

신뢰성 이론을 이용한 전문가시스템의 효과적인 추론방법에 관한 연구

이 영 해, 정 창 식
한양대학교 산업공학과

I. 서론

전문가 시스템은 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 Knowledge-Base 를 구성하고, 이를 이용하여 주어진 문제를 해결하며 다양한 User 의 욕구를 충족시켜 주기 위한 도구이다. 그리고 지식과 경험으로 표현된 Knowledge-Base 의 효과적인 추론방법은 지식 표현만큼 중요하며 현재 많은 연구와 개발이 진행중인 분야이다.

Knowledge-Base 를 효과적으로 추론하는 기존의 기법으로는 확신도(certainty factor) 와 퍼지값을 이용하는 방법이 연구 되어 왔다. 그러나 확신도에 의한 규칙의 표현에는 조건부 확신도에서 실제값과 반대의 경우가 생기고, 규칙의 전제조건이 많은 경우와 Rule 들간의 전체적인 관계를 검토할 경우에는 복잡한 계산 과정을 거치게 되어 오히려 효율이 떨어진 다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 규칙을 하나의 시스템으로 파악하고, 조건부들의 관계와 규칙과 규칙에 대한 관계를 AND 나 OR 트리 구조로 보는 신뢰도(reliability)를 이용한 새로운 추론 방법을 제안한다. 이 기법은 기존의 방법에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있고, 추론후의 결과에 대한 신뢰성 점검을 통하여 보다 확실한 정보를 얻을 수 있다. 그리고 이 방법은 기존의 방법에 비해 추론 시 단순한 과정으로 계산되므로 추론 시간을 줄일 수 있다.

또한 제안된 기법을 자동창고의 입출하장에 사용되는 반송 설비 선정에 적용해 보았다. 설비 선정 전문가 시스템에 적용해 본 결과, 본 논문에서 제시한 알고리즘은 확신도(certainty factor) 기법의 문제점을 해결하고, 보다 안정된 설비를 선정하게 해 주었다.

그 외 기존 연구에서는 퍼지 규칙 추론망에서의 적응적 탐색과 학습을 이용하여 주어진 상황에 적절한 탐색 전략을 취할 수 있고, 적응적 탐색이 가능한 퍼지 규칙 추론망은 학습 능력을 갖도록 제안했다[3].

전문가 시스템의 적용 사례에 관한 연구를 보면, 범용 전문가 시스템 셸을 이용한 선박의 구조설계 지원 시스템에 관한 연구가 있으며, 객체 지향적인 개념을 도입하여 지식의 구조적인 표현으로 프로그램의 유지, 관리 및 변경 방법을 제안했다[4,9].

그리고 셀(cell) 생산 시스템의 스케줄링에 대해서 부품군과 연관된 기계군들의 복잡한 연관성을 전문가 시스템으로 디자인한 사례에 관해서도 소개되었으며, 그 외에도 건축 분야에서도 동시공학(concurrent engineering)을 응용하는 등 여러 가지 적용 사례에 관한 연구가 제안되어 왔다[6, 7].

우리는 전문가 시스템의 추론 과정에서 신뢰도에 의한 규칙의 점검을 위해서 각 규칙의

조건부에 대한 믿음 정도를 주관적인 확률 값으로 가정한다. 우선 확신도를 계산하기 위한 공식 중에서 일반 규칙의 믿음 정도는 식 (1.1)과 같다.

$$CF(H,E) = MB(H,E) - MD(H,E) \quad (1.1)$$

MB(H,E) : Measure of Belief

MD(H,E) : Measure of Disbelief

$$0 \leq MB \leq 1, \quad 0 \leq MD \leq 1$$

여기에서 우리는 규칙의 신뢰도를 계산하기 위해 규칙의 가설에 대한 판단 여부를 검사하기 위해 각 증거(Evidence)에 관한 믿음값(Measure of Belief)만 택해 주관적인 값으로서 이를 식 (1.2)과 같이 설정할 수 있다.

$$P(H|E) = MB(H,E) \quad (1.2)$$

마찬가지로 퍼지 규칙에 대한 믿음 정도를 계산하는 공식에서도 똑 같은 방식으로 조건부와 사실이 매칭될 때 발생하는 여러 가지 매칭상황—퍼지매칭, 퍼지비교, 퍼지구간포함—에 대해 매칭척도들을 각 규칙의 조건부에 대한 주관적인 확률값으로 가정한다. 이 때 퍼지 규칙에 대한 확신도를 식 (1.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \min \{ \beta, \gamma \} * \tau \quad (1.3)$$

퍼지규칙의 매칭 상황에 대한 값은 γ 이며, 우리는 이 값을 규칙의 조건부에 대한 만족 정도로 식 (1.4)와 같이 가정할 수가 있다.

$$P(H|E) = \gamma \quad (1.4)$$

본 논문에서 사용하는 용어를 정리해 보면 다음과 같다.

