專門家시스템과 神經回路網에 의한 畜舍環境改善시스템

Troubleshooting System for Environmental Problems in a Livestock Building Using an Expert System and a Neural Network

孫 禎 翼* · Don D. Jones** · 金 文 基*
Son, Jung Eek · · Kim, Moon Ki

Summary

Since parameters influencing the indoor environment of livestock building interrelate so complicatedly, it is of great difficulty to identify the exact cause of environmental problems in a livestock building. Therefore, the approaches for the problem solving based on experience not numerical calculation will be helpful to the management of livestock building.

This study was attempt to develop the decision supporting system to diagnose environmental problems in a livestock building based on an expert system and a neural network. HClips[3], attaching the Hangeul user interface to Clips which is known as a powerful shell for developing expert system, was used. The multilayer perceptron consisting of 4 layers including back propagation learning algorithm was adpoted, which was rapidly converged within the allowable range at 50,000 learning sweeps.

The expert system and neural network seemed to work well for this specific application, providing proper suggestions for some environmental problems : particularly, the neural network trained by an environmental problem and its corresponding answer with certainty factor, produced the same results as those by expert system.

I. 緖 論

축사내부의 환경은 온도, 습도, 풍속 등의 외부 환경요인과 가축으로부터 발생하는 열, 수분 및 기타 유해가스의 영향을 받는다. 이러한 제반 환경요인은 축사구조 및 형태 등의 물리

* 서울大學校 農業生命科學大學
** Purdue University, W. Laffayette, Indiana, USA

키워드 : 畜舍環境, 人工知能, 專門家시스템, 神經回路網, 逆傳播學習, Clips

적인 요인과 관련되어 축사내의 환경을 지배하고 결국 가축의 성장에 많은 영향을 미치게 된다.[10] 특히, 겨울철에는 열손실을 방지하기 위하여 외부와의 차단을 시도함으로써 축사 내부환경에 많은 문제점이 발생된다. 이러한 제반 문제는 대체적으로 획일적이기보다는 다양한 현상을 나타내고 있기 때문에 無經驗者에게는 간단하지 않고 많은 조언 및 시간이 필요로 한다.[8] 따라서 축사내에서 발생되는 다양한 현상에 대하여 실제의 문제점과 그 대책을 제시할 수 있다면 효율적인 축사환경관리의 방법이라 할 수 있고, 이와같은 문제의 해결을 위해서는 수식에 의한 단정적인 방법보다는 경험을 토대로 한 지식공학적수법이 적합하다고 할 수 있다.

최근 농업시설의 환경관리 등에 인공지능수법(AI)이 도입되고 있고 축산시설의 적용가능성이 예상된다. 전문가시스템(expert system)은 경험의 체계적 정리에 의한 추론방법이며 신경회로망(neural network)은 인간의 뇌세포의 움직임을 단순화하여 학습에 의한 추론방법으로, 경험적 추론에 많은 비중을 두는 분야에서는 유력한 방법으로 인정되고 있다.[5,6] 실제로 Proto-type의 전문가시스템은 이미 그 효용성이 입증되었고, 신경회로망도 패턴인식, 최적화 등의 분야에 유력한 방법으로 등장하고 있다.[1,11] 특히 전형적인 신경회로망 중의 하나인 多層 퍼셉트론(multilayer perceptron)에 의거한 역전파회로망(back propagation)학습방법은 여러 방면에서 그 성과가 인정되어 실용화되고 있고,[8,12] 농업분야에도 실용화를 위한 연구가 진행되고 있다.[2,4,7,9]

실제로 축사환경관리를 위하여 모델에 의한 실내의 각종 환경예측 등의 단정적 방법에 의한 연구例는 많지만 인공지능방법을 이용한 경험적 접근例는 거의 없는 실정이다. 본 연구는 종합적인 축사환경관리의 기초가 되는 환경진단 및 개선방법을 검토하기 위하여 전문가시스템 및 신경회로망을 구축하였다.

