

냉방기 설계를 위한 전문가시스템

김상호* · 명세현** · 한순홍***

An Expert System for Air-conditioner Design

Sang-Ho Kim*, Se-Hyun Myung**, Soon-Hung Han***

요 약

냉방기인 에어컨디셔너에 대해 기존의 설계 방법과 지식, 그리고 경험을 체계화하고, 설계 제한 조건에 따른 최적설계 기법을 도입한 전문가시스템을 구현한다면, 적은 데이터 입력으로 주어진 설계 조건에서의 최적 해를 시간 낭비 없이 얻을 수 있고, 설계자 간의 설계 능력 차이에 의한 상이한 결과도 해소할 수 있으므로 경제적인 설계가 가능해진다. 또한 지식베이스의 구성으로 설계 지식이 축적되는 틀이 마련됨으로써, 설계 지식이 설계자 중심에서 전문가시스템 중심으로 축적되는 것이 가능해져, 설계자의 이동에 따른 설계 지식의 누수를 방지할 수 있고, 설계 지식이 별도의 지식베이스에 구축되어 있으므로 보수 관리도 용이하게 되어 설계 지식의 지속적인 발전과 집적을 도모할 수 있다. 현장에서 사용중인 에어컨 설계용 소프트웨어를 기초로 실제 실무에서 접할 수 있는 설계 제약 조건에 대해서, 최적설계 기법의 적용과 지식베이스 구축을 통해 경제적인 설계가 가능한 설계 전문가시스템을 개발하였다.

Keyword : design expert system, air-conditioner design.

I. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

차가운 공기를 만드는 냉방기인 에어컨디셔너(이하 '에어컨'으로 약술함)는 산업용으로 뿐만 아니라 최근에 주택용과 업소용으로 그 수요가 국내 외를 막론하고 증가하고 있다. 또한 에어컨에 대한

* 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과 / LG전자(주) 선임연구원

** 한국과학기술원 기계공학과 iCAD연구실, 박사과정

*** 한국과학기술원 기계공학과, 부교수

요구가 콤팩트(compact)화 및 패션(fashion)화, 고효율화, 다기능화하고 있고, 새로운 요구 사항도 급속히 변하고 있다. 이러한 시장 동향에 능동적으로 대처하고자 에어컨 제조 회사들은 신기능의 부가로 계절 제품을 탈피한 4계절 상품으로써의 신제품, 다양한 미적인 디자인의 모델, 지역 및 사용 특성에 적합한 제품 등의 다양한 신제품 개발에 많은 투자를 하고 있으며, 또한 컴퓨터를 이용하여 제품 개발 및 설계 기간을 단축할 수 있는 경제적인 신제품 개발 능력의 향상에도 많은 노력을 기울이고 있다.

각 회사들은 회사 나름대로 축적된 노하우(know-how)를 이용하여 에어컨을 개발하거나, 아니면 타 회사와의 기술 제휴에 의해서 설계 도구로서의 설계 기술 자료 또는 설계 소프트웨어를 확보하여 사용하고 있다. 에어컨 설계 소프트웨어는 입력 조건에 대한 냉동 사이클 시뮬레이션을 통해 성능 예측을 함으로써 주요 설계 변수 값을 결정하게 된다(김병순 1993). 그러나 설계 소프트웨어는 성능 예측을 위한 계산 중심의 알고리즘으로 구현되어 있고, 지식베이스를 이용한 추론 기능이 없기 때문에 주어진 설계 조건에 대한 원하는 최적 해를 한번의 입출력으로 얻을 수 없고, 여러번의 입출력과 여러번 시행착오를 거쳐야만 최적 입출력이 얻어진다. 또한 설계자들의 설계 경험에 따라서 다양한 설계 결과가 얻어질 수 있어서 최종 설계 안의 결정은 별도의 다각적인 신중한 검토를 필요로 한다. 더구나 오랫동안 설계 노하우와 기술 및 제반 지식들이 체계적으로 축적된 지식베이스가 미비하기 때문에, 설계에 필요한 전문 지식들과 경험을 효과적으로 이용하지 못하여 설계 효율의 극대화를 기대할 수 없고, 설계 지식의 수직, 수평적 공유와 설계 지식의 지속적 발전과 집적은 물론이고 소프트웨어의 보수와 유지 관리

에도 한계가 있다.

에어컨은 냉동 사이클을 이루고 동작하기 때문에 어느 한 부분의 사양 변경은 다른 부분의 성능에 영향을 미치게 되므로 사이클의 평형을 고려하는 것이 중요하다. 그러므로 신제품 개발은 물론, 기존 제품의 일부분 사양 변경에도 사이클의 밸런스를 이룬 정상 상태에서의 성능을 예측하는 것이 설계의 핵심인데, 성능 예측은 시뮬레이션에 의하므로 최적 해를 얻기까지는 반복하여 시뮬레이션을 실시하면서 설계 제한조건의 만족 여부를 검토해야 하는 불편함이 있다. 에어컨의 설계 전문가들에 의해 개발되어 현재 사용 중인 설계 소프트웨어의 알고리즘의 중간 중간에 필요에 따라 일종의 추론 기능이랄 수 있는 부분도 존재하기는 하지만, 전문가시스템에서의 추론 엔진과 다르며 지식베이스도 별도로 갖추어 있지 않다.

본 연구에서는 전술한 문제점을 개선하기 위한 시도의 한 방법으로, 경제적인 에어컨 설계가 가능하도록 에어컨 설계용 소프트웨어의 실례를 기초로 하여, 설계자 중심의 현 설계 방법과 지식 축적을 시스템 중심으로 개선할 수 있는, 설계 지식에 기반을 두고 확장이 용이한 구조의 기본적인 설계 전문가시스템의 개발에 중점을 두고 있다. 또한, 가전용의 가스 압축 냉동 방식의 에어컨으로서 실내기와 실외기가 분리되어 있고 냉방만 가능한 냉방 전용의 분리형 에어컨을 설계 대상으로 하였다.

1.2 관련 연구 현황

설계 전문가시스템에 관한 연구 현황을 에어컨을 포함하는 HVAC(Heating, Ventilation and Air Conditioning: 공조)분야를 살펴본다. HVAC분야에 관한 관련된 전문가시스템에 대한 연구는 1980

년대 중반 부터 많이 이루어지고 있다. 산업용으로 서 건물과 플랜트 설비의 HVAC system과 관련된 설계 지원용과 진단 및 관리용이 주로 많고, 차량의 에어컨에 관한 연구 내용도 일부 있다.

그러나 냉방기인 에어컨의 제품 설계에 성능 해석 기술인 냉동 사이클의 시스템 시뮬레이션 기술이 컴퓨터의 발전과 더불어 널리 응용되어 사용되고 있지만, 가전용으로서 설계 지원용 전문가시스템의 연구 실적은 찾아 보기가 어렵다. 이것은 오랜 시간에 걸쳐 습득된 이론적, 실험적, 경험적으로 축적된 중요 설계 기술은 에어컨 제조 회사들의 노우하우이고 중요한 자산이기 때문에, 전문가시스템의 형태나 이와 유사한 형태의 소프트웨어로 개발되어 설계에 이용하더라도 일반에 공개되는 경우는 드물기 때문이다. 또한 가전용 에어컨은 플랜트나 건물용의 HVAC 시스템에 비해 제품 자체가 소형이고 구조와 기능이 간단하여 설계는 물론, 고장 진단 및 시스템 관리용의 전문가시스템에 대한 요구가 상대적으로 적었기 때문이기도 하다.

Hirai(1984)는 기계 고장 진단을 위해 지식공학 관점에서 문제 해결 시스템의 지식공학 기술에 관한 내용으로 지식기반 진단 모델, 규칙기반 진단 절차(rule-based diagnosis procedures), 에어컨에 대한 진단 프로그램 등의 연구를 수행했다. Fazio 등(1989)은 다른 기후 조건, 빌딩 타입(type), 실내조건, 실내외의 공기 오염도에 대해서 HVAC 시스템의 구성과 크기, 즉 기본설계 단계의 조언자로서 사용 되는 지식기반 시스템을 개발하였다.

