Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.20, No.2, pp. 29-46, August 2001

하이브리드 신경망을 이용한 室內 快適感性모형 개발*

Development of Comfort Feeling Structure in Indoor Environments Using Hybrid Neuralnetworks

전 용 웅** · 조 암**

ABSTRACT

This study is about the modeling of comfort feeling structure in indoor environments. To represent the degree of practical comfort feeling level in an environment, we measured elements of human sense and resultant elements of comfort feeling such as coziness, refreshment, and freshness with physical values(temperature, illumination, noise, etc.). The relationships of elements of human sense and elements of comfort feeling were formulated as a fuzzy model. And a hybrid-neural network with three layers were designed where obtained from fuzzy membership function values of the elements of human sense were used as inputs, and given as fuzzy membership function values of resultant elements of comfort feeling were used as outputs. Both kinds of fuzzy membership function values were obtained from physical values. The network was trained by measured data set. The proposed hybrid-neuralnetwork were tested and proposed a more realistic model of comfort feeling structure in indoor environments.

Keywords: comfort feeling structure, fuzzy membership function, hybrid-neuralnetwork

* 본 연구는 동국대학교 논문게재연구비 지원으로 이루어졌음
** 동국대학교 산업공학과
주 소 : 100-715 서울시 중구 필동 3가 26
전 화 : 02-2260-3376
E-mail:ywjeon@dongguk.edu

1. 서 론

실내공간에서 대부분의 시간을 보내는 현대인들에게 있어서 실내환경의 쾌적성은 일의 효율성을 증대시키고 나아가 사람의 건강을 유지하는데 매우 중요한 요소이다.

인간의 쾌적감(快適感)을 파악하기 위한 연구는 일찍이 19세기말부터 미국, 유럽 등지에서 시작되었으며, 현재 쾌적한 실내공간에 대한 계측, 평가 및 예측기술에 대한 연구가 세계적으로 활발히 수행되고 있다. 이러한 연구를 통하여 얻은 기술은 공조기기 등의 제품에 반영되어 현재 복사냉방, 저속환기, 개별공조, 향 공조 시스템 등이 실용화되고 있다(Schiller, G. E. et al., 1988). 국내에서는 1970년대 후반부터 일부 대학, 연구소에서 실내 온열환경의 쾌적성에 대한 연구를 시작하였는데, 이들은 주로 아파트나 단독주택과 같은 주거 시설을 대상으로 연구를 수행하였다(이춘식 등, 1993). 최근에는 환경 실험실을 사용하여 한국인의 느끼는 쾌적환경을 밝혀내는 연구가 수행되고 있고 빌딩의 사무실내 쾌적환경에 대해서는 아직 연구가 미비한 상태이다.

쾌적감에 대한 명확한 정의를 내리기는 아직 이르다. 다만 인간의 감성구조의 특성을 중심으로 인간의 주관적 만족감을 충족시키는 환경이 쾌적한 환경이라고 말 할 수 있을 것이고, 쾌적한 환경을 구현하기 위해서는 인간-환경을 하나의 시스템으로 두고 쾌적감을 느끼는 인간요소 중심에서 고려해야 한다(김 진과 조 암, 1999). 이와 같이 인간이 환경과 일체가 된다는 것이 쾌적감을 이루는 것이라고 한다면 실제 환경의 물리적 요소와 재실자가 주관적으로 느끼는 감각이미지가 이루는 구조를 파악하는 것은 중요하다. 현재 쾌적환경에 대하여 진행되고 있는 대부분의 연구들은 인간의 본질적 쾌적감에 대해서 이론적으로 제시하고자 하는 연구(김 진과 조 암, 1999 ; 윤정숙과 유복희, 1996 ; 이광태, 1991 ; 西川向一 et al, 1997 ; 宮崎良文, 1996)와 쾌적제어시스템을 구현하는 연구(유재일과 이경희, 1993 ; 윤홍식 등, 1992 ; 田原 普, 1993 ; Int-Hunt, D., 1990)가 있지만, 이들의 학제간 연구가 거의 이루어지지 않고 있다.

쾌적한 환경을 만들어 주는 쾌적환경제어시스템을 구성하기 위해서는 일상적인 실내환경 조건에 따른 개개인의 정신적 感(감각이미지)들의 패턴을 파악하여 시스템에 응용하는 것이 필요하다. 하지만, 실내환경에서의 쾌적한 환경을 구현하기 위한 기초적인 구조 분석이 이루지지 않은 상태에서 시스템 설계자의 주관에 의해서 구조를 생성하여 제어시스템을 개발하는 연구가 대부분 진행되어왔다(윤홍식 등, 1992). 그러므로 복잡한 쾌적감성을 표현하는데에 있어서 보다 효과적이고 객관적인 접근이 다양하게 이루어져야 한다.

본 연구에서는 첫째, 일상생활에서 가지게 되는 실내환경에서의 물리적 요소 즉, 온열, 조도, 소음에 대한 감각이미지 및 쾌적 요소이미지를 측정하고 이들의 관계를 퍼지함수로 표현하였고, 둘째, 측정된 자료를 이용하여 실내환경에서의 쾌적감성 신경망 모형을 제안하고 기존의 연구와 비교하였다. 감성공학의 관점에

서 인간의 감각이미지와 환경물리량간의 관계를 실험을 통하여 얻어진 자료(data)를 이용하여 퍼지소속함수(fuzzy membership function)로서 표현함으로써 기존 연구들에서 직관적으로 표현되었던 것보다 객관성을 가질 수 있고, 신경망(neuralnetwork)을 이용하여 쾌적감성을 표현함으로써 동시에 복합적으로 작용하는 쾌적 요소이미지에 대한 감각이미지를 보다 효과적으로 반영할 수 있다.

2. 쾌적성에 대한 고찰

인간이 느끼는 쾌적감이란 개개인 고유의 적응 논리를 가지고 자신의 가치판단과 의사결정을 바탕으로 자신에게 누적시켜온 지식이나 기억의 구조로서 개인의 체험에 따라 차이가 있는 하나의 이미지이다(문경환, 1990). 인간의 마음과 육체를 별개의 실체로 볼 것인지 아니면 분리된 것으로 볼 것인지에 대한 논란은 끊이지 않고 있다. 더구나 마음 그 자체가 독립 영역으로 구분될 수 있는가 하는 문제는 훨씬 더 복잡하다(정찬섭, 1998).

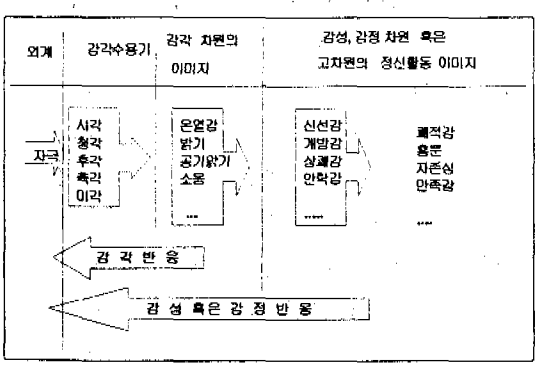

그림 1. 감각, 감각이미지, 감성 그리고 감정

실내환경에 있어서 인간이 쾌적감을 느낀다고 하는 것은 어떤 내부구조를 이루고 있는가를 감성공학 방법을 적용하여 감각, 감각이미지, 쾌적감의 요소이미지의 차원으로 분리하여 그 구조를 표현하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다(김 진과 조 암, 1999).

