

퍼지 FTA를 이용한 설비고장진단 시스템 The plant fault diagnostic system using fuzzy FTA

박주식*

Joo-sic, park

김길동**

Gil-dong, kim

강경식***

Gyung-sic, kang

Abstract

This study deals with the application of knowledge engineering and a methodology for the assessment and measurement of reliability, availability, maintainability, and safety of industrial systems using fault-tree representation.

A fuzzy methodology for fault-tree evaluation seems to be an alternative solution to overcome the drawbacks of the conventional approach (insufficient information concerning the relative frequency of hazard events). To improve the quality of results, the membership functions must be approximated based on heuristic considerations.

The purpose of this study is to describe the knowledge engineering approach, directed to integrate the various sources of knowledge involved in a FTA.

1. 서론

FTA(Fault Tree Analysis)는 시스템의 가동단계에서 발생할 수 있는 고장사상들의 원인이 되는 부품고장 및 인간 에러들을 탐색하기 위한 전형적인 연역적 절차이다. 따라서 이러한 고장의 관련성들을 특성화하고 평가할 수 있도록 규명한 고장들을 FT의 트리 구조로 배열할 수 있다. FT를 평가하는 방법으로서 지금까지 순차적 프로그래밍(Procedural Programming) 방법을 많이 사용하여 왔으나, 이러한 순차적 접근방법은 FT의 구축·분석·평가를 각 단계별로 프로그래밍을 실시해야 하고 프로그램을 유지보수할 때 많은 어려운 점을 내포하고 있다. 그리고 여러 가지 다른 특성들 간에-

본 논문은 1999년 충청대학 학술연구비에 의해 수행되었음.

* 명지대학교 산업공학과 박사과정

** 충청대학 품질관리과 부교수

*** 명지대학교 산업공학과 교수

서도 순차적 접근방법은 하나의 모듈을 추가하거나 삭제하는 경우 대부분 전체 프로그램을 수정하여야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Patterson-Hine과 Koen은 객체지향 프로그래밍(OOP : Object Oriented Programming) 구조로 FTA를 구축하였다.

본 연구는 FFTA(Fuzzy Fault Tree Analysis) 전문가 시스템을 설계하기 위하여 FFTAES모델 중 구성요소들의 자료구조가 확정적인 값 및 불확실한 값이 동시에 주어지는 경우에 대해 퍼지이론을 도입하여 정량적으로 분석하였다. 그리고 본 모델은 FTA 방법에 포함된 여러 가지 지식자료들을 객체지향적으로 구현하기 위한 방향을 제시하는데 있으며, 모델의 원리, 설계원칙들에 주안점을 맞추었다.

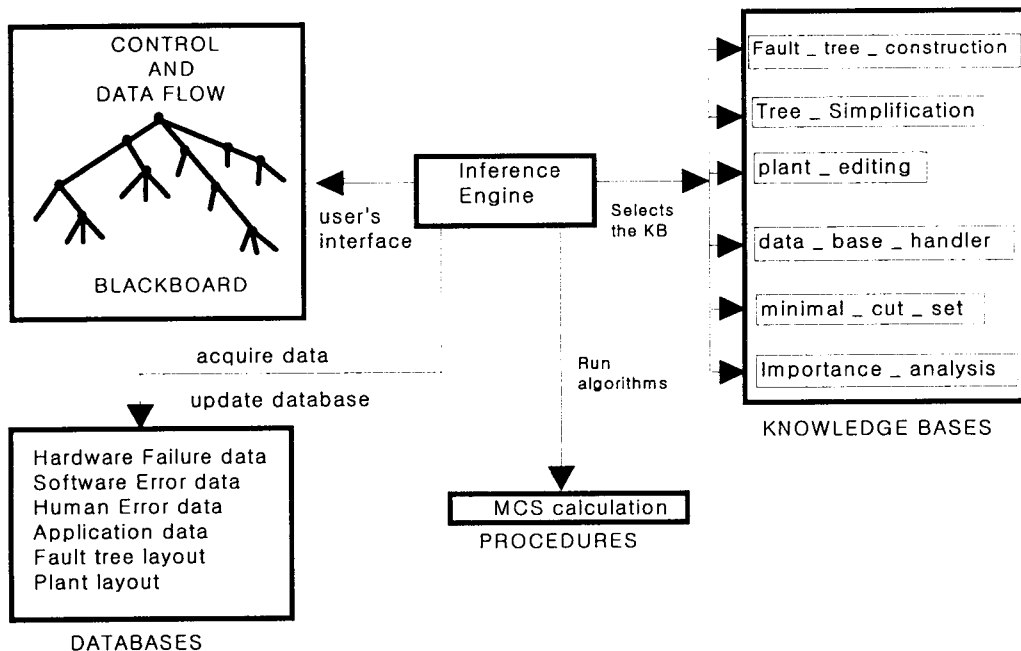
이에 본 연구는 시스템의 설계단계 뿐만 아니라, 시스템의 가동·유지·보수·수리 시에도 생산현장에서 비전문가가 설비의 고장안전진단을 수행할 수 있도록 하는데 목표를 두었다.

