脹作用에 쓰이고 있으나 室外機에 존재하는 電子膨脹밸브는 Heat Inter Changer에서 熱交換을 하는 低溫冷媒를 生成하는 역할과 바이패스流量을 조정하는 두가지 목적을 위해 이용되고 있다.

멀티패키지에어컨에서는 運轉臺數나 室內外溫度條件의 차이 등에 의해 잉여冷媒가 발생한다. 종래의 制御에서는 이 잉여冷媒를 어큐물레이터에 모아두기 때문에 室內機의 膨脹밸브의 開度を 약간 더 열어두는 상태로 하여 蒸發器通過流量을 증가시킴으로써 蒸發器出口冷媒를 과열하지 않도록 制御를 하고 있다. 이 때문에 잉여冷媒 발생시에는 最適冷媒로 운전하고 있는 경우에 비해 약간 效率이 나쁜 운전으로 되는 경우가 있다. 그러나 Heat Inter Changer回路에서는 室外機의 膨脹밸브를 制御하여 잉여冷媒를 通常回路에서 바이패스시킬 수 있으므로 항상 室內側 蒸發器에 적정한 冷媒量을 순환시킬 수가 있다. 그래서 蒸發器出口의 슈퍼히트를 最適値로 制御할 수가 있게 된다. 또 종래의 사이클에서는 슈퍼히트 또는 서브쿨 중 어느 한쪽을 制御하고 있어 다른 한쪽은 冷媒순환량에 의존하기 때문에 制御가 불가능하였다. 그러나 이 사이클에서는 冷媒순환량을 制御할 수 있으므로 슈퍼히트와 서브쿨의 同時制御가 가능하게 된다.

3.3 凝縮器出口 飽和點制御에 의한 省프 레온化

멀티패키지에어컨에서는 잉여冷媒의 발생에 의한 高効率化가 가능한 한편 凝縮器出口冷媒의 過冷



<그림 4> 飽和點制御

却을 가능한 한 억제하여 冷媒의 消滅을 도모할 수가 있다.

통상의 冷凍사이클에서는 膨脹밸브入口가 液冷媒로 되어 制御가 안정되도록 凝縮器出口에서 數度の 過冷却度를 취하고 있다. 그러나 Heat Inter Changer回路에서는 凝縮器出口에서 過冷却을 할 수 있어 膨脹밸브에서 플래시의 염려가 없게 되고 상시 안정된 制御를 할 수 있다. 그래서 凝縮器出口冷媒를 飽和液 또는 낮은 乾度の 二相冷媒가 되도록 制御하면 그림 4에 표시하는 것과 같이 凝縮器內의 冷媒量을 消滅할 수 있다. 이때 蒸發器나 기타部分에 존재하는 冷媒量은 통상의 冷媒量과 그리 다르지 않기 때문에 回路전체에 필요한 冷媒量을 消滅할 수 있다.

4. 시뮬레이션에 의한 Heat Inter Changer回路의 解析

Heat Inter Changer回路의 特性을 定量化하기 위하여 시뮬레이션에 의한 理論解析을 하였다.

4.1 시뮬레이션理論式

시뮬레이션은 熱밸런스計算에 의해 사이클을 결정하고 各部의 冷媒量을 구하였다. 또 式中에서 사용하는 記號 및 添字는 다음과 같다.

記號	添字
Q : 熱交換量(kW)	g : 가스部
T : 溫度(K)	l : 液部
v : 比容積(m^3/kg)	t : 二相部
I : 엔탈피(kJ/kg)	h : 過冷却熱交換器
A : 傳熱面積(m^2)	c : 凝縮器
K : 熱通過率($W/m^2 \cdot K$)	e : 蒸發器
q : 質量流量(kg/s)	tl : 飽和液
ΔT : 對數平均溫度差(K)	tg : 飽和가스
y : 바이패스流量化	i : 入口
m : 質量(kg)	o : 出口
L : 길이(m)	

4.1.1 熱밸런스計算

시스템의 主要構成部마다 熱밸런스를 計算한다.

