

## 부품가동형태에 따른 고장진단연구

김건호\*

Gun-ho, kim

박주식\*

Joo-sic, park

강경식\*\*

Gyung-sic, kang

### 1. 서론

오늘날 비행기, 자동차, 원자력에너지, 산업설비 등은 자동화 추세에 맞추어 구성 시스템이 복잡하게 연결되어 있으며, 수많은 부품으로 이루어져 있고 높은 안전성 및 신뢰성을 이루어 왔다. 그러나, 이러한 자동화는 가동시 발생하는 고장가능성은 적은 반면에, 고장 발생의 파급 효과는 매우 높은 것으로 나타났다. 따라서 복잡한 구조의 장치 및 설비들에 대한 안전진단 결과를 적절하게 분석하고 관리할 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 안전진단 작업은 여러 가지 정량적, 정성적인 방법을 포함하는 전형적인 분석방법이 필요하다.

일반적으로 시스템을 구성하고 있는 부품의 고장률 및 신뢰도는 내용년수, 또는 사용시간을 기준으로 구하든가, 부품의 사용횟수 혹은 가동거리와 같은 다른 기준으로 구하였다. 실제 상황에서는 시스템의 구성부품은 사용시간 또는 내용년수에 따라 고장이 발생하는 경우와 부품의 특성에 따라 사용횟수라든가, 가동거리와 같은 다른 기준으로 동시에 고장이 발생하는 경우가 있다. 기존연구에서는 시스템을 구성하고 있는 각 부품의 신뢰도 및 고장률을 어느 하나의 기준으로서만 선정하여 시스템의 상황을 분석하였다.

본 연구는 시스템을 구성하고 있는 부품의 고장률이 실시간에 따라 저장되지 않거나, 부품의 고장상태를 정확히 표현하지 못하는 고장률값을 지닌 경우를 대상으로 한 것이다. 이러한 시스템 상황을 정확히 표현하지 못하는 자료를 이용하여 고장진단을 실시한다는 것은 정확한 고장진단을 실시하기에는 어려운 문제이다.

그래서, 이러한 시스템 상황을 충분히 표현하지 못하는 자료를 이용하여 신뢰도 및 고장률을 구하기보다는 부품의 특성에 맞는 고장기준을 설정하여 고장분포함수를 유도함으로써 언어 변수로 고장진단을 실시하는 것이 정확할 수 있다.

또한 부품의 특성이 사용시간에 따라 발생하는 고장률과 사용횟수 또는 가동거리에 따라 발생하는 고장률이 시스템을 구성하고 있는 부품에 동시에 나타날 경우 시스템의 고장진단을 실시하는 방법으로서 각 기준에 맞는 분포함수를 유추하여 실시간에 따라 시스템 상황을 퍼지언어 변수로 표현할 수 있도록 객체지향적 퍼지 FTA 전문가시스템으로 구축한 것이다.

사례연구에서는 K회사의 엘리베이터의 도어 구동부를 대상으로 고장진단을 실시한 것으로, 엘리베이터를 구성하고 있는 부품들의 특성을 크게 두 가지로 분류하여 실시하였다. 하나는 A 부품으로서 사용시간에 따라 고장률이 나타나는 경우, B부품은 사용횟수에 따라 고장률(가령 스위치와 같은 부품)이 발생하는 경우로 구분하여 퍼지언어 변수로 고장진단을 실시하는 전문가 시스템을 설계하였다.

본 연구는 시스템의 고장률 및 신뢰도 값을 구하기보다는, 고장진단 전문가 시스템의 모델의 원리 및 지식-기반 전문가 시스템의 원형 구축에 주안점을 맞추었다.

\* 명지대학교 산업공학과 박사과정

\*\* 명지대학교 산업공학과 교수

## 2. 고장진단 전문가 시스템의 이론

### 2.1 고장예측방법

고장을 예측하는 방법으로는 설계된 시스템의 잠재적인 고장모드(mode)를 찾아내고, 시스템이나 기기의 가동중에 이와 같은 고장이 발생하였을 때 시스템에 미치는 영향을 검토하여 평가하고, 영향이 큰 고장모드에 대해서는 적절한 대책을 세워 고장의 미연 방지를 꾀하는 방법으로서 설계의 평가뿐만 아니라, 제조공정의 평가나 안전성의 평가 등에도 널리 활용되는 고장모드 영향분석(FMEA)과 제품의 고장으로부터 고장 원인의 부품을 예측하는 결함나무(Fault Tree) 분석 기법을 생각할 수 있다. 특히 결함나무 분석 기법은 시스템의 고장을 도해적으로 표현함으로써 시스템의 구조를 충분히 이해할 수 있고, 고장을 연역적으로 찾아감으로써 고장의 형태를 계통적으로 파악할 수 있기 때문에 시스템이나 기계설비, 또는 제품의 구조가 복잡할 수록 유용하게 사용된다.

고장모드영향분석(FMEA)은 상향식(bottom up)으로 고장이 미치는 영향을 분석하고, 결함나무분석(FTA)은 고장발생원인의 인과관계를 하향식(top down)으로 분석한다. Fault Tree의 작성은 문제가 되는 시스템의 고장을 선정함으로써 시작하는데, 선정된 시스템의 고장을 정상사상(top event)이라 한다. 다음 단계는 정상사상을 발생하는 후속사상의 집합을 고려할 때 이 집합 모두의 고장이 현재의 사상을 유발시키는가, 또는 이 집합들 가운데 어느 한 사상의 고장으로도 현재의 고장 사상을 야기 시키는가에 따라 Boolean Algebra의 개념을 이용하여 전자는 AND-gate, 후자는 OR-gate로 연결한다.

