

모델예측제어를 이용한 에어컨 시스템의 실내온도 제어

조항철* · 변경석* · 송재복† · 장효환** · 최영돈**

(2000년 6월 12일 접수, 2001년 2월 15일 심사완료)

Indoor Temperature Control of an Air-Conditioning System Using Model Predictive Control

Hang-Cheol Cho, Kyung-Seok Byun, Jae-Bok Song,
Hyo-Whan Chang and Young-Don Choi

Key Words : Model Predictive Control(모델예측제어), Air-Conditioning System(에어컨 시스템), System Identification(시스템 규명)

Abstract

The mathematical model of a air-conditioning system is generally very complex and difficult to apply to controller design. In this paper, simple models applicable to the controller design are obtained by modeling the air-conditioning system by single-input single-output between compressor speed and indoor temperature, and by multi-input single-output between compressor speed, indoor fan speed and indoor temperature. Using these empirical models, model predictive control (MPC) technique was implemented for indoor temperature control of the air-conditioning system. It has been shown from various experiments that the indoor temperature control based on the MPC scheme yields reasonably good tracking performance with smooth changes in plant inputs. This multi-input multi-output MPC approach can be extended to multi air-conditioning systems where the conventional PID control scheme is very difficult to apply.

1. 서론

근래에 인버터 기술의 발전에 따라서 냉동공조 시스템에 사용되는 압축기의 구동에 인버터를 적용한 제품이 선진국을 중심으로 널리 사용되고 있다. 이러한 인버터의 도입은 제한된 운전영역에서 온/오프 제어만으로 작동되던 기존의 압축기를 넓은 영역에서 가변속 운전을 할 수 있도록 함으로써, 에너지 효율 및 제어 성능의 향상을 가져올 수 있다. 이러한 장점에 의해서 인버터 압축기의 사용이 확대되고 있지만, 국내에서는 아직 일부

제품만이 인버터 압축기를 장착하고 있을 뿐이다.

기존의 냉동공조 시스템에서는 냉방요구에 맞추어 압축기를 온/오프 방식으로 단속제어하여 온도를 조절하는데, 이 경우 제어로직은 다양한 튜닝을 통하여 비교적 쉽게 결정할 수 있다. 그러나 인버터형 시스템에서는 가변요소가 많아지고, 이들 사이에 강력한 결합성(coupling)이 존재하므로, 주어진 사양을 만족시키는 제어로직의 결정이 쉽지 않게 된다. 이러한 냉동공조 시스템의 제어를 위해서 비선형제어,⁽¹⁾ 적응제어,⁽²⁾ 퍼지적응제어,⁽³⁾ 직부하제어,⁽⁴⁾ 퍼지PID제어⁽⁵⁾ 등의 고급제어 기법을 적용하기 위한 연구가 일부 진행되었지만, 아직은 연구 수준에 머물러 있으며 제품에까지 반영되지는 못 하고 있다.

본 논문에서는 인버터형 압축기를 갖는 에어컨 시스템에 대하여, 모델예측제어(model predictive control, MPC) 기법⁽⁶⁾을 적용하여 실내온도의 제어

* 고려대학교 대학원

† 회원, 고려대학교 기계공학과

E-mail: jbsong@korea.ac.kr

TEL : (02) 3290-3363

FAX : (02) 3290-3757

** 회원, 고려대학교 기계공학과

를 수행하고자 한다. MPC는 플랜트의 모델에 기초하여 미래의 플랜트 출력을 예측하고, 최적화된 미래의 제어입력을 계산하는 기법이다. 즉, 매 샘플링 순간마다 추종오차와 제어입력의 변화량 등으로 구성된 비용함수를 최소화시키는 제어입력을 모두 구하고, 이 중 첫 번째 제어입력을 플랜트의 입력으로 사용한다.

기존 제어기와 비교하였을 때의 MPC의 장점은 다음과 같다. 첫째, 기존의 PID 제어기는 단일 입력 출력인 SISO 시스템에만 적용이 가능한데 비해서, MPC는 다중 입력 출력인 MIMO 시스템에도 적용이 가능하다. 즉, 이 기법은 한 대의 실외기로 다수의 실내기를 제어하여야 하는 멀티형 에어컨에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 둘째, 일반적으로 압축기의 회전수는 제한을 갖게 되는데, 이러한 제한을 MPC의 제약조건으로 처리할 수 있다.