Ⅱ. 시스템의 構築

1. 專門家시스템의 構成

가. 시스템의 槪要

본 시스템의 전체적 개념도는 Fig. 1과 같다. 본 시스템은 1) 중심부분인 추론엔진(Inference engine), 2) 축사환경문제와 그 해결책 추론규칙(Rules), 3) 축사환경문제와 해결책에 관한 데이타 및 추론도중에 생긴 새로운 사실에 관한 데이타(Facts), 4) 사용자와 시스템을 연결시켜주는 사용자 인터페이스(User interface)로 구성되어 있다. 또한 규칙과 데이타에는 동의어 검사를 위한 부분이 포함되어 있다. 추론엔진은 사용자의 정보 입출력, 규칙에 의한 추론기능과 시스템 내부의 데이타 흐름을 제어한다. 추론시는 Production rule을 사용하였다.

나. 탐색공간 및 규칙

본 시스템의 의사결정을 위한 문제영역의 탐색공간은 Fig. 2와 같다. 문제영역은 축사내에

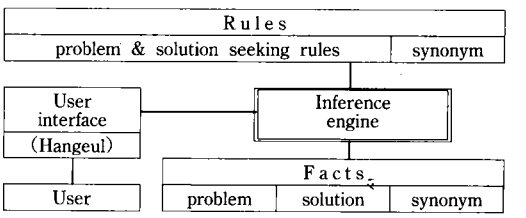

Fig. 1. General diagram of the expert system

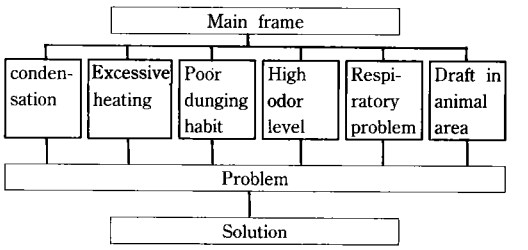

Fig. 2. Searching space of the system

서 관측될 수 있는 현상으로서, 응결, 과다 난방, 가축의 배설 습관, 악취발생, 호흡상의 문제 및 축사내의 통기문제 부분으로 구성되어 있다. 복수의 현상이 발생할 경우는 복수 영역취급도 가능하다. 각 탐색공간의 규칙을 통과하여 발생된 각종 사실(fact)을 발생시키고, 문제영역에서 각종 사실에 대한 문제(problem)를 식(1)과 같은 확신도 계산과 병행하여 발생시킨다. 마지막으로 대책영역에서 각종 문제점에 대한 대책(answer)을 발생시킨다.

Fig. 3은 탐색공간에서 사실을 추적하는 방법의 일례이다. 먼저, 축사내부에 응축현상이 발생할 때 경우, 최초 선택노드(node)에서 6종류의 문제의 영역중 응축부분을 선택한다. 그 다음 응축위치 노드에서 축사내에 발생하는 응축이 전체적으로 일어나는지 한정된 부분에서 일어나는지를 선택한다. 만약 전체적일 경우, 그 다음 차단 수준 노드에서 벽이나 지붕의 차단수준이 적당한지 여부를 조사한다. 또한 차단상태 노드에서 차단벽의 응결 여부를 선택한다.

Fig. 4는 탐색공간에서 추적된 사실들에 의하여 다음과 같은 대책을 제시하는 일례이다. 2중연결은 AND, 1중연결은 OR 관계를 나타내고 있다. 식 (1)의 확신도(certainty factor : CF) 계산에 의하여 대책에 대한 확률을 제시한다. 이 방법은 MYCIN에서 사용하는 방법으로써 동일문제 및 대책에 대하여 조합규칙을 적용함으로써 새로운 확신도를 계산한 것이다.[5,6]

