

# 계층적인 퍼지추론 기법을 기반으로 한 영양상태 분석시스템

## A Nutrition Status Analysis System Based on Hierarchical Fuzzy Inference Approach

손창식\* · 정구범\*\*

Chang S. Son, Gu-Beom Jeong

\* 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부

\*\* 상주대학교 컴퓨터공학과

### 요 약

본 논문에서는 계층적인 퍼지추론 기법을 기반으로 한 영양상태 분석 시스템을 제안한다. 제안된 방법에서 계층적인 퍼지추론 기법은 각 개인의 비만도와 과거의 영양상태 그리고 식습관 패턴으로부터 영양상태의 변화과정을 분석하기 위해서 사용되었다. 또한 계층 퍼지추론 시스템에서 각 계층의 추론결과들의 신뢰성을 향상시키기 위해서 이전 계층으로부터 얻은 비퍼지화된 추론결과들의 통계적인 정보를 사용하여 다음 계층의 퍼지 소속구간들의 선택방법에 대해서도 논의하였다. 제안된 시스템의 효과성을 보이기 위해서, 65세 이상의 노인 113명의 신체계측 정보와 생화학적 검사로부터 획득한 정보 그리고 영양 밀도 지수(INQ)로부터 영양상태를 평가하였다.

키워드 : 계층적인 퍼지추론, 영양평가

### Abstract

In this paper, we propose a system for analyzing nutrition status based on hierarchical fuzzy inference approach, where the hierarchical fuzzy approach used to analyze the transition process on the nutritional status from an obesity degree, the previous nutritional status, and the eating pattern with an individual. Moreover we discussed about the selection method of fuzzy membership intervals of the next layer to improve the reliability of inference results in hierarchical fuzzy system, where their intervals are modified by using statistical information of the defuzzified results obtained from the previous layer. To show the effectiveness of this system, we evaluated the nutritional status from the information of anthropometric measurement, biochemical test, and INQ on 113 people over the age of 65, and also analyzed their nutritional status.

Key Words : Hierarchical fuzzy inference, Nutrition evaluation

### 1. 서 론

인간은 삶과 건강 유지를 위해서 주로 식품에 포함된 다양한 영양소들을 섭취하게 된다. 영양소는 크게 에너지 영양소인 탄수화물(carbohydrate), 지질(lipids), 단백질(protein)과 체내 대사 조절에 필요한 비타민, 무기질 등으로 구성되어 있다. 체내에서 이러한 영양소들이 부족하거나 또는 과다 섭취되면 성장부진이나 만성퇴행성 질환 등이 유발되거나 비만하게 되어 건강상의 문제가 발생할 수 있다. 영양 결핍 또는 과다 섭취에 따른 영양 불균형을 조사하기 위한 방법 중의 하나로 개인의 신체 조건과 활동 상태를 감안한 영양 평

가를 수행하게 된다. 신체계측, 생화학적 검사 결과 및 식이조사 자료를 종합적으로 분석하여 영양소 섭취의 적정도를 평가하는 영양상태 평가는 영양 상담에도 사용된다. 생화학적 검사는 혈액으로부터 혈청 단백질, 철분, 콜레스테롤, 중성지방 등을 분석하며, 식이조사는 24시간 회상법을 이용하여 일일 식이 섭취량을 조사하고 이로부터 열량 및 각종 섭취영양소를 분석한다[1-2].

섭취 식품에 대한 영양소 분석은 한국 식품 영양가표를 기준으로 이루어지며, 개인의 영양 상태를 평가하는 데에는 일반적으로 한국인 영양 권장량, INQ(Index of Nutritional Quality), NAR(Nutrient Adequacy Ratio) & MAR(Mean Adequacy Ratio), KDDS(Korean's Diet Diversity Score) 등이 이용된다. 이중에서 영양밀도 지수를 나타내는 INQ는 영양 권장량에 따른 식사의 영양적 균형 정도를 평가한다[3-4].

본 논문에서는 계층적인 퍼지추론[5-7]을 이용해서 개인

\*\* Corresponding Author

접수일자 : 2007년 10월 22일

완료일자 : 2007년 12월 3일

의 신체계측, 생화학적 검사 및 섭취 영양소를 종합적으로 분석하여 영양 평가를 수행하는 시스템을 제안한다. 이를 위하여 65세 이상의 노인 113명의 섭취 영양소를 CAN-Pro 3.0을 사용하여 분석하였다. 각 개인의 신체계측 결과인 BMI (Body Mass Index), 허리둘레 및 체지방 및 생화학적 검사에서 분석된 혈청 단백질로 비만도를 평가하고, CAN-Pro 3.0에서 분석된 열량 및 단백질을 가지고 INQ를 계산하여 단계적으로 적용함으로써 영양상태의 변화과정을 추론한다.