Chen 등(1990)은 차량의 에어컨 압축기에 대한 효과적인 고장 진단을 수행하여, 현장 엔지니어를 지원하기 위한 차량 에어컨 압축기의 고장 진단 전문가시스템인 EXACT(EXpert system for Automobile Air-conditioner Compressor Trouble-

shooting)을 개발하였다. Robin 등(1993)은 빌딩과 에너지 시스템의 열 설계, 즉 HVAC 시스템설계를 위한 전문가 지식과 시뮬레이션 프로그램들을 통합한 툴(tool)로써, SETIS를 개발하였다.

Kashiwagi 등(1993)은 컴퓨터 센터(computer center)의 공조 시스템의 유지 관리를 위한 고장 진단 및 예측 전문가시스템을 개발했다. Bajpai(1994)는 차량의 공조 시스템 설계를 위한 전문가시스템을 개발했는데, 이 시스템은 가스 압축 냉동 사이클을 기본으로 하고, 재래식의 해석 프로그램의 효능과 데이터베이스와 모델에 기초한 전문가시스템 기술을 결합한 통합 연구 방법을 사용하였다. 시스템은 개방적이고 모듈로 되어 있으며, 수정과 확장이 용이하게 구성되어 있다.

일반 분야에 대한 설계 전문가시스템의 연구현황은 다음과 같다. 강상섭 등(1997)은 선박용 배관의 auto-routing을 위한 설계 전문가시스템을 개발하였으며, 구도연 등(1996)은 급지 기구 전문가시스템에서 구성 설계 방법론에 대한 연구를, 최진성 등(1996)은 사출 제품의 성형시 불량 대책을 위한 지식베이스의 구축에 관한 연구를 하였다. 가전제품의 설계지원을 위해 문서 형태의 규칙 지식베이스를 구축하는 방법에 관한 연구가 이효섭 등(1994)에 의해 수행되었다. 한순홍 등(1993)은 범용전문가시스템을 이용한 선박의 구조설계 지원 시스템에 대한 연구를 수행하였다.

이상의 현황으로 부터 설계 전문가시스템이 다방면에 걸쳐 이용되고 있다는 것을 알 수 있다. 설계를 위한 컴퓨터의 이용은 이미 보편화되었고, 컴퓨터 기술의 발전과 더불어 전문가시스템은, 효율적인 설계의 도출뿐만 아니라 설계 지식의 체계적인 축적 및 관리에 유용한 도구로써 엔지니어링 분야를 포함한 여러 분야에서 활용이 확대될 것으로 생각된다.

II. 에어컨의 구조와 냉방 원리

가스 압축 냉동 방식의 에어컨은 그림 1에 나타낸 것 처럼 주요 부품인 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기가 일련의 폐회로 시스템을 형성하고, 이 회로 내부를 냉매가 흐르며, 각 부품과 시스템의 기능을 제어기에서 조절하는 구조로 되어 있다(김상호 1993).

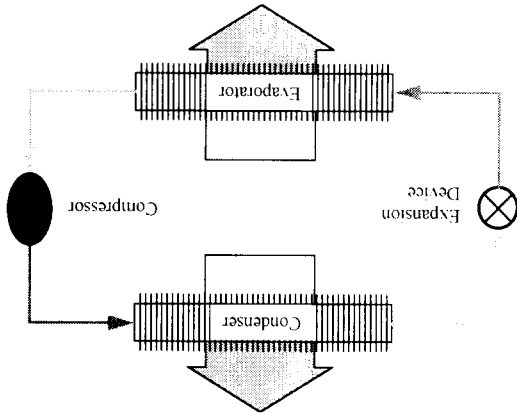


그림 1. 에어컨의 구조

가) 압축기(compressor)

증발기를 지나면서 열을 흡수한 저온 저압의 냉매 가스를 고온 고압의 가스로 압축한다. 에어컨 소비 전력의 대부분이 압축기에서 압축 에너지로 소모된다.

나) 응축기(condenser)

다수의 핀(fin) 과 튜브(tube)군으로 구성된 열교환기로 압축된 고온 고압의 냉매 가스를 냉각 팬(fan)에 의해 냉각시켜 고온 고압의 냉매 액으로 응축시킨다.

다) 팽창장치(expansion device)

응축된 냉매액을 모세관과 같은 팽창 기구를 통

과시켜 저온 저압의 냉매 액(가스를 포함할 수 있음)으로 만든다.

라) 증발기(evaporator)

다수의 핀(fin)과 튜브(tube)군으로 구성된 열교환기로 팬(fan)의 송풍에 의해 저온 저압의 냉매액이 열을 흡수하면서 저온 저압의 냉매 가스로 상변화가 일어나는데 이때 흡수한 열량이 냉방 열량이 된다.

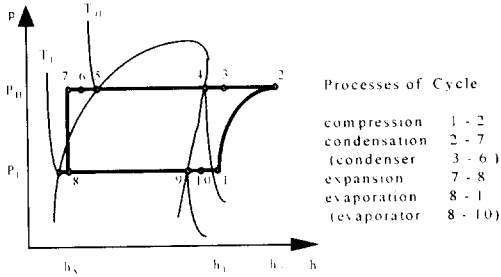
쿨링 유니트(cooling unit)인 실내기는 증발기와 송풍팬, 팽창 장치로 구성되어 실내에 찬 공기를 공급한다. 또한 실내기에는 실내 공기 흡입구에 공기 필터가 있어서 정화된 실내 공기를 냉각시켜 실내로 송풍한다. 콘덴싱 유니트(condensing unit)인 실외기는 압축기와 냉각팬, 응축기로 구성되어 실내에서 흡수한 열을 외부로 방열하며, 실내기와 실외기 간에는 냉매 배관으로 연결되어 있다.

가스 압축식 에어컨의 냉방 원리는 냉매가 유동하면서 그림 2에 도시한 것과 같이 압축, 방열, 팽창, 흡열 과정을 반복하는 냉동 사이클의 작용으로 흡열 과정에서 저온의 공기를 생성하는 것이다.

에어컨의 성능은 냉방 능력이나, 소비 에너지를 고려한 에너지 소비 효율로 나타낸다. 냉방 능력은 단위 시간당 흡수 열량($h_{10}-h_9$)으로 단위는 kcal/hr로 표시하며, 에너지 소비 효율(E.E.R.- Energy Efficiency Ratio)은 단위 시간당 흡수 열량을 입력 에너지로 나눈 값으로 단위는 kcal/watt-h로 표시한다.

III. 에어컨의 설계

본 논문에서 다루는 에어컨 설계는 시스템 설계, 성능 설계, 열역학적 설계, 시행착오형 설계와 최적



position of points.

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 - compressor shell inlet | 6 - condenser outlet |
| 2 - compressor shell outlet | 7 - expansion device inlet |
| 3 - condenser inlet | 8 - evaporator inlet |
| 4 - saturation point of gas | 9 - saturation point of gas |
| 5 - saturation point of liquid | 10 - evaporator outlet |

그림 2. 냉동 사이클과 P-h 선도(김병순, 1993)

설계, 유사(類似, 개발, 수정)설계, 기본 설계에 해당하고, 개념 설계상의 구성 설계와 상세 설계를 일부 포함한다.

설계 조건과 제약 조건을 만족하면서 경제성을 고려한 최적 설계 및 목표 성능을 얻을 수 있는 에어컨의 설계 변수(parameter), 즉 압축기, 열교환기인 증발기와 응축기, 팽창 장치 등의 요소 부품들의 적절한 조합과 부품의 설계 변수에 대한 특장값을 결정하는 것으로써 에어컨 설계 문제를 규정할 수 있으며, 에어컨 설계 문제는 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

- 요소 부품들은 독립된 기능을 하고 있으나, 시스템이 사이클을 구성하며 작동하므로 성능에 전체적으로 상호 종속적인 영향을 미친다.
- 냉동 사이클에 기초한 시스템이기 때문에 유사 설계가 많다.
- 열교환기의 설계 비중이 크다.
- 설계자의 경험 지식에 대한 의존도가 크다.
- 계절 상품이므로 설계시 시간 개념이 중요하다.