2.1 감각과 감각이미지

인간의 마음과 육체를 별개의 실체로 볼 것인지 아니면 분리된 것으로 볼 것인지에 대한 논란은 끊이지 않고 있다. 더구나 마음 그 자체가 독립 영역으로 구분될 수 있는가 하는 문제는 훨씬 더 복잡하다. 다시 말하면 신체적인 기관은 해부학적으로 각기 독립적으로 구분되어 상호작용하고 있는데 마음의 단위구조 즉, 지각, 인지, 감각, 감정으로 구분되어 설정될 수 없는 것은 아니라는 것이다(정찬섭, 1998).

자극은 유기체의 외부에 속하는 환경속에 있는 事象이다. 유기체는 빛, 소리, 온도와 같은 특수한 형태의 에너지에 특수하게 감응하는 수용기 신경세포들을 통하여 이러한 자극을 자각하게 된다. 이러한 에너지의 출처가 수용기세포를 자극할 만큼 충분히 강렬할 때 우리는 이 과정을 감각이라고 하고 이를 담당하는 수용기를 감각수용기라고 한다(이진환 등, 1997).

수많은 감각들이 대뇌에 있는 중개 과정을 통하여 통합되어 그것을 인식하거나 이러한 감각들이 어떤 이미지로 체계화될 때 우리는 이러한 과정을 지각이라고 한다. 우리는 이러한 지각상을 감각으로 부터도, 유사한 감각들

에 대한 과거의 경험과 같은 장기기억으로부터도 구성한다. 감각으로부터 연결된 지각상을 자극반응계의 이미지(stimuli-response system imagery)라고 하고, 장기기억으로부터 연결된 이미지를 콘택스트계 이미지(context system imagery) 라고 한다. 인간이 지각하는 과정을 보면 능동적으로 정보를 처리하기도 하고 새로 경험하는 자극과 비교하기 위해서 과거 자극에 대한 기억에 의존하기도 하는데 이와 같이 경험과 기억에 의존할 때, 인지(cognition) 과정이 내포되어 있음을 알 수 있다. 즉 이것은 자극에 대한 반응이 콘택스트계의 이미지의 영향을 받는다는 것을 의미하고 있다(田原, 1993).

2.2 감성 그리고 감정

기존의 여러 문헌에서 사용되는 감성과 관련된 용어로는 "sensibility", "affect"가 있고 감정과 관련되는 용어로는 정서, 정동, "emotion", "feeling"이 있으나 그 각각의 개념 또한 혼용해서 쓰이는 경우가 많다. 일반적으로 심리학에서는 심리적인 상태를 동기적인 측면(motivational aspect), 정서적인 측면(emotional aspect), 인지적인 측면(cognitive aspect)으로 구분하여 이해하려고 한다(정찬섭, 1998). 동기적인 측면은 주로 특정 목표를 향해 추구하려고 하는 과정이나 상태를 다루게 되는데 이는 주로 생리적인 욕구, 심리적인 욕구 등으로 나누어 살펴볼 수 있다. 정서적인 측면은 우리의 내적인 상태 가운데 생리적인 변화나 표현적인 행동에 수반되는 감정(feeling) 이나 사고의 동적인 양상을 주로 문제로 삼는다. 여기서 동적인 양상이란 울거나 웃는 것처럼 특정한 행동으로 이어지는 양상을 말한다.

정찬섭(1998)은 현재로서는 감성을 정확하게 정의할 수 있는 심리적인 개념은 없으나 좁은 의미로는 정서(emotion)로서 표현할 수 있으며 이는 생리적인 반응, 심리적인 반응, 표현적 행동의 조합이 빚어내는 기분(mood)이나 감정(feeling) 또는 강한 느낌에 해당되는 내적 상태이며, 넓은 의미로서는 비인지적인 내적 상태(non-cognitive internal state)와 동일시하는 것이 최선일 것 같다고 하였다. 또한 이구형(1998)은 감정(emotion)은 강도가 강한 심리적 변화로 감정의 발생은 대부분 생리적인 변화를 동반하며 공포감이나 분노, 슬픈 감정 등을 예로 들어 이것은 대부분의 사람들에게 공통적으로 발생하는 것이라고 하였다. 반면 감성(sensibility)은 외부로부터의 감각에 대한 반응이며 감정에 비하여 강도가 낮고 신체적으로나 생리적인 변화를 보이지 않는다고 하였다. 그 예로서 예쁘다든가, 실내분위기에 대해 아늑함을 느끼는 것이라든가, 청순한 느낌 같은 것들은 개인의 환경변화에 따라 다양하게 변하는 직관적이고 반사적으로 발생되는 것이라고 하였다.

이와 같이 쾌적환경을 설계하기 위해 감정과 감성의 구조와 그 구성을 알아내는 것은 중요한 일이지만 그와 관련된 구성 요소 용어들의 명확한 정의와 구분이 아직 없다. 또한 용어나 어휘는 사회적, 문화적인 측면을 반영하는 것으로 각 나라간 혹은 지역 간에 뉘앙스가 조금씩 다르므로 하나의 용어나 어휘에 정확히 1 대 1로 대응하지 못한다. 그러나

논리적인 사고와 같은 것으로 이루어지는 이성과 반대가 되는 개념으로 감정과 감성의 위치를 정하여 두면 쾌-불쾌감은 "좋다"와 "좋지 않다" 등으로 표현되는 것이므로 감정이나 감성의 기본 차원 중의 하나로 생각할 수 있다. 특히 그 중에서도 주로 기분에 포함되는 것으로 생각되어 질 수 있으며, 인간의 내부에 가지고 있는 어떤 지각상으로서, 감각수용기를 통하여 환경을 지각/인지하여 자기 자신에게 학습시켜 온 하나의 의미를 가지는 것이라고 할 수 있다(김 진과 조 암, 1999).

2.3 감성공학관점에서의 쾌적감의 구조

김 진과 조 암(1999)은 실내환경에 있어서 인간이 쾌적감을 느낀다고 하는 것은 어떤 내부 구조를 이루고 있는가를 감성공학의 방법을 적용하여 감각, 감각이미지, 쾌적감의 요소이미지의 차원으로 분리하여 그 구조를 표현하였고 그림 2와 같이 나타내었다.