한편, MPC는 기본적으로 플랜트의 모델에 근거하므로, 이의 적용을 위해서는 플랜트의 모델이 필요하게 된다. 본 연구에서 사용하는 인버터형 에어컨이나 열펌프의 모델링에 대해서는 일부 연구가 수행된 바 있지만,⁽⁷⁾ 이러한 모델은 시스템의 각 요소에 여러 물리법칙을 적용한 복잡한 수학적 모델로서 성능 시뮬레이션에는 적합하지만, 제어기의 설계에 직접 적용하기는 어렵다. 제어기의 설계를 위한 플랜트의 모델은, 구현을 위해서 단순하면서도, 플랜트의 동적 거동을 잘 표현하여야 한다. 본 연구에서는, 압축기 속도를 입력, 실내온도를 출력으로 하는 SISO(single-input single-output) 시스템과, 압축기 속도와 실내기팬 속도를 입력, 실내온도를 출력으로 하는 MISO(multi-input single-output) 시스템의 두 가지 모델을 고려하였다. 이들 각 모델링은 시스템규명(system identification) 기법을 이용하여 수행하였다.

2. 에어컨 시스템 및 실험 장치

본 연구에 사용한 시스템은 인버터형 에어컨으로서, 응축기와 증발기 역할을 하는 실내기와 실외기의 2개의 열교환기, 팽창장치로서 모세관, 액체상태의 냉매가 압축기로 유입되는 것을 방지하는 축압기 및 로터리식 압축기 등의 요소로 구성되어 있다. R-22 냉매를 작동유체로 사용한다. Fig. 1은 에어컨 시스템에 대한 개략도이고, Table 1은 사양을 나타낸다.

압축기는 3상인버터를 사용하여 30-72Hz 사이에서 구동하였다. 30Hz 이하 또는 72Hz 이상의 속도에서의 구동은 압축기를 손상시킬 수 있으므로 피

하는 것이 바람직한데, 이러한 영역은 제어기에서 제어입력의 제약조건으로 처리하였다. 실외기팬용 모터의 속도는 3개의 계전기(relay)를 사용하여 강, 중, 약의 3단으로 조절이 가능하고, 실내기팬용 모터는 SSR(solid state relay)로 위상을 제어하여 1,500rpm까지 원하는 속도로 조절이 가능하다. 실내온도는 실제 제품에서와 동일하게 실내기 입구에 서미스터를 설치하여 측정하였으며, 실외온도는 실외기 입구에 서미스터를 설치하여 측정하였다. 이러한 각 제어 요소와 센서는 인터페이스 장치를 통해서 PC와 연결되고, PC에서는 Labview라는 S/W를 사용하여 측정, 제어, 데이터의 저장 등을 수행하였다.

에어컨 시스템의 제어성능을 실험하기 위하여 Fig. 2와 같은 실험장치를 제작하였다. 실내공간은 약 3평으로 실외공간 내에 설치되고, 실외공간은 히터와 팬으로 구성된 2개의 온풍기를 단속제어하여, 일정한 실외온도가 유지되도록 하였다. 이러한 실험장치는 정밀한 성능시험에는 적합하지 않지만, 제어성능 실험을 위한 반복성에는 문제가 없다.

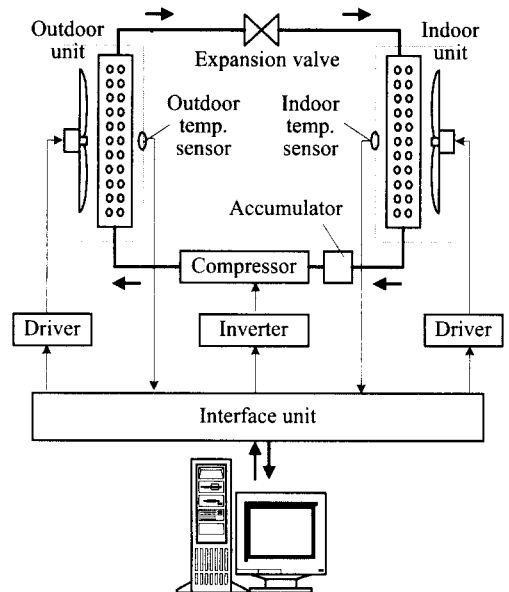


Fig. 1 Schematic of the air-conditioning system used in the experiment

Table 1 Specifications of the air-conditioning system used in the experiment

Rated cooling capacity	3550kcal/h
Rated voltage	220V
Rated cooling power	1247W
Refrigerant	R22

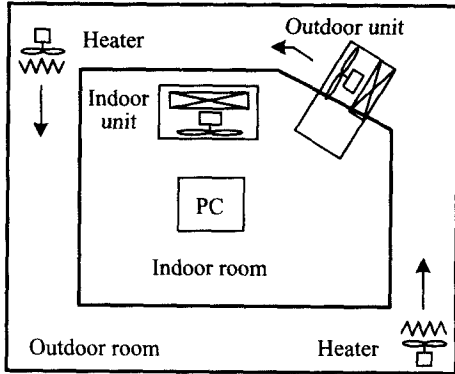


Fig. 2 Configuration of experimental setup

에어컨 시스템에 영향을 미치는 요인으로는 압축기 속도, 실내기팬과 실외기팬의 속도, 실내외 온도와 습도 등 여러 가지가 있다. 본 연구에서는 SISO 시스템에 대해서는 압축기 속도를 시스템의 입력으로, 실내온도를 출력으로 사용하여 실험을 수행하였으며, 이 때 실내기팬 속도와 실외온도는 일정하게 유지하였다. 또한, MISO 시스템에 대해서는 압축기 속도와 실내기팬 속도를 시스템의 입력으로, 실내온도를 출력으로 사용하였으며, 이 때 실외온도는 일정하게 유지하였다.