## 2. 영양상태 분석시스템

### 2.1 영양상태 분석시스템의 구조

그림 1은 각 개인의 신체계측 정보(BMI, 허리둘레, 체지방 등)와 INQ를 기반으로 개인의 영양상태의 변화를 분석할 수 있는 계층적인 영양상태 분석시스템의 구조를 나타낸다.

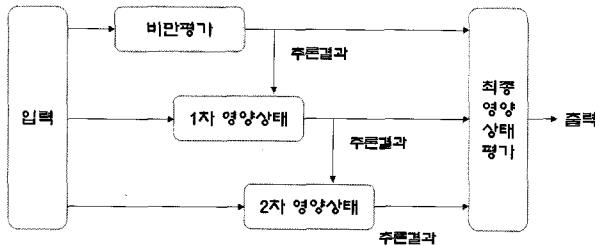


그림 1. 영양상태 분석 시스템의 구조  
Fig. 1. Structure of nutrition status analysis system

제안된 영양상태 분석 시스템의 구조는 4개의 모듈로 구성되고, 각 모듈의 기능은 다음과 같다.

- 비만평가 모듈 : 각 개인의 비만 정도를 평가하기 위해서 개인의 BMI 수치, 허리둘레, 체지방, 그리고 생화학적 검사로부터 분석된 섭취 영양소 정보를 근거로 개인의 비만 정도 여부를 평가한다. 본 논문에서는 생화학적 검사로 분석되는 여러 영양소 중에서 혈청 단백질만 이용하였다.

$$BMI = \frac{\text{체중}(kg)}{\text{신장}(m^2)} \quad (1)$$

- 1차 영양상태 모듈 : 계층 1인 '비만평가' 모듈로부터 추론된 비퍼지화된 실수 값과 '1차 INQ'를 이용하여 각 개인의 영양섭취에 대한 질적 상태가 어떠한지를 추론한다. 여기서 '영양의 질적 지수'를 나타내는 INQ 정보는 개인의 영양섭취의 적절성을 평가하기 위한 기준으로 영양 상담에 사용할 수 있으며, 다음과 같은 기준으로 계산된다.

$$INQ = \frac{\text{식사 } 1,000Kcal \text{ 당 영양소량}}{\text{식품 } 1,000Kcal \text{ 당 영양소 권장량}} \quad (2)$$

일반적으로 영양소의 INQ가 1.0 이상인 경우에는 필요 에너지에 따른 영양소 권장량을 충분히 만족하기 때문에 일반적으로 식사의 질이 좋다는 것을 의미한다. 반면에 INQ가 1.0 미만인 경우에는 에너지에 비해 영양소 섭취량이 낮다는 것을 의미하며, 해당 영양소가 포함된 식품을 더 많이 섭취해야 함을 나타낸다. 그러므로 영양소의 INQ가 1.0인 경우가 기준이 되는 경제지점이라 볼 수 있다.

- 2차 영양상태 모듈 : 계층 2인 1차 영양상태의 추론결과와 '2차 INQ'를 근거로 각 개인의 최종 영양상태를 평가한다.
- 최종 영양상태 평가 모듈 : 계층 1, 2, 3의 추론결과를 모두 종합하여 각 개인의 영양상태의 변화과정 분석한다.

### 2.2 추론 규칙의 선정

추론 규칙 선정은 각 모듈에 주어진 수치적인 입력패턴으로부터 추론에 사용할 규칙을 추출하는 단계로서, 본 논문에서 사용한 퍼지 IF-THEN 규칙의 구조는 다음과 같다.

$$R^i: \text{IF } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{in} \text{ THEN } y \text{ is } C_i \quad (i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, n)$$

여기서  $x_1, \dots, x_n; y$ 은  $n$ 개의 입력속성과 1개의 출력속성을 나타내고,  $A_{ij}$ 는 low, medium, high와 같은 linguistic terms를 의미한다. 또한  $N$ 은 퍼지 IF-THEN 규칙의 수를 나타내고,  $C_i$ 는  $i$ 번째 규칙의 출력 클래스(즉 linguistic term)를 의미한다.

일반적으로 퍼지 규칙기반 시스템에서 규칙의 수는 입력 속성이나 linguistic term들의 수가 증가될 때 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 본 논문에서는 주어진 수치적인 입력 패턴들에 대응하는 규칙들 중에서 규칙의 이행정도 (DOF: Degree Of Fulfillment)가 최대인 규칙만을 추출하였다.

$$\mu_{A_i}(X) = \max(\mu_{A_{i1}}(x_1) \times \mu_{A_{i2}}(x_2) \times \dots \times \mu_{A_{in}}(x_n)) \quad (3)$$

여기서  $\mu_{A_i}(x)$ 는 수치적인 입력  $x$ 에 대한  $i$ 번째 규칙  $R^i$ 의 이행정도를 의미한다.