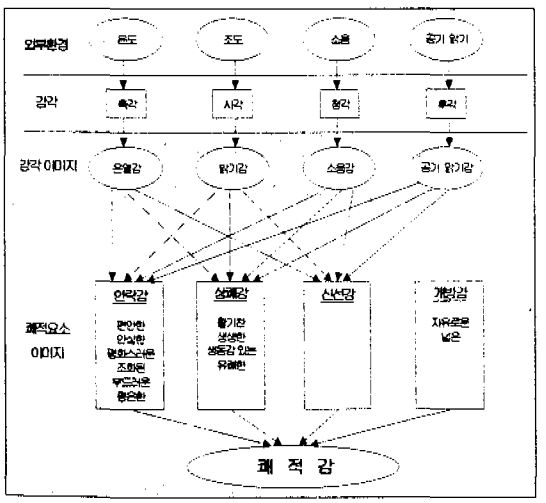

그림 2. 감성공학 관점에서의 쾌적감

그리고 그 구조를 퍼지집합으로 표현하여 실내 환경에 있어서의 쾌적감에 대한 내부 구조를 모형화하였다. 물론 이것은 조작할 수 없는 추상적인 개념을 조작 가능한 하부 구성 개념들로 분해하여 다루려고 하는 방법으로 쾌적이라는 의미의 대역폭이 좁아져 거대한 심리 현상을 설명하는데 빈틈이 없는 것은 아니다. 하지만 쾌적감을 구성하고 있는 하부이미지를 추출하고, 하부이미지와 감각적 이미지와의 관계를 종합적으로 표현함으로서 그 개념의 모호성을 극복하고 객관성을 높일 수 있다.

3. 연구방법

환경의 물리적 한계는 자극의 범위가 무한하기 때문에 명확하게 정의하기가 어렵다. 인간-환경시스템에서 환경은 인간의 반응을 야기시키는 자극장으로 볼 수 있다(이진환 등, 1997). 따라서 인간의 감각의 범위로 국한시켜 보면 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각 환경으로 자극의 크기에 따라 구별될 수 있다. 그리고 환경을 작업시간과 속해 있는 장소환경(사무실, 주거, 공원 등) 등으로 구분할 수 있다. 이러한 모든 경우에 환경이라는 말은 같은 뜻으로 사용될 수 있으나 중요한 것은 대상 환경의 수준을 정하는 것이므로 본 연구에서는 실내 환경에 국한하여 주 자극환경으로 빛환경, 소리환경, 열환경, 공기맑기환경을 대상으로 한다. 이중에서도 공기맑기환경은 모든 쾌적 요소이미지에 대하여 "아주 맑은"이라는 감각이미지요소라고 보고되어져 있다(김

진과 조 암, 1999). 따라서 본 연구 범위에서는 공기맑기환경은 제외하였다. 감각이미지로서의 온열감, 소음감, 밝기감에 대한 실험 및 쾌적요소 이미지에 대한 안락감, 상쾌감, 신선감은 당시의 피험자의 주관적 感에 대한 내적 상태를 나타내는 미묘한 구분에 있어서 어휘를 사용하여 내적 상태를 추출하는 방법을 이용한다(Nagamachi, 1997).

본 연구에서는 실험으로 통하여 얻어진 자료를 기초로 하여 수학적으로 표현하기 어려운 환경 물리적 요소와 쾌적감 요소이미지의 관계를 퍼지 모형과 신경망을 이용하여 나타내고자 한다. 퍼지 모형을 표현함으로써 쾌적감으로 요소이미지가 어떤 형태의 감각이미지로 이루어져있는지를 표현할 수 있고(김 진과 조암, 1999), 환경에 대한 인간의 직감을 소속함수로 표현하고 이를 신경망으로 학습함으로써 복잡한 소속함수 형태의 인간의 직감들에 대하여 효과적으로 패턴을 찾아낼 수 있다. 그 결과인 신경망의 결합하중을 인간의 감성모델로서 제안하였다. 또한 이를 기초로 쾌적범위를 역으로 찾아내어 기존의 연구와 비교하였다.

이를 위하여 다음과 같은 단계별 연구가 진행되었다.

첫째, 기존 연구를 토대로 하여 쾌적감을 이루는 각 요소에 대하여 알아보고 이를 정량하기 위한 방법을 조사하였다.

둘째, 일상적으로 느끼는 환경 물리량에 대한 감각이미지를 실험을 통하여 자료(data)를 추출하였다.

셋째, 이들의 관계를 퍼지소속함수(fuzzy membership function)를 이용하여 표현하였다.

넷째, 동시에 복합적으로 작용하는 쾌적 요소이미지에 대한 감각이미지를 보다 효과적으로 표현하기 위하여 신경망(neuralnetwork) 모형을 제안하고 이를 학습하였다. 그림 3은 본 연구의 흐름도이다.

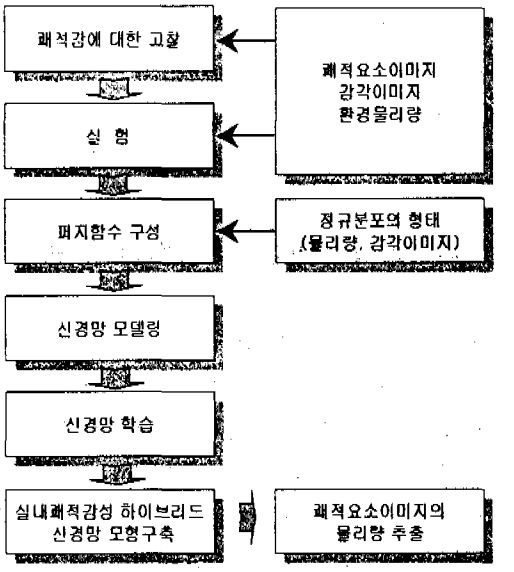

그림 3. 연구 흐름도

4. 실내환경물리량에 따른 감각이미지와 쾌적요소이미지의 측정

4.1 실험 방법

실내 쾌적환경 특성과 재실자들의 쾌적감성 구조 파악을 위하여 서울, 대전 시내에 위치한 4개 건물을 대상으로 실내환경에 대한 실험을 수행하였다. 측정기간은 1999년 12

월 3일부터 2000년 2월 29일까지이었고, 1회 실험에 환경물리량, 감각이미지, 쾌적요소이미지, 인적 온열환경인자, 피험자 특성의 1 자료조합을 구했다. 이때, 실험절차와 방법은 ASHRAE Standard 55-1992를 기준으로 하였다(ASHRAE, 1992). 4개의 건물 모두 일반 사무업무를 하는 사무실로 공간적으로는 건물의 4방위에 대해서 하였고, 시간적으로는 특정 한 시점의 시간을 정하여 진행된 것이 아니라 사무실 근무시간을 대표로 하는 4시점(10시, 12시, 14시, 16시)을 중심으로 측정하였다. 이것은 본 실험결과가 특정한 시간과 특정한 방위에 치우치지 않고 사무실의 환경을 나타낼 수 있도록 할 뿐만 아니라, 신경망 학습을 위한 다량의 자료확보에도 효과적으로 수집될 수 있도록 하였다. 또한 환경 물리량뿐만 아니라 동시에 감각이미지, 쾌적요소이미지, 인적 온열환경인자, 피험자 특성도 피험자에게 당시의 환경물리량에 대하여 측정하였다. 실험 자료조합(data set) 중에서 피험자의 기분상태, 피로감, 착의량, 대사량을 고려하여 810개의 자료조합을 선별했다. 온도와 소음의 측정높이는 앉아 있는 경우 1.2m, 서 있는 경우 1.7m로 하였고 조도의 측정높이는 책상 면 높이 0.8m정도였다. 표 1은 본 연구에서 실험을 통하여 측정하는 항목을 나타낸다. 온도 1℃, 소음 1 dB, 조도는 20 lux 간격으로 읽은 값을 사용하였다. 감각이미지 및 쾌적요소이미지는 5점 척도를 구성하여 당시의 환경물리량에 대하여 측정하였다. 표 1은 실험에서 측정된 항목을 나타낸다.