cf : 각 Rule 에 대한 확신도

MB : measure of belief

MD : measure of disbelief

R : 동적인 객체의 신뢰도(reliability)

H : 가설(Hypothesis)

E : 조건부, 증거(Evidence)

δ : 규칙의 만족 정도

β : 규칙의 조건부와 대응하는 사실들의 확신도중 최소값

γ : 규칙의 조건부에서 발생한 매칭척도에 대한 만족정도

τ : 규칙에 부여된 확신도

P_{conv} : System Performance(% of arriving jobs that were completed)

C_{total} : managements target total cost of the system

II. 확신도에 의한 추론 방법

전문가시스템의 추론방법에 대한 알고리즘에는 퍼지값과 확신도를 이용한 방법이 있다. 이 방법은 퍼지 전문가시스템에서 퍼지정보 처리를 정량적으로 하고, 규칙의 확신도를 계산하여 추론에 대한 믿음정도를 알아보는데 그 의의가 있다[1, 3].

2.1 확신도(certainty factor)

전문가시스템은 종종 문제를 풀어나갈 때 판단을 해야 한다. 정보가 의심스럽거나 불완전하고 정보를 해석하는 지식들 중 일부가 믿을 수가 없을 수도 있다. 이러한 어려움들은 전문가시스템에 의해 제기된 일반적인 상황이다. 확신도는 불확실한 증거에 대하여 믿음에 대한 측도를 나타내고 그 범위는 [-1,1]의 값을 치역으로 하는데 믿음의 정도가 크면 1에 가까운 값을 나타내고 믿음에 대한 정도가 작으면 -1 이 된다.

확신도 (Certainty Factor)는 E가 H에 미치는 믿음에 대한 정도를 나타내는 주관적인 값으로 이것은 확률과 비슷하지만 동일하지는 않는데, 이를 식 (2.1)와 같이 나타낼 수 있다.

$$CF(H,E) = MB(H,E) - MD(H,E) \quad (2.1)$$

$$\therefore -1 \leq CF \leq 1$$

여기서 확신도는 확률과 비슷한 개념이므로 그 범위를 [0,1]로 할 수도 있다[2, 5].

실제로 확신도의 계산 방법은 조건부에 증거가 하나인 경우와 여러 개인 경우로 나누어 생각해 볼 수 있는데, 증거가 여러 개인 경우는 다시 AND로 연결되어 있는지 아니면 OR로 연결되는지에 따라서 Table 1과 같이 분류할 수 있다.

Table1 Certainty Propagation

Type		Expression
Single Premise Rules		$CF(H,E) = CF(E) * CF(RULE)$
Multiple Premise Rules	Conjunctive	$CF(H, E_1 \text{ AND } E_2 \text{ AND } \dots) = \min\{CF(E_i)\} * CF(RULE)$
	Disjunctive	$CF(H, E \text{ OR } E \text{ OR } \dots) = \max\{CF(E_i E)\} * CF(RULE)$
Similarly Concluded Rule	Commutative	CF1 과 CF2 의 순서에 영향을 받지 않음
	Asymptotic	$CF_{COMBINE} = 1$
Multiple Rule		AND / OR 조건부의 혼합

2.2 확신도 계산의 문제점 파악

확신도에 있어서 가설에 대하여 확신을 주는 증거들의 조건부 상태를 계산하는 과정은 일반적인 확률의 조건부 계산과는 다르다. 이것을 설명하기 위하여 다음의 예를 들 수 있다. 주어진 다음의 정보를 가정하고 확신도 계산의 문제점을 파악해 보자

확신도 계산 예;

$$\begin{aligned} P(H_1) &= 0.7 & P(H_2) &= 0.2 \\ P(H_1|E) &= 0.9 & P(H_2|E) &= 0.8 \\ MB(H_1|E) &= 0.666 = CF(H_1|E) \\ MB(H_2|E) &= 0.750 = CF(H_2|E) \end{aligned}$$

주어진 2 개의 방정식에 따르면 확신도 계산으로부터 나온 결과가 비록 $P(H_1) > P(H_2)$ 이고 $P(H_1|E) > P(H_2|E)$ 고 할지라도, H_1 보다는 H_2 의 믿음에 대한 정도가 더 높게 나타난다. 이것은 명백한 모순이다[8].

따라서 확신도는 확률과 다르고 확률 이론으로 기본 바탕을 두긴 하지만, 실제로는 인간의 부정확한 판단과 주관율 흉내내는 것으로 설계되어 있다. 다음의 확신도 계산은 퍼지값에 대한 추론 과정에서 각 규칙의 믿음 정도를 확신도로 점검해 본 결과를 Table 2에 나타낸다.