### 2.3 각 평가모듈들의 추론방법

각 평가 모듈(비만평가, 1차 영양상태, 2차 영양상태)에서 퍼지추론을 수행하기 위한 단계로서 그 과정은 다음과 같다.

- 단계 1 : 식 (3)에 의해서 추출된 규칙을 사용하여 수치적인 입력패턴에 대한 입력부 적합도  $\mu_{C_i}(X)$ 을 계산한다.

$$\mu_{C_i}(X) = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \mu_{A_{i2}}(x_2), \dots, \mu_{A_{in}}(x_n)) \quad (4)$$

여기서  $\mu_{A_{ij}}(x_i)$ 는  $i$ 번째 입력 속성에 대응하는 소속함수 값을 나타낸다.

- 단계 2 : 단계 1의 입력부 적합도와 출력부 linguistic term의 곱 연산(product operation)으로 각 수치적인 입력패턴에 대응한 규칙들의 이행정도를 계산한다.

$$\mu_{C_i}(Y) = \mu_{C_i}(X) \cdot \mu_{C_i}(y) \quad (5)$$

- 단계 3 : 단계 2에서 계산된 규칙들의 이행정도를 근거로 최대 연산(max operation)을 사용함으로써 합성(composition)한다.

$$\mu_o(Y) = \mu_{o1}(y) \vee \mu_{o2}(y) \vee \dots \vee \mu_{om}(y) \quad (6)$$

여기서  $\mu_{C_i}(y)$ 는  $i$ 번째 규칙의 이행정도를 의미하고,  $\mu_o(Y)$ 는 대응된 규칙들의 이행정도들을 모두 합성한 결과를 나타낸다.

- 단계 4 : 단계 3으로부터 획득한 합성결과로부터 비퍼지화

된 값 (즉 실수 값)을 계산한다. 본 논문에서는 비퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.

$$D = \frac{\sum_{j=1}^n (y_j \times \mu_{o_j}(y_j))}{\sum_{j=1}^n (\mu_{o_j}(y_j))} \quad (7)$$

여기서  $y_i$ 는 합성으로 인해 새롭게 생성된 출력부 퍼지집합 내에  $i$ 번째 원소(element)를 나타내고,  $\mu_{o_j}(y_i)$ 는  $i$ 번째 원소의 소속함수 값을 의미한다.

### 2.4 소속구간의 결정

본 절에서는 계층 1에서 추론된 결과들(즉 비퍼지화된 실수 값)로부터 다음 계층(즉 계층 2와 3)의 입력속성의 소속구간을 결정하는 방법에 대해서 논의한다.

만약  $n$ 번째 계층에 주어진 입력패턴들이  $k$ 개의 클래스로 분류된다면,

$$X = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn}\}, C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}, x_{ji} \in c_i \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m; l=1,2,\dots,k) \quad (8)$$

여기서  $X$ 는  $n$ 차원의 입력벡터를 의미하고,  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ 는  $k$ 개의 클래스를 나타낸다. 또한  $x_{ji} \in c_i$ 는  $j$ 번째 입력패턴이  $l$ 번째 클래스로 분류됨을 나타내고, 각 클래스는 식 (7)로부터 추론된 비퍼지화된 실수 값을 가진다.

이때 각 클래스의 비퍼지화된 실수 구간은 다음 식으로부터 추출할 수 있다.

$$c_l = \{d_{c_l}^1, d_{c_l}^2, \dots, d_{c_l}^s\}, D_l = [d_l^{\min}, d_l^{\max}], d_l^{\min} = \min(c_l), d_l^{\max} = \max(c_l) \quad (9)$$

여기서  $c_l$ 는  $l$ 번째 클래스로 분류되는  $s$ 개의 비퍼지화된 실수 값을 나타내고,  $d_l^{\min}$ 과  $d_l^{\max}$ 는 각각  $s$ 개의 비퍼지화된 실수 값들 중에서 최소값과 최대값을 의미한다. 또한  $D_l$ 는 이들 값들을 구간으로 가지는  $l$ 번째 클래스의 비퍼지화된 실수 구간을 나타낸다.