표 1. 실험측정 항목

항 목	세부항목
환경물리량	온도, 조도, 소음, 습도
감각이미지	온열감, 소음감, 밝기감
쾌적요소이미지	안락감, 상쾌감, 신선감
인적 온열환경인자	착의량, 대사량
피험자 특성	성별, 나이, 기분상태, 피로도

표 2는 사용된 주요 측정기기의 특성을 나타낸다.

표 2. 주요 측정기기의 특성

측정항목	계측기기	계측범위	분해능
온 도	Digital Hygrometer (SATO K.HIGHEST II)	-5~40℃	0.1℃
습 도	Digital Hygrometer (SATO K.HIGHEST II)	20~100%	1 %
조 도	ILLUMINOMETER (Model 5200)	0~5000lux	10 lux
소 음	Modular precision sound level meter (B&K Type 2231)	0~130dB	0.1dB

4.2 피험자 자료 특성

표 3은 신경망 학습을 위한 자료로 사용된 피험자들의 특성을 나타낸다.

표 3. 피험자 특성

총인원	연 령	착의량(clo)	대사량(met)
221명 (남:184 여:37)	20~46	1.16~1.32	1.0~1.4

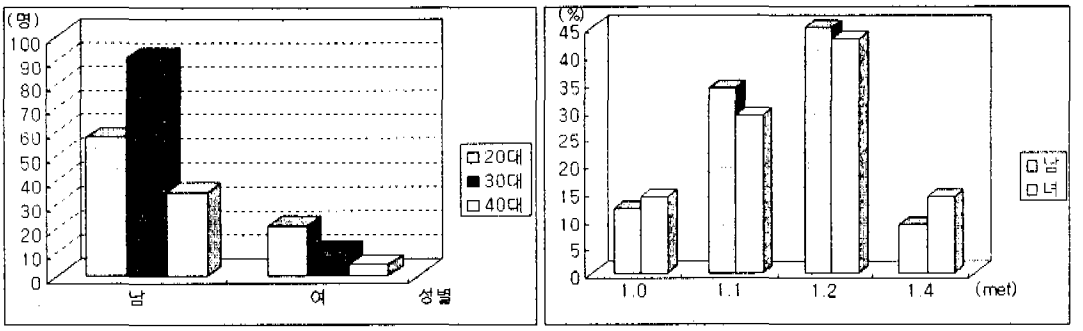

그림 4. 성별에 따른 연령 및 대사량

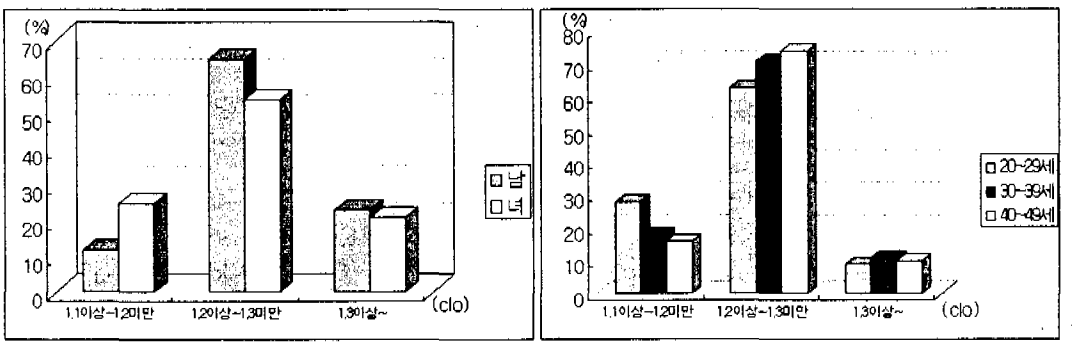

그림 5. 성별 및 연령에 따른 착의량

그림 4는 자료의 성별에 따른 연령 및 대사량을 보여 주고 있다. 그림 5는 자료의 성별 및 연령에 따른 착의량을 나타낸다.

4.3 환경물리적 요소와 감각 이미지의 퍼지소속함수

우선 측정된 자료를 온열감, 소음감, 밝기감에서 각각 5개, 총 15개의 감각이미지에 대하여 분류하였다. 분류된 감각이미지에 대하여 히스토그램을 작성하였다. 그림 6는 소음감에 대한 감각이미지로 분류하여 나타난 히스토그램의 예이다.

분류된 감각이미지에 대하여 자료의 수집이 실생활에서 이루어졌기 때문에 아주 낮은 빈도를 나타내는 온열감각이미지의 "추운", "더운", 소음감각이미지의 "아주 조용한", "아주 시끄러운", 밝기감각이미지의 "아주 어두운", "아주 밝은"은 제외하였다. 측정된 자료를 가지고 환경물리적 요소와 감각이미지와의 관계를 퍼지집합의 형태로 표시하였다. 이를 위해서 위의 분포가 자료량이 비교적 많고 분포의 형태가 어느 정도 정규분포의 성질을 띄고 있으므로 정규분포의 형태적 특성을 이용하여

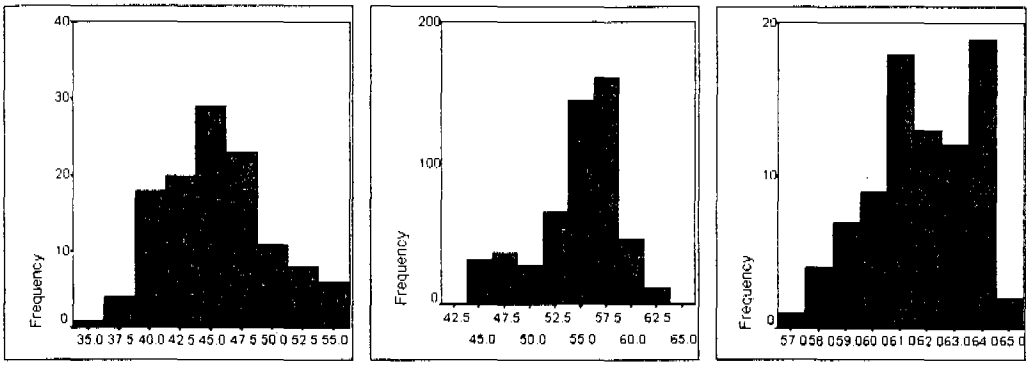

그림 6. 소음감각이미지 분포(조용한, 보통, 시끄러운)

퍼지 소속함수를 나타내었다. 감성시뮬레이터 개발 및 활용이 이루어진다면 전체적인 환경물리량에 대한 감각이미지를 찾고 어느 감각이미지가 띄는 분포형태를 보다 잘 표현할 수 있을 것이다.