3.1 에어컨 설계 과정

에어컨 개발 프로우는 일반적인 설계 프로세스와 다를 바 없으며 창조적인 설계보다는 유사설계에 의한 제품개발이 주종을 이루고 있다. 따라서 개념 설계 과정은 대부분 생략되는 경우가 많다. 유사 설계 형태의 에어컨 개발 프로우를 그림 3에 나타냈고, 그림상에 음영으로 표시한 부분은 본 연구에서 다루는 내용을 표시한다.

냉방 능력은 동일하나 E.E.R.(energy efficiency ratio)의 향상을 위한 개발, 기존 생산 제품과 다른 냉방 능력을 갖는 제품, 기존 제품의 실내기 또는 실외기의 외형 디자인을 변경하는 제품, 에너지 절감 및 감성 설계에 의한 신 제어 방식을 적용한 제품 등의 개발과 같이 개발 형태는 시장의 요구에 따라 다르지만 설계 방법은 대부분 동일한 과정을 거치게 된다. 에어컨의 냉동 사이클 특성으로 인해 항상 정적인 사이클의 평형을 이룬 상태에서 성능을 고려해야 하므로 요소 부품과 시스템의 설계는 독립적이지 못하다.

시장의 요구에 따라 제품 개발 계획이 수립 되면 냉방 능력, E.E.R. 등의 성능, 외형디자인, 기타 주요 사양이 개발 목표로 확정되고, 동시에 개발 조건 즉 기존 부품의 사용 여부와 외형 치수와 관련된 내용 등의 설계 제한 조건들이 명확하게 결정된다. 목표 성능의 실내외 공기의 온습도 조건과 증발 온도, 응축온도, 과냉도 및 과열도 등의 냉매 조건도 명시하게 된다.

설계의 첫 단계는 냉방 능력에 적합한 압축기를 선정하는 것이다. 일반적으로 압축기는 냉방 능력이 다양하게 용량별로 압축기 제조 회사에 의해 제품화 되어 있기 때문에, 에어컨 개발시 새로운 압축기의 개발을 요구하는 경우는 드물고 현재 생산 되고 있는 압축기 중에서 선정하는 것이 대부분이다.

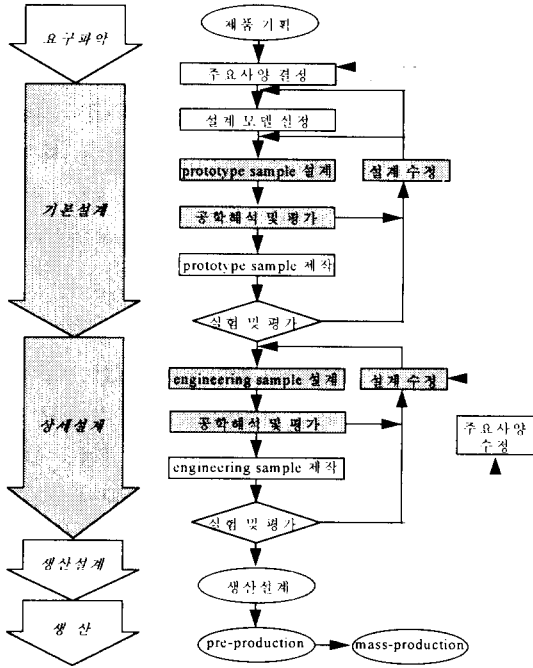


그림 3. 유사 설계 형태의 에어컨 개발 플로우

다음 단계로는 단품 상태에서 설계 조건과 방열량, 압력 손실, 흡열량을 각각 고려하여 응축기, 팽창 장치인 모세관, 증발기의 주요 설계 변수 값을 시행착오 방법으로 시뮬레이션을 거쳐 결정한다. 또한 양산 적용된 요소부품의 실험 결과로 얻은 데이터를 이용하기도 한다.

다음은 1차적으로 결정한 요소 부품과 연결 배관으로 구성된 에어컨 시스템에 대해 성능 시뮬레이션을 수행하게 되는데, 이 때 요소 부품별로 주요 설계변수 값을 미세 조정하여 목표 성능에 적합한 설계변수들에 대한 최적해를 구하게 된다. 에어컨의 설계는 설계 조건에서 목표 성능을 만족시키는 요소 부품의 설계변수 값을 결정하는 것이며,

실제의 설계 조건과 설계변수들을 그림 4에 나타냈다.

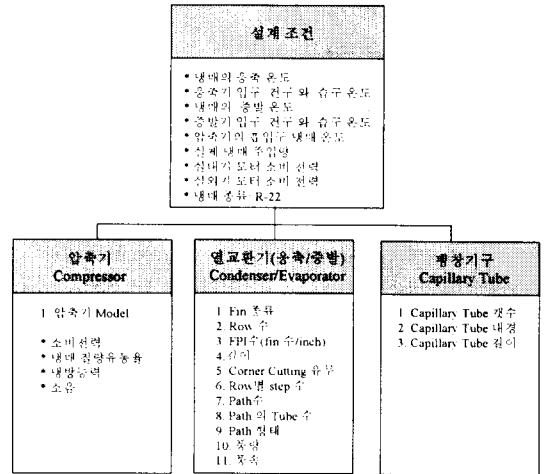


그림 4. 설계 조건과 요소 부품의 설계변수

3. 2 설계의 제한 요소와 최적설계

에어컨에 대한 요구가 콤팩트화 및 패션화, 고효율화, 다기능화하면서 설계도 점차 복잡하고, 어려워지고 있다. 설계 제한 요소들도 그 만큼 증가되면서 서로 트레이드 오프(trade-off)하는 문제도 나타나 성능 또는 원가에 대한 파레토(Pareto) 최적 해를 구해야 한다.

제품 설계시 접하게 되는 설계 제한 요소들은 기술, 생산, 원가, 미적 디자인 등의 각 측면들이 복합적으로 나타나게 된다. 예를 들면, 열교환기인 응축기나 증발기의 성능을 향상시키는데 있어서, 기술적으로 해결이 가능하더라도 생산성이나, 원가를 고려하여 기존의 양산 열교환기를 적용하기로 한다면, 이것이 성능 설계에 대한 제한 요소가 되는 것이다. 즉 어떤 요소부품, 또는 형상은 변경

않거나, 특정한 요소 부품을 사용하기로 제품 기획 단계에서 결정한 경우에 설계의 제한으로 인한 설계의 불이익은 감수해야만 하며, 최적설계 방법으로 그러한 불이익을 최소화 할 수 밖에 없다.

응축기, 증발기, 팽창 장치의 형상과 관련된 설계 변수들이 성능에 영향을 미치는 제한 요소가 될 수 있다. 이 요소들이 본 논문에서 다루게 되는 전문가 시스템에 도입되는 최적설계 기법에서 설계변수가 되며, 목적 함수는 성능 즉, 냉방 능력과 E.E.R.이 된다. 제품 개발시 열교환기의 설계가 차지하는 비중이 큰 것을 고려하면, 주요 설계변수는 냉매 주입량, 길이, 모세관(capillary tube) 길이 등이다.

본 논문에서 냉동 사이클의 계산 알고리즘을 위해 참조한 소프트웨어는 LG 전자(주)에서 에어컨 설계를 위해 개발하여 사용중인 CEL로써, 요소 부품인 압축기, 응축기, 팽창 기구, 증발기와 이 부품으로 구성된 에어컨 시스템의 성능 시뮬레이션을 통해 부품의 주요 사양과 치수(dimension)를 결정할 수 있는 에어컨 전용 설계 소프트웨어이다(김병순 1993, 김상호 1993).