그러나 이러한 방법으로 추출된 각 클래스의 비퍼지화된 실수 구간을  $n+1$ 번째 계층에 입력속성의 소속구간으로 적용될 경우, 각 클래스의 경계구간(즉  $d_l^{\min}$ 과  $d_l^{\max}$ )에 해당되는 입력패턴의 값은 항상 0이라는 소속정도를 가지므로 추론 결과의 신뢰성(reliability)을 보장할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 최소화시키기 위해서 식 (10)에서와 같이 소속구간의 폭을 조정하였다.

$$d_l^{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^s (d_{c_l}^i - m)^2}{s}} \quad (10)$$

$$m = \left( \sum_{i=1}^s d_{c_l}^i \right) / s$$

여기서  $d_l^{\sigma}$ 는  $l$ 번째 클래스의 비퍼지화된 실수 값들에 대한 표준편차(standard deviation)를 의미하고,  $m$ 은 그들의 평균값(mean value)을 나타낸다.

$$new\_D_l = [d_l^{\min} - d_l^{\sigma}, d_l^{\max} + d_l^{\sigma}] \quad (11)$$

여기서  $new\_D_l$ 은  $n+1$ 번째 계층에서 새롭게 조정된  $l$ 번째 퍼지집합의 소속구간을 나타낸다.

## 3. 실험 및 결과

실험에서는 제안된 방법의 효과성을 보이기 위해서 65세 이상의 노인 113명을 대상으로 비만정도와 영양 상태를 평가하였다. 또한 보다 객관적으로 영양상태의 균형여부와 변화 과정을 분석하기 위해서 혈청 단백질과 식이 섭취된 단백질의 INQ를 근거로 실험하였다.

### 3.1 비만도 평가 : 계층 1

비만도 평가에서는 각 개인의 신체계측 정보(즉 BMI, 허리둘레, 체지방)와 혈청 단백질 정보를 근거로 비만정도를 평가하였다. 다음은 계층 1에서 각 개인의 비만정도를 평가하기 위한 입력부 퍼지집합의 소속구간을 나타낸다.

표 1. 비만 평가를 위한 입력부 소속구간

Table 1. Antecedent membership intervals for evaluating the obesity

속성1	BMI				
	저체중	정상	과체중	비만	고도비만
구간	[15,19]	[18,23.4]	[22.5,35.4]	[24.5,30.4]	[29.5,35]
속성2	허리둘레				
	작다	보통		크다	
구간	[50, 85]	[60, 110]		[85, 120]	
속성3	체지방				
	낮음	보통	다소높음	매우높음	
구간	[10, 21.5]	[16, 27]	[21.5, 32]	[27, 50]	
속성4	혈청 단백질				
	낮음	보통		높음	
구간	[5, 6.85]	[6.3, 7.4]		[6.85, 10]	

표 1에서 각 속성의 구간들은 도메인 전문가들에 의해서 결정되었고, 각 속성들의 소속 함수는 삼각형과 사다리꼴 퍼지집합을 사용하였다. 예를 들어, BMI, 허리둘레, 체지방, 그리고 단백질의 양쪽 끝 구간의 소속 함수는 사다리꼴 퍼지집합으로 구성하였고, 이들을 제외한 나머지 소속구간들은 삼각형 퍼지집합으로 구성하였다. 다음 표 2는 계층 1의 비만도 평가를 위한 출력부 퍼지집합의 소속구간을 나타낸다.

표 2. 비만 평가를 위한 출력부 소속구간

Table 2. Consequent membership intervals for evaluating the obesity

출력속성	비만정도			
	낮음	보통	다소높음	매우높음
구간	[0, 4]	[2, 6]	[4, 8]	[6, 10]

표 1로부터 각 개인의 비만정도를 평가하기 위해서 필요한 총 규칙의 수는  $5 \times 3 \times 4 \times 3 = 180$ 개이다. 그러나 본 논문에서는 노인 113명의 신체계측 정보와 혈액분석을 통해 확

특한 수치적인 입력패턴들에 대응하는 규칙만을 추출하여 사용하였다. 다음은 이들 수치적인 정보로부터 생성된 44개의 규칙을 나타낸다.

표 3. 생성된 규칙  
Table 3. Generated rules

규칙	입력 속성				출력속성
	BMI	허리둘레	체지방	단백질	비만정도
1	저체중	작다	낮음	높음	낮음
2	저체중	작다	다소높음	보통	보통
3	저체중	보통	다소높음	낮음	보통
이하생략					
43	비만	크다	매우높음	보통	매우높음
44	비만	크다	매우높음	높음	매우높음

표 4는 수치적인 정보들로부터 생성된 규칙들을 근거로 노인 113명의 비만정도를 평가한 결과를 출력부 클래스별로 나타낸 것을 보여준다.

표 4. 추론결과  
Table 4. Inference results

출력속성	평가된 결과 (비만정도)			
	낮음	보통	다소높음	매우높음
추론결과 구간	2	[4.0000, 4.9780]	[5.0625, 6.9485]	[7.0068, 8.0000]
인원	1명	18명	38명	52명

표 4에서 '낮음', '보통', '다소높음', 그리고 '매우높음'은 출력부 클래스를 의미하고, '추론결과 구간'은 각 수치적인 입력패턴들로부터 추론된 비퍼지화된 실수 값들을 나타낸 것이다. 또한 '인원'은 각 출력부 클래스에 대응된 수(전체 113명 중 109명)를 나타낸다.

