

가정용 공조기의 제어

Controls of Residential Air Conditioner

유 풍 상

P. S. Yoo

대우캐리어(주) 기술연구소



· 1959년생
· 고효율 능력이변형 압축기를 탑재한 가정용 공조기 시스템 설계에 관심을 가지고 있다.

유 병 준

B. J. Yoo

대우캐리어(주) 기술연구소



· 1962년생
· 전력전자기술을 회전자 제어형 공조기 설계에 응용하는 것에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

냉방기의 아버지라 불리는 캐리어 박사가 한여름 인쇄공장에서 온, 습도 조절용으로 냉방기를 발명한 이래, 공조시스템은 단순히 더운 공기를 차게 한다는 냉방의 차원을 넘어서, 인간이 생활하기에 가장 쾌적한 상태를 제공하는 종합 시스템으로 발전하였다.

현재 상품화되어 있는 가정용 공조기는 실내에 있는 열교환기를 이용하여 냉방 및 제습뿐만 아니라 난방까지도 겸하도록 되어 있고 항균 필터, 정전 필터, 탈취 필터, 전기 집진기 등 각종의 필터류를 부착하여 공기 청정기능을 행하고 있다. 따라서 가정용 공조기의 제어는 인간이 원하는 쾌적한 상태를 최단 시간내에 가장 경제적인 방법으로 도달 및 유지하는 것을 최우선으로 하고 있으며, 이를 위한 최적의 제어 알고리즘과 수반되는 하드웨어

의 개발에 주력하고 있다.

본고에서는 제어의 기본 목표인 쾌적 상태에 대한 정의와 일반적인 공조기의 제어 알고리즘에 대해 서술하고 공조기의 핵심 하드웨어인 압축기의 제어 종류 및 차세대 기술인 ECM 인버터를 이용한 뉴로 퍼지 제어에 대해 간략히 소개하고자 한다.

2. 쾌적 상태의 정의

인간이 느끼는 쾌적 상태는 크게 열적인 쾌적과 공기의 질적인 쾌적의 두가지로 나눌 수 있다. 이중 공기의 질적인 쾌적 상태란, 오염되지 않은 숲속의 공기와 같은 상태라고 정의할 수 있다.

전통적인 시스템 공조에서는 실내의 공기를 냉·난방 시킴과 동시에 일정량의 외부 공기를 공급하여 양자를 동시에 만족시키고 있으

나, 도시 환경하에서의 외부 공기는 실내 공기보다도 더 많이 오염되어 있는 경우가 많아 서 외부 공기의 정화에 많은 투자를 하고 있다.

가정용 공조기에서는 외부의 공기를 정화하여 실내에 공급하는 것이 거의 불가능하기 때문에 주로 내부 공기를 정화하는데 주력하고 있으며, 부가적으로 음이온 등을 공급하여 자연의 삼림욕 효과를 주는 쾌적성을 추가하고 있다.

인간의 육체는 놀라울 정도의 적응력을 가진 조직체로서 긴 시간의 적응 훈련을 통해 상당히 극한 상황에서도 인체는 적응을 할 수가 있다. 그러나 온도와 습도의 변화는 때때로 인체의 적응력을 떨어뜨리고, 건강을 해치게 되며, 따라서 쾌적 환경에 대한 욕구가 생기게 된다. 인체는 체온 유지를 위한 신진 대사로 인해 항상 열이 발생하며, 그 양은 나이, 건강 상태, 활동량에 따라 다르며, 생성된 열은 외부로 방출되어야 한다. 인간이 휴식을 취하거나, 가벼운 운동을 할 때 인체에서 생성된 열은 인체를 둘러싼 공기에 의한 대류 및 복사에 의해 60% 정도가 방출되고, 호흡과 땀으로 나머지 40% 정도가 방출된다.¹⁾ 인간이 느끼는 열적인 감응은 이러한 인체의 열 방출에 의해 이루어지며, 신체가 열적인 평형을 이룰 때 쾌적함을 갖는다. 따라서, 열적인 쾌적 상태는 신체가 발생시키는 열과 외부로 방출시키는 열이 같은 열적인 평형을 이루는 조건이라고 정의할 수 있다. 이러한 열적인 평형 상태는 주로 주위 온도와, 복사 온도, 상대 습도 및 공기 유속 등의 4가지 환경 요소와, 인간의 활동량 및 착의량을 합친 6가지 요소에 의해 결정된다.

주어진 공간에 대한 공조는 이러한 6가지 요소를 중심으로 공간에 존재하는 인간에게 쾌적함을 제공하는 것을 제일의 목표로 하고 있으나, 공간의 종류와 다양한 종류의 인간에 대한 쾌적 상태를 제어할 수 있는 정형화된 기준이 없어 보편적인 쾌적 상태를 정의하고, 그 상태를 유지시키는 방법을 채택하였다. 그

러나, 최근들어 정교한 제어 알고리즘과 하드웨어들이 개발되고, 쾌적성에 대한 요구 수준이 높아지면서 가정용 공조기의 제어 목표는 공간의 상태와 그 안의 인간의 상태를 파악하여, 항상 쾌적한 상태를 유지시키는 것으로 발전하고 있다. 따라서, 본 절에서는 열적 쾌적성에 대한 수학적인 정의와 보편적인 제어 목표를 제시하고 있는 국제표준규격(ISO-7730)을 중심으로 최근 일본 및 국내 일부 업체에서 가정용 공조 제어방법으로 채택한 PMV 제어에 대해 소개하고자 한다.²⁾

2.1 예측된 평균지표(Predicted Mean Vote)

PMV는 주어진 공간 조건에 대해, 다수의 인간이 느끼는 열적 감응 상태를 덤다(+3), 따뜻하다(+2), 약간 따뜻하다(+1), 적당하다(0), 약간 서늘하다(-1), 서늘하다(-2), 춥다(-3)의 7가지 상태중 한가지로 선택한 값에 대한 평균값을 예측한 것이다.

PMV 값은 인체의 열적인 평형에 기초하여 전술한 6가지 요소를 가지고 계산되어지며 1, 300명 이상으로부터 수집된 신체 열조직 시스템의 물리적 응답에 기초되어진 식이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - P_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a) - 0.0014M \times (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \quad (1)$$

여기서,

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\} \\ 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \text{ for}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1 \sqrt{V_{ar}} \\ 12.1 \sqrt{V_{ar}} \text{ for } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1 \sqrt{V_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} \text{ for } I_{cl} < 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{C} / \text{W} \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} \text{ for } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{C} / \text{W} \end{cases}$$

여기서,

M: 신진대사율, 즉 활동량에 따라 발생되는 열량으로 신체의 단위 표면적당의 일량(W/m²)

W: 외부 일량으로 활동에 따라 공간에 주어지는 일량(W/m²), 보통 0 사용

I_{cl}: 입고 있는 옷이 갖고 있는 열 저항값 (m².°C/W)

f_{cl}: 옷을 입었을 때의 표면적과 벗었을 때의 표면적 비

t_a: 실내 공기 온도(°C)

t_r: 평균 복사 온도(°C)

v_{ar}: 실내 공기 유속(m/s)

P_a: 실내 공기의 수증기 분압(P_a)

h_c: 대류 열 전달 계수(W/m².°C)

t_{cl}: 옷을 입은 상태의 표면 온도(°C)

위 (1) 식에서 전술한 6가지 요소에 대한 다양한 조합으로 PMV 값을 구할 수 있고, h_c와 t_{cl}은 반복계산법에 의해 구할 수 있다.

