

# 신뢰성 이론을 이용한 자동창고 설비 선정 전문가 시스템 개발에 관한 연구

이 영 해\*, 정 창 식\*\*

## Development of the Expert System for Selection of Equipment for Automated Warehouses Using Reliability Theory

Lee, Young-Hae, Jeong, Chang-Sik

There exists popular approach using certainty factor (CF) for the development of effective reasoning mechanism under uncertainty in Expert System. However, there is a problem with CF. The CF values could be resulted in the opposite of given conditional probabilities. In this paper, a method for reasoning under uncertainty using reliability theory to overcome the problem is proposed. And the proposed method is used in the development of Expert System for the selection of equipment for automated warehouses.

---

\* 한양대학교 산업공학과 교수

\*\* 현대정보기술(주)

## I. 서 론

전문가 시스템은 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 지식베이스를 구성하고, 이를 이용하여 주어진 문제를 해결하기 위한 도구이다. 그리고 지식과 경험으로 표현된 지식베이스의 효과적인 추론방법은 지식 표현만큼 중요하며 현재 많은 연구와 개발이 진행중인 분야이다. 효과적인 전문가 시스템을 만들기 위해 올바른 지식을 표현하는 방법으로는 규칙 베이스, Semantic net, Frame, Case-Based Reasoning 그리고 Object-Based Shells에 의한 지식 표현 방법이 있으며, 보조적인 수단으로는 Neural Network, Induction Learning 그리고 그 외의 다른 인공지능 기법을 도입하여 전문가 시스템과 함께 이용되어 왔다. 이렇게 구축된 지식베이스를 효과적으로 추론하는 기존의 기법으로는 확신도(certainty factor, CF)를 이용하는 방법이 주로 사용되어 왔다[Dorkin, 1994; Giarratano and Riley, 1989].

또한 전문가 시스템에서는 애매하거나 불확실한 지식을 표현하고 처리하기 위하여 퍼지 기법이 도입되어 사용되고 있다. 지식표현에서 퍼지기법을 사용하면 '길다', '강하다', '짧다', '뜨겁다' 등과 같이 애매한 상황을 퍼지값으로 정량적으로 표현할 수 있다[이건명 외, 1995].

그러나 확신도에 의한 규칙의 표현에는 조건부 확신도에서 실제값과 반대의 경우가 생기고, 규칙의 전제조건이 많은 경우와 규칙들간의 전체적인 관계를 검토할 경우에는 복잡한 계산 과정을 거치게 되어 효율이 떨어지는 경우도 발생한다. 그리하여 전문가 시스템의 본래 기능인 추론에 의해서 보다 빠른 정보를 주지 못하고 오히려 지식 추론보다는 추론과정을 점검하는데 더 많은 시간을 허비하는 경우가 발생한다. 따라서 전문가시스템의 효과적인 추론 방법을 위해 빠른 시간에 원하는 정확한 결과를 도

출할 수 있어야 한다[Dorkin, 1994, Giarratano and Riley, 1989].

본 논문에서는 이러한 문제점을 보강하기 위해 규칙을 하나의 시스템으로 파악하고, 조건부들의 관계와 결론, 규칙과 규칙에 대한 관계를 병렬 및 직렬 구조로 파악하여 전체 시스템의 신뢰도를 계산하는 신뢰성 이론을 이용한 새로운 추론 방법을 제안한다. 이 기법은 기존의 방법에서 발생하는 문제점을 보강할 수 있고, 추론후의 결과에 대한 신뢰도 점검을 통하여 보다 확실한 정보를 얻을 수 있다. 그리고 이 방법은 기존의 방법에 비해 추론을 위한 신뢰도 계산시 간단하고, 단순한 과정으로 계산되므로 추론 시간을 줄일 수도 있다. 또한 제안된 기법을 자동참고의 입출하장에 사용되는 반송 설비 선정을 위한 전문가 시스템에 적용한 결과를 보인다.

생산 및 물류 관련 전문가 시스템의 적용 사례에 관한 기존 연구를 보면, 범용 전문가 시스템 셸을 이용한 선박의 구조설계 지원 시스템에 관한 연구[한순홍 외, 1993], 부품군과 기계군들의 복잡한 연관성을 가진 셸 생산시스템의 설계를 위한 전문가 시스템에 관해서도 연구[Basu, 1995], 물류 장비 선정 및 설비 배치를 위한 전문가 시스템[Chv, 1995; Kusiak, 1988; Fisher, 1984; Malmberg, 1989] 등이 있다.