표 5는 비만 평가 후 비만정도의 여부를 평가할 수 없는 경우(즉, 출력부 퍼지집합의 적합도(compatibility grade)가 서로 동일한 경우)를 나타낸 것이다.

표 5. 동일한 적합도를 가진 패턴  
Table 5. Patterns with the same compatibility grade

패턴	입력				출력 (비만정도)				추론 결과
	BMI	허리둘레	체지방	단백질	낮음	보통	다소높음	매우높음	
1	21	77	30	6.5	0	0.363	0.363	0	5
2	19	77	22.3	7.1	0	0.370	0.370	0	5
3	25	81	25.5	7.2	0	0	0.276	0.276	7
4	25	85	28.6	7.1	0	0	0.276	0.276	7

표 5에서 '패턴 수'는 출력부 퍼지집합의 적합도가 동일한 패턴들의 수를 나타낸다. 표 5에서 보여주는 것처럼, 패턴 1과 2는 클래스 '보통'과 '다소높음'에서 동일한 적합도(즉 0.363)를 가지고, 패턴 3과 4는 클래스 '다소높음'과 '매우높음'에서 동일한 적합도(즉 0.276)를 가진다는 것을 볼 수 있다. 또한 비퍼지화된 실수 값들의 구간에서 비퍼지화된 값이 각각 5와 7에서 추론 결과의 신뢰성을 보장할 수가 없음을 볼 수 있다. 아래 그림 2는 노인 113명의 입력 패턴에 대한 전체 비퍼지화된 추론 결과들을 나타낸 것이다.

그림 2에서 '정상=다소높음'과 '다소높음=매우높음'은 동일한 출력 적합도를 가진 패턴들의 비퍼지화된 실수 값들을 나타낸다. 또한 이들 실수 값을 제외한 비퍼지화된 실수 구간은 표 4에서 나타낸 추론결과를 의미한다.

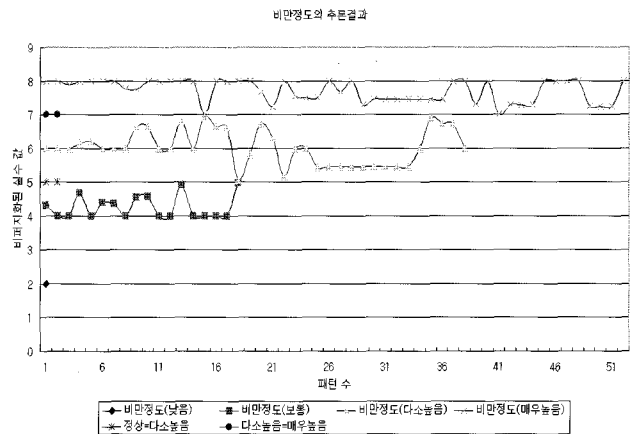


그림 2. 전체 추론결과  
Fig. 2. Overall inference results

### 3.2 1차 영양상태 평가 : 계층 2

1차 영양상태 평가에서는 계층 1에서 추론된 비만정도의 비퍼지화된 실수 구간과 각 개인의 식사 적절성을 평가하기 위한 지표인 INQ를 근거로 각 개인의 영양상태(즉 결핍, 정상, 과잉)를 평가하였다. 다음은 1차 영양상태 평가를 위한 계층 2의 입력부 퍼지집합의 소속구간을 나타낸다.

표 6. 1차 영양상태를 평가하기 위한 입력부 소속구간  
Table 6. Antecedent membership intervals for evaluating 1<sup>st</sup> nutrition status

속성1	비만정도 (계층 1의 비퍼지화된 결과)			
항목	낮음	보통	다소높음	매우높음
구간	[0.6075, 3.3925]	[2.6075, 6.3705]	[3.6700, 8.3410]	[5.6332, 9.3925]
속성2	1차 INQ			
항목	낮음	보통	높음	
구간	[0, 1]	[0.8, 1.2]	[1, 3]	

표 6에서 속성1의 '비만정도'의 소속구간의 폭은 2장에서 기술한 것처럼  $\pm sd(1.3925)$  (즉 표준편차)만큼 확장하였다. 다시 말해, 표 4의 추론결과에서 나타낸 각 클래스의 비퍼지화된 실수 구간을 계층 2에 입력부 퍼지집합의 소속구간으로 적용될 경우, 이들 소속구간의 경계지점에 해당하는 패턴들은 모두 소속정도가 0이라는 값을 가지게 되기 때문에 경계지점에 대한 출력 값을 획득할 수가 없다. 그러므로 비만정도의 클래스 '낮음'의 경우, 계층 2의 입력부 퍼지집합의 소속구간은  $[2 - 1.3925, 2 + 1.3925] = [0.6075, 3.3925]$  이 된다.