Table 2 Conjunctive Rule

Rule	IF	Conveyor's allowing Weight > 1000 kg and Conveyor's length of life is long
	THEN	Conveyor's treatment is Designed ($\tau = 0.9$)
	ELSE	Conveyor's treatment is not Designed
Fact	Conveyor's allowing Weight is 1100 and Conveyor's length of life is about 10 (cf = 0.9)	

Table 2 에서 규칙의 조건부에 대한 매칭척도는 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$\gamma = \min\{M(\text{about } 1100 > 1000), M(\text{long}, 10)\} = \min\{1.0, 0.83\} = 0.83$$

그리고 매칭척도와 조건부와 대응하는 사실들의 확신도 중에서 최소값인 β 와의 비교에서 작은 값을 규칙에 부여된 확신도와 곱으로 믿음 정도를 계산한다.

$$\delta = \min\{\beta, \gamma\} * \tau = \min\{0.9, 0.83\} * 0.9 = 0.747$$

여기서, 계산된 만족 정도가 바로 Rule 의 확신도가 된다. 그러므로, 믿음정도 δ 를 아래와 같은 결론을 유도해 낼 수 있다.

Conveyor's treatment is Designed (cf=0.747)

우리는 퍼지값에 대한 확신도의 계산에서 일반 규칙에서 보다 더 많은 설계자의 주관적인 믿음 정도가 들어가는 것을 알 수 있다. 이것으로 확신도를 이용하여 규칙에 대한 믿음 정도를 계산할 때 문제점은 우선 확신도가 확률과 유사하지만 동일하지는 않아서 설계자의 주관적인 값이 많고, 계산 결과 실제의 값과 반대 값이 생긴다. 그리고 확신도는 임계값의

설정으로 추론시 Rule의 채택, 수정, 제거에 이중 작업이 필요하며, 규칙 전체에 대한 확신도 계산은 그 과정이 복잡하고 시간이 많이 소모되므로 결과에 대한 신빙성이 떨어진다.

III. 신뢰도에 의한 추론 방법

3.1 신뢰도(reliability) 계산

확신도에 의한 규칙의 표현에는 조건부 확신도에서 실제값과 반대의 경우가 생기고, 규칙의 전제조건이 많은 경우와 Rule들간의 전체적인 관계를 검토할 경우에는 복잡한 계산 과정을 거치게 되어 오히려 효율이 떨어진다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 규칙을 하나의 시스템으로 파악하고, 조건부들의 관계와 규칙과 규칙에 대한 관계를 AND나 OR 트리 구조로 보는 신뢰도(reliability)를 이용한 새로운 추론 방법을 제안한다. 이 기법은 기존의 방법에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있고, 추론후의 결과에 대한 신뢰성 점검을 통하여 보다 확실한 정보를 얻을 수 있다. 그리고 이 방법은 기존의 방법에 비해 추론 시 단순한 과정에 의해 계산되므로 추론 시간을 줄일 수 있다.

신뢰도 계산은 퍼지값과 확신도를 이용하는 퍼지전문가 시스템의 추론 방법에서 나타난 결점을 보완하고, 보다 효과적인 추론을 하는 것이 그 목적이다. 여기에서 신뢰도에 의한 추론 방법이 확신도와 비교해서 다른 점은 확률값이라는 전제하에서 신뢰도를 계산한다는 것이다. 확률이 포함된다는 것은 계량적인 척도를 사용하는 것을 나타낸다.

확률은 어떤 특정한 사상이 발생할 가능성으로서 크게 두 가지 의미로 부여될 수 있다. 그 첫째는 객관적인 의미로 사용되는 것이고, 둘째는 주관적인 의미로서 사용되는 경우이다. 다음 절에서 신뢰도에 의한 추론 방법을 구체적으로 설명하게 된다.

3.2 신뢰도에 의한 추론 방법

조건부의 증거에 대한 가설의 믿음 정도를 주관적인 확률로 가정하였으며, 이러한 각 조건부의 증거에 대한 확률들에 의해서 규칙의 신뢰도를 계산할 수 있다. 하나의 규칙을 보면 조건부의 증거들은 서로 AND나 OR의 관계에 의하여 연결되어 있는 것을 파악해 볼 수 있다.

3.2.1 병렬과 직렬 구조의 규칙(Rule)

가설에 대한 귀결 규칙들의 집합이 무엇을 할 수 있을지 보이는 한 방법은 한 규칙의 귀결(consequence)인 사실들이 다음 규칙의 가설로써 어떻게 역할을 하는지를 보이는 네트워크를 그리는 것이다. 일단의 가설에 대한 귀결 규칙들이 무엇을 할 수 있는가를 보이는 똑같은 방법은 AND/OR 트리를 사용하는 것이다. 보통의 AND/OR 트리에서처럼 만족된 AND/OR 트리를 통해 얻은 결론들을 기본 사실과 연결하는 것이 가능할 때 결론이 증명된다.