(1) 過冷却熱交換器部

過冷却熱交換器部는 바이패스流量에 따라 低温側出口冷媒가 二相으로 되는 경우와 液으로 되는 경우가 있어 나누어 計算한다.

(a) 出口二相인 경우

$$Q_h = K_{ht} \times A_u \times \Delta T_h \times 10^{-3} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q'_h = q \times (I_{ht} - I_{ho}) \dots\dots\dots (2)$$

(b) 出口液部인 경우

$$Q_{ht} = K_{ht} \times A_{ht} \times \Delta T_{ht} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_{hl} = K_{hl} \times A_{hl} \times \Delta T_{hl} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_h = Q_{ht} + Q_{hl} \dots\dots\dots (5)$$

$$Q'_h = q \times (I_{ht} - I_{ho}) \dots\dots\dots (6)$$

(2) 凝縮器部

凝縮器部는 가스部, 二相部, 液部로 나누어 각각의 管内熱傳達率을 사용하여 熱交換量 및 各部傳熱面積을 計算한다.

$$Q_{cg} = K_{cg} \times A_{cg} \times \Delta T_{cg} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (7)$$

$$Q'_{cg} = q \times (I_{cgl} - I_{cgo}) \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_{ct} = K_{ct} \times A_{ct} \times \Delta T_{ct} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (9)$$

$$Q'_{ct} = q \times (I_{ctu} - I_{cto}) \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_{cl} = K_{cl} \times A_{cl} \times \Delta T_{cl} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (11)$$

$$Q'_{cl} = q \times (I_{clu} - I_{clo}) \dots\dots\dots (12)$$

(3) 蒸發器部

蒸發器部는 二相部, 가스部로 나누어 각각의 管内熱傳達率을 사용하여 熱交換量 및 各部傳熱面積을 計算한다.

$$Q_{et} = K_{et} \times A_{et} \times \Delta T_{et} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (13)$$

$$Q'_{et} = q \times y \times (I_{eto} - I_{eti}) \dots\dots\dots (14)$$

$$Q_{eg} = K_{eg} \times A_{eg} \times \Delta T_{eg} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (15)$$

$$Q'_{eg} = q \times y \times (I_{ego} - I_{egi}) \dots\dots\dots (16)$$

$$Q_e = Q_{et} + Q_{eg} \dots\dots\dots (17)$$

4.1.2 冷媒量計算

가스部 및 液部에서는 區間內容積과 區間平均密度를 사용하여 計算한다.

二相部에서는 슬립비 s 를 사용하여 微小區間質량을 구하고 微小區間的 平均乾度를 사용하여 다음과 같이 計算한다.

$$A_{tl} = (1 + (v_g/v_l) \times (1/s))^{-1} \dots\dots\dots (18)$$

$$A_{qg} = A - A_{tl} \dots\dots\dots (19)$$

$$dm_{tl} = A_{tl} \times dL/v_{tl} \dots\dots\dots (20)$$

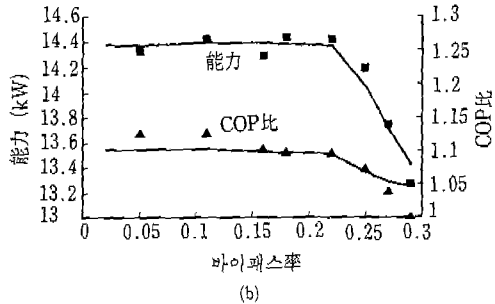
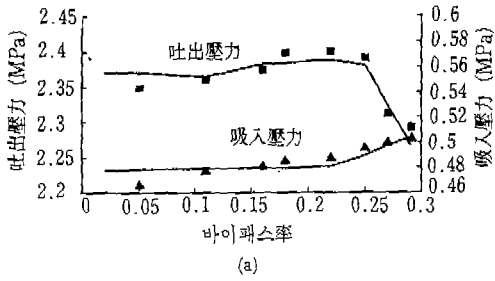
$$dm_{tg} = A_{tg} \times dL/v_{tg} \dots\dots\dots (21)$$