2.2 예측된 불만족율(Predicted Percentage of Dissatisfaction)

전술한 PMV는 동일한 환경에서 다수의 사람이 대담한 쾌적 지수의 평균값을 예측한 것으로 평균값에서 벗어난 값, 즉 다수의 의견에 반하여 불쾌하게 느끼는 사람들의 비율이 얼마냐에 따라 현재의 공조 상태에 대한 만족 비율을 예측할 수가 있다. 주어진 환경에 대해 불쾌하게 느끼는 사람의 비율을 주어진 PMV 값에 의거 계산된 것이 PPD이며 이는 다음 식에 의해 계산되어 진다.

$$PPD=100-95 \times e^{-(0.003353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)} \quad (2)$$

식 (2)에 의하면 PMV=0일 때 PPD=5로서 이는 실내 공조 상태가 PMV=0으로 되면 실내 거주자의 5%만이 불쾌하다고 느끼며 95%의 사람은 쾌적하다고 느낄 것임을 예측해 준다. 착의량, 활동량, 나이, 건강상태 등의 차이로 인하여, 주어진 공간의 모든 사람이 동시에 쾌적상태를 느끼는 것은 불가능하며, 따라서 공조기의 제어목표는 가능한한 많

은 사람이 쾌적하다고 느끼는 조건을 만드는 것이고 국제 규격에서 추천하는 제어 목표는 80%의 사람이 쾌적함을 느끼도록 하고 있으며, 나라별 경제, 에너지 절약 등의 문제를 고려하여 하향 조정하도록 권고하고 있다. 80%의 만족을 위해서는 PPD가 10% 이내여야 하고 이를 위해서는 -0.5 < PMV < +0.5가 되도록 공조기를 제어해야 한다.

2.3 쾌적 공간의 조건

전술한 PMV 값은 공조 공간의 상태가 균일하다는 조건에서 계산되는 것으로 한정된 공조장치로서는 온도 분포와 기류 분포를 균일하게 할 수 없고, 가정용 공조 공간에 있는 사람의 수가 적어 보편적인 제어 방법으로는 5%의 불만족이 곧 100% 불만족이 될 수도 있다. 따라서, 가정용 공조기 제어에 PMV 값을 활용하기 위해서는 착의량, 활동량, 온도, 습도, 복사량 및 공기 속도의 정확한 계측과 온도 및 기류의 분포가 균일하도록 하드웨어가 설계되어야 하고, 특히 차가운 공기가 직접 피부에 닿지 않도록 거주 공간에서의 공기 유속이 충분히 낮아야 한다. 아울러 표준 제어 목표값에 대해 거주자가 불만스러울 경우 이를 보상해 줄 수 있는 알고리즘이 반드시 포함되어야 한다. 보편적인 공조 조건에서 ISO가 권장하는 PPD=10%의 쾌적 공간의 조건은 다음과 같다.

(1) 겨울-가벼운 옷차림, 주로 앉아서 생활하는 곳

- ① 실내 공기 온도는 20~24°C일 것
- ② 바닥으로부터 0.1m와 1.1m 지점의 온도차가 3°C이내 일 것
- ③ 바닥 표면의 온도는 19~26°C일 것
- ④ 거주 공간내 평균 공기 속도는 0.15m/s 이내일 것
- ⑤ 바닥에서 0.6m 기준하여 벽면 대비 창문 등 차가운 면에서의 복사 온도차는 10°C 이내일 것. 또한 국부적으로 더운 면의 복사 온도차는 5°C이내일 것

(2) 여름-가벼운 옷차림, 주로 앉아서

생활하는 곳

- ① 실내 공기는 23~26℃일 것
- ② 바닥면에서 0.1m와 1.1m 지점에서의 온도차는 3℃이내일 것
- ③ 거주 공간내 평균 공기 속도는 0.25m/s 이내일 것

냉방을 하는 경우는 평균 공기 속도를 키움으로써 쾌적 온도의 범위가 높아지며 이 경우 1℃ 상승에 평균 유속이 0.275m/s씩 커져야 한다.³⁾ 즉, 27℃인 경우는 0.525m/s, 28℃에서는 0.8m/s 등이며, 단 공기 속도가 0.8m/s 이상이면 가벼운 종이, 머리카락 등이 날리므로 바람직하지 않으며, 특히 냉풍, 소음 증가 등을 고려해야 한다.

3. 가정용 공조기의 제어 개요

가정용 공조기는 제품의 구성, 형식, 구동방식 등에 따라 일체형, 분리형, 멀티형, 냉방 전용, 히트펌프, 정속도형, 능력 가변형 등으로 구분되고 있으며, 국내 및 전 세계적으로 일체형에서 분리형으로, 냉방 전용에서 히트 펌프로, 정속도형에서 능력 가변형으로 변화 및 발전하고 있는 추세이다. 따라서 가정용 공조기의 제어 형태도 단순히 기계식 단속방식에서 전자식, 연속 제어 방식으로 발전하고 있다. 그동안 핵심 제어 대상인 압축기를 전량 수입에 의존하던 국내 공조업체는 일본의 한정된 기술이전과 회전수 제어형 압축기의 공급 기피로 정속도형 압축기를 대상으로 제어 이론을 적용시키려 노력하였으나, 제어의 정교함에 비해 제한된 하드웨어로 그 실효성이 의문시되었던 게 사실이다. 그러나 80년대말 국내 공조업체들이 로타리형 압축기의 국산화가 성공하면서 가정용 공조기에 제어이론들이 광범위하게 적용되고 있다.

본 절에서는 가정용 공조기의 전통적인 제어방법과 각종 최신 제어방법을 소개한 후 회전수 제어형 압축기의 제어방법과 기술 동향에 대해 소개하고자 한다.

3.1 가정용 공조기의 제어방법

전형적인 가정용 공조기는 사용을 위해서 사용자가 단순히 운전/정지 스위치와 온도조절 스위치만을 조작하도록 되어 있고, 관련된 중요 기능 부품들의 운전 및 정지는 제품 내에서 스스로 제어되도록 되어 있다. 이때의 주 제어 대상은 냉동 사이클의 구동 부분인 압축기와 송풍용 팬 모터이다. 최신 제어 알고리즘으로 정교하게 제어되는 회전수 제어형 압축기와는 달리 단순한 정속도형 압축기를 사용하는 대부분의 가정용 공조기에서는 압축기 및 송풍용 팬 모터의 제어 근간을 이루는 것이 단속 제어이다.

(1) 단속 제어(On/Off control)

1) 스텝제어(Step/Hysteresis control)

설정치에 일정량의 스텝을 주어 압축기가 빈번하게 단속되는 것을 방지한다. 보통기전식에서는 2~3℃ 전자식은 1℃ 정도의 스텝을 사용한다. 대부분의 정속도형 압축기 제어에 사용된다.

2) 제로 크로스 싸이클 제어

(Zero cross cycle control)

싸이리스터나 트라이액 등의 스위칭 소자를 이용, 교류 전압이 영 볼트가 되는 순간 단속을 행해서, 스파이크를 방지한다. On cycle Off cycle의 조정을 통해 평균 출력을 다단 제어할 수 있으며 주로 송풍 팬, 전열선, 솔레노이드 밸브 제어에 많이 사용된다.

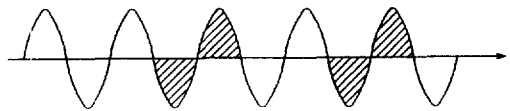


그림 1. 제로 크로스 싸이클 제어

3) 위상 제어(Phase control)

교류 전압의 반 cycle내에서 영 볼트를 기준으로 하여 일정한 위상각동안 작동시켜 평균 출력을 다단 제어한다. 송풍팬, 전열선 등에 주로 적용되고, 냉동기용 압축기의 기동전류 억제회로도 사용된다.

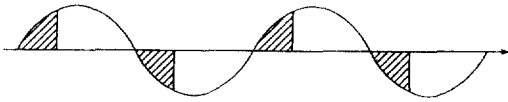


그림 2. 위상 제어

(2) 선형제어(PID 제어)

회전수 제어형 압축기처럼, 조작대상이 연속량인 제어시스템에서 널리 사용되는 방식이다. 제어기의 비례이득, 미분이득 및 적분이득을 산출하는 기법을 Tuning이라 하며 많은 수학적 지식과 경험이 요구된다. 최근에 다른 영역에서 최적제어, 적응제어 등의 제어 이론이 활발히 적용되고 있으나, 가정용 공조기에의 적용은 아직 이른 상태이다.