다음 단계는 발생할 정상사상에 직접적으로 원인이 될 수 있는 중간사상 및 기본사상들(branch events)을 확인하는 것이다. 적어도 다음과 같은 네 가지의 확률이 존재한다:

- ① 동작신호가 구성요소에 관련한 어떠한 신호도 받아들이지 못하는 경우
- ② 구성요소 자체가 실패를 경험해서 작동하지 못하는 경우
- ③ 구성요소를 적절히 설치하지 못하는 경우 (인간에러)
- ④ 외부 사상들이 발생하여 구성요소의 작동을 방해하는 경우

후속에 속하게 되는 각각의 사상에 대해서도, 정상사상의 전개와 마찬가지로, 직접 관련된 후속사상들을 추출하여 그 게이트(gate)의 형태를 결정하는데, 이와 같은 과정은 추출한 사상들을 더 이상 분석할 수 없는 기본고장(Basic Failure)이라고 불리는 단계까지 계속하여 반복적으로 수행한다.

### 2.2 정성적 FT평가 방법

적절히 구축된 FT의 주요 장점중의 하나는 기본사상들이 어떻게 정상사상을 산출하는데 결합될 수 있는가에 대한 정보를 구체화 해 주는 것이다. 이러한 정보를 추출하는 것을 정성적인 FT 분석 혹은 컷 셋(cut set) 분석이라고 한다. 정성적인 FT 분석은 구축된 FT가 기본사상들을 독립변수로, 중간사상 및 정상사상들을 종속변수로 하는 불(Boolean) 대수 등식의 집합으로 설명할 수 있다는 기본원리에 의해 진행된다. 이러한 등식들은 이때 정상사상이 기본사상들의 곱의 합으로서 표현되도록 불 대수 규칙을 적용함으로써 단순화시킬 수 있다. 이러한 불(Boolean) 합의 각 곱항은 정상사상의 원인이 될 수 있는 집합 즉, 컷 셋을 나타낸다. 이러한 컷 셋은 미니멀 컷 셋(MCS ; Minimal Cut Sets)을 구하기 위해 흡수법칙을 적용하여 더 단순화할 수 있다. 만약 컷 셋은 더 줄어들지 않고 유일한 컷 셋으로 남는다면 그 컷 셋은 최소가 된다.

정성적 FT 분석은 미니멀 컷 셋(minimal cut sets), 미니멀 패스 셋(minimal path sets), 우연 원인 고장(common cause failures)들을 결정하기 위해 실시하는 것이다. 미니멀 컷 셋을 결정하기 위한 주요 방법은 몬테칼로 방법(Monte Carlo simulation)과 확정적 방법(deterministic methods)의 Boolean과 Matrix Argumentation으로 분류한다.

### 2.3 정량적 FT평가 방법

기본사상에 대한 확률이 주어질 경우, FT의 미니멀 컷 셋을 사용하여 정상사상의 발생 확률을 추정할 수 있다. 그러나 이것은 모든 항들이 배제되지 않는 한 컷 셋에 의해 표현된 불(Boolean) 식으로부터 직접적으로 수행할 수 있다.

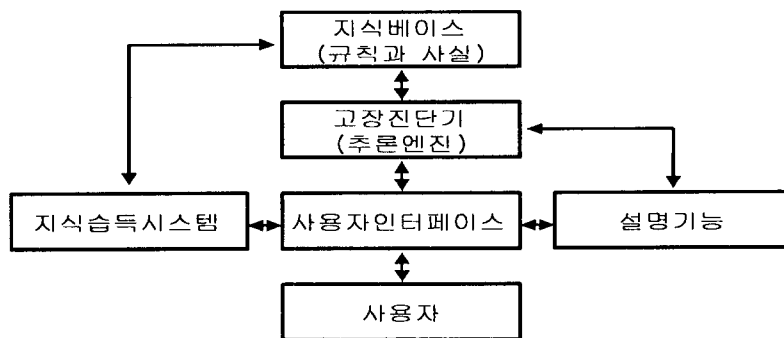
정량적인 FT 분석의 주요 요소는 기본사상에 대한 데이터 베이스를 개발하는 것이다. 이 분석은 데이터의 수집, 데이터의 분석, 적절한 신뢰성 형태에 대한 평가를 포함하는 다단계 과정으로 진행된다.

FT의 정량적 평가의 첫 단계는 기본사상들을 고려하여 정상사상을 구조적으로 표현하는 것으로, 미니멀 컷 셋들을 찾아내는 것이 하나의 방법이다. 만약 모든 기본사상들의 발생률 및 결합의 지속시간을 알고 있다면, 그리고 각 기본사상이 통계적으로 종속성이 있다는 것을 알고 있다면(또는 가정한다면), 이때 정상사상의 통계적 예측치 및 확률을 결정할 수 있다.

고장률의 형(DFR, CFR, IFR)과 고장확률밀도 함수는 별도의 KB(Knowledge Base)에 저장하여 부품의 특성에 따라 고장률의 분포함수를 찾아낸다.

### 2.4 고장진단 전문가 시스템 개요

전문가 시스템은 특정 분야의 관련된 지식 및 능력을 체계적으로 잘 조직하여 컴퓨터 시스템에 입력시켜 해당분야의 비전문가라도 전문가에 상응하는 능력을 발휘할 수 있도록 쉽고도 빠르게 문제를 해결하기 위한 시스템이다. 대체로 이러한 전문가 시스템은 문제 해결에 필요한 지식을 컴퓨터가 받아들일 수 있는 형태로 표현하고 저장하는 단계, 현재 가지고 있는 지식을 이용하여 새로운 지식을 유추하는 단계로 구성되며 이외에 사용자를 위한 인터페이스 기능이 첨가된다. 다음 <그림 2-1>은 고장진단 전문가 시스템의 구성도이다.