$$dm_t = dm_{tl} + dm_{tg} \dots\dots\dots (22)$$

4.2 Heat Inter Changer回路의 基本特性

수퍼히트를 5°C로 一定하게 유지하였을 경우의 바이패스流量化에 대한 吐出壓力, 吸入壓力, 能力, COP化를 그림 5에 나타내었다. 또 同一條件의 實驗値를 그림中에 플롯하였다. 吐出壓力 P_d 는 바이패스流量比가 증가하면 서서히 증가하며 25% 이후 급격히 低下한다. 또 吸入壓力 P_s 는 바이패스流量比의 증가와 함께 서서히 上昇한다. 冷房能力은 바이패스流量比率이 2~22% 사이는 거의 일정하여 넓은 범위에서 冷房能力이 확보되고 있음을 알 수 있다.

또한 COP는 시물레이션, 實驗値 함께 바이패스流量比率이 약 20% 정도까지는 거의 一定하고 22%를 넘는 부분에서부터 低下하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 吸入壓力의 증가에 따른 吸



〈그림 5〉 바이패스流量比 特性

入比容積의 減少에 의해 入力이 증가한 것에 기인한다. 吐出·吸入壓力, 能力, COP比의 경향은 시물레이션值, 實驗值 兩者 거의 一致하고 있다.

4.3 Heat Inter Changer回路에 의한 高效率化

Heat Inter Changer回路는 운전상황이 변화하여 잉여冷媒가 발생하였을 때 통상보다도 효율적인 운전을 할 수가 있다.

잉여冷媒發生時의 同一能力에서 通常回路(서브클制御)와 Heat Inter Changer回路와의 比較를 표 1에 표시한다.

通常回路는 蒸發器出口乾度가 0.96, Heat Inter Changer回路의 바이패스率은 15%인 상태에서의 것이며 이때의 兩者의 冷媒量은 거의 동등하다. Heat Inter Changer回路에서는 通常回路보다 冷凍效果가 약 1.2배로 되어 있어 결과적으로 蒸發器流量과의 均衡 때문에 冷凍能力은 同等하게 되어 있다. 蒸發器壓力損失은 약 3割 정

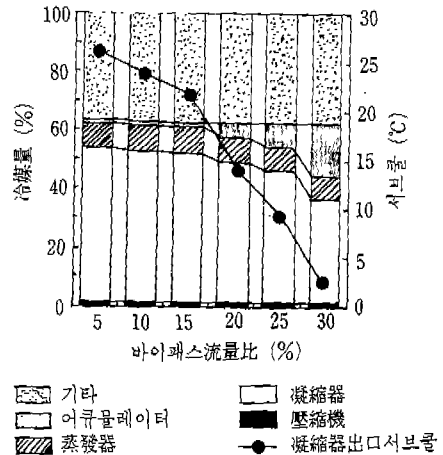
〈표 1〉 通常回路와 Heat Inter Changer回路의 比較

	通常回路	Heat Inter Changer回路
冷凍能力(kW)	14.7	14.7
COP比	1.0	1.1
凝縮器出口過冷却度(°C)	5.0	5.0
蒸發器出口過熱度(°C)	—	5.0
蒸發器出口乾度	0.96	—
바이패스流量比(%)	—	15.0
蒸發器流量(kg/h)	356.8	299.7
冷凍效果(kJ/kg)	148.2	176.4
蒸發器壓力損失(MPa)	0.135	0.102

도 低減되어 COP比의 向上(약 10%)에 기여하고 있다.