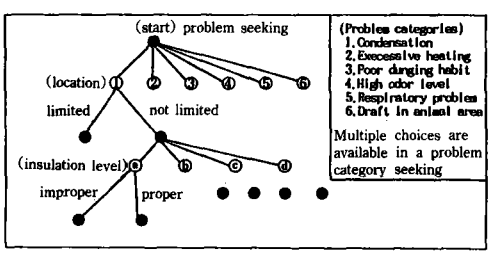

Fig. 3. An example of decision tree structure

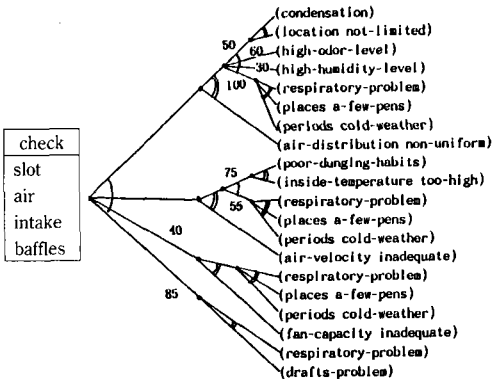

Fig. 4. An example of rules based knowledge representation leading to an answer

$$CF=(CF_1+CF_2)-(CF_1\cdot CF_2) \quad \cdots\cdots (1)$$

(단, CF_1, CF_2 및 CF : 사실 1, 사실 2 및 조합 확신도, CF_1, $CF_2 \geq 0$)

다. Clips

Clips(C Language Integrated Production System)는 80년대 중반 NASA에 의하여 공공용으로 개발된 강력한 전문가시스템 개발용 shell로서, shell보다는 AI용 언어의 성격이 강하다. Clips의 장점은 저렴한 가격으로 Lisp machine에 필적하는 처리속도를 가질 수 있고, C 언어로 되어 있기 때문에 대형기종부터 PC에 이르기까지 대부분의 기종에 설치가능하고, 다른 소프트웨어와의 접속이 가능하다. 또한 추론과정에서 각 문장에 대해서 pattern matching방식을 사용하고 있어 KES나 PcPLUS와 같은 parameter driven방식 보다는 자연언어적인 성격이 강하다.

Clips와 유사한 방식의 언어로서 Lisp나 Prolog가 존재하지만 이러한 언어들은 일반적인 목적을 위한 것이므로 전문가시스템 개발에 관해서는 Clips가 탁월하다고 말할 수 있다. Clips는 설명기능이나 확신도 개산기능이 없지만 사용자가 시스템을 유연하게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 Clips의 인

```
(defrule humidity-excess-moisture-present
 (high-humidity-level yes $ ? )
 (or(excessive-moisture leaky-water $ ? )
    (excessive-moisture high-pressure-washer $ ? )
    (excessive-moisture flush-gutter-waste-system $ ? )
 =>
 (assert(problem excessive-moisture-present cf 100=
 (gensym))))
```

Fig. 5. An example of rule in Clips

터페이스 부분이 한글사용이 가능하도록 수정된 HClips[3]를 사용하였다.

Fig. 5는 Clips에 의한 규칙의 일례이다. 여기서 (high-humidity-level yes $?)와 (or --) 이하의 3 문장 중 동일한 문장이 최소한 1개 이상이 동시에 존재하지 않으면 이 규칙은 發火하지 않는다. 또한 동의어(synonym) 검사의 경우, 어떤 사실(fact)이 존재하면 자동적으로 동의어 데이타베이스를 검색 후, 자동적으로 임시 동의어 사실을 보관하여 사용한다. 따라서 improper대신에 inadequate나 insufficient가 존재하여도 규칙은 發火한다.

2. 神經回路網의 構成

가. 시스템의 槪要

신경회로망은 인간의 뇌에서 일어나는 신경세포의 움직임을 단순화하여 컴퓨터에 근사적으로 실현시킨 것으로서 최적화, 시스템제어, 음성 및 영상인식, 패턴분류 등의 분야에서 유용한 방법으로 인정되고 있다. 현재 연구발표된 신경회로망가운데 일반적으로 적용성이 높은 대표적인 모델 중의 하나로 Fig. 6과 같은 역전파 다층회로망이 있다.