<그림 2-1> 고장진단 전문가 시스템의 구성도

#### 2.4.1 고장진단 추론 과정에서 사용하는 여러 지식 수준


고장진단시에는 어떤 장치에서의 예기치 않은 이상현상들(malfunctions)과 이를 유발하는 원인의 관계를 밝히기 위한 지식을 필요로 한다. 그리고 이러한 지식들을 어떻게 표현하고 추

론하느냐에 따라서 여러 형태의 진단 전문가 시스템을 개발할 수 있으므로 이들을 파악하는 것은 효율적인 시스템 개발을 위해 매우 중요하다. 실제로 고장진단 추론 과정에서 진단분야의 전문가는 일반적으로 여러 가지 수준의 지식을 이용한다[8]. 따라서, 여러 형태의 진단 전문가 시스템을 진단 추론 과정에서 사용하는 지식의 관점에서 살펴볼 수 있다.

진단 추론 과정은 세 가지의 지식표현 수준으로 나타낼 수 있다. 가장 하위의 수준부터 연관적 혹은 구조적 지식("Connective" or "Structural" Knowledge), 기능적 혹은 행위적 지식("Functional" or "Behavioral" Knowledge)이 존재하며, 최상위 단계에 패턴 매칭(Pattern Matching)에 적합한 종합적 지식("Compiled" Knowledge)이 위치하게 된다.

종합적 지식은 진단영역 전문가가 보다 효율적으로 문제 해결에 이를 수 있도록 하기 위해 사용하는 문제영역에 대한 경험적 지식(Experiential Domain Knowledge) 즉 휴리스틱이라고 할 수 있다. 이는 진단분야의 문제를 계속적이고 반복적으로 경험함으로써 얻어지는 지식으로 문제해결 과정에서 관찰된 문제 특성이나 원인과 결과에 대한 직접적인 유추정보를 이용함으로써 얻을 수 있다. 숙련된 전문가일 수록 이들 지식에 대한 의존도가 상대적으로 크며 이를 통해 초보 단계의 전문가보다 빠르고, 효율적으로 문제 해결에 이를 수 있다. 문제영역 전문가가 사용하는 가장 상위 단계 지식인 종합적 지식을 이용하여 진단 전문가시스템을 개발할 수 있는데 이를 어떻게 표현하고 어떤 추론 기법을 사용하느냐에 따라 규칙과 사례기반 진단시스템으로 나누어 질 수 있다.

#### 2.4.2 규칙기반진단시스템(Rule-based diagnostic system)

현재까지 연구·개발된 진단 전문가 시스템에서 가장 많이 사용되어졌던 규칙기반 추론을 이용한 시스템이다. 이는 이상현상과 원인간의 직접적 유추 정보를 「IF(조건) THEN(행동)」형식의 성 규칙으로 표현하고자 하는 접근법이다. 즉, 규칙의 (조건) 부분이 관찰된 이상현상과 일치하게 되면 규칙의 (행동) 부분이 다음 테스트 대상으로나 가능한 원인으로 제시되고 이러한 규칙들이 반복적으로 적용함으로써 추론을 하게 된다. 이는 문제영역 전문가로부터 구할 수 있는 지식이 잘 구조화되어 있거나 발생하는 문제의 사례들이 휴리스틱 지식의 범위 내에 존재할 때 매우 유용한 것으로 알려져 있다. 실제로 규칙기반 추론을 이용한 전문가 시스템은 다양한 분야에 적용하고 있으며 이를 대략적으로 정리한 것이 다음 <표 2-1>에 나타나 있다.

<표 2-1> 규칙기반 전문가 시스템의 적용 분야

문제 영역	문제 성격	적용 사례
진 단	고장 부분 진단	의료 진단, 설비고장진단
해 석	문제 해석	음성 이해, 영상 이해
설 계	적절한 시스템 설계	건축 설계, 집적회로 설계
계 획	조건에 알맞는 계획	예산 편성, 사업 계획
상 담	대안 설정 조언	투자 상담

<표 2-1>에서 볼 수 있는 것처럼 진단 분야는 규칙기반 전문가시스템의 중요한 응용 분야이다.

그러나 그 유용성에도 불구하고 개발과 응용에 있어서 여러 가지 한계점들이 지적되고 있는데 그 중 가장 중요한 것이 문제영역 전문가를 통한 지식획득(Knowledge Acquisition)의 문제이다. 지식획득이란 전문가시스템 개발 단계에서 시스템을 개발하는 지식 공학자(Knowledge Engineer)가 문제영역 전문가로부터 해당분야의 필요지식을 파악하고 이를 시스템에 적합한 형

태로 표현하는 일종의 모델구축 과정이라 할 수 있다. 일반적으로 지식획득을 위해 지식 공학자는 문제영역 전문가와의 대화를 시도한다. 그러나 이 과정에서 얻은 모든 지식을 규칙 형태로 표현해야 하므로 자연스러운 지식의 표현이 어렵고, 이로 인해 표현적 불일치 문제 등 실제 전문가가 사용하고 있는 진단 과정이 시스템에 반영되지 못하는 어려움이 존재한다. 또한, 실제 지식을 제공하는 전문가 자신도 그들의 전문지식(Expertise)이나 의사결정 방법을 쉽고 명확하게 설명하지 못하며 이러한 전문가들로부터 지식을 얻기 위해 많은 시간과 비용 등 노력을 투자하지만 지식표현의 일관성과 완벽성의 결여 등 여전히 만족할 만한 결과를 얻지 못하고 있다.