4.4 액티브冷媒移動

그림 6은 잉여冷媒運轉時에 바이패스流量을 변화시켰을 때(수퍼히트 一定)의 壓縮機, 凝縮器, 蒸發器, 어큐물레이터, 기타(延長配管 등)의 冷媒分布를 시물레이션에 의해 구한 것이다. 그림에서 壓縮機, 蒸發器 및 기타 部分에서는 冷媒量은 거의 변화하지 않고 있으며 바이패스流量이 증가함에 따라 凝縮器冷媒量이 증가하고 어큐물



〈그림 6〉 바이패스流量比에 의한 冷媒量變化

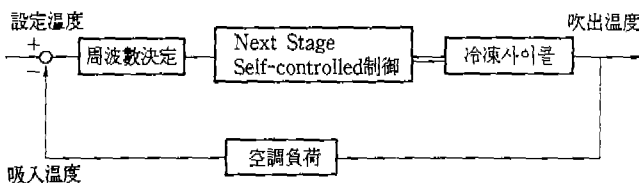
레이터內 冷媒量이 준 것을 알 수 있다. 이것은 수퍼히트가 一定할 때 바이패스流量을 증가시킴에 따라 잉여冷媒가 凝縮器로부터 어큐물레이터로 移動하고 있기 때문이다. 이때 凝縮器의 서브쿨은 凝縮器內의 冷媒量의 減少와 함께 單調롭게 低下하고 있다. 이것으로부터 凝縮器서브쿨을 制御하면 잉여冷媒를 凝縮器로부터 어큐물레이터에 액티브移動이 가능함을 알 수 있다. 이와 같이 바이패스回路를 사용하여 잉여冷媒를 어큐물레이터에 모아둘 수가 있기 때문에 항상 室內機에는 最適한 冷媒量이 순환하여 蒸發器出口수퍼히트를 最適値로 컨트롤한 채로 凝縮器出口서브쿨을 컨트롤할 수 있고 自律分散制御가 가능하다.

5. NSS制御

5.1 NSS制御의 基本原理

NSS制御는 壓縮機周波數와 送風機回轉數를 變化시켰을 때의 能力 및 入力を 매트릭스演算에 의하여 예측하여 同一能力中 最小의 入력이 되도록 制御하는 것이다.

이 NSS制御의 흐름을 표시한 블록線圖를 그림 7에 표시한다. 設定溫度와 吸入溫度의 差를 기초로 壓縮機의 基本周波數를 결정한다. 그리고 이것과 同一能力이며 入力を 最小로 하는 壓縮機周波數와 送風機回轉數를 예측하여 制御한다. 또한 吹出溫度는 空調負荷를 통하여 吸入溫度로서 피드백된다. 壓縮機周波數增分 ΔF 와 送風機回轉數增分 ΔN 에 대한 能力增分 ΔQ , 入力增分 ΔW 의 豫測은 매트릭스데이터 $abcd$ 를 사용하여



〈그림 7〉 NSS制御블록線圖

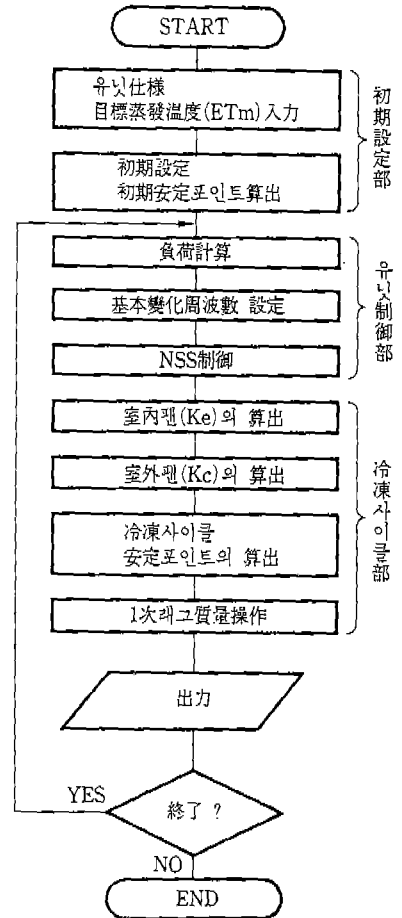
式(23)으로 표시된다.

$$\begin{pmatrix} \Delta Q \\ \Delta W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta F \\ \Delta N \end{pmatrix} \dots\dots\dots (23)$$