표 7은 1차 영양상태의 정도를 평가하기 위한 출력부 퍼지집합의 소속구간을 나타낸다.

표 7. 1차 영양상태를 평가하기 위한 출력부 소속구간

Table 7. Consequent membership intervals for evaluating 1<sup>st</sup> nutrition status

출력속성	1차 영양상태		
	결핍	정상	과잉
항목	결핍	정상	과잉
구간	[0, 5]	[2.5, 7.5]	[5, 10]

표 8은 계층 1의 비만정도의 평가 결과와 1차 INQ의 수치적인 정보로부터 추출한 규칙들을 보여준다.

표 8. 생성된 규칙

Table 8. Generated rules

규칙	입력 속성		출력속성
	계층 1의 결과	1차 INQ	1차 영양상태
1	낮음	높음	정상
2	보통	낮음	결핍
3	보통	보통	정상
4	보통	높음	정상
5	다소높음	낮음	정상
6	다소높음	보통	정상
7	다소높음	높음	과잉
8	매우높음	낮음	정상
8	매우높음	보통	과잉
10	매우높음	높음	과잉

표 9는 표 8의 규칙들을 근거로 계층 1의 추론결과(즉 비만정도)와 1차 INQ로부터 평가된 결과를 출력부 클래스별로 나타낸 것을 보여준다.

표 9. 추론결과

Table 9. Inference results

출력속성	1차 영양상태		
	결핍	정상	과잉
추론결과 구간	없음	[4.2458, 6.1824]	[6.2660, 7.4999]
인원	0명	42명	67명

표 9의 비퍼지화된 실수 구간으로부터 1차 영양상태가 '결핍'인 사람은 없으며, '정상'과 '과잉'의 사람들은 각각 42명과 67명임을 알 수 있다. 또한 전체 113명 중 109명을 제외한 나머지 4명은 계층 1의 비만정도의 평가에서처럼 동일한 출력부 적합도를 가지기 때문에 어떠한 의사결정도 할 수 없음을 볼 수 있다. 아래 표 10은 동일한 출력부 적합도를 가지는 4명에 대한 적합도와 비퍼지화된 실수 값을 보여준다.

표 10에서 패턴 1은 1차 영양상태가 '결핍'과 '정상'에서 동일한 적합도를 가지고, 패턴 2에서 4는 1차 영양상태가 '정상'과 '과잉'에서 동일한 적합도를 가진다는 것을 볼 수 있다. 또한 이들의 비퍼지화된 실수 값은 전체 비퍼지화된 실수 구간 중에서 각각 3.75와 6.25에서 나타남을 볼 수 있다. 아래

그림 3은 113명에 대해서 계층 1에서 얻은 실수 값과 1차 INQ를 근거로 추론된 결과 패턴들을 보여준다.

표 10. 동일한 적합도를 가진 패턴

Table 10. Patterns with the same compatibility grade

패턴	입력		출력 (1차 영양상태)			추론 결과
	계층1 출력	1차 INQ	결핍	정상	과잉	
1	4.9780	0.75	0.50	0.50	0	3.75
2	5.4305	1.16	0	0.32	0.32	6.25
3	7.0000	0.87	0	0.35	0.35	6.25
4	7.4614	1.14	0	0.30	0.30	6.25

그림 3에서 '결핍=정상'과 '정상=과잉'은 그림 2에서 기술된 것처럼 동일한 출력부 적합도를 가지는 패턴들을 나타낸다. 또한 이들을 제외한 나머지 클래스들의 출력 패턴들의 최소값과 최대값을 구간으로 가지는 추론 구간은 표 9의 클래스 구간을 의미한다.

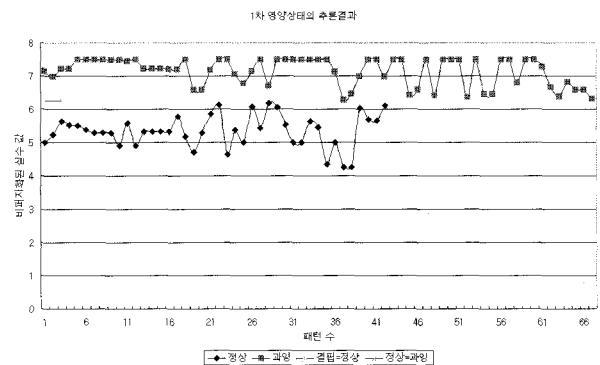


그림 3. 전체 추론결과

Fig. 3. Overall inference results

### 3.3 최종 영양상태 평가 : 계층 3

최종 영양상태 평가에서는 계층 2의 출력인 1차 영양상태의 비퍼지화된 실수 값과 2차 INQ를 근거로 각 개인의 최종 영양상태를 평가한다. 아래 표 11은 최종 영양상태를 평가하기 위한 계층 3의 입력부 퍼지집합의 소속구간을 나타낸다.