Waterman에 의하면 어느 정도 복잡한 문제를 풀 수 있는 시스템을 개발하는데 5-10년의 시간이 필요하며 이 중 60% 이상이 지식획득에 소요되는 시간들이다. 물론, 이러한 '지식획득의 병목(Knowledge Acquisition Bottleneck)' 외에도 시스템 개발 후 문제영역 전문가가 진단에 관한 규칙을 수정하거나 추가, 삭제하고자 할 때 규칙 내부의 탐색 절차(Search Procedure)와 시스템 내부 구조 등을 완전히 파악해야 하는 유지·보수의 어려움이 있다. 또한 규칙기반 진단 시스템은 과거 문제 해결의 결과를 기억하지 못하므로 동일한 문제 해결에 있어서도 수백 개의 규칙이 새롭게 적용 반복하게 된다. 이 때문에 시스템의 정확성과 계산적 효율성 면에서도 그 유용성에 대한 문제를 제기 할 수 있다.

#### 2.4.3 사례기반진단시스템(Case-based diagnostic system)

규칙기반 접근법의 한계를 극복하면서 종합적 지식을 이용하기 위한 또 다른 접근법이 최근에 새로이 대두되고 있는 사례기반 추론(Case-based Reasoning)을 이용한 시스템, 즉 사례기반 진단시스템이다. 이는 영역전문가에 대한 의존도를 낮추기 위해 이들로부터 직접 지식을 획득하는 것이 아니라 과거의 경험 사례로부터 지식을 자동적으로 획득하려는 접근법이다.

사례기반 추론은 규칙기반 추론과 마찬가지로 휴리스틱 지식을 이용하면서도 실제 인간의 추론과정에 보다 적합하다는 장점 때문에 경계가 명확하지 않고 개념이 잘 정의되지 않은 상황 그리고 완벽하게 이해되지 않았거나 규칙을 추출하기 어려운 분야에서의 문제 해결에 특히 유용할 수 있다. 이러한 사례기반 시스템을 개발하는 과정을 살펴보면 이 시스템의 특징을 보다 쉽게 이해할 수 있다.

Riesbeck과 Schank(1989)는 사례기반 추론의 상대적 장점으로 첫째, 전문 지식을 일련의 규칙으로 표현하는 것보다는 과거 사례들을 사용하여 지식을 전이(轉移)하고 설명하는 것이 더욱 쉽고 둘째, 실제 문제 영역의 지식들이 복잡하여 완전히 규칙으로 명시한다는 것이 비실제적이고 불가능한 반면 과거의 사례들은 이미 주어져 있어 문제 해결에 손쉽게 사용할 수 있다는 것을 지적하였다. 그러나 문제영역의 사례를 보다 많이 저장하여야 시스템의 성능(Performance)을 향상시킬 수 있으므로 방대한 사례베이스(Case-Base)를 필요로 하고 이로 인해 유사한 사례를 탐색하여 적절한 해를 제시하는데 필요한 응답시간의 지연이 해결해야 할 문제다.

### 2.5 Fuzzy 추론

#### 2.5.1 퍼지화(Fuzzification)

기상예보나 고장진단과 같은 상황에서 이용 가능한 지식은 대개 불완전하고 부정확하기 때문에 논리적 추론으로 지원하기에는 적당하지 못하다. 그러나 이러한 지식은 일반화와 근사화를 통해 알지 못하는 것에 대한 예측이나 경험을 요약할 수 있다. fuzzy집합은 불확실성을 고려하는 방식으로써 인간의 주관(애매함:fuzziness)을 0에서 1까지의 실수값(membership function)을 이용하여 정량화 시킨 것이다. 특히 외부상황이 동적으로 변화하여 가중값에 변동이 생기는 경우나 정확한 조건부 확률분포 지식이 부족하여 Basian rule을 적용하기 곤란한 경우에 유용하게 사용될 수 있다.

다루고자 하는 대상물 전체를 지지집합(support set)이라고 하면 전체 공간 Y에 대한 fuzzy

집합(fuzzy set) A는 소속함수(membeship function)라 부르고 식(2.1)과 같이 정의된다. 만일 소속함수값이 1에 근사하다면 fuzzy 집합에 속할 가능성 정도가 매우 크다는 것을 의미하고, 반면에 0에 가까울수록 fuzzy 집합에 속할 가능성은 매우 희박하다는 의미이다. 그러나, 소속함수와 확률값은 서로 다른 개념이다. 모집단내에서 확률값들의 합은 반드시 1이지만, 소속함수는 그러한 조건을 만족할 필요가 없다.

$$Y = \{y\}$$

$$m_A: Y \rightarrow [0,1]$$

$$y \rightarrow m_A(y)$$

여기서, Y : Support set,  $m_A$  : Fuzzy set(membership function)

그런데 fuzzy 집합은 통상의 집합 개념을 포함한 확장개념이므로 fuzzy 집합연산을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$m_A^C(y) = 1 - m_A(y)$$

$$m_{A \cap B} = m_A(y) \wedge m_B(y) \quad \text{for } \forall y \in Y \quad (2.1)$$