다층 퍼셉트론이라고 불리우는 이러한 모델은 하부의 입력층(input layer), 상부의 출력층(output layer) 및 중간부분의 未知층(hidden layer)으로 구성되어 있고 각 층은 여러 개의 처리요소(processing elements)를 가진다. 근접층의 요소들간에는 서로 연결되어 있고 연결강도로써 정보전달의 가중치가 결정된다. 또한 각 요소는 S자형(sigmoid)형태의 전달함수(transfer function)를 이용하여 입력정보를 전달시킨다.[13]

입력층 요소에 입력되는 정보는 식(2)과 같은 전달함수를 통하여 변환되고 다시 가중치를 곱하여 미지층의 각 요소로 입력된다. 목적에 따라서 전달함수의 형태를 변화시킬 수 있으나 본 연구에서는 일반적인 시그모이드 함수를 이용하였다. 여기서는 입력층, 미지층, 출력층의 요소가 각각 58×28×30×16로 구성되어 있는 신경회로망을 사용하였고(Fig. 7), 입력층은 thermometer code를 사용하였다.[14] 본 연구에서 사용한 신경회로망은 Neural Works의 역전파 신경회로망을 수정한 형태를 사용하였다.[11]

$$f=1/(1+e^{-I_j})=Y_j \quad (\text{단, } I_j=\sum W_{ji}X_i) \quad \cdots (2)$$

단, X_i : 하위층 i요소의 출력치, Y_j : 상위층 j요소의 출력치, W_{ij} : ij요소간의 가중치)

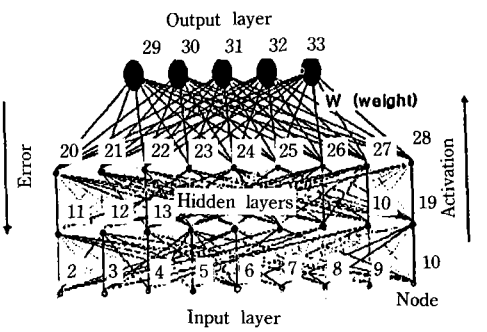

Fig. 6. A typical structure of a multilayer perceptron neural network

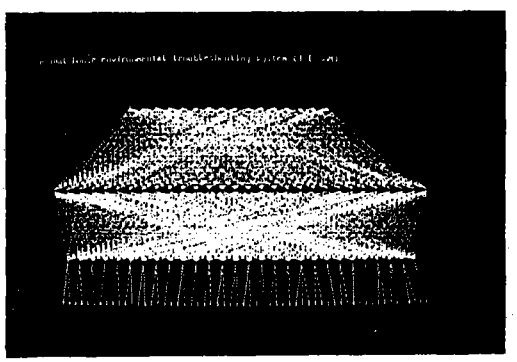

Fig. 7. A selected neural network consisting of 58×28×30×16 PEs

나. 神經回路網의 學習原理

본 연구에 사용한 역전파 알고리즘의 기본 원리는 다음과 같다. 입력층의 각 요소에 입력패턴을 주면 이 신호는 각 요소에서 변환되어 미지층에 전달되고 출력층의 각 요소를 통해 신호를 출력하게 된다. 이 출력치와 목표치를 비교하여 상위층에서 하위층으로 역전파하여 그 차이를 줄여나가는 방향으로 연결강도를 조절해 나간다.

본 연구에서는 모멘텀(momentum)을 이용한 역전파 학습방법을 이용하였다. 이 방법은 연결강도의 수정에 있어서 이전의 수정량을 고려함으로써 오차의 진동을 방지하고 신속하게 수렴이 가능하도록 한다. 실제로 입력 패턴에 대해서 학습회수가 n일 경우, 상위층의 j요소와 하위층의 i요소사이의 연결강도($W_{ji}=W_{ij}$는 식(3) 및 식(4)에 의하여 구할 수 있다. 학습시의 오차합(E)은 식(5)와 같이 p번째 자료에 대한 출력층의 k번째 요소의 목표치와 출력치로써 나타낼 수 있다.

$$W_{ji}(n)=W_{ji}(n-1)+\Delta W_{ji}(n) \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

$$\Delta W_{ji}(n)=\alpha \cdot \Delta W_{ji}(n-1)+\eta \cdot \delta_j \cdot o_i \quad \cdots (4)$$

$$E=\sum E_p=\sum[1/2 \quad \sum(D_{pk}-O_{pk})^2] \quad \cdots\cdots (5)$$

(단, σ_j : 출력층의 출력치에 대한 일반화된 오차, O_i : i 유니트의 출력치, α와 η : 각각 모멘텀 계수와 학습이득(=0.6, 0.9), D_{pk} : 목표치, O_{pk} : 출력치($p=1\sim N$, $k=1\sim M$ 범위), N : 입력자료수, M : 출력층의 요소수).