(3) 퍼지 제어(Fuzzy Logic Control)

최근 가전제품에 앞다투며 적용되고 있는 퍼지로지 및 신경회로망 제어는, 현대 제어이론의 한 분파이다. 제어이론은 폐루프 제어계(Closed loop control system)에 대한 연구를 행하는 학문으로 제어대상과 제어기에 대한 수학적 모델링을 주요 접근수단으로 하여 왔다. 그러나 어떤 제어대상의 경우 매우 정교한 수학적 접근에 의해서 쉽게 제어되지 않는 데도 경험이 많은 사람(expert)에 의해서 원만하게 제어되는 경우가 있는데 주목하기 시작하면서 인간의 지능을 모방하는 접근방식이 제안되었다. 인간의 지능을 분류하면,

- ① 연산 : 기존 컴퓨터(Von Neumman Machine)
- ② 기억 : 기존 컴퓨터(Von Neumman Machine)
- ③ 추론 : 퍼지 로직(Fuzzy Logic)
- ④ 학습 : 신경회로망(Neural Network)
- ⑤ 창의력 / 最適化 : 유전자 이론(Genetic Algorithm)

이중 ①, ②에 대해서는 컴퓨터가 인간보다 우수하나, ③, ④, ⑤에 관해서는 컴퓨터가 인간을 능가하지 못하는 현실이다. 인공지능은

이와같은 인간 고유의 지능 영역에 대해 도전하고 있다.

1) 퍼지로직

퍼지로직은 1965년 미국 버클리 대학의 A.Zadeh 교수에 의해 제창되었다. Zadeh 교수는 원래 통계학에 기초한 제어이론에 대해 연구하던 학자로, 수학적 접근으로는 어려움을 겪는 제어대상이 숙련자에 의해 원만히 제어되는 사실에 주목하여, 인간의 언어적(Linguistic) 접근법을 수학적으로 표현할 수 있는 퍼지 집합론을 제창하였다.⁴⁾ 무관심과 비판 속에 묻혀 있던 이 학문은 1980년대에 일본으로 건너가 산업계 전반에 응용되기 시작하였으며, 이제 모든 가전제품의 표준기능으로 인식되기에 이르렀다. Zadeh 교수는 그의 한 강연에서 “인간이 기계보다 더 잘 제어하는 모든 분야에서 퍼지가 응용될 수 있다”고 피력하고 있다.

2) 퍼지로직의 가정용 공조기에의 응용

80년대 말에 가정용 공조기의 압축기 회전수를 제어하기 위해 퍼지제어를 적용한 경우가 처음 등장하였으며⁵⁾, 퍼지화에는 Min-Max법과 비퍼지화에는 重心法(Center of gravity)을 써서, 종래의 PID 제어보다 교란과 파라미터 변환에 따라 더욱 강인하고 24%의 에너지 절약 효과가 있다는 것을 보여주었다. 그림 3은 PID 제어를 사용한 실험 예이고, 그림 4는 퍼지 제어를 가지고 실시한 시험결과이다. 주어진 부하조건에서 설정치를 변경하였을 때 고정된 이득을 가진 PID 제어기는 진동하는 것에 반해, 퍼지제어기는 빠른 응답속도를 유지하면서도 안정되게 작동함을 볼 수 있다. 퍼지로직의 채용은 소비자에게 절전과 쾌적성의 향상효과를 제공한다.

(4) 신경회로망 제어

(Neural Network Control)

1) 신경회로망

신경회로망은 흔히 학습하는 기계로 알려져 있다. 이것은 신경회로망 자체가 인간의 뇌세포 구조를 모방하여 고안된 것에 연유가 있다. 복잡한 사고와 인지 작용을 하는 인간의

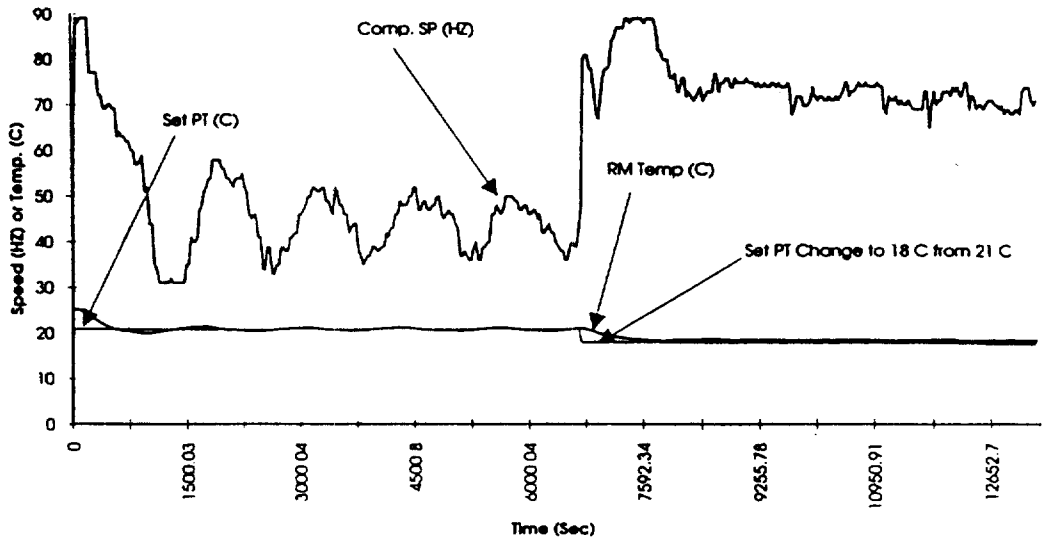


그림 3. PID 제어기의 운전 예

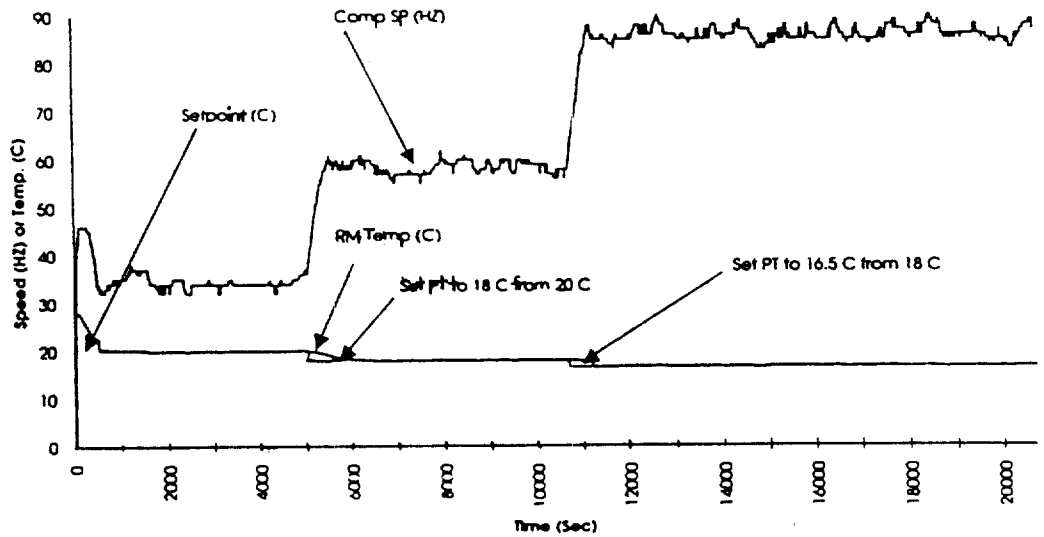
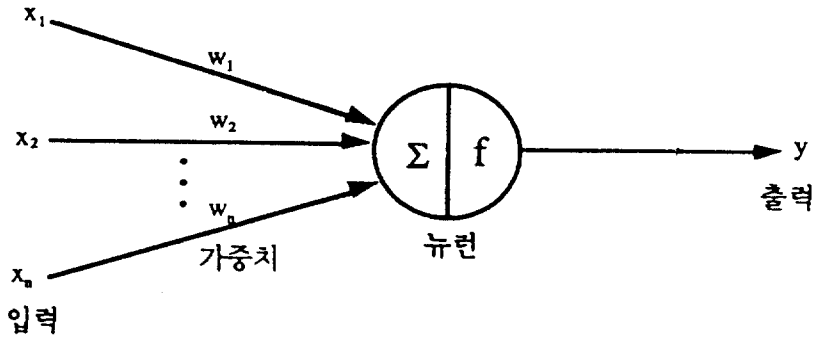