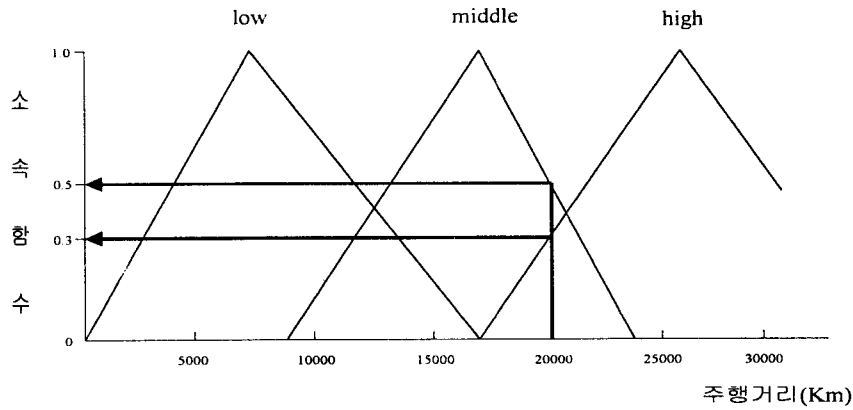
$$m_{A \cup B} = m_A(y) \vee m_B(y)$$

본 논문에서 구성된 전문가 시스템은 많은 작용 변수와 사용자에게 의하여 입력되는 애매한 정보들로 구성되므로 이러한 지식들을 종합하여 효과적인 판단을 내리기 위해서는 확률적 추론방법이 필요하다. 따라서 본 시스템에서는 톨의 구성시 fuzzy 추론방식을 도입하여 각 구성요소들의 정보를 유연하게 변화시킴으로써 판단의 질을 높이고 있다. 예로서, 사례연구에서 논의한 엘리베이터의 주행거리는 다음과 같은 IF-THEN rule로 구성될 수 있다. 위의 룰들을 정량화 하기 위해 소속함수를 이용하여 fuzzy화 한다. 이때의 소속함수는 <그림 2-2>와 같은 정규화된 확률밀도함수로 가정할 수 있다[2].

이 함수는 일반적으로 0에서 1사이의 값을 가지며 편차가 특정 룰에 부합되는 정도를 나타낸다. <표 2-2>은 엘리베이터의 주행거리에 따른 퍼지언어변수를 유추하는 생성규칙이다.

<표 2-2> 주행거리의 생성규칙

Rule 1	If distance-time-value $\leq 5000$ Then fuzzy linguistic variable is VERY LOW
Rule 2	If distance-time-value $> 5000$ & distance-time-value $\leq 10000$ Then fuzzy linguistic variable is LOW
Rule 3	If distance-time-value $> 10000$ & distance-time-value $\leq 15000$ Then fuzzy linguistic variable is MIDDLE
Rule 4	If distance-time-value $> 15000$ & distance-time-value $\leq 20000$ Then fuzzy linguistic variable is MORE OR LESS HIGH
Rule 5	If distance-time-value $> 20000$ & distance-time-value $\leq 25000$ Then fuzzy linguistic variable is HIGH
Rule 6	If distance-time-value $> 25000$ Then fuzzy linguistic variable is VERY HIGH



<그림 2-2> distance-time-value의 소속함수

<그림 2-2>는 <표 2-2>의 규칙들을 소속함수별 distance-time-value를 퍼지화한 것이다. 가령 distance-time-value가 20000이면 50% 정도 'MIDDLE' 이고 30% 정도 'HIGH' 라는 언어적 변수로 변환할 수 있다.

여기서, 생성규칙의 기준인 수치값 및 대응하는 언어변수는 임의적으로 결정한 것이지만, 전문가의 판단을 기준으로 하면 보다 객관적인 결정을 내릴 수가 있다.

### 2.5.2 비퍼지화(Defuzzification)

입력되는 정보를 퍼지화 할 때와는 반대로 시스템으로의 입력은 보통의 수치값이어야 하므로 제어규칙을 통해서 나온 퍼지값을 보통의 수치값으로 변환할 필요가 있다. 이러한 과정을 비퍼지화라고 하며 비퍼지화는 전문가 시스템에서 운영자에게 '점검요함' 이라는 언어값을 이해하여 그에 해당하는 수치의 사용횟수, 사용거리를 결정하는 것과 유사하다.

## 3. FFTAES 고장진단절차

본 연구 모델을 정리하면, 우선 FTA의 구성요소에 대한 자료구조 형태를 다음과 같이 분류하여 퍼지 FTA 전문가 시스템을 실시한다.

- 1) 구성요소의 고장률이 실시간에 따라 데이터베이스가 되지 않거나, 고장률 자료가 시스템 상황을 정확하게 표현하지 못한다고 가정한다.
- 2) 시스템을 구성하고 있는 부품 고장이 사용기간 또는 내용년수의 기준으로 고장률이 나타날 경우는 지수분포를 따른다고 가정한다.
- 3) 시스템을 구성하고 있는 또 다른 부품의 고장은 사용횟수 또는 가동거리를 기준으로 고장률이 나타날 경우는 와이블 분포 혹은 기타 다른 분포함수를 따른다고 가정한다.
- 4) 위 두가지의 경우가 시스템을 구성하는 부품들의 고장형태로 동시에 나타날 경우 다음의 진단절차에 따라 시스템의 고장진단을 실시한다.
- 5) 본 진단 시스템은 실시간(real-time)에 의해서만 적용이 가능하다.

본 연구 모델의 과정을 정리하여 다음과 같이 고장진단절차로 요약하였다. <그림 3-2>는 본 연구에서 제안한 FFTAES 모델의 실시 절차를 나타낸 것이다. 여기서 제시된 언어변수들의 의미가 개인적 해석에 의한 것이지만, 고장진단 분야의 전문가들의 토론을 통하여 관련된 언어 변수들을 정확하게 표현하면, 이러한 주관적 차이를 해소할 수 있다.

그리고 고장진단 분석에 있어서 언어변수법을 성공적으로 적용하기 위해서는 문제 그 자체의 본질뿐만 아니라, 분석자의 숙련이 중요하다.

<단계 1> 시스템을 구성하고 있는 부품들의 특성을 조사하여, 부품들의 특성에 따라 고장률이 데이터베이스가 되어 있는 경우와 그렇지 않는 경우로 분류한다.

<단계 2> 시스템을 구성하고 있는 부품의 고장 상황을 정확하게 표현하지 못하는 자료를 분류한다.

<단계 3> 실시간에 따라 고장률이 데이터베이스가 되어있는 경우에는 KB에 저장한다.