3. 모델예측제어

모델예측제어(model predictive control, MPC)는 플랜트 모델과 과거의 플랜트의 입출력 정보를 이용하여 미래의 제어입력에 대한 플랜트의 출력을 예측하며, 비용함수를 최소화하는 미래 제어입력을 계산하는 방식의 제어기법이다. 계산된 제어입력 중에서 현재의 제어입력만을 사용하고, 다음 스텝에서 다시 제어입력의 계산을 반복한다. MPC는 Fig. 3에서와 같이 플랜트의 모델, 예측방정식, 기지의 기준입력, 그리고 비용함수로 구성된다. 이러한 MPC는 시스템의 모델과 비용함수에 따라 DMC(dynamic matrix control), PCA(predictive control algorithm), MAC(model algorithm control), GPC(generalized predictive control), EPSAC(extended prediction self-adaptive control), EHAC(extended horizon adaptive control) 등의 여러 제어기로 분류된다.⁽⁸⁾ 특히, 이 중에서 GPC는 가장 널리 알려진 미래 예측제어 기법으로, 본 연구에서는 MPC 중에서 이 GPC 기법을 적용하여 실내온도 제어를 수행하였다.

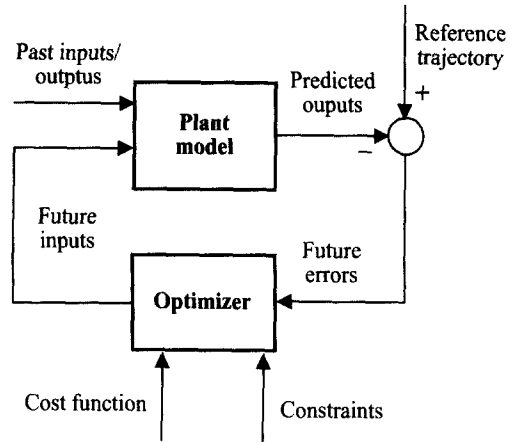


Fig. 3 Basic structure of GPC

대부분의 SISO 시스템은 특정 동작점에서 선형화하면, 다음의 CARIMA (controller auto-regressive integrated moving-average) 모델로 나타낼 수 있다.

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})\frac{e(t)}{\Delta} \quad (1)$$

여기서, $u(t)$, $y(t)$, $e(t)$ 는 플랜트의 입력, 출력 및 정규 백색잡음을 각각 나타내고, d 는 시스템의 시간 지연이다. 또한, A, B, C, Δ 는 z^{-1} 의 다항식으로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{na}z^{-na} \\ B(z^{-1}) &= 1 + b_0z^{-1} + b_1z^{-2} + \dots + b_{nb}z^{-nb} \\ C(z^{-1}) &= 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{nc}z^{-nc} \\ \Delta &= 1 - z^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)로 모델링된 시스템을 고려하여 GPC를 유도한다.⁽⁶⁾ 이 때, 계산의 단순화를 위하여 일반성을 잃지 않으면서 $C(t)$ 를 1로 가정할 수 있다. 이 때, GPC는 다음과 같은 비용함수를 최소화 하는 제어입력을 계산함으로써 구된다.

$$J(N_1, N_2, N_3) = E \left\{ \sum_{j=N_1}^{N_2} \delta(j) [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_3} \lambda(j) [\Delta u(t+j-1)]^2 \right\} \quad (3)$$

$$\text{subject to } u_{\min} \leq u(t+j-1) \leq u_{\max} \quad (j=1, \dots, N_3) \quad (4)$$

여기서, E 는 기대치 연산자이고, $\hat{y}(t+j|t)$ 는 시간

t 에 추정된 시스템 출력의 j 스텝 후의 예측치이고, $w(t+j)$ 는 미래의 기준입력이다. N_1 과 N_2 는 출력 예측범위의 하한과 상한, N_3 는 제어입력 예측 범위, 그리고 δ 와 λ 는 추종오차와 제어입력 변화량에 대한 가중치를 각각 나타낸다. 이 비용함수는 추종오차를 최소로 하기 위한 첫째 항과 제어입력의 과도한 변화를 방지하기 위한 둘째 항으로 구성되어 있음에 주목하여야 한다. 따라서 비용함수 J 를 최소화하는 제어입력을 계산하면 추종성능뿐만 아니라 과도한 크기의 제어입력도 방지할 수 있다.