그림 4. 퍼지 제어기의 운전 예

뇌는 약 10억 내지 100억개의 신경세포 (Neuron)가 있고, 신경세포는 약 천 내지 10만개의 신경연접(Synapse)을 통해 다른 신경세포와 연결되어 있다. 학습은 이 신경회로망

사이의 연결 강도의 변화에 의해 이루어진다. 인공 신경회로망은 이러한 뇌의 형태를 모델로 한 처리기이다. 신경회로망의 기본요소인 뉴런은 그림 5와 같은 구조를 가진다.⁶⁾



$$y = f(\sum x_i * w_i - \theta)$$

그림 5. 뉴런의 구조

그림처럼 뉴런은 입력과 입력에 대응하는 가중치를 곱한 값의 총합(Weighted Sum)에 대해 비선형 함수 $f()$ 를 적용한 값을 출력한다.

이 함수 $f()$ 를 활성화함수(Activation Function) 또는 Threshold 함수라 하며, 대표적인 활성화함수는 그림 6과 같은 것들이 있다.

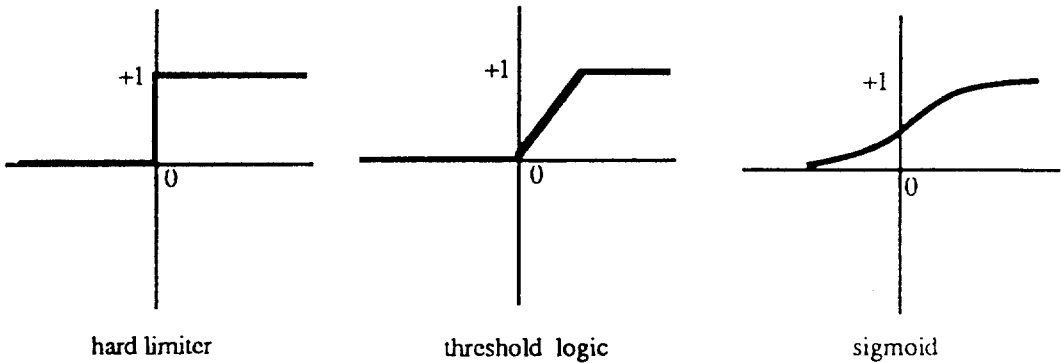


그림 6. 활성화함수의 종류

이러한 개개의 신경회로망을 연결하여 주어진 입력에 대해 원하는 출력이 나오도록 연결선의 가중치를 조정하는 것을 신경회로망의 학습(Learning) 또는 훈련이라 한다. 신경망을 학습시키기 위해 주어진 입력과 원하는 출력을 학습데이터라 한다. 학습 방법에는 자율 학습/비지도 학습(Unsupervised learning)과 지도 학습/경쟁 학습(Supervised/com-

petitive learning) 방법이 있으며, 학습에 의해 잘 훈련된 신경회로망은 학습되지 않은 입력에 대해 해답에 근사한 값을 출력한다.

단층 신경망이 Exclusive OR의 문제를 해결치 못한다는 사실이 밝혀져서⁷⁾, 신경망은 그림 7과 같은 다수의 은닉층(Hidden Layer)을 가진 다층 회로망으로 구성된다.

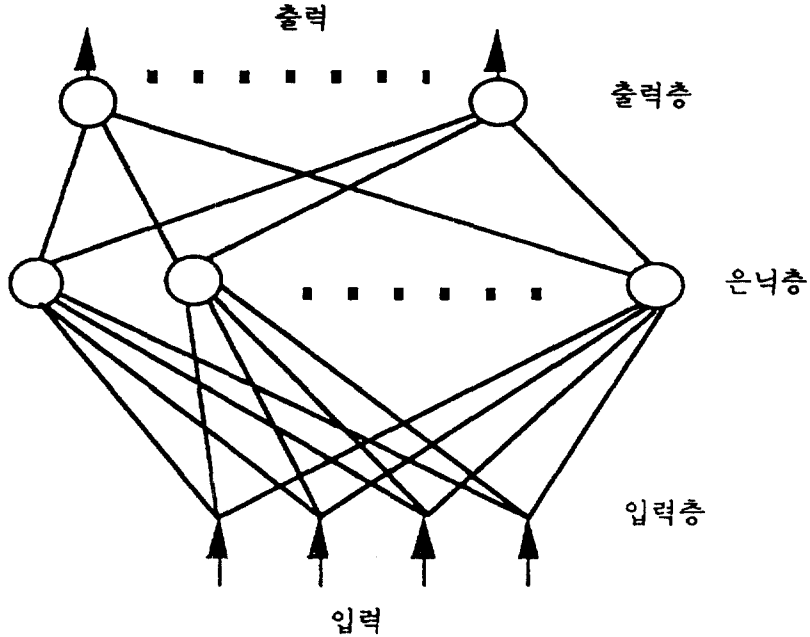


그림 7. 다층 신경회로망

신경회로망 모델에는 표 1과 같은 여러가지가 있으며, 신경회로망의 학습 알고리즘도 여러가지가 제안되어 있다. 이중 다층 퍼셉트론

(Multilayer Perceptron)에서 사용되는 오차 역전도(Error Back Propagation) 알고리즘이 널리 사용되고 있다.

표 1. 신경회로망의 종류

신경회로망모델	주용용분야	장 점	단 점
Hopfield /Kohonen	최적화 문제 해결	대규모 구현	학습기능 없음, weight 고정
Perceptron	인쇄체 문자 인식	최초의 신경회로망	변화에 민감, XOR 해결 못함
Multilayer Perceptron (MLP)	패턴 인식	전진형 신경회로망 Perceptron보다 일반적	복잡한 패턴인식 불가
Input driven Multilayer Perceptron	문자/음성 인식	학습용이, MLP 개선	방대한 학습 데이터를 사용한 지도 학습
Boltzmann Machine	패턴 인식	최소 에너지 상태에 도달하기 위한 잠음 함수 사용	학습 기능 없음
Unidirectional Feedback Type Model	문자인식에서 전처리	병렬형 전자회로 설계	학습 기능 없음
Self-Organized Map	한 기하학적 영역을 다른 영역에서 사상	알고리즘적인 것보다 성능이 좋음	광범위한 학습
Neocognitron	문자인식	복잡한 패턴 인식	뉴런과 연결이 많음

2) 신경회로망의 가정용 공조기에서의 응용

가정용 공조기에 신경회로망 적용에 대해서, 신경망 모델, 학습 알고리즘 구현수단 등에 대한 구체적인 정보는 알려지지 않고 있으나 제품 카타로그에 제시된 내용을 종합해 보면 다음과 같은 적용 예를 찾아볼 수 있다.

- ① 쾌적성 제어: PMV의 6개 입력을 가지고 학습시킨 신경망으로 쾌적감 예측
- ② 제상: 열교환기 온도 변화의 패턴을 학습시켜 제상 타이밍 결정
- ③ 뉴로 자동 운전: 소비자의 사용 패턴을 학습하여 소비자 조작량 최소화

학습알고리즘에 오차역전도를, 활성함수에 Sigmoid 함수를 채택한 신경망 회로를 개발하여, 실온제어에 퍼지와 신경망을 결합한 신경망 퍼지 제어를 사용한 경우를 볼 수도 있다.¹⁸⁾

(5) 유전자 이론(Genetic Algorithm: GA)

1) 개요

유전자이론은 1975년 John Holland의 저서 "Adaption in nature and artificial system"을 통해 처음 발표되었다.⁸⁾ 이 이론은 다윈의 생물진화론을 근간으로 한다. 생물체는 환경에 적응하며, 생존 및 번식의 확률을 강화할 수 있는 성공적인 전략을 개발하면서 진화하여 왔다. 유전자이론은 진화과정의 미시적 메카니즘인 ① 적자생존을 거친 복제(Reproduction after survival-of-the-fitness) ② 잡종교배(Crossover) ③ 돌연변이(Mutation)를 모델로한 알고리즘이다. 유전자의 배열을 bit string으로 표현하여, 상기 3개 과정을 되풀이 하면, 주어진 과제에 대한 최적의 답을 찾아서 진화해간다. 기존의 수학적 최적화 수법보다 좋은 성과를 보여준다.