## II. 확신도를 이용한 추론

### 2.1 확신도

전문가시스템은 종종 문제를 풀어나갈 때 판단을 해야 한다. 정보가 의심스럽거나 불완전하고 정보를 해석하는 지식들 중 일부가 믿을 수가 없을 수도 있다. 이러한 어려움들은 전문가 시스템에 의해 제기되는 일반적인 상황이다. 확신도는 불확실한 증거에 대하여 믿음에 대한

측도를 나타내고 그 범위는 [-1,1]의 값을 갖는데, 믿음의 정도가 크면 1에 가까운 값을 나타내고 믿음에 대한 정도가 작으면 -1이 된다.

따라서, 확신도는 E (증거, evidence)가 H (가설)에 미치는 믿음에 대한 정도를 나타내는 주관적인 값으로 이것은 확률과 비슷하지만 동일하지는 않는데, 이를 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

여기에서 MB는 믿음의 정도 (measure of belief), MD는 불신의 정도 (measure of disbelief)를 나타내며 [0,1] 범위의 값을 부여한다. CF는 확신도로 [1,-1]의 값을 가지게 되나, 확신도는 확률과 비슷한 개념이므로 MD = 0으로 할 경우 그 범위는 [0,1]이 된다[Dorkin, 1994; Giarratano and Riley, 1989]. MB(H,E)와 MD(H,E)는 다음의 식(2.2), (2.3)에 의해 구해진다.

$$MB(H,E) = \left[ \begin{array}{ll} \max \{ P(H/E), P(H) \} - P(H) & / \{ 1 - P(H) \} \quad \text{if } P(H) < 1 \\ 1 & \text{if } P(H) = 1 \end{array} \right] \quad (2.2)$$

$$MD(H,E) = \left[ \begin{array}{ll} \min \{ P(H/E), P(H) \} - P(H) & / \{ - P(H) \} \quad \text{if } 0 < P(H) \\ 1 & \text{if } P(H) = 0 \end{array} \right] \quad (2.3)$$

확신도의 계산 방법은 조건부에 증거가 하나인 경우와 여러 개인 경우로 나누어지는데, 증거가 여러 개인 경우는 다시 AND관계로 연결되어 있는지 아니면 OR관계로 연결되는지에 따라서 <표 1>과 같이 계산될 수 있다[Dorkin, 1994; Giarratano and Riley, 1989].

<표 1> 규칙의 종류와 확신도

규칙의 종류		확신도 계산
Single Premise Rules		CF(H,E) = CF(E) * CF(H)
Multiple Premise Rules	Conjunctive	CF(H, E1 AND E2 AND ...) = min(CF(Ej)) * CF(H)
	Disjunctive	CF(H, E1 OR E2 OR ...) = max{CF(Ej)/E} * CF(H)
Complex Rules		AND / OR 형태 조건부의 혼합

## 2.2 확신도 계산의 문제점

가설에 대한 확률과 조건부 확률, MD 값이 다음과 같이 주어져 있다고 가정하자.

$$P(H_1) = 0.7 \quad P(H_2) = 0.2$$

$$P(H_1/E) = 0.9 \quad P(H_2/E) = 0.8$$

$$MD(H_1/E) = 0, \quad MD(H_2/E) = 0$$

식 (2.1) 과 (2.2)를 사용하여 MB(H<sub>1</sub>/E), MB(H<sub>2</sub>/E), CF(H<sub>1</sub>/E), CF(H<sub>2</sub>/E) 를 구하면 다음과 같다.

$$MB(H_1/E) = 0.666 = CF(H_1/E)$$

$$MB(H_2/E) = 0.750 = CF(H_2/E)$$

위에서 P(H<sub>1</sub>)>P(H<sub>2</sub>)이고 P(H<sub>1</sub>/E)>P(H<sub>2</sub>/E)에 의해 H<sub>1</sub>보다는 H<sub>2</sub>의 확률이 높은 데 반해, 계산된 MB(H<sub>1</sub>/E) = 0.666 = CF(H<sub>1</sub>/E)와 MB(H<sub>2</sub>/E) = 0.750 = CF(H<sub>2</sub>/E)에 의해 증거 E 이 일어난 경우 H<sub>1</sub>보다는 H<sub>2</sub>의 믿음에 대한 정도가 더 높게 나타난다. 이것은 명백한 모순이다[Dorkin, 1994; Giarratano and Riley, 1989].

확신도를 이용하여 규칙에 대한 믿음 정도를 계산할 때 문제점은 우선 확신도가 확률과 유사하지만 동일하지 않아서 설계자의 주관적인

값이 많고, 계산 결과 실제의 값과 반대 값이 생기는 경우가 발생한다. 그리고 확신도는 임계값의 설정으로 추론시 규칙의 채택, 수정, 제거에 이중 작업이 필요하며, 규칙 전체에 대한 확신도 계산은 그 과정이 복잡하고 시간이 많이 소모되므로 결과에 대한 신뢰성이 떨어진다.