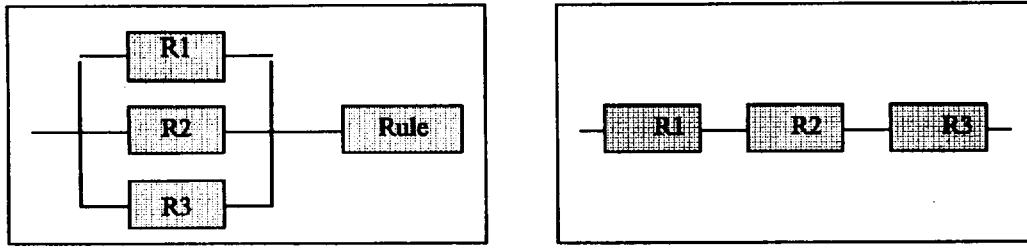


Fig. 1 Parallel and Serial Semantic Rule

그러면 지금부터 병렬과 직렬(AND/OR 트리) 구조로 된 규칙의 신뢰도를 계산하여 추론하는 방법에 대하여 한번 알아보자. 위의 Fig. 1에서 알 수 있듯이 병렬 구조로 된 규칙의 신뢰도는 식 (3.1)과 같이 계산된다.

$$R = 1 - (1 - cf^n)^m \quad (3.1)$$

위의 공식으로 Fig. 1의 규칙에서 병렬 구조의 신뢰도를 구해보면 아래와 같이 계산할 수 있다. 먼저 설계자는 각 조건부와 사실과의 매칭 정도 즉, 주관적인 확률값을 임의로 설정할 수 있다. 이 때 이 주관적인 확률값은 일반 규칙에 대한 가설의 매칭 정도로 볼 수 있고, 퍼지 규칙에 대해서는 퍼지값을 계산하여 이용할 수 있다. Fig. 1의 병렬 구조인 경우의 각 조건부의 확률이 다음과 같다고 하자.

$R1 = 0.64$, $R2 = 0.78$ 그리고 $R3 = 0.95$ 일 때, 신뢰도는 $R = 1 - (1-0.64)*(1-0.78)*(1-0.95) = 0.99604$ 이 된다.

그리고 직렬로 된 경우의 신뢰도(reliability)는 식 (3.2)와 같다.

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (3.2)$$

직렬 구조의 신뢰도인 경우도 마찬가지로 AND Gate의 공식을 이용하여 구해보면, $R = 0.47424$ 가 된다는 것을 쉽게 구할 수 있다. 실제 규칙 기반 시스템의 전체적인 구조를 네트워크로 보면, 직렬과 병렬 구조가 혼합되어 있는 혼합형 형태인 경우가 대부분인 것을 알 수 있다.

AND / OR Tree로 본 규칙 기반 연역적 추론 시스템에서는 전향 추론과 후향 추론이 모두 가능하며, 시스템의 추론 후 결과에 대해서도 설명이 가능하다.

3.2.2 규칙에 대한 신뢰도(reliability)와 추론 방법

지식 표현에서 퍼지값을 사용할 때는 일반 규칙의 조건부와 사실의 값이 정확하게 일치하지 않는 경우에도 추론을 해야하는 상황이 발생한다. 이를 위해 일반 규칙에 대해 다음과 같은 추론 방법을 사용한다. 하나의 규칙을 작은 시스템으로 볼 수 있고 이 시스템의 가동 여부를 규칙의 만족 정도로 놓고 보면 AND/OR Gate로 신뢰도(reliability) 계산을 할 수 있다. 제 1장에 있는 Table 2의 Conjunctive Rule의 경우에 적용해 보았다.

이 경우 조건부의 증거에서 보면 우선 첫번째 $about\ 1100 > 1000$ 에 대한 비교는 퍼지값과 보통값 간의 퍼지 비교이다. 퍼지값 A와 보통값 c 간의 퍼지비교 척도는 식 (3.3)과 같

다.

$$M(A > c) = M(A \geq c) = \int_0^1 \frac{|A^\alpha_{>c}|}{|A^\alpha|} d\alpha \quad (3.3)$$

여기에서, A^α (A의 α -cut) = $\{x | \mu_A(x) \geq \alpha\}$ 이고, $|A^\alpha|$ 는 A^α 의 구간 길이를 나타낸다. 이 공식에 의해 퍼지 비교에 의한 만족 정도는 1.0이다.

$$P(H|E1) = M(\text{about } 1100 > 1000) = 1.0 (= R1)$$

그리고 두 번째 조건부와 사실의 매칭에서 *long*에 대한 10의 비교는 조건부의 퍼지값과 사실의 보통값에 대한 매칭척도이다. 조건부의 퍼지값 A와 사실의 보통값 c에 대한 매칭척도는 식 (3.4)와 같이 계산된다.

$$M(A, c) = \mu_A(c) \quad (3.4)$$

이 경우의 퍼지값은 0.83이 된다.