본 연구에서 구현한 설계 전문가시스템의 구성은 냉방 사이클 상의 발란스 검사 시점을 기준으로 모듈(module)화를 추가하고, 제한조건과 설계 및 평가시의 우선순위가 반영되도록 CEL의 사용자 인터페이스(User Interface)를 보완 수정하였고, 사용자 인터페이스와 전문가시스템 셸(shell)인 Nexpert Object와 연결하여 구성하였다(Knowledge Design 1993). 시스템의 구성을 그림 5에 나타냈으며, CAD 부분은 본 논문에서 다룬 내용은 아니지만 실제 현장에서 유용하게 사용될 향후의 바람직한 시스템의 모습을 표현한 것이다. 각 구성 요소에 대한 설명은 다음과 같다.

1) 사용자 인터페이스(User Interface)

사용자로 부터 에어컨 설계를 위한 정보를 입력하고, 추론 혹은 지식 처리의 결과를 사용자에게 표시하는 부분이다. 제한조건과 설계 및 평가시의 우선순위의 입력부분이 기존 CEL의 내용에 추가되었고, GUI는 Motif Toolkit을 사용하여 입출력 화면을 구성하였다.

IV. 에어컨 설계 전문가시스템

4.1 시스템의 구성

에어컨 설계 전문가시스템의 개발 환경은 다음과 같다.

- Hardware : Workstation(SUN SPARC 20)
- Operating System : UNIX(Solaris 2.5.1)
- Programming Language : C
- Graphical User Interface : Motif Toolkit
- Expert System Shell : Nexpert Object V3.0

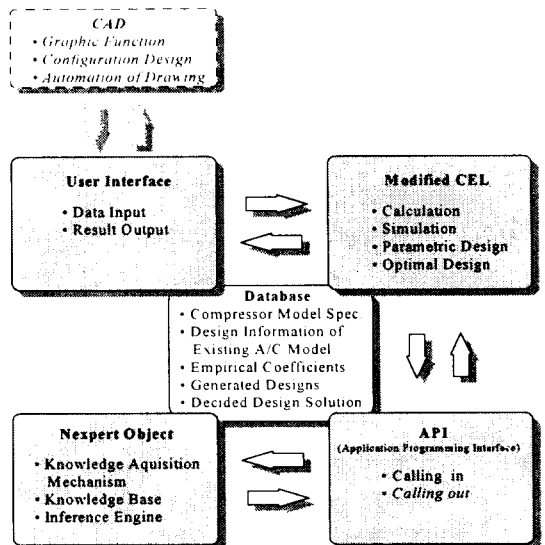


그림 5. 에어컨 설계 전문가시스템의 구성

2) 추론엔진(Inference Engine)

지식베이스와 수정된 CEL 프로그램을 근거로, 성능 시뮬레이션에 대한 계산과정 제어와 최적 설계안의 추출을 위한 추론을 행하는 부분이다. 추론은 알고 있는 사실들로부터 추론하여 결과를 얻는 전향 추론(forward chaining) 방식과, 결과 혹은 목표로 부터 시작하여 이것을 만족하기 위한 사실들이 모두 참(true)이 되는지를 추론하는 후향추론(backward chaining)으로 대별할 수 있다. 프로그램 제어방식에 따른 구분으로서 Nexpert Object에서 외부 프로그램을 제어하는 것을 Calling Out 방식이라 하며, 외부 프로그램이 Nexpert Object를 제어하는 것을 Calling In이라 한다. 본 연구에서는 설계 변수의 값 변화에 따라 설계 목표에 접근하도록 한 전향 추론 방식과, 주(main) 프로그램인 수정된 CEL 프로그램에서 API를 이용하여 Calling In 방법으로 추론엔진이 작동하도록 하였다.

3) 지식베이스(Knowledge Base)

입력 데이터 세트에 대해 성능 시뮬레이션을 수행하고 성능 예측 결과를 평가하여, 설계변수의 제한 사항을 만족시키는 최적의 설계안을 도출하는 방법에 관한 지식들로 구성하였다.

4) 데이터베이스(Database)

압축기 선정을 위한 압축기 모델들의 주요 사양들에 대한 정보, 양산 에어컨에 대한 설계 정보, 성능 시뮬레이션 프로그램에 필요한 열역학적인 물성 계산식과, 기타 계산에 필요한 계수들이 저장되어 있고, 또한 생성된 설계안 및 최종 설계안에 대한 결과 데이터도 저장된다.

5) 수정된 CEL(Modified CEL)

사용자 인터페이스 부분을 호출하고 성능 평가와

예측을 위한 계산과 성능 시뮬레이션이 수행되며, Nexpert Object의 추론 엔진을 API를 이용한 Calling In 방식으로 기동시키는 시스템의 주 프로그램 부분으로써, 기존 CEL의 계산 수행 부분을 전문가시스템 구성에 유리하도록 냉방 사이클 상의 발란스 검사 시점(그림 7)을 기준으로 모듈화를 보장하고, 제한조건과 설계 및 평가시의 우선 순위가 반영되도록 계산 과정을 수정 하였다.

6) API(Application Programming Interface)

Nexpert Object에서 제공하는 라이브러리를 이용하여 Nexpert Object와 주 프로그램인 Modified CEL과 상호작용(interaction)시키는 부분이다(API Reference 1993).

7) CAD(Computer Aided Design)

성능 예측을 위한 데이터 입력시 그림으로 표현한 입력 방법과, 기 수록되어 있는 양산 모델의 에어컨과 요소부품의 설계 정보는 물론이고, 설계중인 에어컨과 구성 요소 부품의 형상에 대해 그래픽화를 지원하는 부분이다. 기존 설계안의 검색, 구성설계(configuration design) 및 부품설계 작업시, 제품의 구성 형태, 부품간의 간섭 등을 설계자가 쉽게 분석할 수 있는 가시화 기능과, 결정된 설계안의 결과 데이터를 자동적으로 도면처리하는 기능을 갖는 부분이다.

4. 2 지식베이스의 구축

에어컨의 성능설계에 관한 지식은 주로 이론과 실험을 통해 습득된 지식들로, 이미 구현되어 있는 CEL의 성능예측 알고리즘에 많은 부분이 집약되어 있고, 또한 경험적인 지식도 직간접적으로 표현되어 있다. 따라서 데이터베이스를 포함한 CEL의

분석을 통해 중요한 설계지식을 추출해 낼 수 있다. 그러나 성능예측 시뮬레이션 결과의 에어컨 성능에 대한 평가는 쉽게 행할 수 있으나, 성능을 향상시키기 위한 제한조건을 만족하면서 설계변수의 값을 어떻게 변경할 것인가의 결정은 쉽지 않으며, 이론과 실험적인 지식 외에도 경험적인 지식을 이용하는 경우가 많다. 한편, 성능 예측 시뮬레이션은 다중 루프의 반복 계산과정이 많이 내재되어 있기 때문에, CEI, 프로그램 전체를 세부적으로 분해하여 절차형 프로그램군으로 구성하고, 이 절차형 프로그램을 단순히 호출하는 객체와 규칙으로 지식 베이스를 구축하는 것은 바람직하지 못하다.

본 연구에서는 1) 성능 시뮬레이션 과정 중에 냉방 사이클 상의 냉매 질량 유동률, 엔탈피, 냉매량의 발란스로부터 계산 단계를 결정하고 매개변수 값을 조정하는 지식과, 2) 설계 현장에서 많이 사용하는 기본적인 방법인 설계변수의 제한조건과 냉방능력, EER, 소비전력, 냉매량의 설계 및 평가 우선 순위에 대한 최적 설계안을 결정하는 지식, 3) 성능예측 결과에 대한 평가지식을 규칙으로 표현하여, 지식베이스의 기본 골격을 구축하였다. 그림 6은 룰 베이스(rule base) 네트워크의 일부분으로서 지식베이스의 룰 체이닝(rule chaining)과 실제 추론한 결과를 보이는 한 예이다.