2) 유전자이론의 가정용공조기에서의 응용

가정용 공조기 퍼지 제어의 최적화에 GA를 적용하여 49개의 퍼지룰을 성능의 희생없이 24개로 줄이는데 성공한 경우를 볼 수 있다. [18] 어느 퍼지룰이 목적을 위해서 반드시 필요한지, 잘못 정의된 퍼지룰은 없는지, 또한

개개의 퍼지룰간의 갈등은 없는지에 대한 최적안을 GA를 이용하여 찾아내고, 따라서 퍼지 제어를 구현하는데 있어서의 큰 제약인 마이콤의 처리속도 및 기억용량의 부족 등을 해결한 것으로 보인다.

GA에 사용한 다음 세대에서 도태되느냐 생존하느냐를 결정하는 함수인 적자함수(Fitness function 또는 Objective function)는 다음과 같다.

기준 ① 오차 최소화: 실온(건구)과 설정치의 차가 최소일 것

기준 ② 연속 운전: 압축기가 정지 않고 계속 운전될 것

기준 ③ 부드러운 운전: 압축기가 주어진 부하에 맞되 속도의 잦은 변화가 없을 것

그림 8은 10世代의 진화과정을 통해 최적화된 퍼지 룰의 결과를 보여준다. 응답속도, 안정도 등 제어기의 성능이 동등한 수준임을 볼 수 있다.

3.2 회전수 제어형 압축기 제어

(1) 회전수 제어형 공조기의 효과

가정용 공조기는 모든 가전제품 중에서 가장 많은 에너지를 소모하는 제품이다. 따라서 공조기의 효율은 소비자가 제품을 구입할 때 최우선으로 고려하는 사항이다. 국민소득의 신장에 따라 공조기 보급율이 증가하면서 하절기 전기에너지의 피크부하가 한전의 전력예비율 기준치에 육박하고 있어 매년 여름이면 제한 송전의 위기감이 신문의 한구석을 차지하고 있다. 이처럼 공조기의 에너지 효율은 이제 구매자 개개인의 관심대상으로부터 사회적 관심대상으로 되가고 있으며, 정부도 이에 따라 효율의 등급표시제를 실시하여 제품효율 극대화를 유도해 나가고 있다.⁹⁾

우리와 같은 자원 빈국이면서 또한 가정용 공조기의 가장 큰 시장이기도 한 일본의 경우도 에너지 효율에 대한 관심과 열의가 매우 높아서 각 제조회사들은 매년 자사의 신제품이 효율 향상의 신기록을 달성했음을 크게 광고하고 있다.

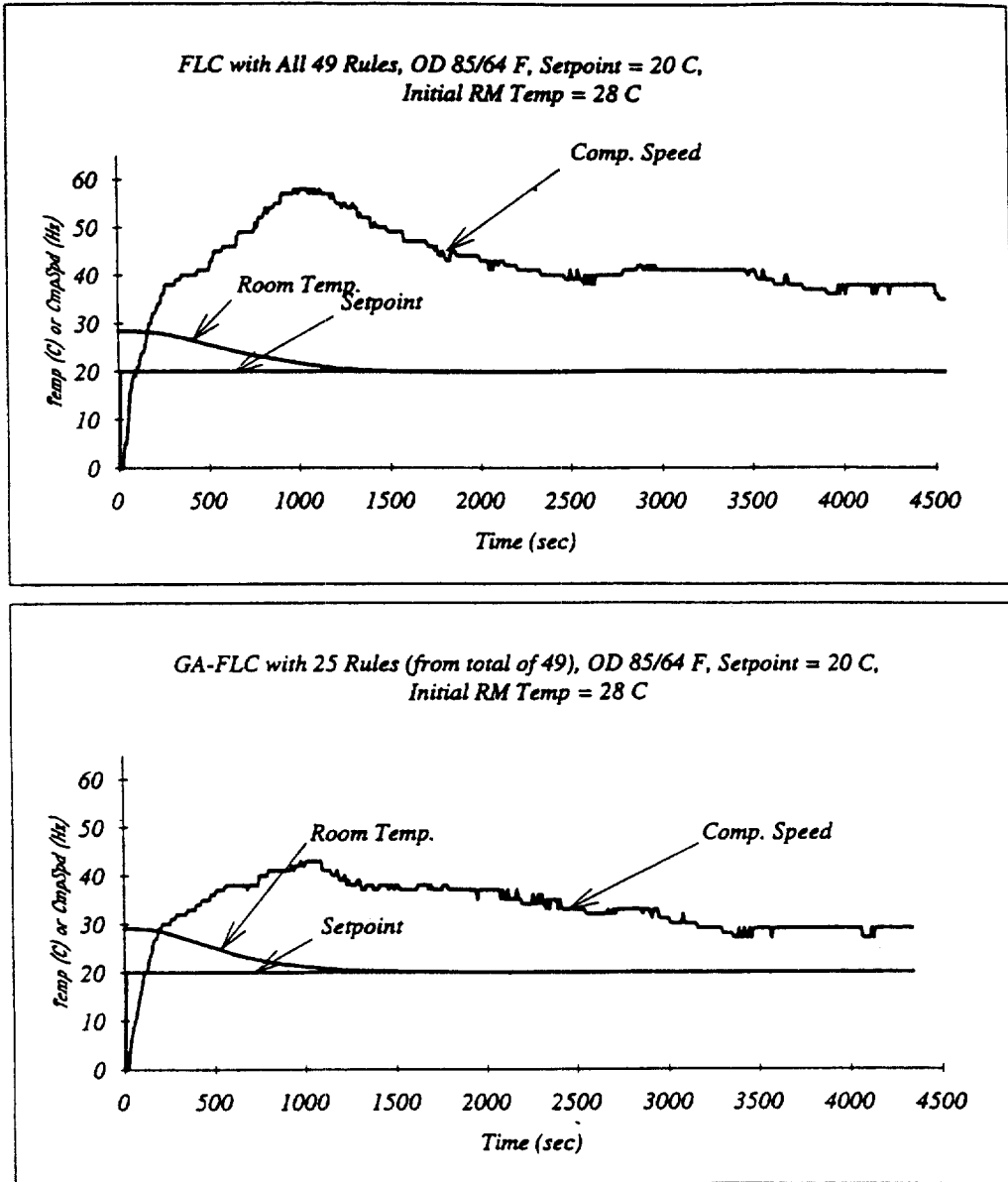


그림 8. 유전자이론의 실용 예

회전수제어형이 종래의 On/Off 방식 정속 도형 공조기에 비해 절전이 되는 효과를 알아보기 위해서는 기간 에너지 소비효율(SEER 또는 CSPF)의 개념을 이용하는 것이 편리하다. 정속도형 공조기의 성능을 표시하는 EER은 항온항습 조건하에 운전되는 공조기의 안

정상태시의 효율을 측정된 것이다. 이 방식으로는 시간대별, 월별로 다양하게 변화하는 제품의 실사용 조건하에서의 실제효율의 변동을 알 수가 없다. 기존의 공조기는 방안의 온도를 조절기 위해 압축기를 빈번히 On/Off하며, 이로 인해 손실이 발생하는데 기존 방식

으로는 표시가 불가능하다. SEER은 EER의 이러한 약점을 보완키 위해 소비자의 실사용 조건을 대표하는 기상 자료에 근거한 통계처리 기법을 도입하여 냉방 운전 기간 동안 총에너지 소비효율을 나타내는 것이다.^{10) 11)}

결론적으로, 회전수제어형 공조기의 절전효과는 SEER의 향상에 의해 구현되며, 그림 9는 이 효과를 간략히 표현한 것이다.