제어입력은 비용함수를 최소화함으로써 얻어질 수 있다. 제어입력에 제약조건이 없는 경우에는 비용함수를 최소화하는 제어입력의 계산은, 비용함수의 변화율이 0이 되도록 하여 구할 수 있다.⁽⁹⁾ 그러나 제어입력에 제약조건이 존재하는 경우에는, 식 (4) 형태의 제약조건을 비용함수의 최적화과정에 고려하여 계산을 수행한다.⁽¹⁰⁾ 에어컨 시스템에서 SISO 시스템에 대해서는 30 - 72Hz의 압축기 속도를, MISO 시스템에 대해서는 30 - 72Hz의 압축기 속도와 1,050 - 1,450rpm의 실내기팬 속도를 제약조건으로 적용하였다. 이렇게 현재시간 t 에서 계산된 제어입력 $u(t)$, $u(t+1)$,...중에서 첫 번째 입력인 $u(t)$ 만을 실제 제어입력으로 사용하며, 매 단계마다 이러한 최적화 과정을 수행하여 제어를 수행한다.

4. 시스템 모델링

MPC 제어를 위해서는 시스템의 동적 특성에 관한 모델링이 필요하다. 그러나 에어컨 시스템의 동적 특성에 관한 모델링은 여러 시스템의 각 요소들의 연속적인 상호작용과 온도와 압력의 빠른 변화 및 열교환기의 열용량의 영향 등에 의해 매우 복잡하다. 또한, 에어컨 시스템의 동적 모델은 시스템의 변경 및 외기 조건의 변화에 따른 시스템의 변화 특성을 예측할 수 있어야 하고, 이러한 동적 성능에 관한 모델링은 많은 계산시간을 요구한다.

본 연구에서는 에어컨 시스템을 SISO와 MISO 구조의 ARMAX(auto-regressive moving average process with external input) 모델을 사용하여 동적 모델을 구하였다. 모델의 계수는 Predictive error algorithm⁽¹²⁾을 사용하여 구하였는데, 이 때 넓은 범위의 주파수 성분을 포함하는 PRBS(pseudo random binary sequence) 신호를 입력으로 사용하였다. 단일출력에 대한 ARMAX 모델의 일반식은 다음과 같다.

$$A(z^{-1})y(t) = \sum_{i=1}^{n_u} [B_i(z^{-1})/F_i(z^{-1})]u_i(t) + [C(z^{-1})/D(z^{-1})]e(t) \quad (5)$$

여기서, n_u 는 입력의 개수를 나타낸다. 또한, A , B_i , F_i , C 및 D 는 z^{-1} 에 대한 다항식이다.

4.1 SISO 시스템에 대한 모델링

SISO 구조에서는 실내기팬 속도와 실외온도를 일정하게 유지시키고, 입력으로는 압축기 속도를, 출력으로는 실내온도를 사용하여 에어컨 시스템의 모델식을 구하였다. SISO 구조에서 사용한 ARMAX 모델식은 다음과 같다.

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t) + C(z^{-1})e(t) \quad (6)$$

Fig. 4는 실내기팬 속도는 1,400rpm, 실외온도는 35°C로 유지한 채, 30과 72Hz의 압축기 속도의 PRBS 입력에 대한 실내온도의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때, 샘플링시간은 10sec로 선정하였다. 실외온도가 일정할 때 압축기 속도와 실내온도는 1차 시스템임을 알 수 있다. 따라서, SISO 구조에서는 압축기 속도와 실내온도를 1차 시스템으로 가정하여, 동적 모델식을 구하였다. 본 연구에 사용한 SISO 구조의 에어컨 시스템의 동적 모델식은 다음과 같다.

$$(1 - 0.9721z^{-1})y(t) = -0.0027z^{-1}u(t) + (1 - 0.2078z^{-1})e(t) \quad (7)$$

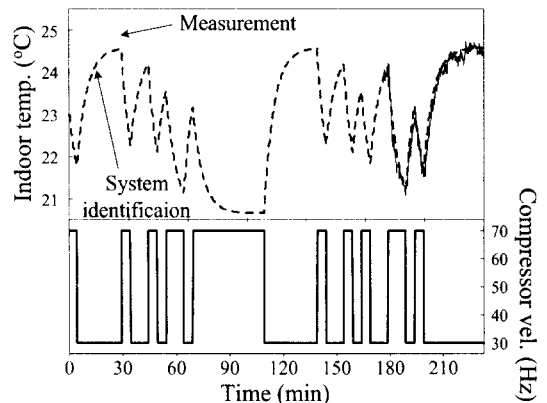


Fig. 4 PRBS test for SISO system identification

4.2 MISO 시스템에 대한 모델링

MISO 구조에서도 샘플링시간은 10sec, 실외온도는 35°C로 일정하게 유지한 후, 압축기 속도와 실내기팬 속도를 입력으로, 실내온도를 출력으로 사용하여 모델식을 구하였다. MISO 구조에서 사용한 ARMAX모델식은 다음과 같다.