$$P(H|E2) = M(\text{long}, 10) = 0.83 (= R2)$$

여기서 우리는 규칙의 조건부와 사실에 대해 퍼지 규칙에 대한 확률값을 구할 수가 있었고, 이것을 이용하여 규칙의 믿음 정도에 대한 신뢰도를 다음과 같이 계산해 볼 수 있다. 그러므로 규칙의 조건부는 서로 AND 관계로 연결되어 있으므로 직렬 연결에 의한 신뢰도(reliability) 계산을 할 수가 있다. 직렬 연결에 대한 신뢰도(reliability) 계산은 다음과 같이

$$R = \prod_{i=1}^n R_i, \text{에 의해 } R = R1 \times R2 = 0.83 \text{ 이 된다.}$$

여기서, 계산된 만족 정도가 바로 Rule의 신뢰도가 된다. 이리하여, 위에서 규칙의 매칭척도는 다음과 같은 결론에 도달할 수 있다.

$$\text{Conveyor's treatment is Designed } (R=0.83)$$

이상에서 우리는 신뢰도(reliability)에 의해 규칙을 추론할 때 각각의 Rule들을 AND/OR Gate로 파악할 수 있고, 각 조건부에 대하여 주관적인 확률값을 부여하거나 퍼지 규칙에 대해서는 퍼지값을 계산하고 이것을 신뢰도(reliability) 계산에 활용할 수 있다.

이러한 방식에 의하면 하나의 Rule을 하나의 System으로 파악하고 추론 후 나온 결론에 의해 선택된 하나의 Object를 다시 신뢰성 점점으로 보다 안전한 객체를 선택할 필요가 있다. 신뢰도(reliability)에 의한 추론 방법은 계산 과정이 동일하여 Complexity를 줄일 수 있고, Fuzzy Rule에 대하여도 마찬가지로 방식으로 계산되어 전문가 시스템의 빠른 추론을 효과적으로 수행할 수 있다.

IV. 실험 및 평가

4.1 자동창고의 설비선정 전문가시스템에 대한 실험

자동 창고 입출하장에 쓰이는 반송 설비에는 컨베이어(conveyor), AGV(Auto-Guided Vehicle), STV(Sort Trans Vehicle), 지게차(FORKLIFT) 등이 있다. 이 중에서 컨베이어는 실제로 많이 쓰이고, 가격면에서도 다른 설비보다 더 이익이 되므로 기본 설계 사양으로 널리 사용되고 있다. 또한 컨베이어는 반향 전환 장치인 Load_divert 와 조합하여 설계되므로 시스템의 성능에 맞게 설계되도록 요구되어진다.