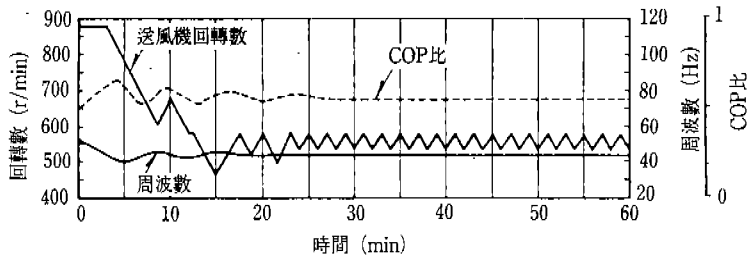
매트릭스데이터는 經驗値에 의한 것으로 경우에 따라서는 學習機能을 갖게 할 수도 있다.

5.2 NSS制御의 다이내믹시뮬레이션

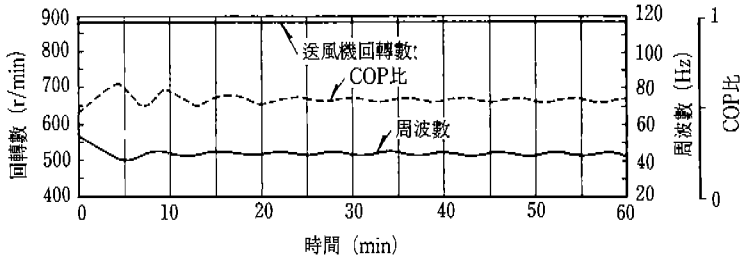
그림 8에 NSS制御의 다이내믹시뮬레이션의 플로차트를 나타낸다. 처음에 初期條件을 인프트하여 初期狀態의 安定포인트를 구한다. 그리고 나서 目標値에 대한 현재의 상태로부터 壓縮機의 基本周波數의 變化를 결정하고 NSS制御에 의한



〈그림 8〉 NSS制御다이내믹 시뮬레이션 플로차트



(a) NSS制御 있음



(b) NSS制御 없음

<그림 9> NSS制御다이내믹 시뮬레이션

壓縮機周波數 및 送風機回轉數를 결정하고 이것에 기초한 冷凍사이클의 밸런스計算을 한다. 各安定포인트間的의 운전상태의 推移는 1次래그傳達函數로 표시한다.

그림 9는 NSS制御를 하였을 때와 하지 않았을 때의 壓縮機周波數, 送風機回轉數 및 COP比의 時間變化를 나타낸 것이다. 開始 20분까지는 過渡狀態이고 그 이후는 거의 안정된 상태로 되어 있다. NSS制御를 할 경우 COP比 向上을 위해 운전후 바로 送風機回轉數에 制御가 걸려 600r/min 정도까지 내려간다. 또 安定時에는 NSS制御에서는 送風機回轉數에 制御가 걸려 壓縮機周波數는 변동하지 않고 COP比도 一定하여 안정된 운전으로 되어 있다. 이에 대하여 NSS制御를 하지 않는 경우에는 送風機回轉數가 一定值인 채로 壓縮機周波數가 변화되고 있으며 이에 의하여 COP比가 상당히 변화하고 있다.

이 동안 NSS制御에서는 약 5% 정도의 COP比가 向上되어 있다. 實機에서는 NSS制御를 고려

하여 凝縮器壓力을 어느 一定한 幅안에 들도록 壓縮機周波數 및 室外送風機의 制御를 하고 있다.

6. 맺음말

현재 地球環境問題와 관련하여 멀티팩키지에 어킨의 省에너지, 省프레온, 메인터넌스負荷의 低減, 自律分散化 등의 과제가 있다. 이번에 개발한 “에코사이클”에 포함되는 두개의 制御方法, Heat Inter Changer回路와 NSS制御는 이들 문제를 해결하기 위한 有効한 수단이다. 또 이들의 制御는 적용범위가 넓어 이후의 應用展開가 기대된다.

이 원고는 日本 三菱電機技報를 번역, 전재한 것입니다. 本稿의 著作權은 三菱電機(株)에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.