$$y(t) = \frac{B_1(z^{-1})}{F_1(z^{-1})} u_1(t) + \frac{B_2(z^{-1})}{F_2(z^{-1})} u_2(t) + \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})} e(t) \quad (8)$$

Fig. 5는 압축기 속도는 30과 72Hz, 실내기팬 속도는 1,050과 1,450rpm의 PRBS 입력에 대한 실내온도의 변화를 나타내는 그림이다. MISO 구조에서는, SISO 구조에서 시스템구명의 결과를 바탕으로 각각의 입력에 대하여 출력을 1차 시스템으로 가정하여, 에어컨 시스템의 동적 모델식을 구하였다. MISO 구조의 시스템의 동적 모델식은 다음과 같다.

$$y(t) = \frac{-0.0035z^{-1}}{1-0.9538z^{-1}} u_1(t) + \frac{-0.003z^{-1}}{1-0.7938z^{-1}} u_2(t) + (1+0.9121z^{-1} + 0.7464z^{-2})e(t) \quad (9)$$

5. 실험 결과 및 고찰

시스템 구명에서 구한 모델을 사용한 GPC제어의 성능을 확인하기 위해서, 본 연구에서는 실

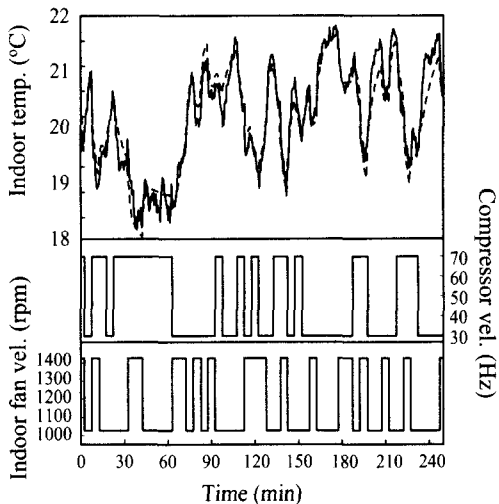


Fig. 5 PRBS test for MISO system identification (solid line; measurement, dashed line; system identification)

정점 변경을 고려한 실내온도제어에 관한 실험만을 수행하였다. 모든 실험에서 초기실내온도와 설정온도는 제어기의 성능을 확인하기에 적절하다고 판단되어진 30°C와 21°C로 선정하였다. SISO와 MISO 시스템에 대해서 동일하게 샘플링시간은 10sec, 실외온도는 35°C로 일정하게 유지하였다. 또한, SISO와 MISO 시스템에 대한 모델식에서 뚜렷한 시간지연이 나타나지 않았기 때문에, 출력 예측범위의 하한(N_1)은 0으로 설정하였다. 추종오차와 제어입력의 변화량에 대한 가중치는 서로 상대적인 값이므로, 편의상 추종오차에 대한 가중치(δ)를 1로 선택하였으며, 제어입력의 변화량에 대한 가중치(λ)는 설계변수로 선택하였다. 따라서 본 실험에서는 출력의 예측범위(N_2), 제어입력의 예측범위(N_3), 그리고 제어입력의 변화량에 대한 가중치(λ)를 에어컨 시스템의 실내온도 제어를 위한 설계변수로 사용하였다. 또한, 비용함수를 구성하고 있는 제어입력의 변화량과 출력인 실내온도의 오차는 단위에서 상당한 차이가 있기 때문에, 이 점을 고려하여 제어입력의 변화량에 대한 가중치를 선정하였다.

5.1 SISO 시스템

SISO 구조의 에어컨 시스템의 모델식 (7)을 사용하여 GPC를 구현하였다. 실내기팬 속도를 약 1,400rpm으로 일정하게 유지시키며, 제어실험을 수행하였다. 매 순간 GPC에서 압축기 속도인 제어입력을 계산하여 인버터를 통하여 이를 구현하였다. 이 때 제약조건으로는 압축기 속도가 30-72Hz 사이에서 운전되도록 하였다.