표 11. 최종 영양상태를 평가하기 위한 입력부 소속구간

Table 11. Antecedent membership intervals for evaluating final nutrition status

속성1	1차 영양상태 (계층 2의 추론결과)		
항목	결핍	정상	과잉
구간		[3.2438, 7.1844]	[5.2640, 8.5019]
속성2	2차 INQ		
항목	낮음	보통	높음
구간	[0, 1]	[0.8, 1.2]	[1, 3.5]

표 11에서 속성 1(계층 2의 추론결과)의 소속구간은 3.2절에서처럼 1차 영양상태의 추론된 결과 값들로부터 계산된 표준편차(즉 1.002)로 재조정된 소속구간을 나타낸다. 또한 속성 1(1차 영양상태)에서 '결핍'의 소속구간은 최종 영양상태

를 평가하기 위해서 사용되지 않는다(표 9의 추론결과 참조). 그리고 최종 영양상태 평가를 위한 출력부 퍼지집합의 소속구간은 표 7의 소속구간을 사용하였다.

표 12는 최종 영양상태를 평가하기 위해 사용된 퍼지 if-then 규칙을 나타낸다.

표 12. 생성된 규칙  
Table 12. Generated rules

규칙	입력 속성		출력속성
	1차 영양상태	2차 INQ	최종 영양상태
1	정상	낮음	결핍
2	정상	보통	정상
3	정상	높음	정상
4	과잉	낮음	정상
5	과잉	보통	과잉
6	과잉	높음	과잉

아래 표 13은 표 12의 추론 규칙들로부터 최종 평가된 영양상태의 비퍼지화된 추론구간들을 나타낸다.

표 13. 추론결과  
Table 13. Inference results

출력속성	최종 영양상태		
	결핍	정상	과잉
추론결과 구간	[2.5001, 4.0445]	[3.9588, 6.2260]	[5.7022, 7.4999]
인원	6명	36명	71명

계층 1, 2의 추론결과와 계층 3의 추론결과를 비교해 볼 때, 계층 3의 비퍼지화된 결과에서는 동일한 출력부 적합도를 가지는 패턴들은 존재하지 않음을 볼 수 있다. 그림 4는 113명의 최종 영양상태를 평가한 비퍼지화된 결과들을 보여준다.

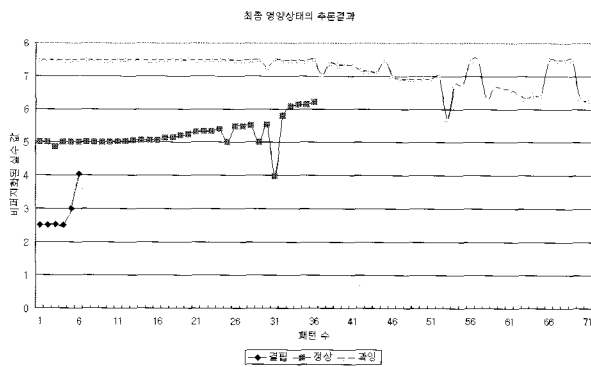


그림 4. 전체 추론결과  
Fig. 4. Overall inference results

그림에서 볼 수 있듯이 계층 3의 최종 영양상태의 평가결과에서는 전체 113명에 대해서 추론결과의 신뢰성(reliability)을 보장할 수 있다는 것을 볼 수 있다.

### 3.4 영양상태의 변화과정에 대한 분석

본 절에서는 각 계층의 추론된 결과로부터 개인의 영양상태에 대한 변화과정을 해석하기 위해서 전체 113명 중 계층 1에서 동일한 출력부 적합도를 가진 4명의 영양상태의 변화과정을 분석하였다.

표 14에서 16은 계층 1에서 동일한 출력부 적합도를 가진 4명에 대한 비만정도, 1차 영양상태, 그리고 최종 영양상태의 결과들을 보여준다.

