

불확실한 고장정보 하에서의 Fuzzy FTA에 관한 연구

A study on the Fuzzy FTA under unpredictability fault informations

이석호(인천대학교 산업공학과)

박주식(명지대학교 산업공학과)

박상민(인천대학교 산업공학과)

Abstract

지금까지 고장예측에 관한 연구 논문들은 여러 분야에서 많이 다루어져 왔다. 그 대표적인 예측 방법 중에 하나인 FTA(Fault Tree Analysis)가 가장 많이 사용되어져 왔으며, 여러 산업분야에서 가장 활발하게 시스템 및 부품에 대한 고장 가능성 진단을 실시하여 왔다.

하지만 기존의 전통적인 FTA 방법을 사용하는데 있어서 몇 가지 문제점을 발견할 수가 있었다. 즉, 지금까지 FTA를 실시하는 과정에 있어서 시스템 및 부품에 대한 데이터의 자료가 정확하다는 전제하에 고장 값을 예측하여 왔다. 만일 시스템 및 부품에 대한 불확실한 데이터나 부정확한 자료를 동시에 가지고 있다면 지금까지 사용하여 왔던 전통적인 FTA를 사용하여 고장 값을 예측하여 정확한 값을 찾아내기란 어려운 것이라 할 수가 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 본 연구에서 제시하는 Fuzzy FTA를 사용하는 것이 보다 바람직할 것이며, 이러한 방법을 사용하여 불확실하고 부정확한 데이터를 가지고 고장진단을 실시하여 고장가능성 값을 찾아내어 전체 시스템의 고장 발생 가능성을 예측하는 것이 이 논문의 목적이라 할 수가 있다.

1. 서론

오늘날 산업설비들은 복잡하고 수많은 부품으로 구성이 되어져 있다. 따라서 시대가 변화함에 따라 자동화 설비는 가동시에 발생하는 고장 발생은 비교적 적은 반면에 고장 발생의 파급효과는 매우 높은 것으로 보이고 있다. 그래서 복잡한 구조의 장치 및 설비들에 대한 안전진단 결과를 적절하게 분석하고 관리할 필요성이 크게 필요하게 되었다.

일반적으로 시스템을 구성하고 있는 부품의 고장률 및 부품의 신뢰도는 부품의 사용 시간을 기준으로 구하든가, 부품의 사용횟수 또는 가동거리와 같은 기준으로 신뢰도 값을 계산하여 왔다. 이에 따라 기존 연구에서는 시스템을 구성하고 있는 각 부품의 신뢰도 및 고장률을 어느 하나의 기준으로만 선정하여 시스템의 상황을 분석하였다.

본 연구에서는 시스템을 구성하고 있는 부품의 샘플 수가 비교적 적은 경우 또는 부품의 값이 고가(高價)이거나, 신뢰도 값을 정확히 표현하지 못하는 경우 그리고 정량적인 값과 정성적인 값이 동시에 주어질 경우의 부품에 대해서 고장 가능성 값을 찾아내어 평균수명(MTBF)을 추정하기 위함이다. 그러므로 이러한 시스템을 충분히 표현하지 못하는 자료를 이용하여 신뢰도 및 고장진단 값을 구하기보다는 부품의 특성에 맞는 고장 기준을 설정하여 퍼지(Fuzzy) 언어변수로 변환하여 고장진단을 실시하는 것이 보다 정확하게 표현할 수가 있을 것이다.

이에 본 연구는 사용기간 동안 고장이 발생할 수 있는 부품의 대해서 어느 한 부품이 고장이 발생한다는 것을 가정하여 퍼지 언어 변수로써 시스템 전체에 미치는 고장 발생 가능성 값을 예측하기 위한 것이다.

2. 본 론

2.1 퍼지집합

퍼지이론은 퍼지집합론에 기초하여 1964년 미국 캘리포니아주 버클리대학의 자데(Zedch)교수에 의해 제안된 것으로 종래의 크리스프 집합론에서는 어떤 요소가 그 집합에 속하는지의 여부를 토대로 논리를 전개시켜 나가는 반면, 퍼지집합론에서는 어떤 요소가 그 집합에 속하는 정도(grade)를 평가하여 이를 통해 이론을 펼쳐나가고 있는 것이다. 확률을 포함하는 비결정적인 것, 정확한 판단이 아닌 애매한 정보 등 인간적인 감정을 이해함으로써 숙련자의 경험, 육감 등 복잡 미묘한 정보를 처리해야 하는 자동화분야에서 각종 응용제품들을 개발하는데 가장 기초가 될 수 있는 이론으로 정착되어 가고 있다. 예를 들어 우리 나라 남자의 평균신장이 175cm라고 가정하고 그 이상이면 키가 큰 사람이라고 규정한다면, 지금까지의 이론에 의하면 169.5cm인 사람은 키가 작고, 175.5cm인 사람은 키가 크다고 평가되어 왔다.