Fig. 6은 시스템의 제어입력의 변화량에 대한 가중치가 0.1일 때, 출력의 예측범위와 제어입력의 예측범위의 변화에 따른 실험결과를 나타내는 그림이다. 다양한 예측범위에 대한 실험을 수행하였지만, 지면 관계상 이 중에서 대표적인 경우로 N_2 와 N_3 가 4, 6, 18일 때의 실험결과만을 도시하였다. 예측범위가 4인 경우에는 약간의 오버슈트 발생하며, 제어입력인 압축기 속도가 비교적 천천히 변하게 되어 실내온도는 목표온도에 천천히 도달하게 된다. 반면에, 예측범위가 18인 경우에는 예측범위가 4인 경우에 비해 오버슈트 없이 목표온도에 더 빨리 도달하게 되지만, 압축기 속도의 변화는 상대적으로 크다는 것을 관찰할 수 있다. 에어컨 시스템에서 압축기 속도의 이러한 계속적인 급격한 변화는 바람직하지 못하다. 종합적으로, 예측범위가 작으면 느린 응답성과 오버슈트 발생의 문제가 발생하며, 예측범위가 너무 크면 압축기 속도 변화가 과도하게 되는 문제가 발생하므로 적절한

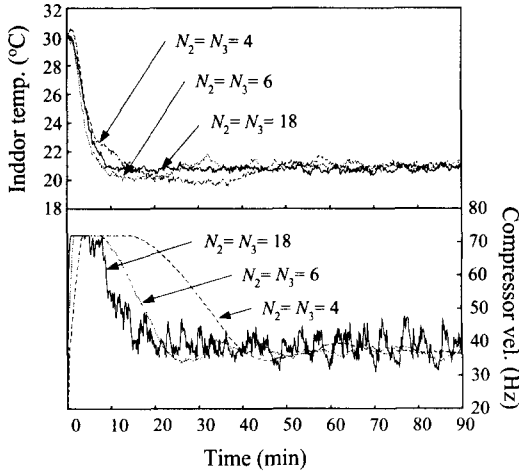


Fig. 6 Experimental results of the SISO system using GPC with $\lambda = 0.1$ and $N_2 = N_3 = 4, 6, 18$

예측범위를 선정하는 것이 필요하다. 본 실험에서는 예측범위 6을 사용하여 압축기 속도가 부드럽게 변화하면서도 실내온도를 잘 추종하는 제어 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 제어입력 변화량의 변화에 따른 실내온도 제어를 알아보기 위해, 예측범위가 6이고, 제어입력의 변화량에 대한 가중치가 0.05, 0.1, 0.2일 때 실내온도 제어의 실험결과를 나타내는 그림이다. λ 의 값이 작으면, 비용함수에서 제어입력의 변화량에 대한 비중이 작아지므로 제어입력의 변화량이 커져서 초기에 72Hz와 제어입력의 정상상태 속도인 약 37Hz에 더 빨리 도달하게 된다. 제어입력의 변화량에 대한 가중치가 변하여도 목표 실내온도인 21°C에 도달하는 시간은 비슷하게 소요되지만, 전반적으로 가중치가 작으면 제어입력의 급격한 변화가 허용되어 보다 신속한 응답을 얻을 수 있게 된다. 따라서 제어입력에 대한 가중치는 제어입력의 과도한 변화가 발생하지 않는 한 작게 설정하는 것이 응답성 측면에서 유리하게 된다. 한편, Fig. 6에서 예측범위가 18인 경우와 같이 제어입력의 변화가 큰 경우에도, 제어입력의 변화량에 대한 가중치를 증가시키면 제어입력의 과도한 변화를 감소시킬 수 있다.

5.2 MISO 시스템

MISO 구조의 에어컨 시스템의 동적 모델식 (9)를 사용하여 GPC를 구현하였다. MISO 시스템의 제약조건은 압축기 속도와 실내기팬 속도로서, 압축기는 30에서 72Hz로, 실내기팬 속도는 약 1,050에서 1,450rpm 사이에서 운전되도록 하였다.

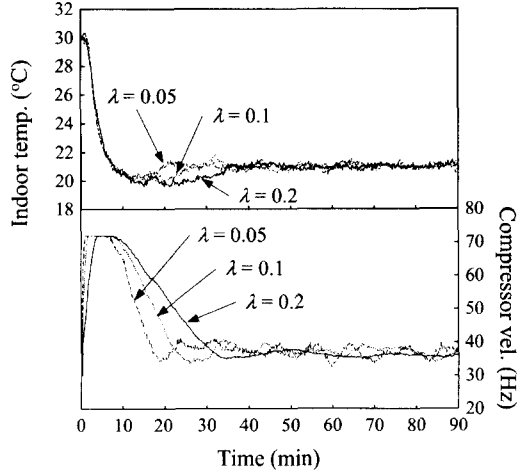


Fig. 7 Experimental results of the SISO system using GPC with $N_2 = N_3 = 6$ and $\lambda = 0.05, 0.1, 0.2$