2. 본 론

FFTAES 지식 기반은 블랙보드 구조(blackboard architecture) 상에 구성할 수 있으며, 일반적으로 블랙보드 구조는 다음과 같은 내용을 제공한다.

- 여러 가지 자료들로부터 지식을 통합한다.
- 문제를 분해시킬 수 있도록 여러 수준으로 구현한다.

이러한 블랙보드 시스템은 객체를 정의하고, FTA에 필요한 전략들을 조절한다. 다음 그림 1은 FFTAES의 구조를 나타낸 것이다.



<그림 1> FFTAES Architecture

2.1 고장 가능성을 이용한 FFTA 모형

2.1.1 고장 가능성

고장 확률 대신에 시스템내의 각 구성품의 고장 가능성을 결정하는 것으로, 퍼지집합은 이러한 고장 가능성을 규명할 수 있다. 따라서 고장 가능성을 규명함으로써, 부정확한 고장 자료를 설명하는 것이 가능하다.

식 (1)은 기본사상 E_j 를 고장 가능성 $\tilde{\pi}(E_j)$ 로 나타낸 것이다. 그리고 기본사상들은 AND, OR 논리기호로 연관시키는 것이 가능하다.

$$E_j \rightarrow [\tilde{\pi}(E_j) : \{0,1\} \rightarrow [0,1]] \dots\dots\dots (1)$$

2.1.2 고장확률 대 고장 가능성간의 관계

확률과 가능성들간의 관련성과 아래의 가정들을 기초로 하여 확률과 가능성간의 변환을 도입하고자 한다.

- 불가능한 고장에서는, 고장 확률과 가능성은 둘다 = 0 이다.
- 명확한 고장에서는, 고장 확률과 가능성은 둘다 = 1 이다.
- 단조로운 고장 확률 증가에서는, 가능성은 증가한다.

확률 $P(E_j)$ 와 가능성 $\tilde{\pi}(E_j)$ 간의 관련성을 식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$\tilde{\pi}(E_j) = 1 + \left(\frac{1}{10}\right) \times \log_{10} P(E_j) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{where, } \tilde{\pi}(E_j) = 0 \text{ if } 0 \leq P(E_j) \leq 10^{-10}$$

식 (2)를 이용하여 확률들과 가능성들간의 관련성을 표 1과 같이 나타내었으며, 표 2는 앞의 세가지 조건들을 모두 만족한다. 그리고 표 2는 사용자의 사용 여부에 따라 구간들을 확장시킬 수 있다.

2.2 FFTA 전문가 시스템

본 연구는 FTA 적용시 데이터의 이용도에 따라 그리고 특수한 지식을 처리하는

과정에 따라 적절한 방법을 선택할 수 있다고 가정한다.

즉, 불확실성이 시스템에 적게 포함될 경우는 전통적 FTA 접근방법이 적용하기가 편리할 것이며, 반대로 불확실성이 많이 포함되어 있는 경우는 퍼지접근방법이 바람직할 것이다. 우선 본 연구에서는 고장 가능성을 이용한 퍼지 FTA 모형을 제시하여 확정적인 자료와 불확실하고 모호한 FT 자료가 동시에 주어질 경우의 불확실성 분석을 실시하였다.

개별적 서술어(퍼지언어변수)들을 표 2로 확장시킨 것과 표 1의 가능성 함수값을 대치시키면 표 3과 같은 <퍼지언어변수 - 고장 가능성 - FFTAES 제안 값>으로 대치시킬 수 있다. 즉, 퍼지언어변수에 해당하는 값을 고장 가능성으로 대응시키고, 이러한 고장 가능성에 대응하는 고장확률 값을 본 모델의 FFTAES 값으로 제안하여 이 값의 비율로 고장진단을 실시한다.