그러나 퍼지이론의 해석은 매우 독특하다. 즉, 중간 값을 고려해서 '조금 작다', '조금 크다' 등과 같이 그 정도를 표시하여주기 때문에 지금까지 이분법에 의해 단정지었던 과학이론으로는 표시할 수 없었던 여러 가지 작업을 가능하게 해 주고 있다. 인간의 언어나 행동, 사고, 평가는 매우 주관적이어서 구체적인 수치로 규정하기에는 많은 문제점이 있으나 퍼지이론은 인간의 형태를 이분법에 의해 양분할 수 없다고 단정짓고 확률적인 이론을 도입하여 모호한 기준과 표현까지도 수용하여 파악할 수 있도록 하였다는데 그 특징이 있다.

최근 인간과 비슷하게 생각하고, 일하는 컴퓨터를 만들고자하는 인공지능 연구가 활

발하게 진행되고 있다. 컴퓨터가 인공지능을 가지고 인간이 원하는 바를 제대로 수행하기 위해서는 인간이 사용하는 숫자는 물론이고 애매한 표현을 처리할 수 있어야 한다. 이러한 인간의 애매한 표현을 처리할 수 있는 이론적인 바탕을 제공하는 것이 바로 퍼지이론(Fuzzy Theory) 인 것이다.

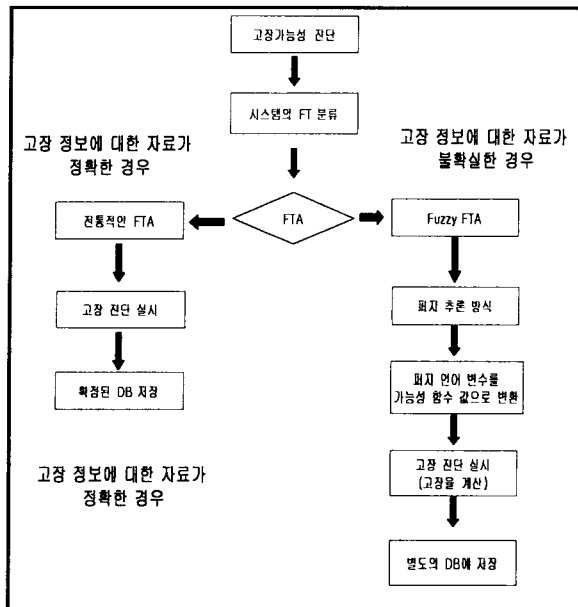
퍼지이론은 현상의 불확실한 상태를 그대로 표현해 주는 방법으로서 퍼지이론은 애매하게 표현된 자료를 우리에게 유용한 자료로 만들기 위하여, 퍼지집합, 퍼지논리, 퍼지숫자 등의 개념을 포함하고 있으며 수학적인 계산방법도 현재 개발되어 있다.

퍼지 이론은 이처럼 가장 인간다운 감정을 기계에 접목시킴으로써 효용성이 뛰어난 더욱 편리한 제품을 만들 수 있도록 해 준다.

2.2 퍼지 언어 변수

우리 일상 생활에서 쓰이는 말 중에는 정확한 표현보다는 애매하고 불확실한 표현이 많다. 가령 “당신의 나이는 얼마입니까?” 하고 물었을 때 정확하게 대답할 수도 있으나 대개 “한 20 되었습니다.” 라고 대답한다. 이러한 경우 그 사람의 나이가 정확히 20이라는 것인지 20전인지, 후인지를 알 수가 없다. 그러나 20을 중심으로 그 전후가 될 가능성이 높다. 이러한 예처럼 20을 중심으로 정성적으로 표현하는 값을 퍼지 언어 변수라 한다.

3. 불확실한 고장 정보에 대한 Fuzzy FTA 실시 과정



FTA를 실시하는데 있어서 시스템 및 부품에 대한 정보가 확정적이고, 정확한 경우에는 전통적인 방법을 사용하여 고장 진단을 실시하면 되겠지만, 시스템 및 부품이 신제품이거나 고장 가능성 값을 예측하기 위한 샘플의 수가 비교적 적을 경우에는 Fuzzy FTA를 실시하는 것이 전통적인 FTA 방법보다 더 효과적일 것이다.

[그림 3-1]은 FTA를 실시하는데 있어서 두 가지 측면으로 나누어 표현한 그림이다.