표 14. 계층 1에서 비만정도의 평가결과  
Table 14. Evaluation results of the obesity degree in layer 1

패턴	입력				출력 (비만정도)				추론 결과
	BMI	허리 둘레	체지방	단백질	낮음	보통	다소 높음	매우 높음	
1	21	77	30	6.5	0	0.363	0.363	0	5.000
2	19	77	22.3	7.1	0	0.370	0.370	0	5.000
3	25	81	25.5	7.2	0	0	0.276	0.276	7.000
4	25	85	28.6	7.1	0	0	0.276	0.276	7.000

표 15. 계층 2에서 1차 영양상태의 평가결과  
Table 15. Evaluation results of 1<sup>st</sup> nutrition status in layer 2

패턴	입력		출력 (1차 영양상태)			추론 결과
	계층1 출력	1차 INQ	결핍	정상	과잉	
1	5	1.04	0.	0.728	0.08	5.185
2	5	0.93	0.140	0.650	0	4.642
3	7	0.87	0	0.350	0.350	6.250
4	7	1.32	0	0	0.574	7.499

표 16. 계층 3에서 최종 영양상태의 평가결과  
Table 16. Evaluation results of final nutrition status in layer 3

패턴	입력		출력 (최종 영양상태)			추론 결과
	계층2 출력	2차 INQ	결핍	정상	과잉	
1	5.185	2.29	0	0.507	0	5.000
2	4.642	1.65	0	0.645	0	5.000
3	6.250	2.04	0	0.237	0.305	6.435
4	7.499	1.46	0	0	0.691	7.499

표 14에서 16의 결과로부터, 패턴 1과 2는 계층 1에서 비만정도가 '보통'과 '다소높음'의 적합도가 동일하기 때문에 비만정도의 여부를 명확히 알 수 없으나, 계층 2와 3의 추론결과로부터 이들은 현재 식습관 패턴이 적절함을 볼 수 있다. 반면에 패턴 3은 계층 1과 2에서 비만정도가 '다소높음'과 '매우높음'이고, 1차 영양상태가 '정상'과 '과잉'상태라는 것을 알 수 있고, 최근에는 식습관 패턴이 너무 '과잉'상태로 접어들고 있음을 볼 수 있다. 또한 패턴 4는 식습관 패턴이 너무 '과잉'상태로 접어들고 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과들을 종합해 볼 때, 패턴 1과 2는 적절한 식습관 패턴을 유지하고 있음을 볼 수 있고, 패턴 3과 4는 현재의 식습관 패턴을 조

절할 필요가 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후연구과제

본 논문에서는 계층적인 퍼지추론 기법을 기반으로 한 영양평가 시스템을 제안하였다. 제안된 방법에서 계층적인 퍼지추론 기법은 각 개인의 비만도와 과거의 영양상태 그리고 현재의 식습관 패턴들로부터 개인의 영양상태의 변화과정을 분석하기 위해서 사용하였다. 또한 추론결과의 신뢰성을 위해 이전 계층의 추론결과들로부터 다음 계층의 소속구간의 결정 방법에 대해서도 논의하였다. 제안된 시스템의 효과성을 보이기 위해서 65세 이상의 노인 113명의 신체계측 정보(즉 BMI, 허리둘레, 체지방 등)와 생화학적 검사로부터 얻은 정보 그리고 영양의 질적 지수를 나타내는 INQ를 근거로 실험하였고, 영양상태의 변화과정을 분석하였다. 실험결과로부터 제안된 방법은 각 개인의 영양상태의 변화과정을 효과적으로 분석할 수 있음을 보였고, 추론결과의 신뢰성이 보장될 수 있음을 볼 수 있었다.

향후 연구과제로서는 각 개인의 영양상태의 변화과정을 보다 정확히 분석하기 위해서, 개인이 섭취한 음식의 열량정보인 단백질, 당질, 지질을 모두 고려하고, 비타민 및 무기질의 영양소도 적용하는 연구방법이 필요하다고 생각된다.

#### 참고문헌

[1] M. C. Moore, "Nutritional Assessment and Care", Elsevier, 2005.

[2] G. B. Jeong, D. Y. Kim, "Objective evaluating system using similarity measure", *Journal of Electronics & Computer Science*, vol. 5, no. 1, pp. 17-24, 2003

[3] 한국영양학회, "한국인 영양섭취기준", 한국영양학회, 2005.

[4] Hansen RG, "An index of food quality". *Nutr Rev*, Vol. 31, pp. 1-7, 1973.

[5] W. Rattasiri and S. K. Halgamuge, "Computational complexity of hierarchical fuzzy systems", *the 19th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS 200)*, pp. 383-387, 2000.

[6] K. Uehara and M. Fujise, "Multistage fuzzy inference formulated as linguistic-truth-value propagation and its learning algorithm based on back-propagation error information", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol.1, no.3, pp. 205-221, 1993.

[7] L. X. Wang, "Analysis and design of hierarchical fuzzy systems", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 7, pp. 617-624, 1999.

### 저 자 소 개

손창식(Chang S. Son)  
제17권 제4호 참조

정구범(Gu-Beom Jeong)  
제16권 제6호 참조