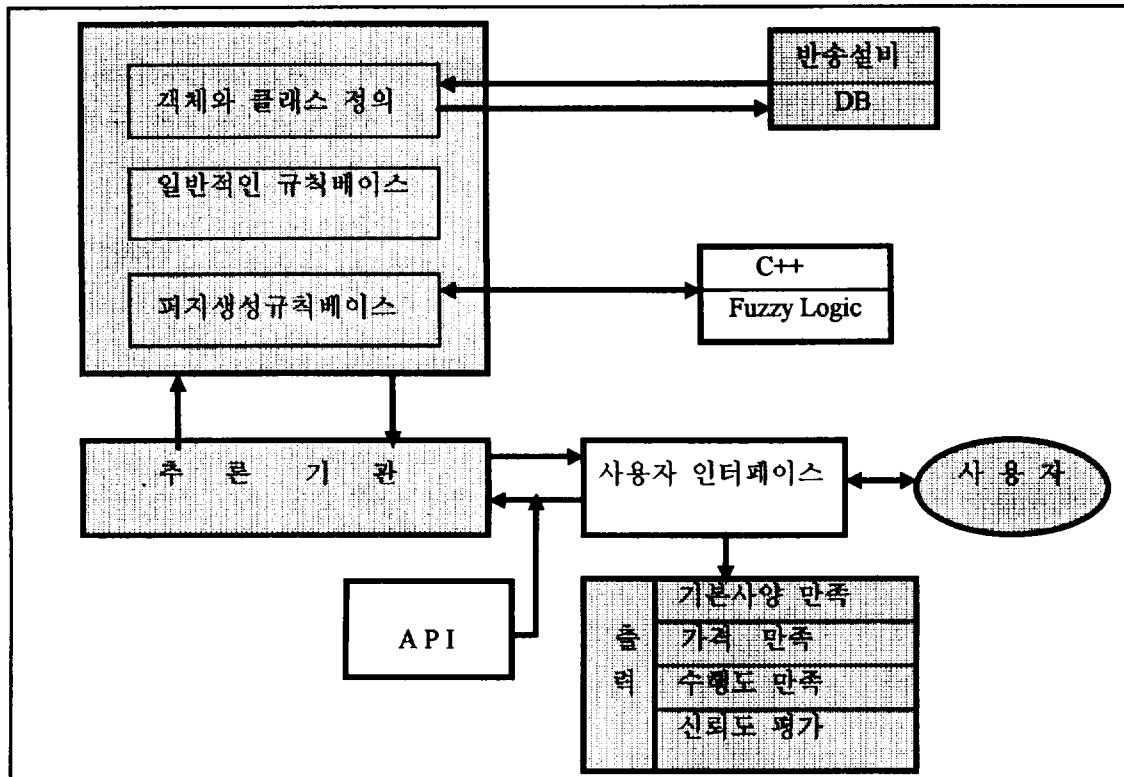


Fig. 2 Flowchart of Equipment Selection Expert System

Fig. 2 는 자동창고의 설비 선정을 위해서 개발된 전문가 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 지식 베이스는 객체와 클래스를 선언하는 언어부와 일반적인 규칙을 선언하는 규칙 베이스와 애매한 표현의 추론을 나타내 주는 퍼지생성 규칙 베이스로 구성되어 있다. 그리고 반송설비에 각각의 기종에 대한 데이터 베이스는 추론 시 객체와 연결된다. 추론 과정을 User 가 중간 중간에 인터페이스를 통하여 설계에 관한 인자들을 입력하거나, 출력되는 메시지를 확인하면서 추론할 수 있다. 그리고 퍼지 생성규칙은 외부 프로그램을 연결하도록 설계하였다.

본 논문에서 사용된 설비 선정 전문가 시스템의 대상으로는 컨베이어를 기준으로 하였다. 실험 대상에 사용된 Rule 의 개수는 30 개이고, 선택할 컨베이어의 기종은 800 개이며, 설비 선정 문제로서 전향추론(forward chaining)을 위주로 설계하되 일부 규칙은 후향추론(backward chaining)으로 설계했다. 기존의 프로그램과는 다르게 본 논문에서 사용한 Nexpert 는 클래스(class)와 객체(object)의 관계를 정의하는 객체 지향의 개념이 도입되었다. 그리고

규칙 베이스는 따로 rule editor에서 경험적 지식을 동적인 정보로 표현하는 절차형 지식 (procedural Knowledge)으로 나타내었다.

Table 3은 본 논문에서 사용한 규칙의 일부를 나타낸 것이다.

Table 3 Rule Edit

Rule1	IF	보관할 제품이 중량물이고, 일평균 물동량이 X_PLT 이상이거나 또는 땅값이 투자할 설비보다 싸다.
	THEN	C/V 나 STV 를 사용
Rule2	IF	Rule1 이 참이고, 작업자의 수가 X 명 이상이다.
	THEN	STV 가 유리하다.
Rule3	IF	Rule1 이 참이고, 작업자의 수가 X 명 이하이거나, 출하방법이 거래선 별
	THEN	C/V 가 적합
Rule4	IF	Rule3 가 참이고, 출하시간이 적거나 물동량이 많다
	THEN	Data Retrieve "c:\data\conveyor.dbf"
Rule5	IF	Rule2 가 참이고, 출하시간의 제약이 없다
	THEN	Data Retrieve "C:\data\stv.dbf"
Rule6	IF	Rule4 가 참이고, PLT 의 폭이 Y_mm 이라고 C/V 의 허용하중이 W_kg 이상
	THEN	C/O <conveyor> First_satisfied_C/V
Rule7	IF	Rule4 가 참이고, PLT 의 폭이 Y_mm 이라고 C/V 의 허용하중이 W_kg <= 1000 이거나, 예상하는 설계 가격이 Z_\$ 이하
	THEN	C/O <conveyor> Chain 형 C/V 로 설계

여기에서 우리는 설계시 기준이 되는 설비의 기본 사양을 우선 만족하는 기종을 먼저 선택하게 된다. 그 다음으로는 수행능력을 만족하는 설비를 찾을 것이다. 식 (4.1)은 설비에 대한 수행 능력을 만족하는 수행도 평가이다.

$$P_{conv} = \frac{L_{PLT} * Q * T_{a_{inter}}}{(V_{conv} + VD_{Load}) / 2 * T_{work}} \quad (4.1)$$

창고는 입출하 작업이 동시에 일어나지 않는 것이 기본이고, 추론시 반드시 입력해야 할 Parameter 는 물동량, 이송 용기의 크기 그리고 입출하 시간이다. 그리고 위 식에서 컨베이어와 Load_divert 가 서로 조합하여 전체 시스템의 수행도를 평가하므로, Load_divert 의 사양에 따라서도 컨베이어의 기종이 달라질 수 있다. 물론 수행 능력이 좋은 제품을 선택하는 것은 중요한 일이지만, 그에 못지 않게 중요한 인자로는 가격이다. 다음은 가격을 평가하는 함수이다[10].

$$C_{total} = NC_{Unit} + \left[\frac{N}{M_c} \right] (C_{soft} + C_{hard}) + C_{fix} \quad (4.2)$$

비용 함수는 각기 다른 여러 가지 요소들로 구성되어 있어서 만일 고정비를 바꾼다든지 하드웨어 컨트롤러를 바꿀 경우 역시 설비의 기종이 달라지고 가격도 그에 따라 조정된다. 그러나 가격의 최소화가 목적이 될 수 없고, 수행도와 동시에 만족하는 기종이 우선

설비 선정의 기준이 된다.