### Ⅲ. 신뢰도에 의한 추론

#### 3.1 신뢰도

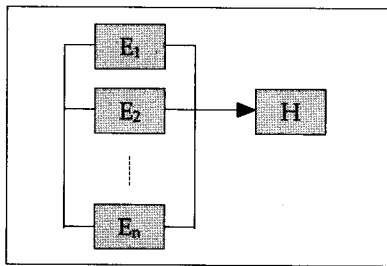
확신도에 의한 규칙의 표현에는 조건부 확신도에서 실제값과 반대의 경우가 생기고, 규칙의 전제조건이 많은 경우와 규칙들간의 전체적인 관계를 검토할 경우에는 복잡한 계산 과정을 거치게 되어 효율이 떨어질 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보강하기 위해 규칙을 하나의 서브 시스템으로 파악하고, 하나의 규칙 내의 조건부들의 관계와 규칙과 규칙에 대한

관계를 신뢰도의 관계로 표현하여 이를 이용한 새로운 추론 방법을 제안한다.

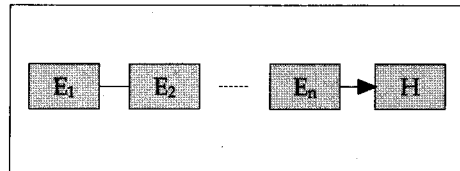
신뢰도는 “어떤 시스템이 의도된 용도에 대하여 주어진 기간 동안 가동될 확률”로 정의된다[박경수, 1993]. 그리고, 확률이란 어떤 특정한 사상이 발생할 가능성을 의미한다. 따라서, 전문가 시스템의 규칙에서의 조건부의 증거, 가설, 규칙 전체에 대하여 믿음 정도를 계량적인 척도인 주관적인 확률로 가정할 수 있다는 이유로 인하여 신뢰도의 개념을 도입할 수 있다고 생각된다.

#### 3.2 신뢰도 계산

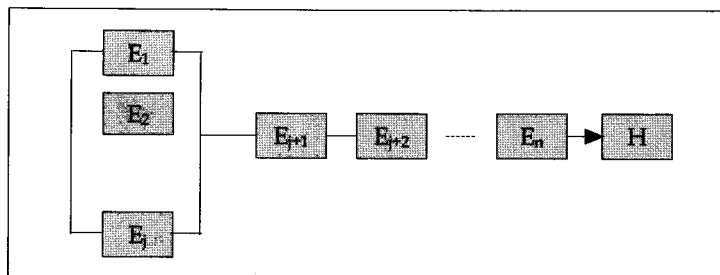
하나의 규칙을 보면 조건부의 증거들은 그림 1에서와 같이 병렬, 직렬 및 혼합형으로 연결되어 있는 것으로 생각해 볼 수 있다. <그림1>에서 알 수 있듯이 병렬 구조로 된 규칙의 신뢰도는 식 (3.1)과 같이 계산될 수 있다.



(a) 병렬형 규칙



(b) 직렬형 규칙



(c) 혼합형 규칙

<그림 1> 형태별 규칙

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (3.1)$$

여기에서  $R_i$  은 규칙내 조건부  $i$ 의 신뢰도이며,  $n$ 은 포함된 조건부의 개수이다.