회전수 제어형은 부수적인 효과로서 기존 공조기는 실온조절을 위해 압축기를 On/Off

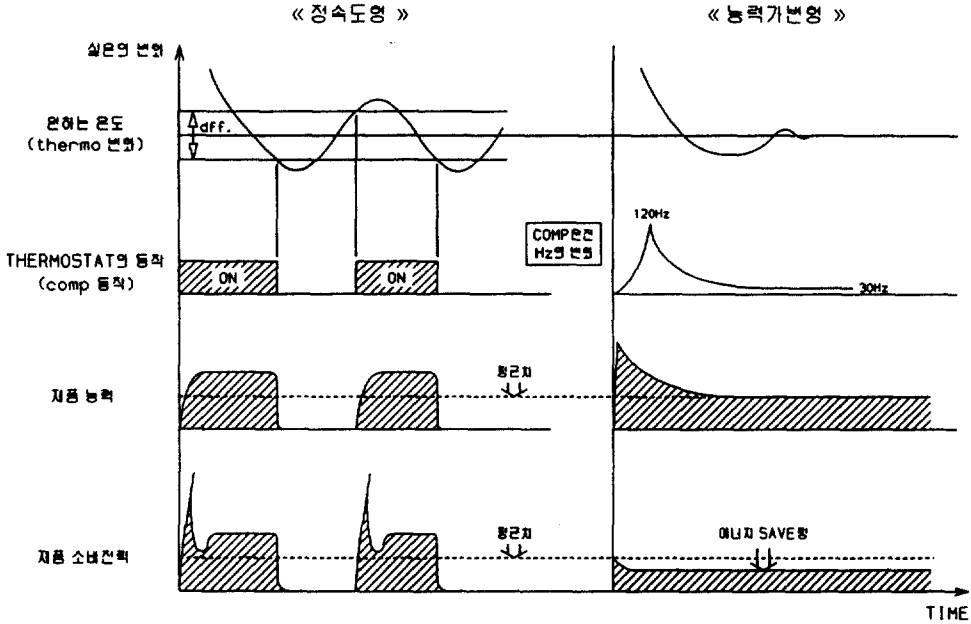


그림 9. 회전수제어형 공조기의 절전효과

시키기때문에 실온의 변화가 큰 반면(3~5℃), 회전수제어형은 초기에 더운 방안을 급속 냉각시킨 이후에는 방의 냉방부하에 일치하는 열량만을 지속적으로 공급하므로 방의 온도 변화가 적어 (0.5~1℃) 더 쾌적하고, 압축기가 운전의 대부분 시간에서 저속으로 운전되므로 소음이 작다.

(2) 회전수 제어형 공조기의 신기술 동향

회전수 제어형 공조기의 효율 향상을 위하여 Twin Rotary/Scroll 압축기와 같은 새로운 압축기 개발과, 전력전자분야의 신기술개발에 초점을 맞추고 있다. 이중 전력전자분야의 신기술동향을 소개하면 다음과 같다.

1) Brushless DC 전동기(BLDC)

BLDC는 ECM(Electromagnetically Commutated Motor)으로 불리우기도 하는데, 그 구조는 그림 10과 같다.¹²⁾

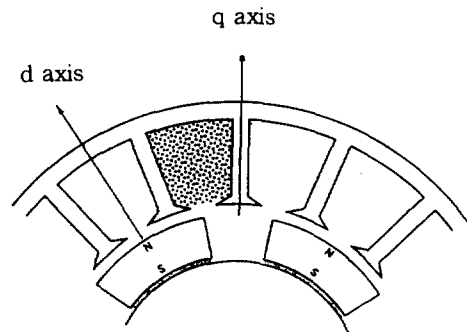


그림 10. BLDC의 구조

BLDC를 채용하는 이유는 부분부하에서의 효율이 유도전동기에 비해 현저히 좋아서 결과적으로 SEER의 큰 향상을 얻을 수 있기 때문이다.¹³⁾ 전세계적으로 BLDC의 압축기 채용이 한층 가속화되고 있으며 현재 가정용

공조기에 BLDC를 채용하고 있는 회사는 일본의 H.M.T등 대부분의 가정용 공조기 회사와 미국의 C사 등이 있다.

유도전동기는 고정자의 회전자계와 회전자 각속도 간의 상대 속도인 슬립에 의해 회전자에 유도 전류가 발생하는 기본 동작원리때문에, 토크와 출력 특성이 비선형적이며, 효율이

부하의 변동에 따라 크게 변하는 단점이 있다.¹⁴⁾ 이에반해, 영구자석에 의해 자계를 공급받는 BLDC는 슬립이 없는 일종의 동기전동기로, 효율이 부하량의 전구간에 걸쳐 거의 일정하다. 부분부하시의 두 전동기의 효율차는 그림 11과 같다.

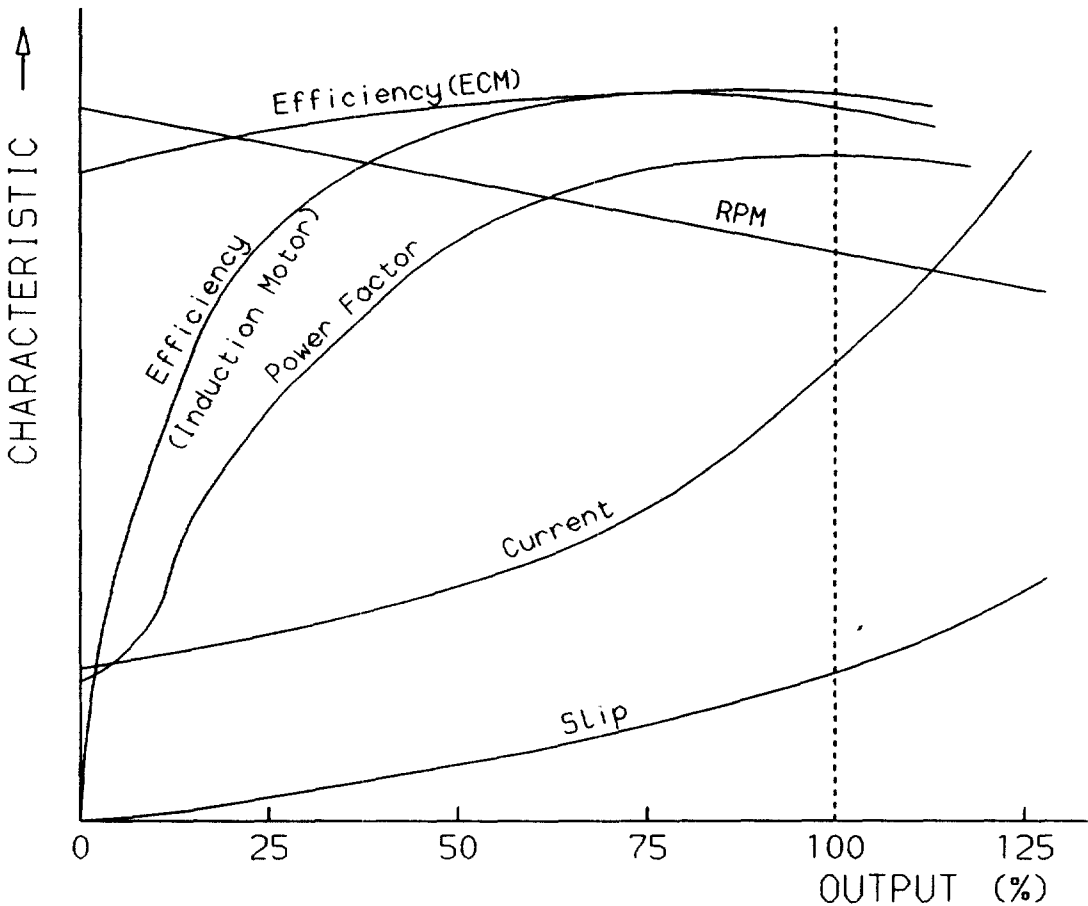


그림 11. BLDC와 유도전동기의 효율

BLDC의 제어회로의 요체는 회전자 위치 검출과 Commutation timing 전략이다. 특히 내부에 고온의 냉매가 순환하고 있는 밀폐형 압축기의 경우, 일반응도에 쓰이는 Hall Effect Sensor나 Rotary Encoder를 회전자에 장착하기가 곤란하기 때문에, 압축기용 전동기의 입력 전류가 전압을 계측해서 회전자의