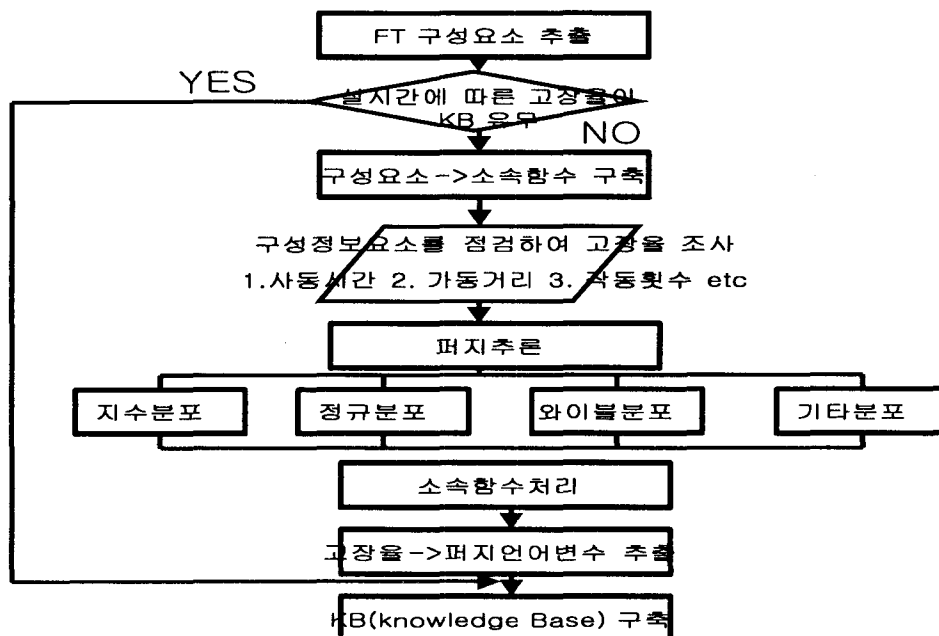
<단계 4> 부품의 고장률이 실시간에 따라 저장되지 않는 구성요소의 고장률 값 및 부품의 고장상황을 정확하게 표현하지 못하는 고장률값을 고장이 발생할 수 있는 가능성 값인 소속함수로 구축한다.

<단계 5> 구성요소의 정보를 고장이 발생하는 기준(예를들어 가동시간, 가동거리, 작동횟수 등)에 따라 고장률을 조사한다.

<단계 6> <단계 3>에서 조사한 고장률을 기준에 맞는 각각의 분포함수로 퍼지추론을 실시한다.

<단계 7> 분포함수에 따라 구한 고장률 값을 퍼지언어변수로 유추한다.

<단계 8> <단계 5>에서 구한 고장률은 신뢰도가 떨어진 값이기 때문에 일반적 고장률과 구별하여 별도의 KB data\_base\_handler에 저장한다.



<그림 3-2> FFTAES 진단절차 흐름도



## 4. 사례연구

### 4.1 엘리베이터의 개요

1997년 말 현재 전국에 설치되어 운행중인 엘리베이터는 약 15만대에 이르고 있는 것으로 집계되어 있다. 안전이 중요시되는 엘리베이터의 고장을 방지하고 운영을 유지할 수 있는 유지·보수 시스템이 요구된다. 엘리베이터의 보수업무는 엘리베이터의 성능을 유지하고 안전을 보장하며 고장을 예방하는 것이다. <표 4-2>은 엘리베이터의 진단항목별 상세 설명을 나타낸 것이다.

일반 사람은 엘리베이터 카에 타기만 할 뿐이기 때문에 사람이나 화물을 싣는 카실의 부분을 엘리베이터라 부르고 있지만, 엘리베이터란 로프식, 유압식, 전동 덤웨이터 등을 포함한 전체를 말하는 것으로, 수십 종류의 기기로 구성되어 있고 복잡하고 정교한 전기기기와 기계구조 및 건축물로 구성된 교통수단이다.

부품의 기능 저하와 노화에 대한 수명예측은 KB에 저장된 자료를 이용하여 결정한다. <표 4-1>은 가동시간, 작동횟수, 운행거리 등에 의해 수리 또는 교체하는 부품을 나타낸 것이다.

<표 4-1> 측정항목별 교체부품

측정항목	교체 부품
주행거리, 주행시간	윤활유, 가이드류, SHEAVE, BEAMPULLY
기동횟수	브레이크부속, Relay contactor
각 층 도어작동횟수	도어 기계관련 장치

<표 4-2> 엘리베이터 주요진단항목

진단항목	상세설명
운전성	출발시간, 가속시간, 감속시간
기계실	제어반 Relay조작상태, Microcomputer
카 내부	OPB상태, 조명점등상태
홀	카 버튼, 각 층의 홀버튼
도어	Open/Close 버튼, Photo, Safety-Shoe
승강로	각종Limit스위치(ULS, DLS, SDSUL..)
합 계	약 150 항목

### 4.2 엘리베이터 도어 구동부의 고장진단

K사가 제작하고 있는 엘리베이터의 고장 부위 중 보수요청이 많은 도어구동부를 대상으로 고장진단을 실시하였다. 우선, 도어구동부에 관한 기본자료는 다음과 같이 분류하였다.