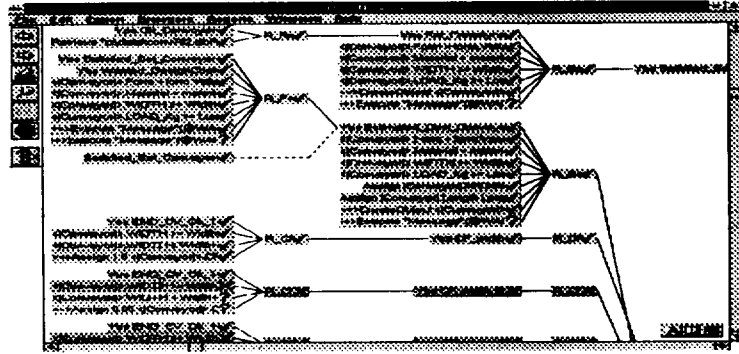


Fig. 3 Nexpert Object 의 Parallel Rule

Fig. 3 은 규칙에 대한 전체 네트워크를 나타낸 것으로 Nexpert 는 한 눈에 규칙의 전체를 보고 추론과정을 확인해 가면서 선택된 규칙의 상태를 볼 수 있다.

4.2 평가

설비 선정시 선택된 설비의 기종에 대한 판정 여부는 우선 수행능력을 만족하여야 하고, 그리고 나서 가격을 만족해야 한다. 그러나 이렇게 해서 얻은 결론을 과연 믿을 수 있는지는 누구도 장담할 수 없으며, 그리고 만족한 결과가 나오지 않았을 경우에 대비하여 우리는 전문가 시스템에 대하여 어떤 확신을 얻으려고 할 것이다. 그래서 전체 규칙에 대하여 신뢰도(reliability) 검증을 해 보아야 할 것이고, 그 중에서 가장 높은 신뢰도를 가진 설비를 선택할 것이다.

여기에서 생성된 객체들은 추론 후 User 의 요구에 의한 최적 대안들이며, 이 값들 중에서 제일 좋은 기종을 선택할 수 있다. 가격이 제일 싸고 수행능력은 높으며, 규칙에 대한 신뢰도가 가장 높은 기종을 우선 선택될 것이다. 전문가 시스템에서는 언제나 불확실한 상황에 대하여 의사 결정을 하기 때문에 확실한 믿음 정도를 알 수 없으므로 자신이 내린 판단에 대한 한번 점검을 받아 볼 필요가 있다. 그러한 방법으로 제기된 것이 확신도에 의한 추론방법이었고, 본 논문에서는 확신도의 문제점을 해결하기 위해 신뢰도를 이용한 새로운 추론방법을 제안하였다. 나온 결과를 다시 한번 표로 분석을 해 보면 다음과 같다. 우선 신뢰도를 이용하기 전의 결과는 아래와 같다.

Table 4 Consequences list not using reliability method in inferencing time

기종	가격	수행도	폭	속도	수명	안정성
*conveyor_659	32051	0.56	2000	15	20	상
conveyor_660	36254	0.43	2000	12	15	중
conveyor_631	39798	0.75	2000	10	15	상
*conveyor_646	46482	0.85	2500	10	25	상
conveyor_655	42264	0.55	2000	10	16	상
conveyor_634	43776	0.55	2500	10	12	상
conveyor_643	42264	0.65	2000	10	20	상
conveyor_636	45203	0.63	25000	15	20	상
conveyor_658	46482	0.68	2500	10	18	상

위의 Table 4 에서 보면, 추론 후 나온 결과에 대하여 판정을 내릴 경우 막연하게 가격이 싸거나 수행도가 높은 설비 기종을 선택할 수 있다. 물론 실무에서는 그렇게 결정하는 것이 바람직할지 모른다. 하지만 위의 결과는 전문가 시스템에 의하여 추론을 해서 얻은 결과이기 때문에, 추론시 규칙들에 대한 신뢰도를 평가해 봄으로써 선택되어진 동적인 객체들이 우리가 선정을 하기까지 얼마나 믿음값을 가지는 지를 분석할 수 있다. 아래의 Table 5 는 그렇게 했을 경우의 결과이다.