위치를 측정하는 Sensorless Position Sensing기술이 핵심기술이다.¹³⁾

2) 유도전동기의 백터제어

백터제어는, 유도전동기의 단점인 비선형 제어특성에 대한 연구 결과로 발표되어, 유도전동기를 DC 전동기 처럼 정밀하게 제어할 수 있게 해주었다.¹⁵⁾ 유도전동기의 비선형

특성은, 전술한 유도 전류가 일부는 계자성분을, 다른 일부는 토크성분을 구성하는 과정에서 발생하는데, 이 과정이 D-Q 벡터 변환 모델을 통해 규명되면서, 유도전동기의 각속도, 토크 및 감/가속도 등을 정밀하게 제어할 수 있게 되었다. 이 기술을 경부하시의 전동기 효율개선에 이용하여 상품화한 사례가 발견되고 있다.

3) 전력용 반도체 기술

회전수제어형 SEER이 단일 회전수형 보다 우수하다고는 하지만, 어떤 고정 회전수 예를 들어 3,600RPM에서의 EER을 비교해보면, 회전수제어형의 EER이 더 나쁘다는 것을 발견하게 된다. 이와 같은 손실은 인버터부분의 스위칭 손실과 전동기의 고조파 손실로 크게 분리할 수 있다. 이 양자는 전력용 반도체의 종류와 PWM 전략과 연관되어 있으며, 스위칭 주파수를 늘릴 경우, 전동기의 고조파 손실이 감소하는 것에 반해 스위칭 손실이 증가하는 Trade-off 관계가 있기때문에 최적화 설계의 고려대상이 된다.

상당수의 업체들이 기존의 Bipolar Tran-

sistor를 고수하고 있는 가운데 Insulated Gate Bipolar Transistor가 일부 채용되기 시작하고 있다. IGBT는 일반적으로는, 전압구동형인 Field Effect Transistor의 장점인 고속 스위칭 및 게이트 드라이브 설계의 용이성, 그리고 Bipolar Transistor의 장점인 저통전손실을 결합한 차세대 전력용 소자로 소개되고 있지만,¹⁶⁾ 큰 스위칭 손실, 가격 등의 측면에서 불리하여 가정용 공조기에의 본격채용은 예상보다 지연되고 있는 실정이다. 이와 병행하여 전력용 트랜지스터, 정류용 다이오드, 게이트 드라이브 및 제어 회로를 하나로 집적한 Intelligent Power Module이 일부 채용된 사실은 전력용 반도체 기술의 신시대를 여는 전조로 보인다.

4) 공진형 인버터(Resonant Link Inverter)

회전수 제어형 공조기의 효율을 감소시키는 원인인 스위칭 손실을 개선키위해, 공진형 인버터가 제안되고 있다.¹⁶⁾ 스위칭 손실의 발생 원리는 그림 12에서 보는 것과 같다.

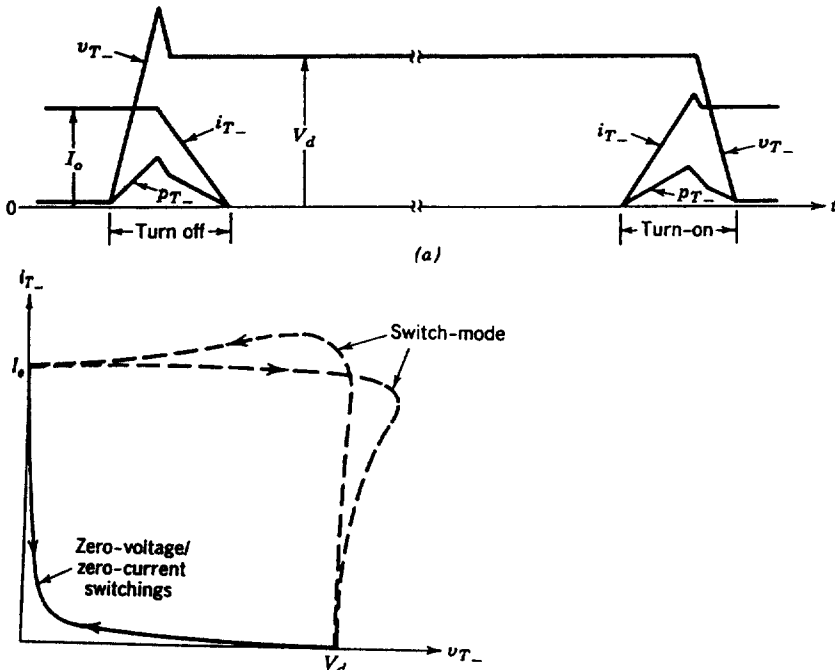


그림 12. 스위칭 손실의 발생원인 및 공진형 인버터의 효과

기존의 캐패시터 뱅크에 의해 평활화된 DC link(DC bus)의 전압대신, L-C에 의해 link의 전압을 공진하도록 하고, 이때 Zero Voltage Switching을 행하면 손실을 없앨수 있다는 발상이나, 아직 연구단계에 있다.

5) 액티브 필터(Active Filter)

유럽연합이 제품의 입력전류속에 함유된 고조파 전류를 규제하는 EN 60555-2를 96년부터 강제규정으로 제정하면서 이에 대한 대응

전략이 주목된다.¹⁷⁾ EN 60555-2를 만족시키기 위해서는 AC/DC Converter 부분에 Active filter(Active power factor correction) 회로의 채용이 필요하다(그림 13). 이 회로는 고속 스위칭 소자에 의한 손실 발생 및 원가 상승의 약점이 있다. 현재까지는 전용 LSI를 이용한 시작기들만이 소개되고 있으며, 실제 제품에의 적용에는 아직 찾아볼 수 없다.