[그림 3-1] FTA를 실시하기 위한 흐름도

4. 불확실한 고장 정보에 대한 Fuzzy FTA 모델 및 적용사례

먼저 고장에 대한 기준을 설정하기 위해서 <표>와 같이 퍼지언어로 구분을 하였으며, 고장 가능성과 고장이 발생할 확률에 대한 관계는 Monte Carlo의 고장 분석에서 사용되어진 (식 4-1)을 인용하였다.

$$P_j = 1 + \left(\frac{1}{10}\right) \times \log_{10} P(E_j) \quad \text{----- (식 4-1)}$$

여기서 $P_j = 0$ if $0 \leq P_j \leq 10^{-10}$

위 (식 4-1)에 의해서 가능성이 높다고 해서 반드시 고장 확률이 높다는 것을 의미하지는 않는다. 하지만 고장 발생 확률이 낮다는 것은 고장이 발생할 가능성은 낮다는 것을 알 수가 있다.

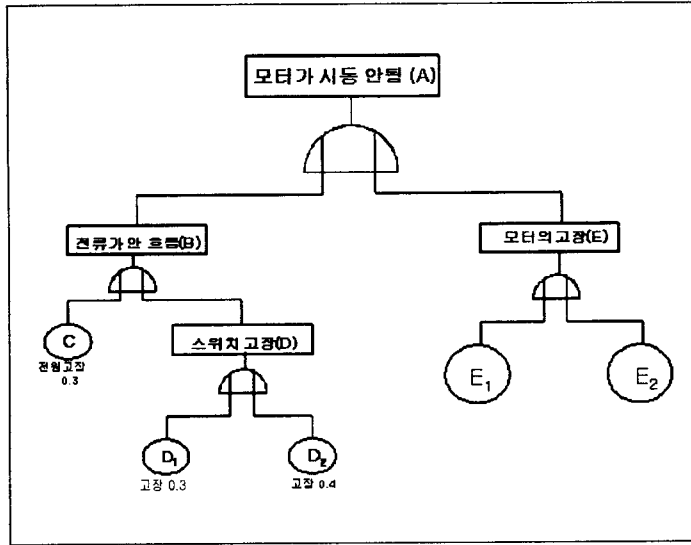
이러한 것을 기초로 하여 고장이 발생할 확률을 우선 순위 별로 퍼지 언어 변수에 따라 “0 ~ 1” 까지 10단계로 구분하여 다음 표와 같이 작성을 하였다.

순위	linguistic presentation	확률 $P(E_j)$ 값
1	undefined (정의를 내리지 못함)	0.00
2	not likely (가능성이 없을 것 같음)	1.00×10^{-9}
3	unlikely (가능성이 없음)	1.00×10^{-8}
4	low(낮다)	1.00×10^{-7}
5	medium(중간)	1.00×10^{-6}
6	likely(가능성이 있음)	1.00×10^{-5}
7	more or less high (다소 가능성이 높음)	1.00×10^{-4}
8	high(높다)	1.00×10^{-3}
9	very high(매우 높음)	1.00×10^{-2}
10	very very high (극히 높음)	1.00×10^{-1}
11	unknown (불가항력적 상태)	1.00

<표 4-1> 퍼지 언어 변수에 대한 고장 발생 확률 값

물론 <표 4-1>에 있는 고장 확률 값은 고장 진단을 하는 사용자가 주관적인 판단으로 구분을 할 수가 있다.

4.1 적용사례



만일 각 부품에 대한 정확한 신뢰도 값을 가지고 있다면 전통적인 FTA를 사용하여 Motor System 전체에 대한 고장 가능성 값을 쉽게 계산하여 찾을 수가 있다.(각 사상들간에 대해서는 OR gate로 연결이 되어 있으며 각 부품에 대해서는 일정한 지수분포를 따른다고 가정하였다.)

[그림 4-1-1] Failure rate of Motor System

하지만 위 [그림 4-1-1]처럼 모터에 대한 부품의 고장 정보가 불확실한 경우 전통적인 FTA를 사용하는 것은 정확한 고장 가능성 값을 찾기란 쉽지가 않을 것이다.

이러한 경우에 있어서 본 연구 논문에서 제시하고 있는 Fuzzy FTA를 사용하여 불확실한 고장 정보를 <표 4-1>에 있는 퍼지 언어로 변환하여 이러한 퍼지 언어를 정량적인 고장 확률 값으로 표현한 후, 이 고장 확률 값을 (식 4-1)에 적용하여 계산하게 되면 부품 모터에 대한 고장 가능성 값을 다음 <표 4-2>와 같이 추정할 수가 있으며 결과적으로 Motor System 전체에 대한 고장 가능성 값을 예측할 수가 있다.

가령 예를 들어 이 Motor System은 “고장이 발생할 가능성이 있다.” 라고 가정하게 되면 이러한 가정을 퍼지언어 변환하게 되면 퍼지언어 변수 “likely” 의 값을 나타낸다는 것을 <표 4-1>에서 찾을 수가 있으며, 이 언어변수에 대한 정량적인 고장 확률 값이 1.00×10^{-5} 가 된다는 것을 알 수가 있다. 이러한 고장 확률 값에 대해서는 (식 4-1)에 적용하게 되면 고장 가능성 값은 ” 0.5 “의 값이 정량적으로 나오게 된다. 이러한 과정을 우선순위로 작성하게 되면 <표 4-2>와 같이 나타내어 질 수가 있다.