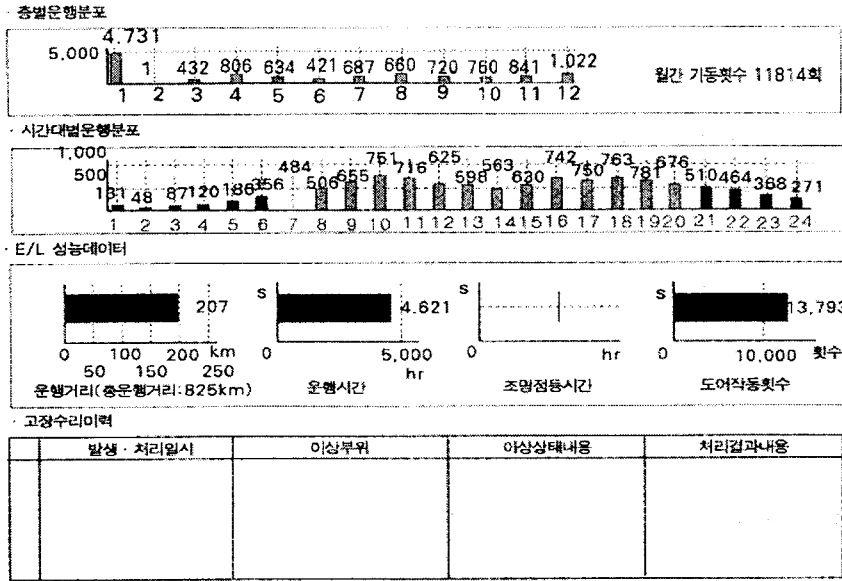
엘리베이터 특성상 안전을 고려하여 Limit 감지부품을 대상으로 실험 자료를 구하였다. limit 장치는 door 2조씩 설치되어 있고, 1회 개폐시 on, off 기능이 각각 2번씩 작동한다. <그림 4-1>은 엘리베이터 시스템의 특성을 분류하여 각 특성에 해당하는 기초자료를 나타낸 것이다.

Limit sensor와 Limit switch는 각각 OMRON사의 WL, E3ML type과 L/M bearing은 SC16UU type으로 하중비(기본하중/실하중)는 4.0이다.

사용자의 오조작 및 안전운행으로 인한 door 개폐수는 2배에서 5배가 이루어진다.

본 연구의 모델을 적용하기 위하여, 엘리베이터의 가동시간이 50,000시간 시점에서 도어구동부의 고장률 자료가 정확하게 설명되어 있지 않거나, 실시간에 따라 고장률 자료가 KB에 저장되어 있지 않다고 가정할 경우, 퍼지언어 변수로 유추하여 고장진단을 실시하고자 한다.

<표 4-3>은 엘리베이터 도어구동부를 구성하고 있는 부품의 고장률 자료를 제시한 것이다.



<그림 4-1> 월간 엘리베이터 운행상황

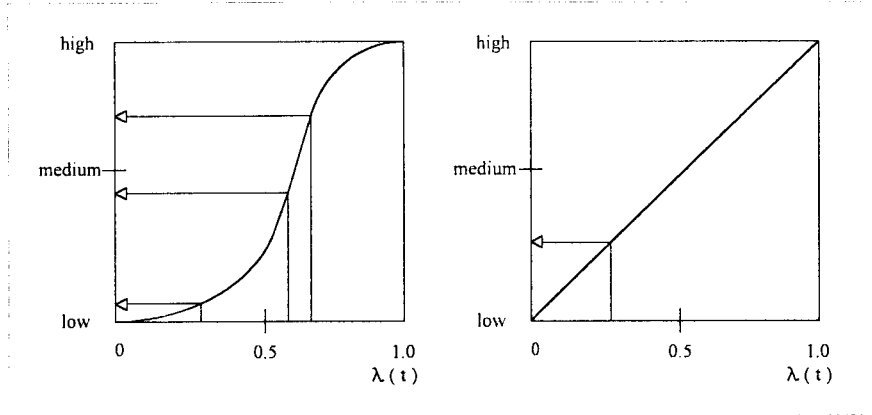
현 가동시간에 대한 고장상황을 <그림 4-2>와 같은 계산도표(Nomograph)를 작성하여 <표 4-3>의 퍼지언어 변수로 유추하였다

<표 4-3> 엘리베이터 도어구동부 고장률값의 퍼지언어변수

구성요소	MIL-HDBK-217E Failure rate/ 10 <sup>6</sup> hr	내구성 및 수명거리	50,000(hr)시점의 누적고장확률(F(t))	퍼지언어변수
Limit sensor	0.02	300만회	0.59	medium
Relay	0.15	500만회	0.78	very high
Limit switch	0.001	500만회	0.28	low
L/M bearing	20.0	3200Km	0.27	more or less high

#### 4.3 결과 및 해석

본 사례분석에서는 엘리베이터를 구성하고 있는 부품 중 bearing과 relay, limit switch, limit sensor를 대상으로 이들 부품의 고장확률값을 0에서 1사이에 두고 퍼지언어변수로 추정하였다. 여기서, 엘리베이터가 고장이발생하는 시점( $\Delta t$ )를 50,000시간으로 하고 고장가능성을 1로 수렴시켜 퍼지언어변수를 추정하였다.



<그림 4-2> 계산도표(Nomograph)

우선, 가동거리와 가동횟수를 비교하여 <그림 4-2>의 두가지 형태의 계산도표를 작성하여 각 구성부품의 특성에 따라 누적고장률값을 구한다.

그리고 limit sensor와 switch등의 각 구성부품의 고장률값과 시간을 각 고장확률밀도 함수에 따라 구한다. limit sensor는  $F(t)=1-e^{-\lambda t}$ 에 의해 0.59값을 찾아 <그림 4-2>의 왼쪽 도표에 의해 퍼지언어변수를 추정하고, bearing은 오른쪽 도표에 의해 퍼지언어변수값을 추정하였다.

따라서, 고장가능성을 1로 수립시켜 퍼지언어변수를 추정한 값이 좀더 정확한 퍼지언어변수 값을 추출할 수가 있다.