다. 神經回路網의 學習

본 연구에서는 전문가시스템의 입력자료인 37개의 자료를 이용하여 학습을 시행하였다. 매 입력에 대하여 오차를 계산하여 연결강도를 수정하였다. 출력층의 요소는 16개로써 전문가시스템의 출력결과 및 확신도(CF)를 사용하였다. 그 방법은 Fig. 8과 같다. 여기서 입력자료는 thermometer code를 사용하여 사실을 0,1의 수치로 표현하였고, 출력층의 경우는 각 대책에 대하여 16자리로 표현되는 수의 조합으로 표현하여 0~1 범위의 확신도로써 표현하였다.

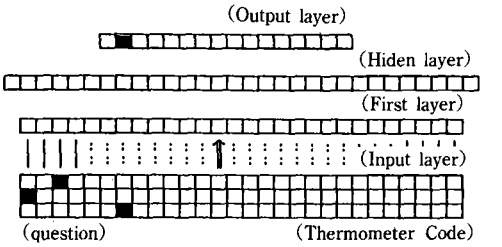

Fig. 8. A learning algorithm of neural network

이때 입력치의 편기성을 배제하기 위하여 회로망의 초기가중치는 난수발생기를 사용하였다. 또한 신경회로망에 의한 추정방법의 일반성을 확인하기 위하여 이미 개발되어 있는 전문가시스템에 의한 결과와 비교하였다.

Ⅲ. 시스템의 實行

1. 專門家시스템의 實行

응결현상 및 부적당한 단열수준에 대한 간단한 실행예는 Fig. 9와 같다. 먼저 문제영역에 대한 질문이 있고, 그 후 문제영역에 해당하는 각종 규칙에 의하여 질문이 진행된다. 마지막으로 질문에 대한 사실에 대하여 문제점 및 대책이 제시된다. PC에 의한 실제의 추론과정은 지면상 생략하기로 하고 추론과정 중의 일례는 Fig. 10과 같다.

2. 神經回路網의 實行

가. 學習結果

입력층, 미지층, 출력층의 요소가 각각 58×28×30×16로 구성되어 있는 신경회로망을 전문가시스템의 입력 및 출력자료를 사용하여 학습하였다. 식(5)에 근거한 RMS 오차는 학습회수가 증가함에 따라 점차적으로 감소되어,

* Do you have condensation on inside walls of your building? yes
* Can you see poor dunging habits of animals in a partly slotted floor building? no
* Do you spend excessive heat costs in a properly insulated building? no
* Do you think your building is in high odor level? no
* Humidity levels in your building is greater than 80% in cold weather? no
* Animals in the building are experincing coughing, sneezing or other respiratory problem? no
* Drafts are causing chilling in aniemal areas? no

* Condensation or frost is (limited/not-limited) to location around ventilation air inlet and baffles? not-limited
* How is the insulation-levels in the wall and ceiling? improper
* How is the state of wall insulation? improper
* How is the outside outside-temperature? extremely-cold
* How is the ventilation rate? sufficient
* How is the air distribution? uniform

* Problem is inadequate insulation levels in the wall or ceiling with CF=1.00
* Solution is to insulate walls to at least R=13 and ceiling to at least R=20 with CF=0.90.