Table 5 Consequences list using reliability method in inferencing time

기종	신뢰도	가격	수행도	폭	속도	수명	안정성
*conveyor_631	1.0	39798	0.75	2000	10	12	상
conveyor_634	1.0	43776	0.55	2500	10	12	상
conveyor_643	0.92	42264	0.65	2000	10	20	상
conveyor_646	0.88	46482	0.85	2500	10	25	상
conveyor_655	0.63	42264	0.55	2000	10	16	상
conveyor_658	0.46	46482	0.68	2500	10	18	상

여기에서 알 수 있는 것은 가격을 기준으로 했을 경우 선택했던 기종이 신뢰도 분석을 통하여 다시 검토해 보면 선정이 안될 수도 있다는 것이다. 그 이유는 추론시 입력 파라미터에 대하여 한계값으로 규칙에 대해 패턴 매칭되어 회석되었을 가능성이 높다. 신뢰도에 의한 규칙의 점검을 하지 않으면 시스템의 성능이 저하될 수도 있고, 또는 기준값이상으로 높게 책정되어 잘못하면 낭비를 초래할 수도 있다.그러므로, 위의 경우에는 Conveyor_631 기종이 제일 좋은 값으로 선택될 수 있다.

제안된 방법을 자동창고 입출하장의 설계시 반송설비 선정 문제에 이 규칙을 적용해 본 결과 보다 안정적이며, 전체 자동창고의 통합 시스템과 잘 부합하는 설비를 선정해 주게 된다는 것을 알 수 있다. 그리고 추론시 나온 결과에 대해서 다시 한번 규칙의 신뢰도 계산을 함으로써 추론의 유연성을 보장하게 되어 전문가 시스템에 대한 신빙성을 높일 수 있게 되었다.

V. 결 론

본 논문에서 제시한 알고리즘은 기존의 확신도(certainty factor)에 의한 추론방법의 결점인 믿음정도에 대한 계산상의 모순점을 해결하고, 설비 선정 전문가 시스템에서 보다 효과적으로 결과에 대한 보장을 한다. 즉, 설비의 선정시 가격과 수행도를 동시에 만족하는 기종들에 대하여 한번 더 규칙(rule)에 대한 신뢰도를 점검해 봄으로써 보다 믿을 수 있는 설비를 선택하게 한다. 여기서 신뢰도를 계산할 경우, 하나의 규칙(rule)을 하나의 시스템(system)으로 파악하여 결론을 얻기까지 규칙에 대한 신뢰성을 점검하는 방식이다. 정의에 따르면, 신뢰도(reliability)는 확률값을 전제로 하기 때문에 조건부가 가설에 대한 보증을 주관적인 확률로 보았다.

그리고 기존의 확신도(certainty factor)는 규칙(rule)들이 많아지고, 동적 객체가 많아질 경우 규칙(rule)들간의 관계에 따라 계산 절차가 그때마다 조금씩 달라지고, AND Gate 나

OR Gate 인 경우 작은 값과 큰 값을 찾아야 하기 때문에 노드(node)들을 탐색하는 과정을 거치게 된다. 이에 반해서 신뢰도에 의한 방식은 계산 과정이 동일하고 단순한 절차를 거치므로 Complexity 를 줄일 수 있고, 복잡한 규칙(rule)에 대해서도 구하고자 하는 값을 쉽게 얻을 수가 있다.

추후 연구과제로는 설비 선정 전문가 시스템 이외의 다른 지식 베이스에도 적용해 보아야 하고, 특히 동적인 정보를 다루는 절차형 지식(procedural knowledge)에 대해서도 적용을 해보아야 할 것이다. 그리고 일반 규칙(rule)은 조건부에 대한 확률값을 가정할 때, 믿음에 대한 정도를 확실히 나타내어 주는 값을 찾는 방법에 대해서도 연구를 해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 이건명, 조충호, 이광형, “퍼지값과 확신도를 허용하는 규칙기반 지식표현에서의 추론방법”, 한국전문가 시스템학회지 창간호, pp.43 - 59, 1995
- [2] 이광형, 오길록, 퍼지이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 1991
- [3] 이헌주, 김기태, “퍼지 규칙 추론망에서의 적응적 탐색과 학습”, 정보과학회지, 제 23 권 7 호, pp.734 - 742, 1996
- [4] 한순홍, 이경호, 이동곤, 김은기, 이규철, “범용 전문가 시스템 셸을 이용한 선박의 구조 설계 지원 시스템”, 대한산업공학회지, 제 19 권, 2 호, pp.83 - 93, 1993
- [5] 허문열, 수리통계학, 전영사, 1990
- [6] Basu, A, Hyer, N. and Shtub, A., “An Expert System Based Approach to Manufacturing Cell Design”, *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 10, pp. 2739 - 2755, 1995
- [7] Chv, H.K., Egbelu, P.J. and Wu, C. T., “Advisor: A computer-aided material handling equipment selection system”, *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 12, pp. 3311 - 3329, 1995
- [8] Dorkin, J., Expert System Design and Development, Prentice hall, 1994
- [9] Lee, K. H., Lee, D. K. and Han, S. H., “Object-Oriented Approach to a Knowledge-Based Structural Design System” *Expert system with applications*, Vol. 10, No. 2, pp. 223 - 231, 1996
- [10] Sinriech, D. and Tanchoco, T.M.A., “An economic model for determining AGV fleet size”, *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 6, pp.1255 - 1268, 1992