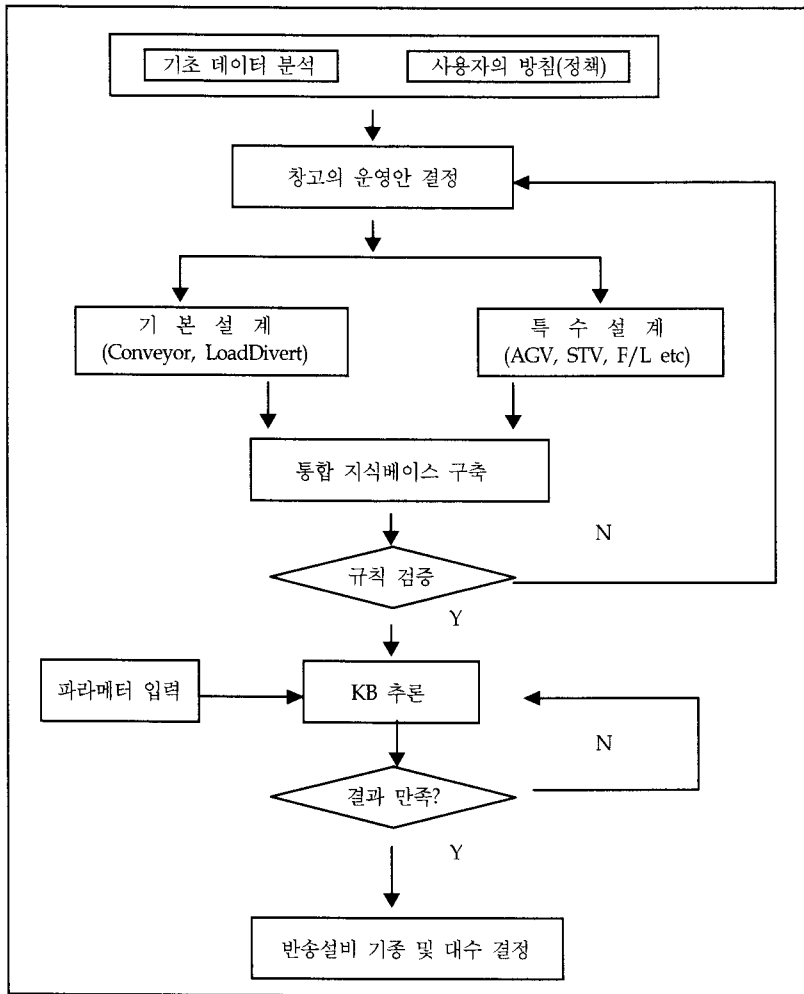
<그림1(b)>의 직렬로 된 경우의 신뢰도 계산을 위한 공식은 식 (3.2)와 같다.

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

혼합형 규칙이 <그림1(c)>와 같이 된 경우의 신뢰도 계산을 위한 공식은 식(3.3)과 같다.

$$R = \{1 - \prod_{i=1}^j (1 - R_i)\} \{ \prod_{i=j+1}^n R_i \} \quad (3.3)$$

실제 규칙 기반 시스템의 전체적인 구조를 네트워크로 보면, 직렬과 병렬 구조가 혼합되어 있는 혼합형 형태인 경우가 대부분인 것을 알 수 있다.



<그림 2> 자동참고 설비 선정을 위한 전문가 시스템의 개발 및 검증 과정

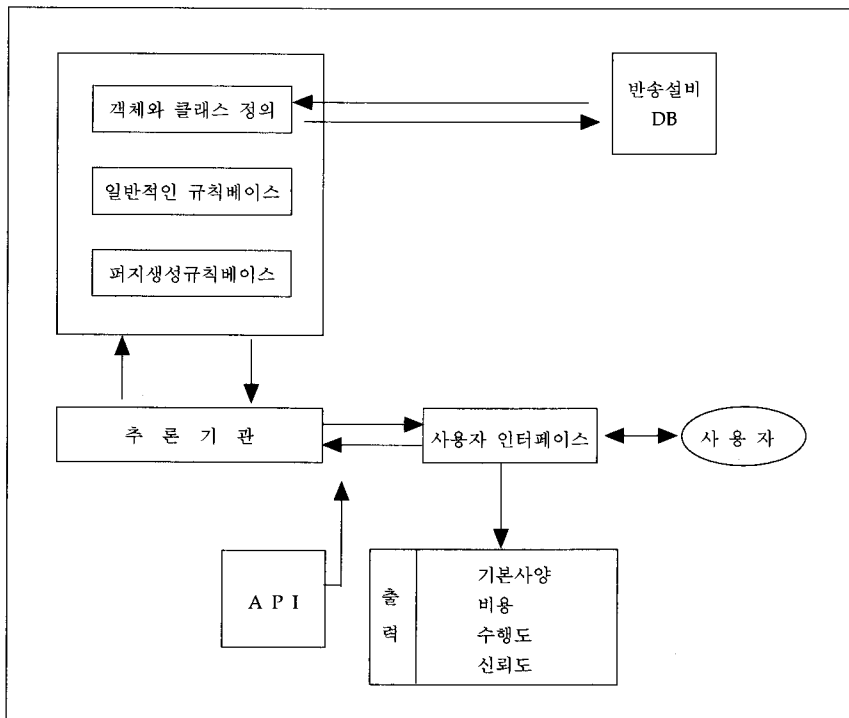
## IV. 자동창고 반송 설비 선정 전문가 시스템

### 4.1 전문가 시스템의 구조

자동창고 입출하장에 쓰이는 반송 설비에는 컨베이어, AGV (Automatic Guided Vehicle), STV (Sort Transfer Vehicle), 지게차 등이 있다. 이 중에서 컨베이어는 실제로 많이 쓰이고, 비용면에서도 다른 설비보다 경제적이므로 기본 설계 사양으로 널리 사용되고 있다. 또한 컨베이어는 반향 전환 장치인 Load\_divert와 조합하여 설계되므로 시스템의 성능에 맞게 설계되도록 요구된다. 입출하장을 설계할 때에는 크게 고려해야 할 인자로서 물동량의 중량과 이송 용기의 크기 그리고 평균 물동량 등이 있으며, 그 외에도 중요한 설계 인자로는 제품의 종류,

거래선의 수, 출하 방법, 그리고 작업자의 수 등이 있다. 일일 평균 출하량과 이송 용기의 크기는 직접적으로 반송 설비 선정에 영향을 주기 때문에 간과할 수 없다. 이러한 설비 선정을 위한 전문가 시스템을 설계하고 나서 추론 후 결과가 실제 시스템에 부합하는지의 여부를 검증해야 한다.