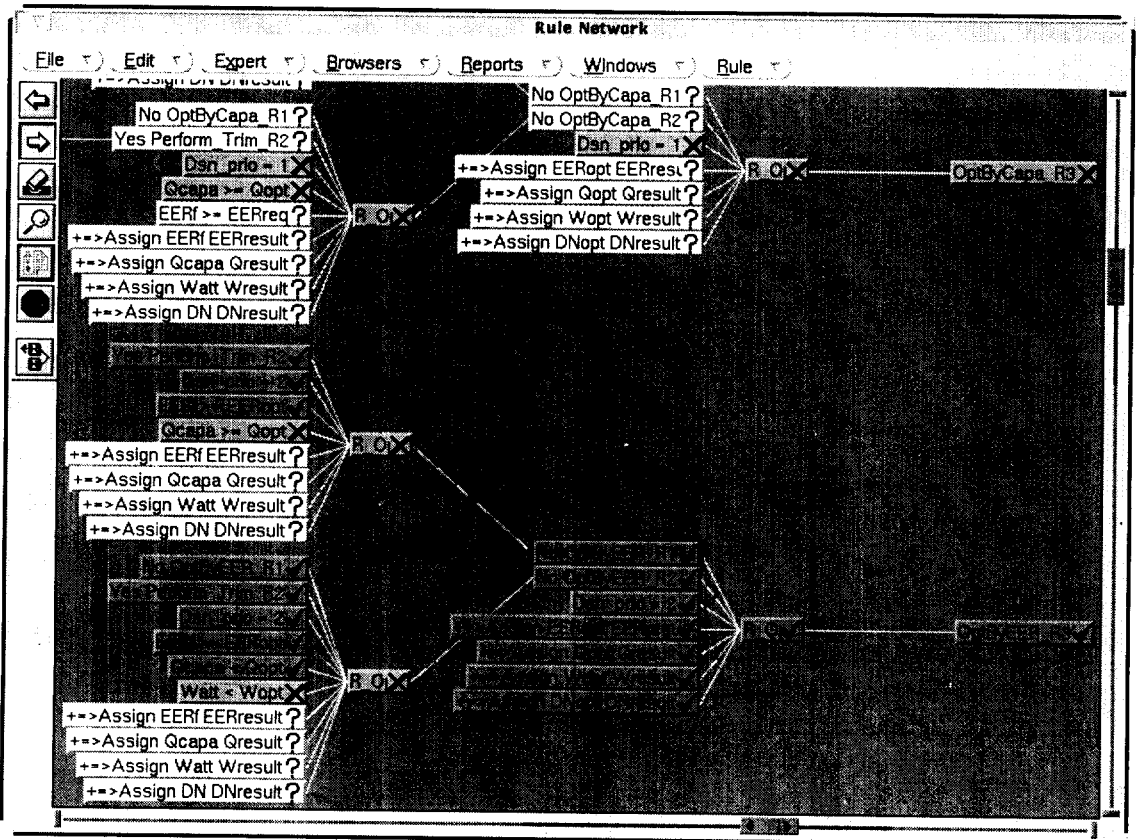


그림 6. 룰 베이스의 네트워크

4. 3 최적 설계안의 결정

최적 설계안의 결정은 설계변수 값을 최대값으로부터 일정 간격으로 10 단계로 나누어 변화 시키면서 설계안을 생성시키고, 제품의 형식 승인 요건인 설계 요구 성능의 $\pm 5\%$ 의 오차 내에 들면, 설계 및 평가 우선 순위에 따라 앞서 생성된 설계안과 비교하

여 최적안을 대치해가는 방법으로 진행하여 최종 최적설계안을 결정한다. 이러한 결정 방법은 설계 실무에서 빈번하고 기본적인 방법의 하나이다. 설계변수에 대한 일정 변화 폭은 에어컨 용량을 감안하여, 응축기와 증발기의 튜브 길이가 10mm, 모세관 길이는 20mm, 냉매량은 20g을 적용하였으며, 설계변수의 선정은 단일 변수만 선택하도록 하였다.

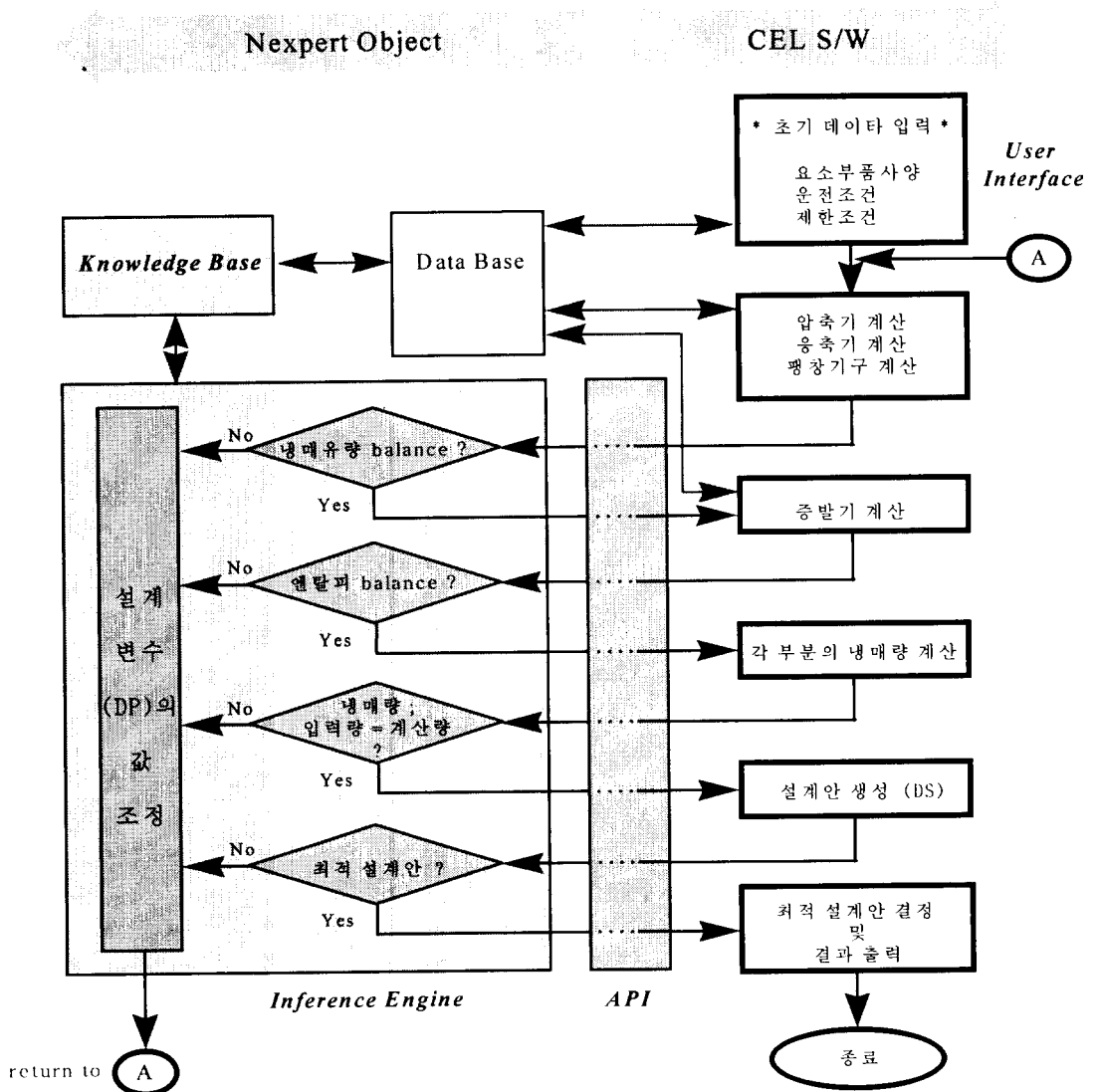


그림 7. 시스템의 상세 구조와 실행 플로우

시스템의 실행은 그림 7에 나타난 것 처럼 설계자가 사용자 인터페이스를 통해, 에어컨의 목표성능을 포함한 설계조건과 제약조건, 설계 및 평가의 우선순

위, 설계변수 값을 입력하면, 이 조건에 대해 성능예측 시뮬레이션이 시작된다. 압축기와 응축기, 팽창기구의 성능 계산과 증발기의 계산, 그리고 요소부품