<표 1> Possibility ($\tilde{\pi}(E)$) and probability ($P(E)$)

Point	$\tilde{\pi}(E)$	Interval of $\tilde{\pi}(E)$	$P(E)$
1	0.00	(0.00, 0.05)	0.00
2	0.10	(0.05, 0.15)	1.00×10^{-9}
3	0.20	(0.15, 0.25)	1.00×10^{-8}
4	0.30	(0.25, 0.35)	1.00×10^{-7}
5	0.40	(0.35, 0.45)	1.00×10^{-6}
6	0.50	(0.45, 0.55)	1.00×10^{-5}
7	0.60	(0.55, 0.65)	1.00×10^{-4}
8	0.70	(0.65, 0.75)	1.00×10^{-3}
9	0.80	(0.75, 0.85)	1.00×10^{-2}
10	0.90	(0.85, 0.95)	1.00×10^{-1}
11	1.00	(0.95, 1.00)	1.00

<표 2> Membership function of the linguistic representation

퍼지언어변수	소 속 합 수						
high(높다)	0	0	0.1	0.3	0.7	0.9	1
medium(중간)	0	0.2	0.7	1	0.7	0.2	0
low(낮다)	1	0.9	0.7	0.3	0.1	0	0
unknown(불가항력적 상태)	1	1	1	1	1	1	1
undefined(정의를 못내림)	0	0	0	0	0	0	0
more or less high(다소 가능성이 높음)	0	0	0.3	0.5	0.7	0.7	1
very high(매우 높음)	0	0	0	0.1	0.5	0.8	1
very very high(극히 높음)	0	0	0	0	0.6	0.9	1
likely(가능성이 있음)	0	0.1	0.5	0.7	0.9	1	1
unlikely(가능성이 없는)	1	1	0.9	0.8	0.5	0	0
not likely(가능성이 없을 것 같음)	1	1	0.5	0.3	0.1	0.1	0

<표 3> FFTAES value

순위	퍼지언어변수	고장 가능성 값	FFTAES 제안 값
1	undefined	0.00	0.00
2	not likely	0.10	1.00×10^{-9}
3	unlikely	0.20	1.00×10^{-8}
4	low	0.30	1.00×10^{-7}
5	medium	0.40	1.00×10^{-6}
6	likely	0.50	1.00×10^{-5}
7	more or less high	0.60	1.00×10^{-4}
8	high	0.70	1.00×10^{-3}
9	very high	0.80	1.00×10^{-2}
10	very very high	0.90	1.00×10^{-1}
11	unknown	1.00	1.00

2.2.1 불확실성 분석의 진단절차

단계	처리내용
1	표 2에서 표현한 고장요인에 대한 언어적 표현의 소속함수를 표 3의 퍼지언어변수관과 같이 소속정도가 높은 순위로 정리하여 퍼지언어변수를 재배열한다.
2	전단계에서 재배열한 퍼지언어변수를 표 1의 가능성 함수 값과 대응시킨다.
3	고장 가능성에 해당하는 고장확률 값 $P(E)$ 를 FFTAES에서 제안하는 값으로 정하고 표 3과 같이 작성한다.
4	FFTAES에서 제안한 값의 순위로 고장진단을 실시하며, 이 값으로 고장률을 계산한다.
5	전단계에서 구한 고장률은 고장 가능성에 관한 고장률이기 때문에 일반적 고장률과 구별하여 별도의 KB data_base_handler에 저장한다.

그림 2는 본 연구에서 제안한 FFTAES 모델의 실시 절차를 나타낸 것이다.