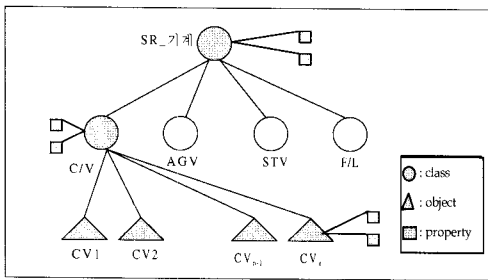
앞의 <그림2>는 전문가 시스템을 구축하는 과정 및 검증 단계를 묘사한 것인데, 여기서 기초 데이터 분석이나 사용자의 정책은 외부 지원 시스템으로부터 입력되는 값들이다. 그리고 이것은 창고의 운영안을 결정하는 중요한 정보이며, 특히 사용자의 방침은 결정적인 변수일 수도 있다. 자동창고의 입출하장은 주로 기본 설계인 컨베이어에 의해 설계가 된다. 그 이유는 컨베이어가 비용면에서나 시스템의 안정면에서 효율이 훨씬 좋기 때문이다.



<그림 3> 개발된 자동창고 설비 선정을 위한 전문가 시스템의 구조

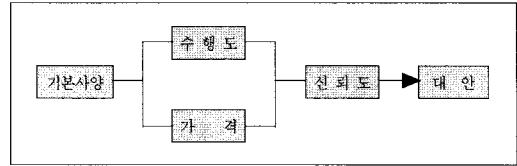
앞의 <그림 3>은 자동참고 설계시 설비 선정을 위해서 개발된 전문가 시스템의 구조를 나타낸 것이다. <그림 3>에서 알 수 있듯이 지식 베이스는 객체와 클래스를 정의하는 선언부와 일반적인 규칙을 선언하는 규칙 베이스와 애매한 표현의 추론을 나타내주는 퍼지생성 규칙 베이스로 구성되어 있다. 그리고 반송설비에 각각의 기종에 대한 데이터베이스는 추론 시 객체와 연결된다. 추론 과정을 사용자가 중간 중간에 인터페이스를 통하여 설계에 관한 인자들을 입력하거나, 출력되는 메시지를 확인하면서 추론할 수 있다. 그리고 퍼지 생성규칙베이스는 외부 프로그램과 연결하도록 설계하였다.

<그림 4>는 자동 참고의 입출하장에서 사용되는 반송 설비의 종류와 그에 따른 동적 객체에 대한 전체 구조를 나타낸 것이다. 각 클래스(class)와 객체(object)에는 속성(property)이 있는데, 이것이 설비를 선정하는 기준이 된다. 실제로 규칙에서는 이러한 객체들의 속성들을 비교하고 매칭하여 결론을 나타내게 된다.



<그림 4> 클래스와 객체의 구조

<그림 5>에서는 설비 선정 전문가 시스템에서 대안 선정을 위한 지식을 규칙으로 표현한 전체 지식베이스의 개략도를 나타낸 것이다. 여기에서 규칙들은 서로 직렬과 병렬 구조로서 연결되어 있다는 것을 발견할 수 있다. 기본 사항을 만족하는 규칙은 다시 여러 개의 작은 규칙들로 나누어 표현될 수 있다. <그림 5>에서 알 수 있듯이 전체 규칙에 대한 신뢰도 검증을 하여 최종 대안을 제시하는 것으로 모든 추론 과정이 끝나 나게 된다.