순 위	linguistic presentation	확률 $P(E_j)$ 값	고장 가능성 값
1	undefined (정의를 내리지 못함)	0.00	0.00
2	not likely (가능성이 없을 것 같음)	1.00×10^{-9}	0.10
3	unlikely (가능성이 없음)	1.00×10^{-8}	0.20
4	low(낮다)	1.00×10^{-7}	0.30
5	medium(중간)	1.00×10^{-6}	0.40
6	likely(가능성이 있음)	1.00×10^{-5}	0.50
7	more or less high (다소 가능성이 높음)	1.00×10^{-4}	0.60
8	high(높다)	1.00×10^{-3}	0.70
9	very high(매우 높음)	1.00×10^{-2}	0.80
10	very very high (극히 높음)	1.00×10^{-1}	0.90
11	unknown (불가항력적 상태)	1.00	1.00

<표 4-2> 퍼지 언어 변수에 대한 고장 가능성 값

따라서 전체 Motor System에 대한 고장 진단 결과 값을 표현하게 되면 <표 4-3>과 같이 나타내어 질 수가 있다.

기본사상	고장을 값(10^6)	5만 시점에서의 F(t)	퍼지언어 변수 값	Fuzzy FTA 제안 값	고장 가능성
스위치	13.0	0.3262	low	1.00×10^{-7}	0.3
모터	미지수	(0.46 ~ 0.55)	likely	1.00×10^{-5}	0.5
부러쉬	2.0	0.2078	unlikely	1.00×10^{-8}	0.2

<표 4-3> Failure rate of Motor System

단 여기서 F(t)는 누적고장확률 값을 의미하며, 각 부품의 고장 가능성은 MIL-STD-882에서 인용(전기·전자 부품의 고장가능성 값)

<표 4-3>에서 보여지는 “0.46 ~ 0.55” 구간의 값은 <표 1>에 따라 Fuzzy FTA에서 제안한 값 1.00×10^{-5} 이 된다. 즉 모터에 대한 고장이 발생할 가능성은 5만 시간당 한 번은 발생한다는 것을 의미하고 있으며, 전체 시스템에 대한 누적고장 확률 F(t)의 값을 보게되면 “0.9028 ~ 0.9875”의 값이 나오게 된다.

즉, 퍼지언어 변수에서 제안한 값은 5만 시간동안 이 시스템을 가동하였을 경우 1.0×10^{-1} 의 고장 발생가능성 값을 가진다는 것을 예측할 수가 있다.

5. 결 론

전통적인 신뢰성 이론에 기초를 둔 고장률의 정의와 계산방식에 대해서는 많은 논문들에서 다루어져 왔다. 그러나 실제로 산업현장에서는 취급해야 하는 시스템이나 부품에 대해서는 정확한 고장데이터가 부족하거나 정리되어 있지 않은 경우가 많다. 이러한 경우에 전통적인 신뢰성 이론의 직접적인 FTA 사용을 어렵게 하고 있다. 그러나 부품에 대해 정량적인 값으로 표현하기 어려운 부품에 대해서는 퍼지언어 변수로 변환하여 고장 가능성을 진단하여 예측하는 것이 전통적인 신뢰성 방법보다 더욱더 바람직할 것이다.

만일 부품 고장률에 대한 확률분포함수를 알고 있다면 $F(t)$ 의 고장 확률 값을 정확히 파악할 수 있을 뿐만 아니라 그것에 대응하는 고장 가능성 값도 정확히 추정할 수가 있을 것이다. 하지만 부품에 대한 확정적인 값과 불확실한 데이터가 동시에 있는 경우처럼 본 적용사례에서는 모터(Motor)의 경우 고장률의 확률분포함수를 모른다는 가정하에 $F(t)$ 를 0 과 1 사이에 두고 퍼지언어 변수를 사용하여 고장 가능성 값을 예측하여 사전에 시스템 고장을 예방할 수가 있다.

시스템의 신뢰성이나 안전성을 확보하기 위해서는 어떠한 고장원인 또는 어떠한 조합을 억제하면 좋은가를 해석결과로부터 얻을 수 있기 때문에 시스템의 도입이나 중요도가 높은 부품요소의 신뢰성을 높이는 등의 대책을 강구하여야 하며 이러한 불확실한 부품의 고장 가능성 및 중간사상의 고장 가능성 값은 확정적으로 주어진 부품의 고장 가능성 값과 구별하기 위하여 별도의 DB를 구축하여 저장시켜 둘 필요가 있다.