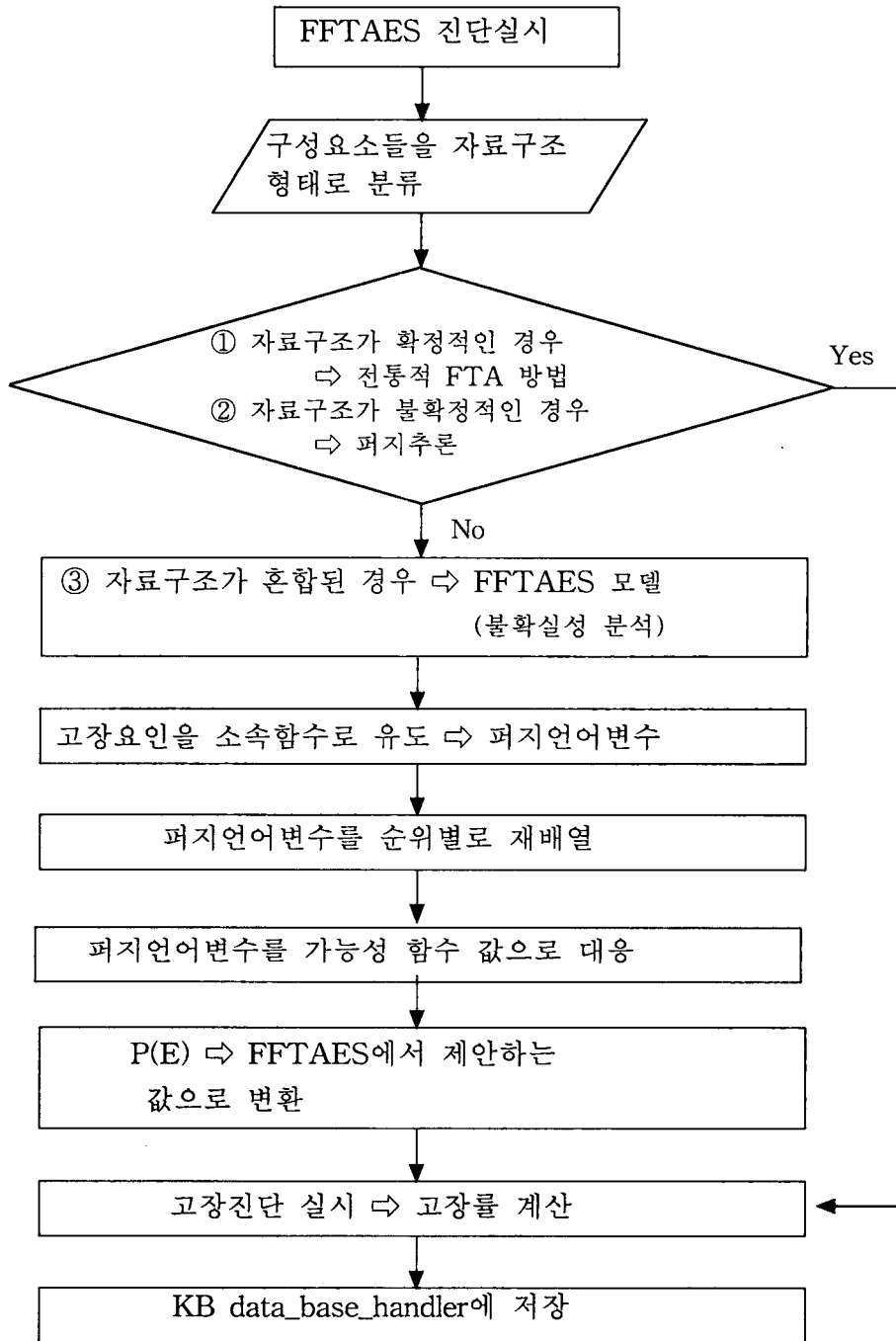
불확실성 분석의 연구에서는 고장인자에 대한 표현을 하나의 특정한 인자로 변환시키는 것이 아니라, 퍼지언어변수로 규정하며 각 인자의 퍼지변수 값을 근사추론법에 의해 합성함으로써, 불확실한 정보를 다룰 수 있는 방법을 제시하였다.

여기서 제시된 언어변수들의 의미가 개인적 해석에 의한 것이지만, 고장진단 분야의 전문가들의 토론을 통하여 관련된 언어변수들을 정확하게 표현하면, 이러한 주관적 차이를 해소시킬 수 있다.

3. 사례연구

표 4는 KRE443 로봇 핸드 부위 중 Clamp Linear Motion Assembly를 구성하고 있는 부품의 고장률 자료이다. Bearing과 Clamp는 유사설비로부터 고장률 자료를 얻을 수 있지만, Shaft의 경우 고장률 자료를 구하지 못하였다. 이러한 경우, 기존 FTA 방법에서는 Shaft의 경우는 무시하고 고장 분석을 실시하였다.

하지만, 본 연구의 모델을 적용하여 불확실한 Shaft의 기본사상을 고려하여, 로봇 핸드의 설비 가동시간이 50,000시간 시점에서 Clamp L/M Assembly의 고장진단 및 고장확률을 구하고자 한다.