## 5. 결론

본 연구는 시스템을 구성하고 있는 부품들의 고장률이 실시간에 따라 저장되지 않거나, 자료가 시스템 상황을 정확히 표현하지 못하는 경우를 대상으로 한 것이다. 이러한 부족하거나 부정확한 자료를 이용하여 고장진단을 실시한다는 것은 정확한 고장진단을 실시하기에는 어려운 문제이다.

따라서, 본 연구는 이러한 부족하거나 부정확한 자료를 이용하여 신뢰도 및 고장률을 구하기보다는 부품의 특성에 맞는 고장기준을 설정하여 고장분포함수를 유도함으로써 언어변수로 고장진단을 실시하였다.

사례연구에서 실시한 고장률 자료는 데이터 자체가 시스템을 구성하고 있는 부품들의 고장 상황을 정확하게 표현하지 못하는 값으로서 언어변수로 표현하는 것보다 정확성이 떨어진다는 가정하에 고장률 값을 퍼지언어변수로 추론하는 과정을 나타낸 것이다.

이러한 불확실한 기본사상의 고장 가능성 및 중간사상의 고장 가능성 값은 확정적으로 주어진 사상의 고장률 값과 구별하기 위하여 별도의 KB를 구축하여 저장시켜 둔다. 따라서 객체지향 전문가 시스템으로 FTA를 구축한 경우 이러한 KB는 사용자에게 보다 정확한 고장안전 진단 자료를 제공할 수 있다.

그리고, 본 연구 모델은 객체 지향적 퍼지 FTA 전문가 시스템을 구축하는데 필요한 기술 및 데이터 베이스의 부족으로 FFTAES 모델의 원리 및 설계 원칙에만 주안점을 두고 설계하였다.

앞으로의 연구방향은 시스템을 구성하고 있는 각 부품의 고장자료가 각 기준에 따라 여러 가지 분포함수로 동시에 나타날 경우 그 상위사상에서 통합된 분포함수로 유도하여 고장진단을 실시할 수 있는 방법을 모색할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 김길동, 조 암, "퍼지집합에 의한 FT분석 및 신뢰성 분석," 산업안전학회지, Vol.12, No.3, 1997, pp.155-160.
- [2] 김성호, 박태홍, et al., "Fuzzy logic 제어기의 구성", 한국자동제어 학술회의 논문집, 1989.
- [3] Binaghi, E., "A Fuzzy Logic Inference model for a rule-based system in medical diagnosis", Expert Systems, Vol.7, No.3, 1990, pp.134-141.
- [4] Brown, C. B., "A Fuzzy Safety Measure," *J. Eng. Mech. Div.*, Vol.5, 1979, pp. 855-872.
- [5] Buckley, J.J., "A Fuzzy Expert System", Fuzzy Sets and Systems, Vol.20, 1986, pp.1-16.
- [6] Buckley, J.J. and Tucker, D., "Extended Fuzzy Relations: Application to Fuzzy Expert System", Int. J. of Approximate Reasoning, Vol.1, 1987, pp.177-195.
- [7] Cate, C. L., J. B. Fussel, "BACFIRE-A computer program for common cause failure analysis," The University of Tennessee, NERS-77-02, 1977.
- [8] Chandrasekaran, B. and M. Sanjay, "Deep versus Compiled Knowledge Approaches to Diagnostic Problem-solving", Int. J. Man-Machine Studies, Vol.19, 1983, pp.403-423.
- [9] Chen, L. W., M. Modarres, "Autonomous decision making expert system for fault administration," Published G2 Success Stories, 1990; Gensym Corporation.
- [10] Edward R. Dougherty, et al., "Mathematical Methods for Artificial Intelligence and Autonomous System", Prentice-Hall International Editions, 1988.
- [11] Elliot, M., "Knowledge-based systems for reliability analysis," *Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.*, 1990, pp.481-489.
- [12] \_\_\_\_\_, W. E. Vesely, "A new methodology for obtaining cut sets for fault trees," *Trans. Amer. Nuc. Soc.*, Vol.15, 1972, pp.794-801.
- [13] Garriba, S., E. Guagnini, P. Mussio, "An expert system for tree construction," *Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.*, 1985, pp.82-88.
- [14] Gruber, T., "Learning Why by Being Told What : Interactive Acquisition of Justification", IEEE Expert, Aug. 1991, pp.65-75.
- [15] Hayes-Roth, F., D.A. Waterman and D.B. Lenat, "An Overview of Expert Systems", in Building Expert Systems, Addison-Wesley, Inc., 1983.
- [16] Henley E. J., H. Kumamoto, "Reliability Engineering and Risk Assessment," Prentice-Hall, 1981.
- [17] Johnson, P.E., I. Zuakernan and S. Garber, "Specification and Expertise : Acquisition for Expert Systems", Int. J. of Man-Machine Studies, Vol.26, 1987, pp.161-181.
- [18] Karwowski, W., A. Mital, "Application of approximate reasoning in risk analysis," Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors, 1986, pp.227-243.
- [21] McCormick, N. J., Reliability and Risk Analysis, Academic Press, New York, 1981.
- [24] Poucet, A., "STARS-Knowledge based tools for safety and reliability analysis," *Reliability Engineering and Safety*, Vol.30, No.1, 1990, pp.379-397.
- [26] Salem, S. L., G. E. Apostolakis, D. Okrent, "A computer-oriented approach to fault tree construction," EPRI NP-288, Electric Power Research Institute, 1976, Nov.
- [27] Slade, S., "Case-Based Reasoning : A Research Paradigm", AI Magazin, Spring, 1991.
- [28] Singer, D., "A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.34, No.2, 1990, pp.145-155.
- [29] Watermann, D.A., "A Guide to Expert Systems", Addison-Wesley publishing, 1985.
- [30] Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets", Information control Vol.8, 1965, pp.338-353.