Fig. 9. An execution example of sequential procedures of question-answer via problem checking

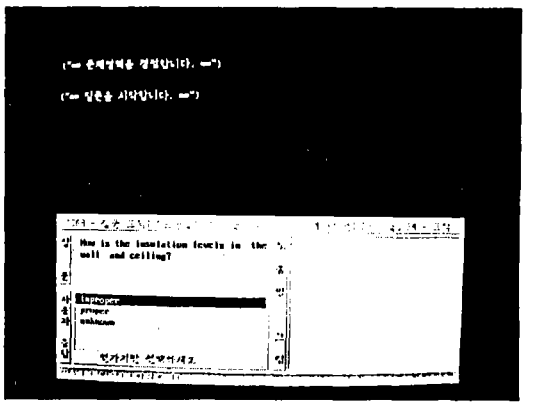

Fig. 10. A question of insulation-levels of walls and ceiling

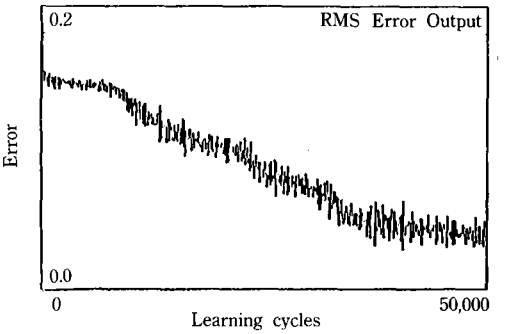

Fig. 11. The variation of RMS error with learning cycles

신경회로망이 발산하지 않고 수렴하고 있음을 나타내고 있다. 학습회수가 약 50,000회에서 5% 미만으로 충분히 학습되었음을 나타내고 있다(Fig. 11). Fig. 12는 학습된 신경회로망으로써 오차역전파 학습방법에 의하여 연결부분의 강도가 상이하게 되어 있음을 알 수 있다.

나. 實行結果

신경회로망에 의한 추정방법의 일반성을 확인하기 위하여, 전문가시스템에서 실시된 Fig. 9와 동일한 일련의 추론 수순을 학습된 신경회로망에 대입한 결과는 Fig. 13과 같다. 이때, 입력 및 출력부분을 실제의 질문과 대답과 동일하게 설정하였다. 신경회로망에 의한 추정결과와 전문가시스템에 의한 방법을 비교한 결과

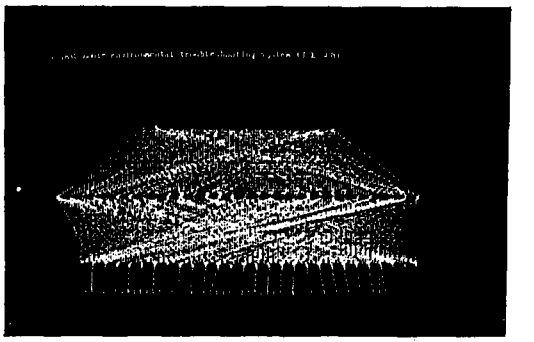

Fig. 12. Trained neural network after 50,000 learning cycles

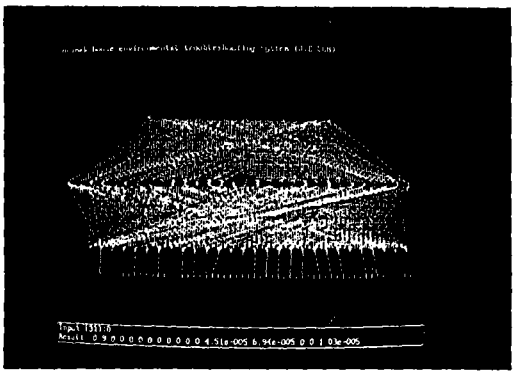

Fig. 13. Execution results by neural network using the same procedure as Fig. 9

대체적으로 동일하게 나타났다. 여기서 출력부분의 1번째 node의 내용은 「Solution is to insulate walls to at least R=13 and ceiling to at least R=20」 및 「확신도 CF=0.90」을 의미한다.

Ⅳ. 結　論

축산시설의 자동화가 진행될수록, 축산시설의 환경을 효율적으로 제어할 수 있는 지원시스템이 필요하다. 환경자료 수집장치가 자동화되어 많은 자료의 수집이 가능하다면 인간이 자료를 정리하여 컴퓨터에 입력시키는 것보다 컴퓨터 스스로가 판단 가능하도록 학습시키는 것이 효율적이다.