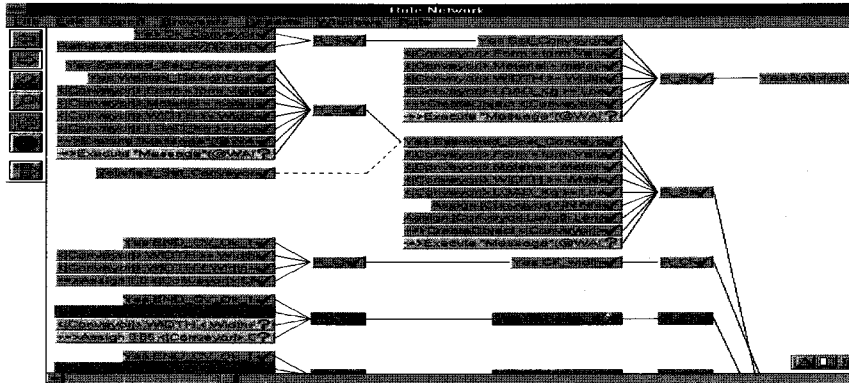


<그림 5> 대안 선정과 관련된 규칙들의 관계

개발된 설비 선정 전문가 시스템에서 다루는 다수 설비 중 본 논문에서는 컨베이어를 대상으로 주로 설명한다. 실험 대상에 사용된 규칙의 개수는 30개이고, 선택할 컨베이어의 기종은 800개이며, 설비 선정 문제로서 전향 추론을 위주로 설계하되 일부 규칙은 후향추론으로 설계했다. 본 연구에서 사용한 Smart Elements S/W[Smart Elements, 1994]는 클래스와 객체의 관계를 정의하는 객체 지향의 개념이 사용되었다. 그리고 규칙 베이스는 따로 규칙 에디터에서 경험적 지식을 동적인 정보로 표현하는 절차형 지식으로 나타내었다. <표 2>는 본 논문에서 사용한 규칙의 일부를 나타낸 것이다.

<표 2> 자동참고 설비 선정 전문가 시스템에서 사용된 규칙들의 예

Rule 1	IF	보관할 제품이 증량물이고, 일일평균 물동량이 X_PLT이상이거나 또는 땅값이 투자할 설비보다 싸다.
	THEN	C/V 나 SIV를 사용
Rule 2	IF	Rule1이 참이고, 작업자의 수가 X명 이상이다.
	THEN	SIV가 유리하다.
Rule 3	IF	Rule1이 참이고, 작업자의 수가 X명 이하이거나, 출하방법이 거래선별이다.
	THEN	C/V가 적합
Rule 4	IF	Rule3가 참이고, 출하시간이 적거나 물동량이 많다
	THEN	Data Retrieve "C:\data\conveyor.dbf"
Rule 5	IF	Rule2가 참이고, 출하시간의 제약이 없다
	THEN	Data Retrieve C:\data\stv.dbf
Rule 6	IF	Rule4가 참이고, PLT의 폭이 Y_mm이상이고 C/V의 허용하중이 W_kg이상
	THEN	C/O <conveyor> First_satisfied_C/V
Rule 7	IF	Rule4가 참이고, PLT의 폭이 Y_mm이상이고 C/V의 허용하중이 W_kg <= 1000이거나, 예상하는 설계 비용이 Z_\$ 이하
	THEN	C/O <conveyor> Chain형 C/V로 설계



<그림 6> 전문가시스템 규칙의 일부

설계시 기준이 되는 설비의 기본 사양을 우선 만족하는 기종을 먼저 선택한 다음, 수행능력을 만족하는 설비를 찾게 된다. 추론시 반드시 입력해야할 파라미터는 물동량, 이송 용기의 크기 그리고 입출하 시간이다. 그리고 컨베이어와 Load\_divert가 서로 조합하여 전체 시스템의 수행도를 평가하므로, Load\_divert의 사양에 따라서도 컨베이어의 기종이 달라질 수 있다.

수행 능력이 좋은 제품을 선택하는 것은 중요한 일이지만, 그에 못지 않게 중요한 인자로는 비용이다. 비용 함수는 각기 다른 여러 가지 요소들로 구성되어 있어서 만일 고정비를 바꾼다든지 하드웨어 컨트롤러를 바꿀 경우 역시 설비의 기종이 달라지고 비용도 그에 따라 조정이 된다. 그러나 비용의 최소화가 목적이 될 수 없고, 수행도와 동시에 만족하는 기종이 설비 선정의 기준이 된다.

<그림 6>은 규칙에 대한 전체 네트워크의 일부를 나타낸 것으로 한 눈에 규칙의 전체를 보고 추론과정을 확인해 가면서 선택된 규칙의 상태를 볼 수 있다.

#### 4.2 실험 및 평가

설비 선정시 선택된 설비의 기종에 대한 판정 여부는 우선 수행능력을 만족하여야 하고, 그리고 나서 비용을 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 검증을 해 보아야 할 것이고, 그 중에서 가장 높은 신뢰도를 가진 설비를 선택할 것이다.