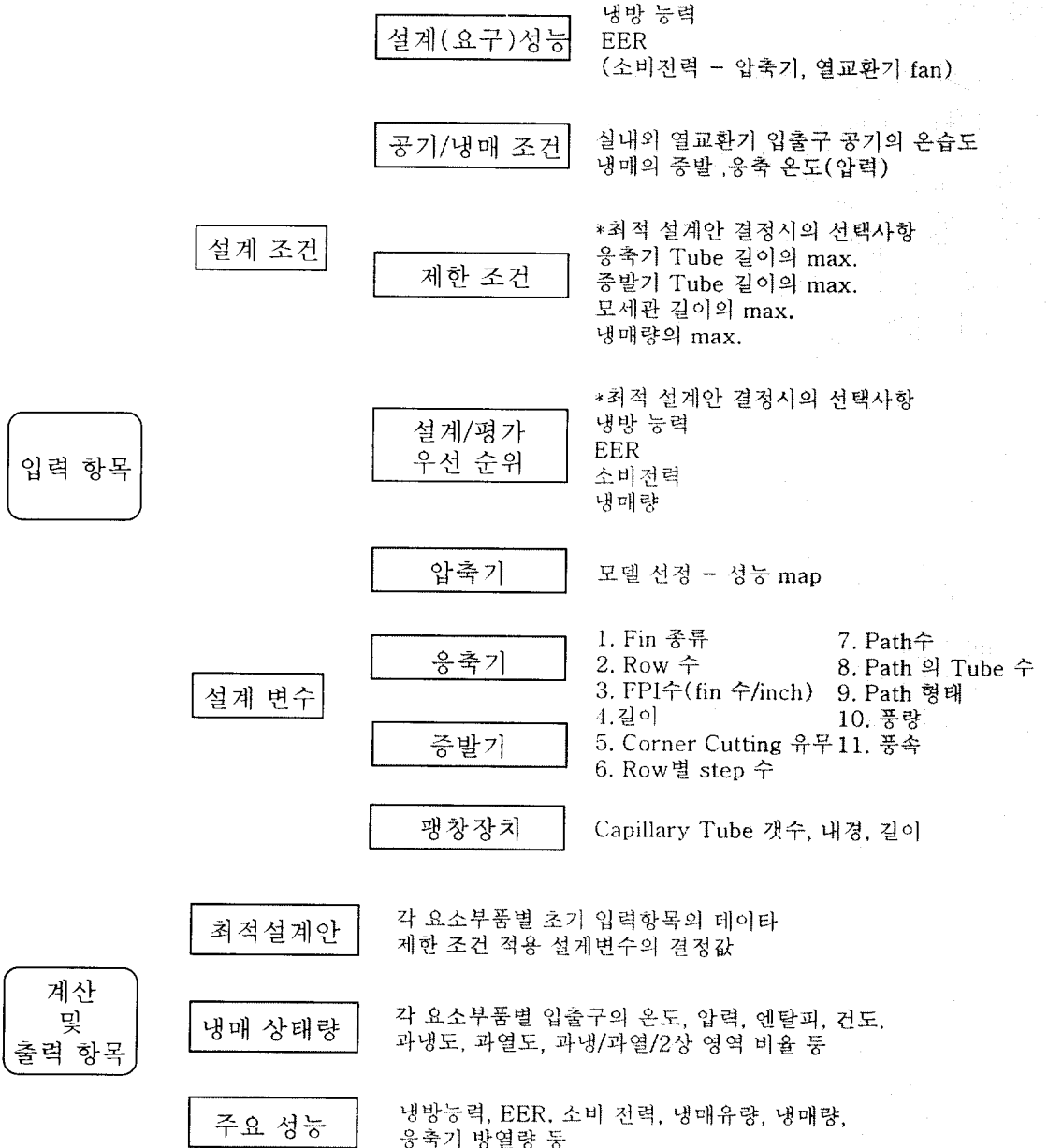


그림 8. 시스템의 입출력 항목

및 배관에 있는 냉매량이 계산되는 과정에, 각각 냉매유량의 발란스, 엔탈피 발란스, 냉매량의 발란스와 관련된 데이터를 API를 거쳐 Call In 방식으로 Nexpert Object의 추론엔진을 기동시켜 만족 여부를 판단하게 된다.

추론 결과에 따라 설계변수의 값을 조정하여 성능 계산을 반복하거나 다음 계산 단계를 수행하여 설계안을 생성시킨다. 생성된 설계안이 목표 성능에 도달할 때까지 룰 베이스에 의해 제한조건 내에서 설계변수를 변화시키면서, 다시 성능 시뮬레이션을 반복하여 목표 성능에 대한 최적설계 조건을 구한다. 이 조건 즉 최적 설계안이 얻어지면, 이때의 압축기, 응축기, 증발기, 팽창기구인 모세관 등의 요소부품에 대한 설계변수 값과 냉방능력, EER 등의 주요 성능이, 사이클 상의 각 위치별 냉매의 상태량들과 함께 출력으로 표시되고, 동시에 별도의 설계 데이터베이스에 저장된다.

시스템의 입출력 항목을 그림 8에 나타냈는데 기존의 CEL의 입출력 항목에 추가하여, 최대값을 입력하는 제한조건과 설계 및 평가 우선순위의 항목이 추가 되었다. 제한조건과 설계 및 평가 우선순위도 해당 설계변수를 모두 동시에 변경하여 실행시키는 것이 바람직하나, 본 연구에서는 계산 알고리즘을 깊이 다루지 않았기 때문에 앞에서 설명한 응축기와 증발기의 튜브 길이, 모세관 길이, 냉매량의 네가지 적용 조건중 하나씩만 변경하였다.

V. 시스템의 적용 예

실제 사용중인 분리형 에어컨에 적용되고 있는 설계 데이터를 전문가시스템에 적용하여 시스템에 의한 추론 결과와 비교하여 보았다.

데이터 입력은 표 1의 입력 데이터 리스트에 나타낸 바와 같이 설계(요구) 성능, 설계 및 평가 우선순위, 제한조건과 기존 CEL의 입력 데이터인 설계변수 값, 냉방 운전시의 공기와 냉매 조건으로 구분한다. 설계성능은 냉방능력이 3000 kcal/hr, EER은 2.1, 소비전력은 냉방능력과 EER의 입력에 의해 프로그램에서 계산된다. 설계 및 평가 우선순위는 제한조건인 응축기와 증발기의 최대 길이에 대해서 냉방능력과 EER을 각각 적용하였다. 계산에 필요한 데이터 외에 냉방 열량의 범위와 양산 에어컨 모델을 선정하는 입력 부분도 있다. 이 데이터 입력에 의해 설계변수의 입력값은 해당 에어컨 모델의 설계 데이터 값으로 디폴트(default)화 되어 표시된다. 이것은 기존 CEL에 있는 기능으로, 많은 데이터 입력의 번거로움을 줄일 수 있다.

시스템의 실행은 설계 및 평가 우선순위 중에 EER과 냉방능력에 대하여, 표 2에 나타낸 것과 같이 설계변수로는 응축기와 증발기의 튜브 길이를 각각 적용하였다. 입력은 최대길이를 입력을 하면 10개의 길이 간격에 의해 최소 길이가 프로그램내에서 계산되어 모두 11개의 설계안이 생성되게 된다.

그림 9는 최적 설계안 결정에 필요한 항목인 설계 요구 성능, 설계 및 평가 우선순위와 제한요소의 데이터 입력 화면을 나타낸다. 하단의 창은 데이터 입력에 따른 메시지를 보여주는 창이다.

시스템을 실행하면, 제한요소의 범위 안에서 변수 값의 변화에 따라 생성된 설계안의 성능예측 결과를 얻으며, 지식베이스의 규칙에 의해 추론되어 최적안이 결정되어진다. 그림 10은 출력 결과를 보여주는 화면이다. 생성된 설계안들과 추론 결과의 비교 그래프인 그림 11은 설계 변수와 제한요소로 증발기의 튜브 길이가 적용된 경우의 추론 결과이다.