본 연구는 축산시설의 환경관리에 기초가 되는 환경진단 및 개선을 위하여 전문가시스템 및 신경회로망을 이용하여 축사환경관리를 위한 지원시스템을 개발하였다. 축사 내 환경에 관한 문제점 및 그 대책의 추론을 위하여 전문가시스템 개발용 shell인 Clips를 이용한 지원시스템 및 다층 퍼셉트론에 근거한 역전파 신경회로망을 이용한 지원시스템을 구축하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 축사환경진단 및 개선을 위하여 경험적 지식을 체계적으로 정리한 지식베이스 및 추론기구를 이용하여 문제해결이 가능한 전문가시스템을 구축하였다.

2. 구축된 전문가시스템은 Clips의 사용자 인터페이스 부분을 수정하여 한글사용이 가능하게 한 HClips를 사용하였다.

3. 컴퓨터상에 지식베이스나 추론기구의 작성없이 단순히 학습에 의한 추론방법이 가능하도록 신경회로망을 사용한 축사환경개선시스템을 구축하였다.

4. 구축된 신경회로망은 다층퍼셉트론에 대한 오차 역전파방법을 이용하였고, 학습에 대한 오차도 빠르게 수렴하였다.

5. 학습된 신경회로망을 사용하여 전문가시스템과 동일한 내용을 적용한 결과, 동일한 내용 및 확신도의 추론이 가능하였다.

6. 구축된 축사환경개선시스템은 다양한 규칙이 추가될수록 보다 효율적인 시스템이 될 것이고, 이러한 방법론적 접근은 농업시설 및 환경조절 분야에 많은 기여를 할 것이라고 사료된다.

參 考 文 獻

1. 金大洙 : 神經網理論과 應用(I), 하이테크情報, 1992.
2. 孫禎翼, 金文基, 南相運 : 養液栽培를 위한 培養液管理 支援시스템의 開發, 2. 神經回路網에 의한 電氣傳導度(EC)의 豫測, 生物生産施設環境, Vol. 1, pp. 162-168, 1992.
3. 趙成仁, 김승찬, Clips를 사용한 한글專門家시스템을 위한 使用者 인터페이스의 開發, 韓國農業機械學會誌, Vol. 18, pp. 133-143, 1993.
4. 黃憲, 李忠鎬 : 컴퓨터 視覺에 의거한 測定技術 및 測定誤差의 分析과 補正, 韓國農業機械學會誌, Vol. 17, pp. 65-78, 1992.
5. Barret, J. R. and D. D. Jones : Knowledge

engineering in agriculture, ASAE., 1989.

6. Giarratano, J. and R. Gary : Expert systems-principle and programming, PWS-KENT publishing company, Boston, 1989.
7. Honjo, T. and T. Takakura : Identification of water and nutrient supply to hydroponic tomato plants by using neural net, Proc. IFAC/ISHS workshop on mathmatical and control application in agriculture and horticulture, pp. 285-288, 1991.
8. Jones, D. D., W. H. Fridat and J. D. Mireley : Expert system to troubleshoot swine ventilation problems. Paper No. 87-4038, ASAE, 1987.
9. Morimoto, T. and Y. Hashimoto : Application of fuzzy logic and neural networks to the process control of solution pH in deep hydroponic culture, Proc. IFAC/ISHS workshop on mathmatical and control application in agriculture and horticulture, 147-152, 1991.
10. MWPS-1 : Structure and environment handbook(11th ed.), The Midwest Plan Service, 1983.
11. NeuralWare : Neural Computing, NeuralWare, Inc., 1989.
12. Philips, R. E. and W. G. Bickert : Troubleshooting mechanical ventilation systems, Pork industry handbook fact sheet, No. PIH-84, 1982.
13. Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and William, R. J : Learning representations by backpropagating errors, Nature, Vol. 323, pp. 533-536, 1986.
14. Zuang, X. and Engel, B. A. : Neural networks for applications in agriculture. Paper No. 90-7024, ASAE, 1990.