여기에서 생성된 객체들은 추론 후 사용자의 요구에 의한 최적 대안들이며, 이 값들 중에서 제일 좋은 기종을 선택할 수 있다. 비용이 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. 신뢰도를 이용하기 전의 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 신뢰도를 사용하지 않은 경우의 대안들의 결과

종	비용	수행도	폭	속도	수명	인정성
*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



<표 3>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 대안들이 선정되기까지 얼마나 믿음값을 가지는지를 분석할 수 있다. <표 4>는 신뢰도를 사용했을 경우의 결과이다.

<표 4> 신뢰도를 사용한 경우의 대안들의 결과

기종	신뢰도	비용	수행도	폭	속도	수명	안전성
*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 비용을 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 희석되었을 가능성이 높다. 신뢰도에 의한 규칙의 점검을 하지 않으면 시스템의 성능이 저하될 수도 있고, 또는 기준값 이상으로 높게 책정되어 잘못하면 낭비를 초래할 수도 있다. 그러므로, 위의 경우에는 Conveyor\_631 기종이 제일 좋은 값으로 선택될 수 있다.

<표 5> 확신도를 사용한 경우의 대안들의 결과(Chain, Sus)

기종	확신도	비용	수행도	폭	속도	수명	안전성
*conveyor_631	1.0	39798	0.75	2000	10	12	상
conveyor_634	1.0	43776	0.55	2500	10	12	상
conveyor_643	0.85	42264	0.65	2000	10	20	상
conveyor_646	0.85	46482	0.85	2500	10	25	상
conveyor_655	0.32	42264	0.55	2000	10	16	상
conveyor_658	0.32	46482	0.68	2500	10	18	상

신뢰도와 확신도에 의한 결과를 비교해 보기 위해서, 설비 기종의 형태를 Chain형 재질을 Sus로 실험을 하였다. 확신도를 사용하여 얻은 결과를 <표 5>에 나타내었다.

여기에서 신뢰도에 의한 결과와 비교했을 때 크게 달라진 점은 없고, 단지 여러 가지 대안들 중에서 확신도가 신뢰도로 했을 때와 비교하면 그 값이 약간 차이가 난다는 것이다. 만일 여기에서 차선책을 택해 나갈 경우 기종 655와 658은 선택이 안될 가능성이 높다.

<표 6> 신뢰도를 사용한 경우의 대안들(Roller, Sus)

기종	신뢰도	비용	수행도	폭	속도	수명	안전성
*conveyor_499	1.0	42292	0.75	2000	10	12	상
conveyor_502	1.0	53212	0.87	2500	10	12	상
conveyor_511	0.92	44184	0.65	2000	10	20	상
conveyor_514	0.88	55460	0.85	2500	10	25	상
conveyor_523	0.63	44184	0.55	2000	10	16	상

<표 7> 확신도를 사용한 경우의 대안들(Roller, Sus)

기종	확신도	비용	수행도	폭	속도	수명	안전성
*conveyor_499	1.0	42292	0.75	2000	10	12	상
conveyor_511	1.0	44184	0.65	2000	10	20	상
conveyor_502	1.0	53212	0.87	2500	10	12	상
conveyor_514	0.85	55460	0.85	2500	10	25	상
conveyor_523	0.32	44184	0.55	2000	10	16	상
conveyor_526	0.32	55460	0.85	2500	10	20	상

<표 8> 확신도와 신뢰도를 이용한 방법의 비교

구분	확신도 방법	신뢰도 방법
대안수	적당	적당
퍼지 추론	가능	가능
계산 결과	반대값이 생김	반대값이 없음
계산 과정	복잡함	단순함
계산량	많음	적음

<표 6>과 <표 7>은 Roller와 Sus로 실험한 결과이다. <표 6>과 <표 7>을 보면 확신도에 의하

여 점검을 했을 때 우선 대안 수가 많아졌고, 기종 Conveyor\_511의 확신도가 1.0인데 비하여 신뢰도에 의한 값은 0.92로써 비용이 작은 순서로 정렬을 하면 순위가 바뀌게 된다. 위의 실험에서 알 수 있듯이 확신도를 이용한 추론 방법은 신뢰도에 의한 추론 방법에 비해 결과값이 상이해지는 경우가 생기게 된다.

이상을 종합하면 <표 8>과 같이 요약할 수 있다. 추론시 규칙에 대한 믿음 정도를 점검하기 위해 신뢰도라는 새로운 기법을 사용하여, 기존의 방법인 확신도에 의한 추론 방법에서 나타난 실제 값과 반대의 결과값이 나오는 경우의 모순점을 보장하였고, 또한 계산과정이 동일하고 단순한 논리로 전개되므로 계산량도 줄일 수 있다.