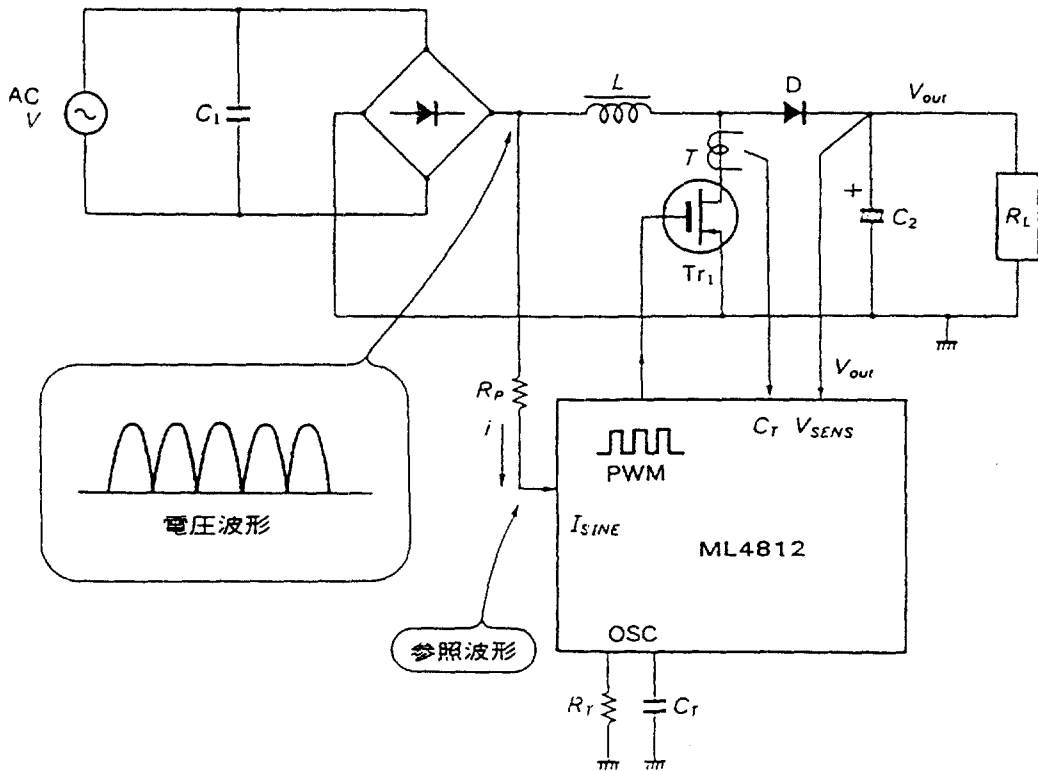


그림 13. 액티브 필터 회로

4. 최신 제어 이론을 이용한 가정용 공조기의 제어

회전수 제어형 압축기를 사용한 가정용 공조기의 제어는 크게 외부 입력과 내부 제어 및 외부 출력의 3개 부분으로 이루어진다.

여기서 외부 입력은 제어의 목표를 설정해주는 사용자 입력부와 각종 감지부로 구성되

며 사용자 입력부는 액정 화면(Liquid Cristal Display)을 갖춘 무선 원격 조종기(Wireless Remote Controller)를 사용하여 제어의 목표를 설정하게 해주며, 각종 감지부를 온도 센서, 습도 센서, 적외선 센서 등을 이용해 제어에 필요한 정보를 얻게 해준다.

내부 제어부는 제어의 목표와 제어에 필요한 정보를 이용하여 각 구동부의 운전상태를

제어하며 최적의 쾌적한 상태를 유지토록 해 준다. 내부 제어는 전술한 신경 회로망 제어와 퍼지 제어를 결합한 신경망-퍼지제어(Neural-Fuzzy)에 유전자 이론을 응용하여 최적화된 제어 알고리즘이 이용된다.

출력부는 내부 제어에서 결정된 상태로 운

전하는 것으로, 실내, 외 팬 모터, 압축기, 각종 밸브류 및 풍향 조절 모터 등으로 구성되어 있다.

그림 14는 ECM을 이용한 능력 가변형 압축기가 사용된 분리형 에어컨의 제어계를 개략적으로 보여준다.

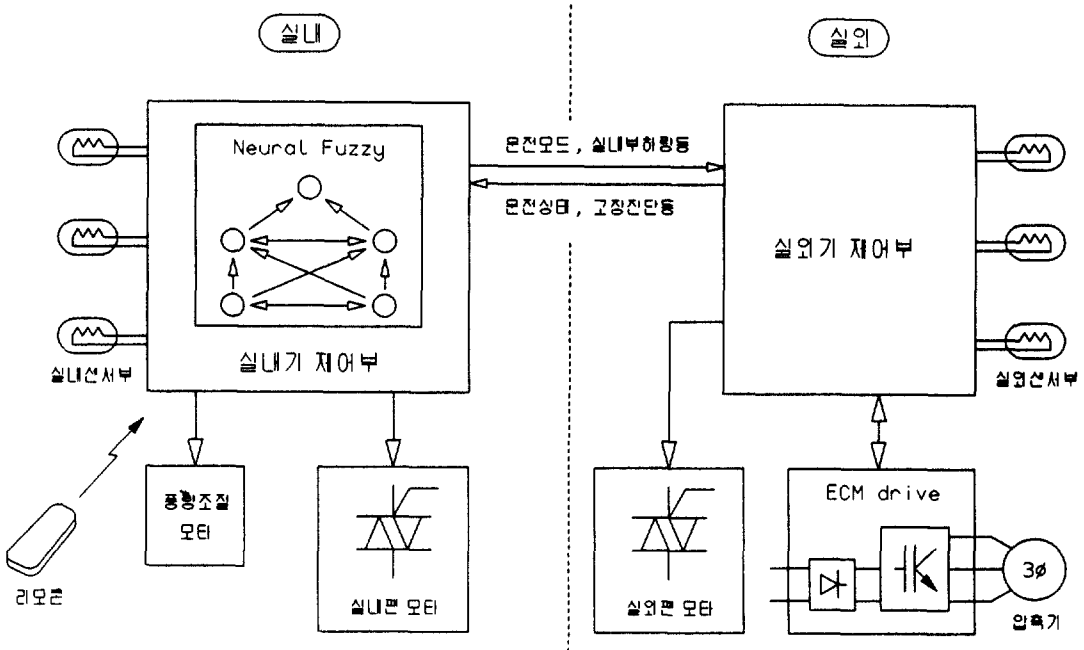


그림 14. 가정용 공조기의 제어도 예

5. 결 론

최근의 가정용 공조기의 제어는 거실 또는 침실 같은 한정된 공간을 최단 시간내에 가장 쾌적한 상태에 이르도록 하고, 그 상태를 가장 저렴한 방법으로 그 변화폭을 최소로 유지하는 한편 사용자의 기호를 반영할 수 있도록 전술한 첨단 제어 이론들을 실용화하고 있다. 또한 전기 집진기를 비롯한 각종 공기 청정 기능, 제습 기능, 수면 기능, 예약 기능 등의 각종 부가 기능까지 단순한 버튼 하나로 가능토록 하여, 기능 및 제어를 복잡하고 첨단이면서 사용자는 단순한 조작만 하도록 발전하

고 있다. 그러나 기초 기술, 특히, 회전수 제어형 압축기 및 그 제어 장치들에 대한 기반 기술이 취약하고 가격이 비싸서 국내에는 이제 도입단계에 불과하고, 상당기간 보편화는 힘들것으로 보인다. 다만, 수출시장 개척 노력과, 에너지 절약을 위한 기간 에너지 효율 재고를 위한 정부의 정책적 지원이 강화되면, 그 시기는 상당히 앞당겨 질 것이다.

참 고 문 헌

1. Stoecker, W.F. and Jones, J.W., 1982, "Refrigeration & Air conditioning", pp

- 59~61, McGraw-Hill
2. "Moderate thermal environments—Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", ISO 7730-1984
 3. "Thermal environmental conditions for human occupancy", ANSI /ASHRAE 55-1981
 4. 전홍태, 1994, "퍼지이론의 출현", pp 120-139, 전자부품
 5. "Development of the fuzzy control system for heat pump air conditioners", Mitsubishi Heavy Industry, 1988
 6. 이광세, 오길록, 1991, "퍼지 이론 및 응용", pp 4-61~4-68, 홍릉과학출판
 7. Rao, V. B. and Rao, H. V., 1993 "C⁺⁺-Neural network and Fuzzy logic", MIS press, pp 67-91.
 8. Holland, J. H., 1975, "Adaption in natural and artificial systems", Univ, of Michigan Press
 9. "전기용품 소비전력 및 효율표시제도 운영 요령", 공진청, pp 65-123, 1992
 10. "Room air conditioner", JIS 9612-1986
 11. "Standard for unitary air-conditioning equipment", ARI 210-1981
 12. B. K. Bose, 1986, "Power electronics and AC drive", Prentise- Hall, pp 52-66 /pp 292-313
 13. "技術營業", pp 39-44, 1995
 14. "小型 モータ設計マニュアル", 1987, トリケツプス, pp 39-47
 15. 願文雄, "モータ制御", オム社, pp 185-198
 16. Mohan, 1989, "Power electronics", Jchn & Wiley International, pp 154-198
 17. 町田博, 1990, "高力率化 回路の制作", トラソツスタ技術, pp 537- 548
 18. Guo, C., 1993, "Genetic algorithms and optimal fuzzy logic control design", Carrier, pp 28