MISO 시스템에서는 제어신호로 사용하는 압축기 속도와 실내기 팬 속도의 단위가 다르기 때문에 각각의 제어 입력에 대한 변화량의 가중치를 동일하게 설정하여서는 안 된다. 비용함수의 식 (3)에서 제어 입력의 변화량에 관계된 두 번째 항은 MISO 시스템에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{j=1}^{N_3} \lambda_1 [\Delta u_1(t+j-1)]^2 + \lambda_2 [\Delta u_2(t+j-1)]^2 \quad (10)$$

여기서, u_1 는 압축기 속도이고, u_2 는 실내기팬 속도이다. 또한 λ_1 은 압축기 속도의 변화량에 대한 가중치이고, λ_2 은 실내기팬 속도의 변화량에 대한 가중치이다. 본 실험에서는 에너지를 고려하여, 압축기 속도의 변화량에 대한 가중치의 6배로 설정하였다. 이렇게 설정한 이유는, 압축기에서 소비하는 전력이 실내기팬에서 소비하는 전력의 약 6배이기 때문이다. 실제로 72Hz일 때 압축기의 전력은 약 780W이고, 1,450rpm일 때 실내기팬의 전력은 약 120W이다. 즉, 설계변수인 제어입력의 변화량에 대한 가중치 $\lambda = \lambda_1 = 6\lambda_2$ 인 것이다.

Fig. 8은 시스템의 제어입력의 변화량에 대한 가중치가 0.1일 때, 출력의 예측범위와 제어입력의 예측범위의 변화에 따른 실험결과를 나타내는 그림이다. 이 때, 압축기 속도의 예측범위와 실내기팬 속도의 예측범위를 동일하게 선정하여 실험을 수행하였다. MISO 시스템에서 예측범위에 따른 실내온도 제어는 SISO 시스템의 실험 결과와 같이, 예측범위가 크면 제어입력의 변화가 커지며, 예측

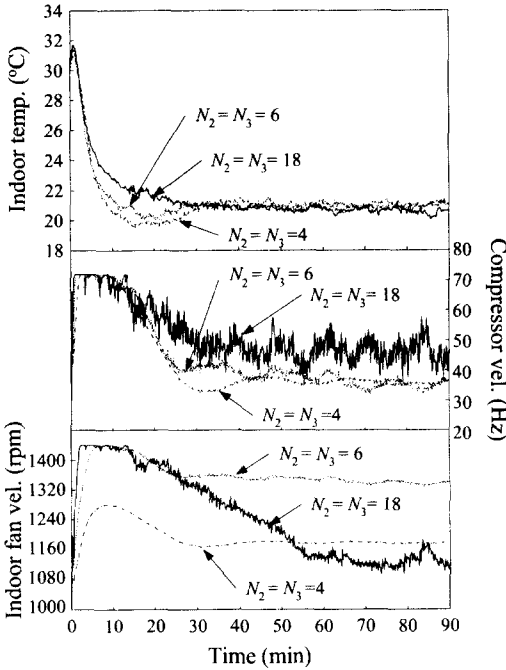


Fig. 8 Experimental results of the MISO system using GPC with $\lambda=0.1$ and $N_2=N_3=4, 6, 18$

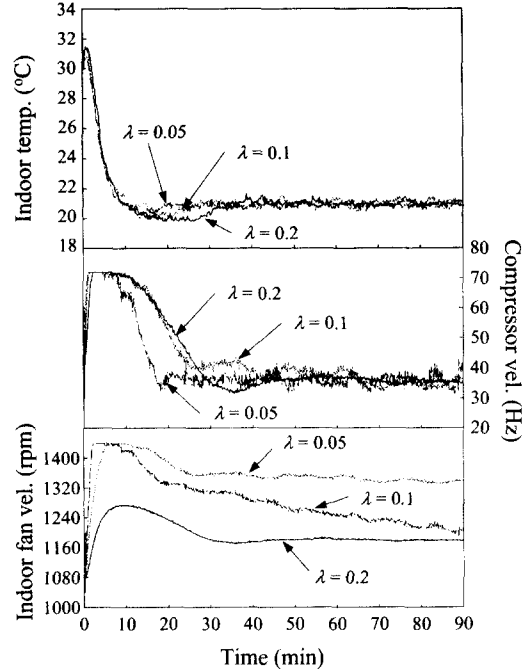


Fig. 9 Experimental results of the MISO system Using GPC with $N_2=N_3=6$ and $\lambda=0.05, 0.1, 0.2$

범위가 작으면 오버슈트가 발생하는 것을 알 수 있다. 정상상태에서의 압축기 속도와 실내기팬 속도가 예측범위에 따라 서로 다르게 산출되는데, 이는 동일한 실내온도를 달성하는 데 있어서 여러 조합의 압축기 속도와 실내기팬 속도가 존재할 수 있기 때문이다. MISO 시스템에서도 예측범위를 6 정도로 설정할 때, 제어입력인 압축기 속도와 실내기 팬 속도의 변화가 작으면서도 실내온도의 추종이 잘 이루어지는 실험 결과를 얻을 수 있었다.