표 1. 입력 데이터 리스트

[설계(요구) 성능] 1) 냉방 능력 (kcal/hr) : 3000.0 2) EER (kcal/hr*watt) : 2.1 3) 소비 전력 (watts) : 1428.6	
[설계/평가 우선 순위] 1) 냉방능력 (kcal/hr) () 2) EER (kcal/hr*watt) (O) 3) 소비 전력 (watts) () 4) 냉매량 (kg) ()	[제한조건] 1) 응축기 Tube의 max. 길이 (mm) : 2) 증발기 Tube의 max. 길이 (mm) : 750.0 3) 모세관 Tube의 max. 길이 (mm) : 4) 냉매량의 max. 주입량 (kg) :
[설계 변수] 압축기 1) 모델 선택 : 2KS196H4AA01 응축기 1) Fin 종류 : 3S400 2) Row 수 : 1 3) FPI수 (fin 수/inch) : 17 4) 길이 (mm) : *760 5) Corner Cutting 유무 : NO 6) 1st Row의 step 수 : 20 7) 나머지 Row의 step 수 : < 0 > 8) Path수 : 1 9) Path 형태 : <단순히 Path로 나누어지는 경우> 10) 단 Path의 Tube 갯수 : < 20 > 11) 단위 Path당 Tube 갯수 : < 20 > 12) 풍량 (CMM) : 26.002 13) 풍속 (m/s) : <1.1224 >	
모세관(capillary tube) 1) Capi. Tube의 갯수 : 1 2) Capi. Tube 내경(mm) : 1.9 3) Capi. Tube 길이 (m) : 1.2 증발기 1) Fin 종류 : 3S200 2) Row 수 : 2 3) FPI수 (fin 수/inch) : 21 4) 길이 (mm) : * 650 5) Corner Cutting 유무 : YES 6) 1st Row의 step 수 : 10 7) 나머지 Row의 step 수 : 8 8) Path수 : 2 9) Path 형태 : 단위 Path당 Tube의 길이에 영향을 주는 경우 10) 단 Path의 Tube 갯수 : 10 11) 단위 Path당 Tube 갯수 : <14 > 12) 풍량 (CMM) : 10.9996 13) 풍속 (m/s) : <1.1104 >	
[냉방 운전시 공기와 냉매 조건] 1) 냉매의 응축 온도 (°C) : 50 2) 응축기 입구 건공기 온도 (°C) : 35 3) 응축기 입구 습공기 온도 (°C) : 24 4) 냉매의 증발 온도 (°C) : 11 5) 증발기입구 건공기 온도 (°C) : 27 6) 증발기입구 습공기 온도 (°C) : 19.5 7) 압축기의 흡입구 냉매 온도 (°C) : 15 8) 설계 냉매 주입량 (kg) : 0.7 9) 실내기 모터 소비 전력 (W) : 20 10) 실외기 모터 소비 전력 (W) : 50	

* 표시는 제한 조건의 적용을 표시함.

< > 표시는 이전 데이터 입력에 종속되는 데이터를 표시함.

표 2. 제한 요소의 설계변수 및 적용 범위

제한요소의 설계변수	최소 길이	최대 길이	길이 간격	실제 길이
증발기 튜브 길이(mm)	650	750	10	650
응축기 튜브 길이(mm)	720	820	10	760

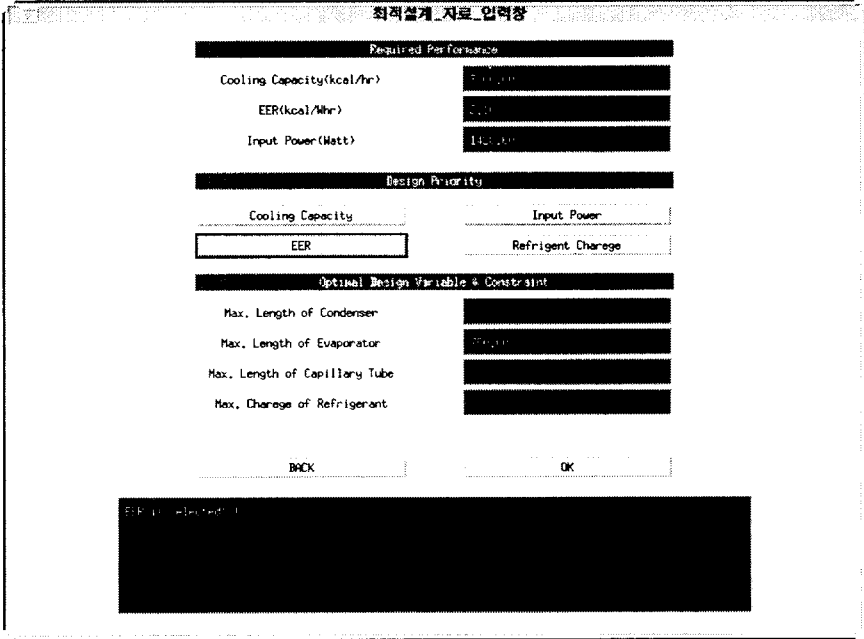


그림 9. 최적 설계 자료 입력 화면

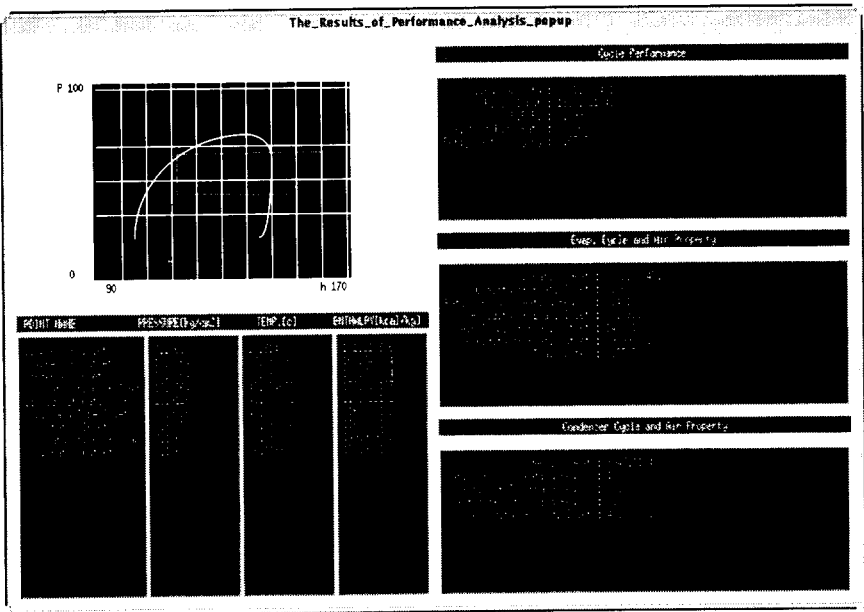


그림 10. 결정된 설계안의 성능 예측 결과 출력 화면

그림 11에서 좌측의 세로축은 에너지 소비효율인 EER을 표시하고 우측의 세로축은 냉방능력을 나타내며, 가로 축은 생성된 설계안의 번호를 나타낸다. 데이터에 사각형으로 나타낸 것은 추론 중간 과정에

최적안으로 대체되었던 성능 데이터를 표시한다. 이것은 각 설계안에 대해서 성능 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과를 그린 것으로, 설계 우선 순위에 따라 설계안의 결정이 다른 것을 보여 주고 있다.