퍼지 함수로 표현하기 위하여 측정된 자료에서의 감각이미지에 대한 환경물리량의 평균($\overline{X}$)과 표준편차(s)를 구하였다. 아래 표 4는 측정된 감각이미지에 대한 환경물리량의 특성이다.

표 4. 감각이미지에 대한 환경물리량의 특성

물리적 요소	감각 이미지	평균	표준 편차	최소값	최대값
온 도	서늘한	17.9	2.07	15.0	23.0
	보통	22.6	2.13	18.0	27.0
	따뜻한	25.7	1.05	22.0	27.0
조 도	어두운	181.9	50.86	120.0	300.0
	보통	519.4	135.45	200.0	900.0
	밝은	762.1	109.1	520.0	1,200.0
소 음	조용한	45.4	4.33	35.0	55.0
	보통	54.6	4.13	43.0	65.0
	시끄러운	61.7	1.91	57.0	65.0

감각이미지에 대한 물리량의 분포가 정규분포라는 가정과 평균, 표준편차를 이용하여 퍼지집합의 형태로 나타내었다. 그림 7은 퍼지함수로 나타내기까지의 과정을 보여준다.

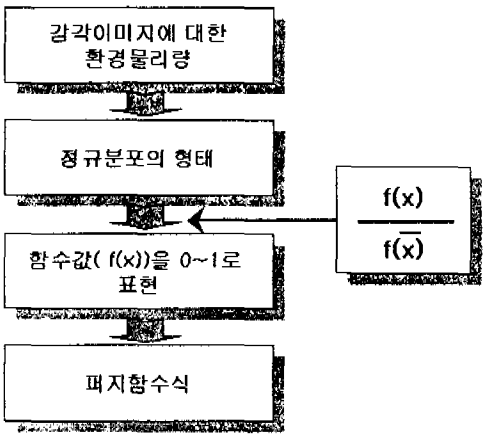

그림 7. 환경물리량에 대한 감각이미지의 퍼지 함수식의 표현

이 과정을 통하여 각각의 감각이미지에 대한 소속함수를 아래와 같이 나타내었다. 여기에서 사용한 소속값 표현으로 $\mu_{F_k}(t)$ 는 온도 t 에 대한 온열감각이미지의 소속값,

$\mu_{B_4}(l)$는 조도 l 에 대한 밝기감각이미지의 소속값. $\mu_{N_4}(d)$는 소음 d 에 대한 소음감각이미지의 소속값을 나타낸다. 그리고, 감각이미지에 대한 환경물리량의 표현할 수 없었던 감각이미지들은 기존의 연구와 본 실험에서 얻어진 자료를 토대로 나타내었다.

온열 감각이미지와 물리량과의 관계를 함수식으로 나타내면,

$$\mu_{F_1}(t) = \begin{cases} 1 & t<7 \\ \dfrac{1}{1+(\frac{x-7}{2})^2} & t\geq 7 \end{cases}$$

$$\mu_{F_2}(t) = \left(\frac{1}{2.07\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(t-17.9)}{2.07}\right]^2}\right) / \ 0.19272574 \qquad -\infty < t < \infty$$

$$\mu_{F_3}(t) = \left(\frac{1}{2.13\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(t-22.6)}{2.13}\right]^2}\right) / \ 0.18729685 \qquad -\infty < t < \infty$$

$$\mu_{F_4}(t) = \left(\frac{1}{1.05\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(t-25.7)}{1.05}\right]^2}\right) / \ 0.37994503 \qquad -\infty < t < \infty$$

$$\mu_{F_5}(t) = \begin{cases} 0 & t<25 \\ \dfrac{1}{1+\frac{2}{(x-25)^2}} & t\geq 25 \end{cases}$$

이다.

그리고 밝기감각이미지와 물리량과의 관계를 함수식으로 나타내면,

$$\mu_{B_1}(l) = \begin{cases} 1 & l<50 \\ \dfrac{1}{1+(\frac{l-50}{30})^2} & l\geq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{B_2}(l) = \left(\frac{1}{50.86\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(l-(81.9)}{50.86}\right]^2}\right) / \ 0.00784393 \qquad -\infty < l < \infty$$

$$\mu_{B_3}(l) = \left(\frac{1}{135.45\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(l-519.4)}{135.45}\right]^2}\right) / \ 0.00294531 \qquad -\infty < l < \infty$$

$$\mu_{B_4}(l) = \left(\frac{1}{109.1\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(l-762.1)}{109.1}\right]^2}\right) / \ 0.00365667 \qquad -\infty < l < \infty$$

$$\mu_{B_5}(l) = \begin{cases} 0 & l<700 \\ \dfrac{1}{1+(\frac{100}{l-700})^2} & l\geq 700 \end{cases}$$

이다.

또한 소음감각이미지와 물리량과의 관계를 함수식으로 나타내면,

$$\mu_{N_1}(d) = \begin{cases} 1 & d<25 \\ \dfrac{1}{1+(\frac{d-25}{5})^2} & d\geq 25 \end{cases}$$

$$\mu_{N_2}(d) = \left(\frac{1}{4.33\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(d-45.4)}{4.33}\right]^2}\right) / \ 0.09213448 \qquad -\infty < d < \infty$$

$$\mu_{N_3}(d) = \left(\frac{1}{4.13\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(d-54.6)}{4.13}\right]^2}\right) / \ 0.009659619 \qquad -\infty < d < \infty$$

$$\mu_{N_4}(d) = \left(\frac{1}{1.91\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(d-61.7)}{1.91}\right]^2}\right) / \ 0.2088703 \qquad -\infty < d < \infty$$

$$\mu_{N_5}(d) = \begin{cases} 0 & d<57 \\ \dfrac{1}{1+\frac{2}{(d-57)^2}} & d\geq 57 \end{cases}$$

와 같이 표현할 수 있다.

그림 8은 환경 물리적인 값과 감각이미지 간의 소속함수를 표현한 것이다.