제안된 방법을 자동참고 입출하장의 설계시 반송설비 선정 문제에 이 규칙을 적용해 본 결과 보다 안정적이며, 전체 자동참고의 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

전문가 시스템에서 확신도에 의한 규칙의 표현에는 조건부 확신도에서 실제값과 반대의 경우가 생기고, 규칙의 전제 조건이 많은 경우와 규칙들간의 전체적인 관계를 검토할 경우에는 지는 경우가

복잡한 계산 과정을 거치게 되어 효율이 떨어 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 보강하기 위해 규칙을 하나의 시스템으로 파악하고, 신뢰성 이론을 이용한 새로운 추론 방법을 제안하고, 제안된 기법을 자동참고의 입출하장에 사용되는 반송 설비 선정에 적용해본 결과를 제시하였다.

본 논문에서 제시한 방법은 기존의 확신도에 의한 추론방법의 결점인 믿음정도에 대한 계산상의 모순점을 해결하고, 전문가 시스템에서 얻은 결론을 보다 효과적으로 결과에 대한 보장을 할 수 있다. 예를 들어, 설비 선정 전문가 시스템에서 설비의 선정시 비용과 수행도를 동시에 만족하는 기종들에 대하여 한번 더 규칙에 대한 신뢰도를 점검해 봄으로써 보다 믿을 수 있는 설비를 선택하게 한다.

그리고 기존의 확신도에 의한 방법은 규칙들이 많아지고, 동적 객체가 많아질 경우 규칙들간의 관계에 따라 계산 절차가 그때마다 달라지고, AND 관계나 OR 관계인 경우 작은 값과 큰 값을 찾아야 하기 때문에 노드들을 탐색하는 과정을 거치게 된다. 이에 반해서 신뢰도에 의한 방식은 계산 과정이 동일하고 단순한 절차를 거치므로 계산량도 줄일 수 있고, 복잡한 규칙에 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 지식에 대해서도 적용을 해보아야 할 것이다.

## <참 고 문 헌>

- [1] 박경수, 신뢰도 공학 및 정비 이론 회중당, 1993, pp. 43-59.
- [2] 이건명, 조충호, 이광형, "퍼지값과 확신도를 허용하는 규칙기반 지식표현에서의 추론방법," 한국전문가시스템학회지, 창간호, 1995, pp. 734-742.
- [3] 이현주, 김기태, "퍼지 규칙 추론망에서의 적응적 탐색과 학습," 정보과학회지, 23권 7호, 1996, pp. 734-742.

- [4] 한순홍, 이경호, 이동곤, 김은기, 이규철, "범용 전문가 시스템 셸을 이용한 선박의 구조 설계 지원 시스템," *대한산업공학회지*, 19권, 2호, 1993, pp. 83-93.
- [5] 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, 1995, pp. 2739-2755.
- [6] 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, 1995, pp. 3311-3329.
- [7] Dorkin, J., *Expert System Design and Development*, Prentice Hall, 1994.
- [8] Giarratano, J. and Riley, G., *Expert System*, PWS-KENT, 1989.
- [9] *Smart Elements*, NEURON DATA, 1994.
- [10] Kusiak, A. and Heragu, S. S., "KBSES: A knowledge-based system for equipment selection," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 3, No. 3, 1988, pp. 97-109.
- [11] Fisher, E. L. and Nof, S. Y., "FADES: Knowledge-based facility design," *Proceedings of the 1984 Annual Industrial Engineering Conference*, Chicago, 1984, pp. 74-82.
- [12] Malmborg, C. J. B, et al., "EXIT: A PC-based expert system for industrial truck selection," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 6, 1989, pp. 927-941.

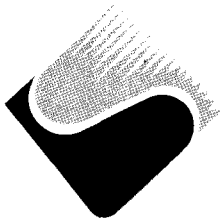
◆ 이 논문은 1998년 5월 15일 접수하여 1차 수정을 거쳐 1998년 12월 4일 게재확정되었습니다.

## ◆ 저자소개 ◆



이영해(Lee, Young-Hae)

고려대학교 산업공학과를 졸업하고 Univ. of Illinois에서 산업공학 전공으로 석사 및 박사학위를 취득하였다. 대우중공업에서 근무하였고, 한국시물레이션학회 부회장, 대한산업공학회, 한국경영과학회 이사, Osaka Univ.와 Purdue Univ.에서의 객원교수 등을 역임하였고, 현재, 한양대학교 산업공학과 교수로 재직중이며 한국시물레이션학회 부회장, 대한설비관리학회 이사로 있으며, 주요 관심분야는 시물레이션, 물류관리, 생산정보시스템, 생산자동화 등이다.



정창식(Jeong, Chang-Sik)

한양대학교 산업공학과를 졸업하고 동 대학원 산업공학과에서 석사학위를 취득하였다. 현재 현대정보기술에 재직중이며 주요 관심분야는 물류관리, 공장자동화, ERP 등이다.