MISO 시스템에서도 마찬가지로, 제어입력의 변화량에 대한 가중치의 영향을 알아보았다. Fig. 9는 예측범위가 6일 때, 제어입력의 변화량에 대한 가중치가 0.05, 0.1, 0.2일 때 실험결과를 나타내는 그림이다. SISO 시스템에서와 같이, 제어입력의 변화량에 대한 가중치가 작으면 압축기 속도와 실내기팬 속도는 신속하게 변화하며, 출력인 실내온도의 응답에 있어서 오버슈트가 감소하고, 가중치가 크면 압축기 속도와 실내기팬 속도의 변화가 작아지며 오버슈트가 커짐을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 모델이 복잡한 에어컨 시스템을

SISO 및 MISO 시스템으로 단순화하여 시스템규명 기법을 이용하여 시스템의 모델식을 얻었다. 또한, 이 모델에 근거하여 모델예측제어 기법인 GPC를 적용하여 실내온도의 제어를 수행하였다. 이 때, 예측범위와 제어입력에 대한 가중치를 설계변수로 선정하여 설계변수에 따른 실내온도 제어를 수행하였다. 이러한 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 시스템규명으로 얻은 모델식은 실제의 실험 결과와 잘 일치하였다. 또한, 복잡한 에어컨 시스템에 대한 단순화한 모델이 MPC 등의 제어기 설계에 유효함을 알 수 있다.

(2) MPC에 사용된 설계변수인 예측범위가 작으면 응답이 늦어지고, 오버슈트가 발생하는 반면에, 예측범위가 크면 시스템의 응답성은 좋아지지만 제어입력의 변화량이 커진다. 본 실험에서는 예측범위가 6인 경우에 1°C 정도의 오차가 발생하지만, 이는 쾌적성에 별 영향을 미치는 정도는 아니며, 변화량이 작은 제어입력을 얻을 수 있었다.

(3) 제어입력의 변화량에 대한 가중치가 작으면 제어입력의 변화가 커지며 오버슈트가 감소하는 반면에, 가중치가 커지면 제어입력의 변화가 작아지며 오버슈트가 증가한다.

이상의 실험으로부터 설계변수에 따른 실내온도 제어의 결과는 인버터형 에어컨의 제어로직을 개발하는 데 있어서 기초자료로 사용될 수 있을 것이며, 에어컨 시스템의 제어에 있어서 1차 시스템이 아닌 고차 시스템이나, 더 많은 입출력 변수를 포함한 멀티형 에어컨 시스템에 대한 연구를 위한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소지원사업 “멀티형압축식 열펌프시스템 성능시뮬레이션 및 제어기술개발에 관한 연구”의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Betzaida, A., and Miguel, V., 1999, “Nonlinear Control of a Heating, Ventilating, and Air Conditioning System with Thermal Load Estimation,” *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 56~63.
- (2) Seem, J., 1998, “A New Pattern Recognition Adaptive Controller with Application to HVAC Systems,” *Automatica*, Vol. 34, No. 8, pp.969~982.
- (3) Piao, Y., Zhang, H., and Zeungnam, B., 1998, “A Simple Fuzzy Adaptive Control Method and Application in HVAC,” *Proc. of the IEEE Int’l Conf. on Fuzzy Systems*, Vol. 1, pp. 528~532.
- (4) Wei, D., and Chen, N., 1995, “Air Conditioner Direct Load Control by Multi-pass Dynamic Programming,” *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 10, No. 1, pp. 307~313.
- (5) Lee, S., Jeong, M., and Jang, B., 1998, “Fuzzy Precompensated PI Controller for a Variable Capacity Heat Pump,” *Proc. of the IEEE Int’l Conf. on Control Applications*, pp. 953~957.
- (6) Clarke, D., Mohtadi, C., and Tuffs, P., 1987, “Generalized Predictive Control - Part 1, the Basic Algorithm,” *Automatica*, Vol. 23, No. 2, pp. 137~148.
- (7) 김용상, 김용찬, 1997, “R-22 및 R-290을 적용한 인버터 열펌프의 성능 시뮬레이션,” 공기조화 냉동공학회 동계학술발표회 논문집, pp. 358~366.
- (8) Ronald, S., 1992, *Predictive Control*, Prentice Hall, pp. 45~48.
- (9) Camacho, E., Bordons, C., 1994, *Model Predictive Control in Process Industry*, Springer.
- (10) Kutnetsov, A., Clarke, D., 1994, *Advances in Model-based Predictive Control*, Oxford University, pp. 318~329.
- (11) Landau, I., 1990, *System Identification and Control Design*, Prentice Hall.