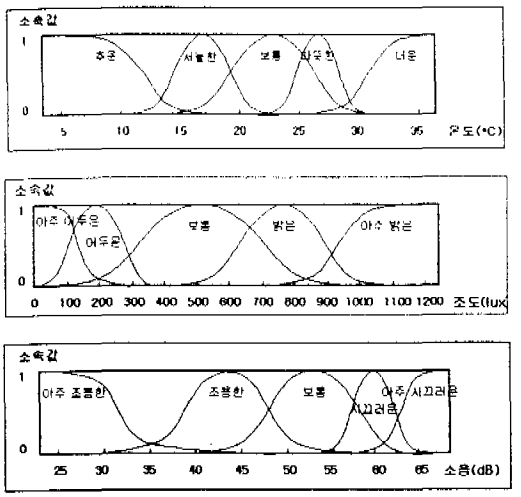

그림 8. 물리적인 값과 감각이미지간의 소속함수

그리고 환경물리량과 감각이미지 소속값의 관계를 퍼지집합으로 표현할 수 있다. 예를 들어 그림 8의 소속함수 중 온도(t^oC)에 대한 온열 감각이미지 소속값의 관계를 퍼지집합으로 나타내면,

F(온열감)={추운α, 서늘α, 보통α, 따뜻α, 더운α}

$$=[\{F_1\mu_{F_1}(t)\},\ \{F_2\mu_{F_2}(t)\},\ \{F_3\mu_{F_3}(t)\},\ \{F_4\mu_{F_4}(t)\},\ \{F_5\mu_{F_5}(t)\}]$$

$$U(t) = \{t \mid t \in [-30, 50]\},\ t : oC$$

으로 표현할 수 있다.

5. 쾌적감성 하이브리드 신경망 모형

5.1 신경망모형 구성

신경망의 구조는 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 그리고 출력층(output layer)의 세 층을 기본 구조로 한다. 은닉층의 수와 계층내의 처리원소(processing element)의 수에 대해서는 이론적인 제한이 없으므로 주관적으로 결정해야하며, 그 타당성은 실험에 의해서 확인을 해야한다. 그러나, 하나 또는 두 개의 은닉층만을 가지고 있어도 거의 모든 형태의 문제해결을 할 수 있는 것으로 알려져 있다(James A. F. and David M. S., 1991 : Wang, S., 1994). 본 연구에서는 수학적으로 표현하기 어려운 환경 물리적 요소와 쾌적감 요소이미지의 관계를 퍼지 소속함수와 신경망을 이용하여 나타내고자 한다. 그 결과인 신경망의 결합하중을 인간의 감성모델로서 제안한다. 그림 9는 본 연구에서 적용한 신경망 구조를 나타낸 것이다.

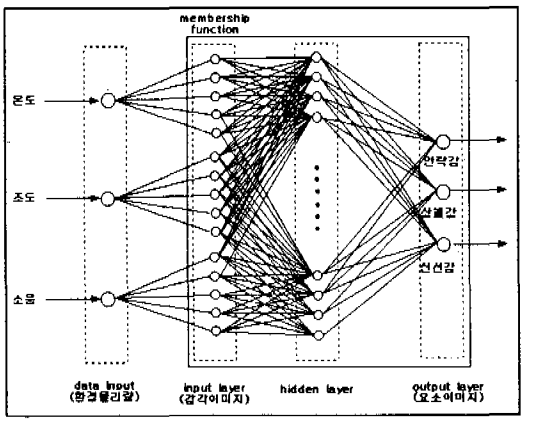

그림 9. 제안된 실내 쾌적감성 하이브리드 신경망구조

앞에서 구해진 물리적 요소에 대한 감각이미지들의 소속함수와 실험을 통해서 얻어진 쾌적감 요소 이미지 값을 학습자료(training

data)로 선택하였다. 여기서 학습패턴의 입력은 물리량에 대한 감각이미지 소속함수이고, 출력은 쾌적감요소이미지의 소속함수이다. 일상생활에서 인간에게 작용하는 외부자극, 온도, 조도, 소음으로부터 형성된 온열감, 밝기감, 소음감의 감각이미지들이 복합적으로 작용하여 안락감, 상쾌감, 신선감을 나타내는 모형을 신경망으로서 나타낸 것이다. 즉, 환경물리량이 결정되면 학습된 신경망을 통하여 안락감, 상쾌감, 신선감의 정도가 퍼지 소속함수로서 수치적으로 표현된다.

5.2 신경망 학습

표 5와 표 6은 신경망 학습에 이용하는 자료를 보여주는 예이다. 여기서 입력값은 환경

표 5. 신경망 입력값

온열감	온 도(℃)				
	15	16	17	18	·····
$\mu_{F_1}(t)$	0.058824	0.047059	0.038462	0.032000	·····
$\mu_{F_2}(t)$	0.374804	0.656228	0.909811	0.998834	·····
$\mu_{F_3}(t)$	0.001720	0.008225	0.031552	0.097102	·····
$\mu_{F_4}(t)$	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	·····
$\mu_{F_5}(t)$	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	·····
밝기감	조 도(lux)				
	120	140	160	180	·····
$\mu_{B_1}(l)$	0.155172	0.100000	0.069231	0.050562	·····
$\mu_{B_2}(l)$	0.476816	0.712235	0.911462	0.999302	·····
$\mu_{B_3}(l)$	0.012941	0.019784	0.029593	0.043312	·····
$\mu_{B_4}(l)$	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	·····
$\mu_{B_5}(l)$	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	·····
소음감	소 음(dB)				
	35	36	37	38	·····
$\mu_{N_1}(d)$	0.047619	0.039683	0.033557	0.028736	·····
$\mu_{N_2}(d)$	0.055886	0.094760	0.152329	0.232154	·····
$\mu_{N_3}(d)$	0.000013	0.000039	0.000114	0.000310	·····
$\mu_{N_4}(d)$	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	·····
$\mu_{N_5}(d)$	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	·····

표 6. 학습자료의 예

No.	input data				target data		
	$\mu_{F_1}(t)$,	$\mu_{F_2}(t)$,	·····	$\mu_{N_1}(d)$, $\mu_{N_2}(d)$	안락감,	상쾌감,	신선감
1	0.010959	0.000473	·····	0.011644 0.000000	1	0.6	0.4
2	0.020000	0.325830	·····	0.000000 0.000000	0.6	0.4	0.6
3	0.038462	0.909811	·····	0.002128 0.000000	0.4	0.6	0.8

물리량에 대한 각각의 감각이미지의 소속함수이다.

신경망의 학습은 Neural-Connection 2.1을 사용하였고, 신경망의 구성은 입력노드 15개, 은닉층 1층(노드 4개), 출력노드는 3개이었다. 학습방법은 역전파 알고리즘(back propergation algorithm)을 사용하였고, 활성화함수는 sigmoid 함수이었다. 학습의 종료는 MSE(Mean Square Error)가 0.1이하에서 수렴할 때로 하였다. 그림 10은 Neural-Connection을 이용하여 학습하는 장면이다.

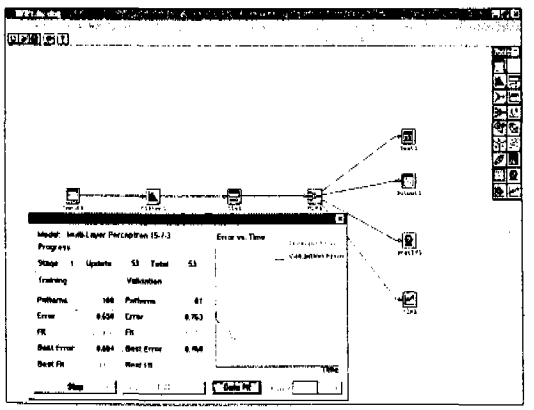

그림 10. 신경망 학습
(Neural-Connection 2.1)

6. 고 찰

6.1 기존의 연구

김 진과 조 암(1999)은 다음과 같은 내용과 결론을 제시하였다.