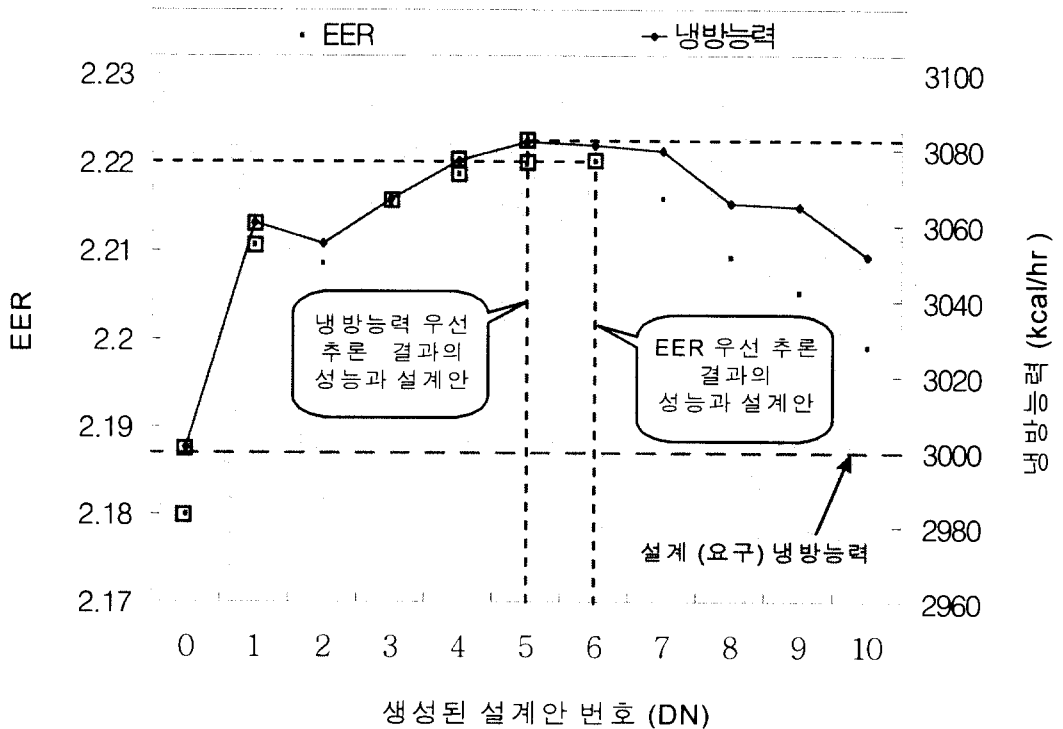


그림 11. 생성된 설계안과 추론 결과의 비교 - 증발기 예

VI. 결론 및 향후 연구과제

6.1 결론

에어컨 설계 소프트웨어인 CEL을 범용 전문가 시스템 셸을 이용하여 설계 효율을 높힐 수 있는

기본적인 설계 전문가시스템으로 재구성하였으며, 본 연구를 통하여 얻은 성과는 경제적인 설계와 설계 지식의 축적면에서 다음과 같다.

1) 에어컨 설계에 관한 기존의 연구는 계산 위주의 성능해석 알고리즘에 관한 것이 주종이었으나, 본 연구는 현재까지 쌓아온 이론적, 실험적 설계 노하우를 지식베이스화하고, 이 지식에 기반을 둔 최적의 설계안을 도출해 내는 설계 시스템의

구축에 관한 연구로, 현재의 설계 자원을 효과적으로 활용하기만 하여도 설계 효율을 충분히 향상시킬 수 있는 방법의 하나로 전문가시스템의 활용을 제안하였다.

2) 설계 전문가시스템에 의해 최종 설계안이 도출됨으로, 기존의 설계자에 의한 설계안의 결정시 나타나는 성능 시뮬레이션의 반복성과 설계자의 경험 정도에 따른 설계안의 불균질을 개선할 수 있다.

3) 제품의 작동이 사이클 특성을 갖고 있어서 반복 계산하는 복잡한 프로그램도 전문가시스템으로 재구성함으로써, 설계 효율을 효과적으로 개선할 수 있는 방법을 제시할 수 있다.

4) 지식과 프로그램 제어가 분리되어 구성되기 때문에 프로그램의 보수유지 및 관리에 효과적이고, 경험적인 지식을 포함하여 사람 중심으로 부터 설계 시스템 중심으로 설계지식을 축적할 수 있는 토대를 마련하였다.

6. 2 향후 연구 과제

1) OMT(Object Modeling Technique) 방법론을 적용한 해석 알고리즘의 분석

냉방 사이클의 성능 해석을 위한 시뮬레이션은 냉매의 물성 계산을 많이 수반하고 계산 처리되는 데이터량도 많으므로, 기능적 모델링(functional modeling)과 같은 OMT(Rumbaugh 1991)를 적용하여 계산 알고리즘을 개선하는 연구가 필요하다. 또한 최적설계 알고리즘의 적용이 필요하며, 설계변수들에 대한 성능함수의 수식화를 위한 실험적 연구도 수반되어야 한다.

2) 지식베이스의 영역 확장

에어컨 설계를 위한 전문가시스템이 편리한 설계

도구가 되기 위해서는 지속적인 지식베이스의 확장이 필수적이다. 특히 요구 성능 즉, 목표로 부터 추론하여 목표를 만족하는 설계안을 생성시키는 후향추론이 가능하도록 연구되어야 하며, 성능적인 측면 외에도 제품 관련 법규, 원가, 재료 등에 관련된 내용도 포함하여야 한다.

3) CAD 시스템의 접목

설계 내용의 실시간(real time) 가시화를 통한 효율적인 설계가 가능하도록, 그래픽 기능과 설계 결과를 자동적으로 도면화하는 기능에 관한 연구가 이루어져야 한다.

4) 사례기반 추론에 의한 설계

기존에 생산된 제품에 관한 다량의 설계 정보들이 실재하므로, 이 정보들에 기초한 추론에 의해 설계안을 생성할 수 있는 사례기반 추론(Case-Based Reasoning)에 관한 연구도 유용할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 강상섭, 명세현, 한순홍, “선박용 배관의 Auto-Routing을 위한 설계전문가시스템”, CAD/CAM학회 논문집, 2(1):1-11, 1997년 3월.
- 구도연, 한순홍, “급지기구설계 전문가시스템에서 구성설계 방법론”, CAD/CAM학회 논문집, 1(2):163-172, 1996년 8월.
- 김병순, 성능예측(Cycle Simulation), 금성사(주), 기술보고서(1-11-25), 1993.
- 김상호, 압축기(Compressor), 금성사(주), 기술보고서(1-14-22), 1993.
- 이효섭, 한순홍, “가전제품의 설계지원을 위한 안

- 전규격 지식베이스의 구축”, 정밀공학회지, 11(4):106-113, 1994년 8월.
- 최진성, 서태설, 한순홍, “플라스틱 사출성형의 진단과 불량대책을 위한 지식기반 전문가 시스템”, 전문가시스템학회지, 2(1):1-10, 1996년 6월.
- 한순홍, 이경호, 이동근, 김은기, 이규철, “범용 전문가시스템을 이용한 선박의 구조설계 지원시스템”, 산업공학회지, 19(2):83-93, 1993년 6월.
- API Reference. Nexpert Object Version 3.0*, Neuron Data Inc., 1993.
- Bajpai, A., An Expert System Approach to Design of Automotive Air-conditioning System, (*AI EDAM*) *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.(UK)*, Vol.8, No.1 (1994), 1-11.
- Chen, Jen-Gwo, K. Ishiko, Automobile Air-conditioner Compressor Troubleshooting - an expert system approach, *Computers in Industry(Netherlands)*, Vol.13, No.4(1990), 337-345.
- Fazio, P., R. Zmeureanu, A. Kowalski, Select -HVAC: Knowledge-based system as an advisor to configure HVAC systems, *Computer Aided Design*, Vol.21, No.2 (1989), 79-86.
- Hirai, S., Knowledge Engineering Techniques in Trouble Shooting Systems, *System and Control(Japan)*, Vol.28, No.4(1984), 231-238.
- Kashiwagi, M., M. Kawai, An Expert System with Predictive Fault Diagnosis for Computer Center Air Conditioning System, *Matsushita Electr. Works Tech. Report(Japan)*, No.46(1993), 1-4.
- Knowledge Design, Nexpert Object Version 3.0*, Neuron Data Inc., 1993.
- Robin, C., J. Brau, J.J. Roux, Integration of Expert Knowledge and Simulation Tools for the Thermal Design of Buildings and Energy Systems, *Energy Build*, Vol.20, No.2(1993), 167-175.
- Rumbaugh, J. and Blaha, M. and Premeriani, W. and Eddy, F. and Lolensen, W. (1991), *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice-Hall International, Inc. U.S.A..