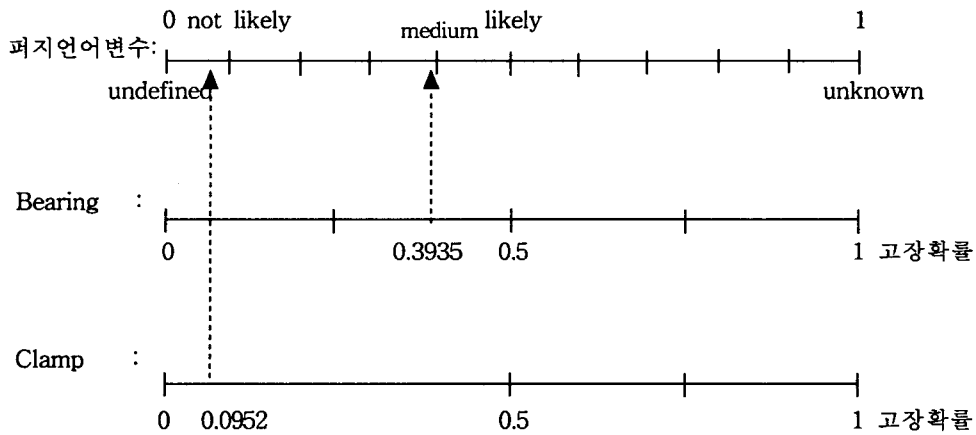


<그림 2> FFTAES flow chart

<표 4> Failure rate of Clamp L/M Assembly

사 상	Failure rate / 10 ⁶ hr (generic data)	50,000(hr)시점의 누적고장확률(F(t))	Fuzzy rate	고장가능성	FFTAES의 제안값
Bearing	10.0	0.3935	medium	0.40	1.00×10 ⁻⁶
Shaft	미지	0.21	low	0.30	1.00×10 ⁻⁷
Clamp	2.0	0.0952	not likely	0.10	1.00×10 ⁻⁹

주) 부품의 고장률은 MIL-HDBK-217E에서 인용(전기·전자 부품의 고장률 예측값)



<그림 3> Nomograph of the fuzzy linguistic variable

4. 결과 및 분석

만약, 설비의 고장률에 관한 확률분포 함수를 알고 있다면, $F(t)$ 의 고장 가능성 값을 정확히 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 대응하는 퍼지언어 변수도 정확히 추정할 수 있을 것이다. 하지만, 본 사례분석에서는 Bearing과 Clamp의 경우 고장률의 확률분포함수를 모른다는 가정하에, $F(t)$ 의 고장확률을 0과 1사이에 두고 식 (3)에 의해 퍼지언어변수를 추정하였다.

$$F(t) = 1 - e^{-H(t)} \dots \dots \dots (3)$$

표 4의 자료에서 보면 Bearing이 고장 가능성이 가장 높으며, Shaft, Clamp의 순이 된다. 그리고 Clamp L/M Assembly의 고장 가능성은 각 사상들 즉, 구성 부품들 F(t)값들의 합인 0.6987이고, FFTAES의 제안값을 이용한 고장률은 1.0×10^{-4} 에 해당한다.

이러한 불확실한 기본사상의 고장 가능성 및 중간사상의 고장 가능성 값은 확정적으로 주어진 사상의 고장률 값과 구별하기 위하여 별도의 KB를 구축하여 저장시키든다.

따라서 객체지향 전문가 시스템으로 FTA를 구축한 경우 이러한 KB는 사용자에게 보다 객관적이며 정확한 고장안전진단 자료를 제공할 수 있다.

5. 참 고 문 헌

- [1] Patterson-Hine, F. A., B. V. Koen, "Direct evaluation of fault trees using object-oriented programming techniques," IEEE Trans. Reliability., Vol.38, No.2, pp.186-192 (1989).
- [2] Singer, D, Computer-Aided Engineering : The Knowledge Frontier, Intelligent Engineering Systems Laboratory, MIT, Vol.1, (1989).
- [3] Dubois, D., H. Prade, "Fuzzy Sets and Systems; Theory and Applications," Academic Press, New York, (1980).
- [4] Clark, C. E., "Importance sampling in Monte Carlo analysis," Operations Research, Sep/Oct, pp.603-620, (1961).
- [5] Pande, P. K., M. E. Spector, P. Chatterjee, "Computerized fault tree analysis," TREE AND MICSUP, ORC 75-3, Operation Research Center, University of California, Berkeley, (1975).
- [6] Nisra, K. B., G. G. Weber, "A New Method for Fuzzy Fault Tree Analysis," Microelectronics Reliability, Vol.29, No.29, pp.195-212, (1989).
- [7] MIL-STD-882, MIL-HDBK-217E : Reliability Prediction of Electronic Equipment, (1984).

저자소개

박주식 : 인천대학교 산업공학과 와 동 대학원을 졸업하고,
명지대학교 대학원 산업공학과 박사과정이다.
관심분야 설비관리 및 보전, CIM, 자동화, Fuzzy응용,
computer interface분야 등.

김길동 : 인천대학교 산업공학과, 동국대학교 대학원 석·박사학위를 취득하였다.
관심분야 인간공학, 작업관리, 품질관리, 품질경영 등.

강경식 : 현 명지대학교 산업공학과 정교수.
명지대학교 산업안전센터 소장 및 안전경영과학회 회장
관심분야 생산운영시스템, 시스템 안전