감성공학적 기법을 적용하여 쾌적감의 요소이미지를 추출하고 추출된 요소이미지와 감각이미지와의 관계, 요소이미지와 물리적 환경요소와의 관계를 퍼지모형화하였다. 그 결과로서 실내환경의 쾌적감의 요소이미지는 안락감(편안한, 안심한, 평화스러운, 조화된, 부드러운, 평온한), 상쾌감(활기찬, 생생한, 생동감있는, 유쾌한), 신선감, 개방감(자유로운, 넓은)으로 추출하였다. 또한 쾌적감의 요소이미지와 감각이미지와의 관계로서는

1) 안락감은 따뜻하고 밝으며, 조용하고 공기가 맑은감과 관계가 있으며,

2) 상쾌감과 신선감은 시원하고 밝고 보통정도의 소음과 관계가 있으나 상쾌감은 공기맑기가 신선감보다 더 관계가 있으며, 밝기감은 상쾌감보다 더 관계가 있다고 보고하였다.

그리고 감각이미지와 물리적인 관계를 삼각

퍼지함수로서 표현하고, 그 소속값을 적용하여, 온도, 소음, 조도의 조합과 쾌적감의 요소이미지와의 관계를 표현하였다. 여기서 공기 맑기의 맑은 공기 감각이미지는 세 가지 요소이미지 모두에 공통적으로 있는 것이라고 보고하였다.

6.2 기존 연구와의 비교 · 고찰

본 연구에서는 쾌적요소 이미지를 높게 만드는 환경물리량의 범위를 찾기 위하여 학습된 신경망에 온도, 조도, 소음도의 조합에 대한 감각이미지들의 소속값을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 표 7은 시뮬레이션을 위한 자료 형태를 나타낸 것이다.

표 7. 시뮬레이션 자료

	범 위	간 격	data수
온도	15~28 ℃	1 ℃	14
조도	120~1,200 Lux	20 Lux	55
소음	35~68 dB	1 dB	34

자료 형태를 위와 같이 정의하고 각각의 온도, 조도, 소음에 대하여 조합해 보면 26,180개의 경우가 생기게 된다. 각각의 경우에 대하여 온열감각이미지, 소음감각이미지, 밝기감각이미지의 소속함수를 구하고 이 각각의 감각이미지 소속함수를 입력 값으로 하여 시뮬레이션을 하였고, 시뮬레이션을 통하여 나온 값들을 내림차순으로 정렬하였다. 그림 11은 쾌적요소이미지에 따른 환경물리량을 찾는 절차를 나타낸 그림이다. 안락감, 상쾌감, 신선감을 높게 만드는 물리량을 역으로 찾아보았다. 표 8은 상위에 랭크된 값들을 나타낸 것이다. 김 진과 조 암(1999)은 환경물리량에 따른 쾌적요소이미지 소속값이 상위에 랭크되는 값들을 표 9와 같이 보고하였다.

두 결과들을 비교해보면 안락감, 상쾌감, 신선감의 쾌적요소이미지에 대한 환경물리량이 다소 차이가 남을 발견할 수 있다. 하지만 본 연구에서 얻어진 환경물리량에 따른 쾌적요소이미지 소속값의 생성 결과에서 쾌적요소이미지 소속값을 높게 만드는 각각의 물리량에 대한 감각이미지의 소속값들을 그림 8의 그래프를 통하여 개략적으로 살펴보면 온열, 소음, 밝기 감각이미지에 대하여 안락감의 경우 "따뜻한", "조용한", "밝은", 상쾌감의 경우 "서늘한", "보통", "아주 밝은", 신선감의 경우 "시원한", "보통", "아주 밝은"의 소속값이 높게 나타남을 알 수 있다.

이는 김 진과 조 암(1999)의 연구에서 안

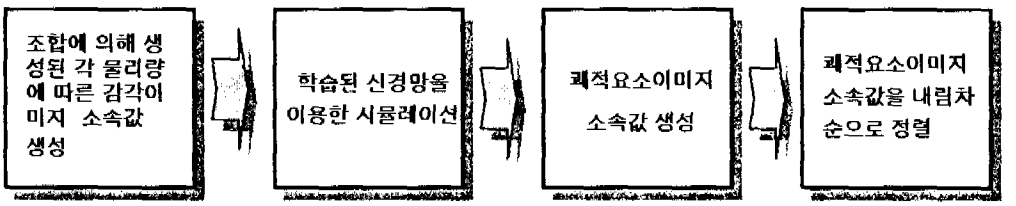

그림 11. 쾌적요소이미지를 만족하는 환경물리량을 찾는 계산절차

표 8. 시뮬레이션 결과(쾌적요소이미지 소속값이 상위 랭크된 물리량)

안락감			상쾌감			신선감		
온도(oC)	소음(dB)	조도(lux)	온도(oC)	소음(dB)	조도(Lux)	온도(oC)	소음(dB)	조도(Lux)
26	46	720	18	54	1020	16	60	980
26	45	680	17	54	980	17	55	960
25	48	740	18	52	900	17	56	880
27	45	760	17	53	920	15	57	940
26	43	660	16	56	780	16	58	900
24	50	820	16	57	920	16	54	920
25	47	840	18	52	800	15	57	800
26	48	780	19	56	820	15	54	840
26	51	740	16	58	900	17	57	780
25	46	680	15	54	740	16	56	800

표 10. 쾌적요소이미지 소속값이 상위 랭크된 물리량(김 진과 조 암, 1999)

안락감			상쾌감			신선감		
온도(oC)	소음(dB)	조도(lux)	온도(oC)	소음(dB)	조도(Lux)	온도(oC)	소음(dB)	조도(Lux)
25	45	500	15	50	700	15	50	700
25	45	495	15	50	695	15	50	695
25	45	505	15	50	690	15	50	690
25	45	490	15	50	685	15	50	685
25	45	510	15	50	500,680	15	50	500,680
25	45	480	15	50	495	15	50	495
25	45	515	15	50	505	14,16	50	495~500, 680~700
25	45	475	15	50	675	14,16	50	505
25	45	470~520	15	50	490	14,16	50	675
25	44,46	470~520	15	50	485~510	14,16	50	490

락감은 따뜻하고 밝으며, 조용하고 공기가 맑은감과의 관계가 있고 상쾌감과 신선감은 시원하고 밝고 보통정도의 소음과 관계가 있다는 결과와 어느 정도 유사점을 찾을 수 있다. 그러나 쾌적요소 이미지를 어느 정도 만족하는데 있어서 기존의 연구에서와 비슷한 감각이미지를 가지고 있지만, 다른 물리량을 나타내고 있다. 이는 두 가지 측면에서 생각해 볼 수 있는데, 기존의 연구에서는 환경물리량에 따른 감각이미지의 소속함수를 연구자의 직관

에 의하여 생성된 삼각퍼지함수를 사용하였고, 본 연구에서는 실험을 통하여 측정된 자료를 이용하여 퍼지소속함수를 나타내었기 때문에 나타나는 차이와[그림 12] 퍼지 추론을 이용하여 모델링 작업을 한 기존의 연구와는 달리 본 연구에서는 하이브리드 신경망을 사용하여 모델링하였기 때문에 나타나는 방법론상의 차이도 영향을 준 것으로 판단된다. 예로서 그림 12는 기존의 연구와 본 연구에서 표현된 환경물리량(온도)에 대한 감각이미지의 소속함수를 나타낸 것이다.

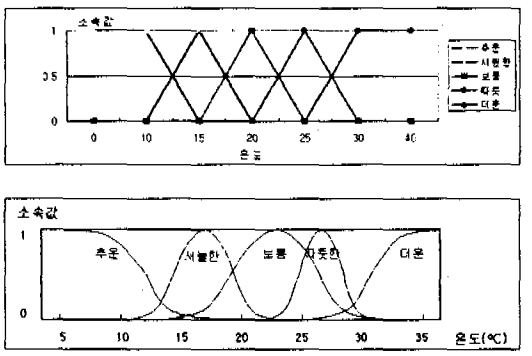

그림 12. 온도에 따른 감각이미지의 소속함수
(김 진과 조 암, 1999:上, 본 연구:下)

7. 결 론

쾌적한 환경을 만들어 주는 쾌적환경제어시스템을 구성하기 위해서는 일상적인 실내환경 조건에 따른 개개인의 정신적 感(감각이미지)들과 이에 따른 쾌적 요소 이미지의 패턴을 파악하여 시스템에 응용하는 것이 필요하다. 하지만, 실내환경에서의 쾌적한 환경을 구현하기 위한 기초적인 구조 분석이 이루지지 않은 상태에서 시스템 설계자의 주관에 의해서 구조를 생성하여 제어시스템을 개발하는 연구가 대부분 진행되어왔다. 또한 복잡한 쾌적감성을 표현하는데에 있어서 보다 효과적이고 객관적인 다양한 접근이 필요하다.

본 연구는 실험을 통한 환경물리량과 감각이미지, 쾌적요소 이미지의 실험 자료를 기초로 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 일상생활에서 가지게 되는 실내환경에서의 물리적 요소 즉, 온열, 조도, 소음에 대한 감각이미지를 측정하였고, 이들의 관계를 정규확률밀도함수 및 기초자료를 이용한 함수를 이용하여 보다 객관적인 퍼지함수로 표현하였다.

둘째, 환경물리량에 대한 온열감, 밝기감, 소음감 감각이미지들의 소속함수를 입력값으로 하고 쾌적요소 이미지 값을 목표 출력값으로 하는 쾌적감성 신경망 모형을 제안하였고, 실험을 통하여 측정된 자료를 이용하여 학습하였다.

이를 통하여 기존의 연구들에 비하여 보다 객관적인 모델이 생성되었다고 판단된다. 하지만, 환경물리량과 감각이미지간의 관계를 퍼지함수로 나타내기 위하여 감각이미지에 대한 환경물리량의 분포를 정규분포로 가정한 점과 자료가 충분치 못한 감각이미지의 극 값을 이루는 부분에 대해서는 과거 자료를 근거로 퍼지함수를 구성함으로써 인간의 감각이미지를 표현하는데 다소 객관성이 떨어진 점이 있다. 그리고 복사열, 기류와 같은 온열감에 미칠 수 있는 요소와 공기맑기에 대한 정량화에 대한 연구 등은 학제간의 공동연구와 감성시뮬레이터와 같은 장비가 개발됨으로서 보다

실질적인 쾌적감성을 표현할 수 있는 모형으로 발전될 수 있을 것이다.

참고 문헌

김 진, 조 암, "퍼지추론을 이용한 실내환경 쾌적감성과 감각과의 구조분석", 대한인간공학회지, Vol.18, No. 2. 1999.

문경환, "인지체계속의 언어기능", 인지과학회지, Vo. 12, No. 2, 1990.

박세진, 김철중, 이정우, 김진선, "감성측정 시뮬레이터 설계기술개발 및 활용방안", 대한인간공학회지, Vol. 17, No. 1, 1998.

유재일, 이경희, "공동주택 거실공간의 실내조명환경에 대한 실태조사 연구", 대한건축학회 발표논문집, 13(2), 1993.

윤정숙, 유복희, "거주자 반응에 기초한 실내환경의 쾌적성 평가 모델 개발", 대한건축학회, Vol. 12, No. 10, 1996.

윤홍식, 유희삼, 강준길, "퍼지추론을 이용한 쾌적실내온도 조절시스템", 한국퍼지 시스템학회지, Vol. 2, No. 4, 1992.

이광태, "소음과 주거환경", 대한건축학회지, Vol. 35, No. 2, 1991.

이구형, "감성과 감정의 이해를 통한 감성의 체계적 측정 평가", 한국감성과학회지, Vol 1, No. 1, 1998.

이진환, 홍기원, 정영숙 공역(Jeffrey, D. F., Paul, A. B., Andrew, B. 저), 환경심리학, 학지사, 1997.

이춘식, 배귀남, 이철희, 최항철, 명현국, 실내환경 쾌적성 평가방법에 관한 연구(I),(II), 과학기술처보고서, 1993, 1994.

정찬섭, "감성과학의 심리학인 측면", 한국감성과학회지, Vol. 1, No. 1, 1998.

西川向一, 平澤由美, 長町三生, "感性工學による溫熱環境の評價", 日本人間工學會誌, Vol. 33, No. 5, 1997.

田原 普, "住居設備の 快適性の 構造", 日本人間工學會誌, Vol. 29, No. 2, 1993

宮崎良文, "快適性の概念", 日本經營工學會誌, Vol. 6, No. 3, 1996.

ASHRAE, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", ANSI/ASHRAE Standard, 1992.

Int-Hunt, D., "Thermal Comfort Calculations/ A Computer Model", ASHRAE Transactions, Vol. 96, Part 1, 1990.

James A. F., David M. S., Neural Networks, Addison-Wesley, 1991.

Nagamachi, M., Kansei Engineering, Keibundo, Tokyo, 1997.

Wang, S., Generation fuzzy membership functions : A monotonic neural network model, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 61, pp71-81, 1994.

Schiller, G. E., Arens, E. A., Bauman, F. S., Benton, C., Foutain, M. and Doherty, T., "A Field Study of Termal Environment and Comfort in Office Building", ASHRAE Transaction, Vol. 94, Part 2, 1988.

저자 소개

◈ 전용웅

1998년 동국대학교 산업공학과 학사
2000년 동국대학교 산업공학과 석사
현재 동국대학교 산업공학과 박사과정

◈ 조 암

日本 早稻田大學 工業經營學科 大學院 공학석사
동대학원 인간과학 박사
전 동국대학교 정보산업대학 학장
동국대학교 정보산업대학 산업시스템공학부 교수

논문접수일 (Date Received): 2000/12/11
논문게재승인일(Date Accepted): 2001/7/25