

FFTA(Fuzzy Fault Tree Analysis)에 의한 불확실한 고장정보 연구

- Development of uncertainly failure information for FFTA -

정영득 *

Jeong, yeong-deug

박주식 **

Park, Joo-Sic

김건호 ***

Kim, Gun-Ho

강경식****

Gyung-sic, kang

Abstract

Today, facilities are composed of many complex components or parts. Because of this characteristics, the frequency of failures is decreasing, but the strength of failures is increasing; therefore, the failure analysis about many complex components or parts was needed. In the former research about Fault Tree Analysis, failure data of similar facilities have been used for forecasting about target system or components, but in case that the system or components for forecasting failure is new or qualitative and quantitative data are given simultaneously, there are many difficulty in using Fault Tree Analysis with this incorrect failure data.

Therefore, this paper deal with the Fault Tree Analysis method which be applied with Fuzzy theory in above case. In case that , therefore, if there is no the correct failure data, it is represented a system or components as qualitative variable. subsequently, it converted to the quantitative value using fuzzy theory, and the values used as the value for failure forecast.

* 전주공업대학 산업경영과

** 명지대학교 산업공학과 박사과정

*** 안산공과대학 경영학과

**** 명지대학교 산업공학과 교수

1. 서론

첨단산업시대로 접어들면서 오늘날 산업설비들은 자동화 및 복잡화가 되어가고 추세이다. 따라서 시대가 변화함에 따라 자동화 설비는 가동시에 발생하는 고장 발생은 비교적 적은 반면에 고장 발생의 파급효과는 그 어느 때 보다 높은 것으로 나타나고 있다. 따라서 복잡한 구조의 장치 및 설비들에 대한 안전진단 결과를 적절하게 분석하고 관리할 필요성이 크게 필요하게 되었다.

일반적으로 시스템을 구성하고 있는 부품의 고장률 및 부품의 신뢰도는 지금까지 시스템 및 부품에 대하여 과거데이터 또는 유사설비 데이터 등의 고장 정보가 충분히 있는 경우에 대해서 시스템 및 부품에 대하여 고장에 대하여 예측하여 왔다. 하지만 지금까지 생산되지 않은 신제품처럼 고장 정보가 충분하지 않은 경우에는 지금까지 사용해 왔던 고장해석방법으로는 정확한 고장해석을 표현하기란 몇 가지 어려운 점이 있다는 것을 나타내고 있다.

본 연구는 새롭게 개발되는 신제품에 대하여 또는 시스템을 구성하고 있는 부품에 대하여 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 예측하기 위한 것이다. 그러므로 이러한 시스템 및 부품에 대한 고장 정보가 충분하지 못하는 자료를 이용하여 신뢰도 및 고장진단 값을 구하기보다는 부품의 특성에 맞는 고장 기준을 설정하여 퍼지(Fuzzy) 언어변수로 변환하여 Fuzzy FTA로 고장진단을 실시하는 것이 보다 정확하게 표현할 수가 있을 것이다.

2. 본론

2.1 퍼지집합

퍼지이론은 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.

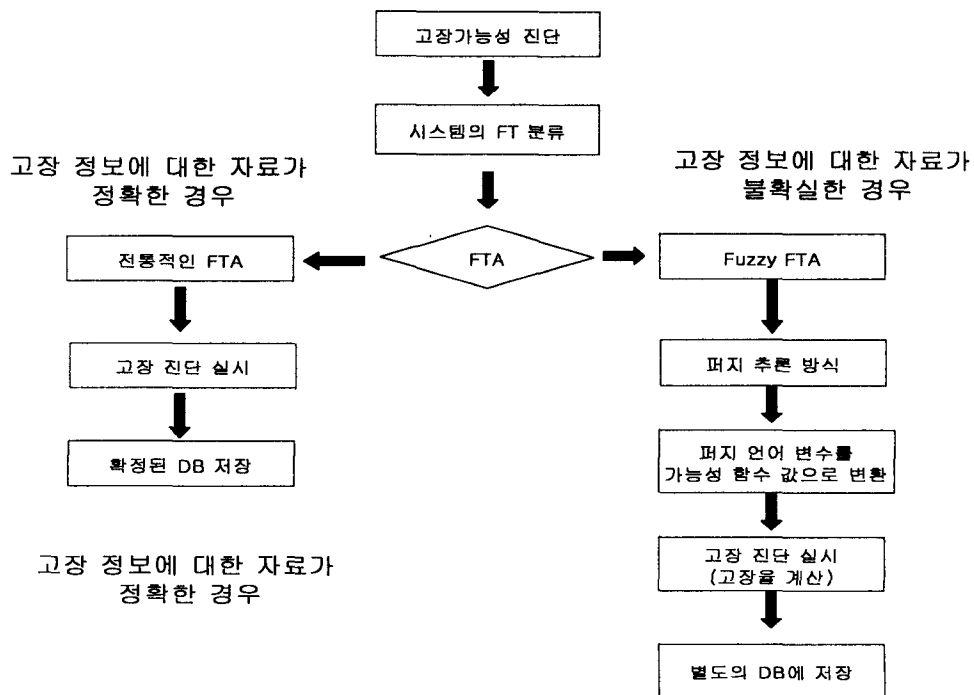
퍼지이론은 현상의 불확실한 상태를 그대로 표현해 주는 방법으로서 퍼지이론은 애매하게 표현된 자료를 우리에게 유용한 자료로 만들기 위하여, 퍼지집합, 퍼지논리, 퍼지숫자 등의 개념을 포함하고 있으며 수학적인 계산방법도 현재 개발되어 있다.

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.

2.3 불확실한 고장 정보에 대한 Fuzzy FTA 실시 과정



<그림 1> FTA를 실시하기 위한 흐름도

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 1>은 FTA를 실시하는데 있어서 두 가지 측면으로 나누어 표현한 그림이다.

3. 불확실한 고장 정보에 대한 Fuzzy FTA 모델 및 적용사례

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

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

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

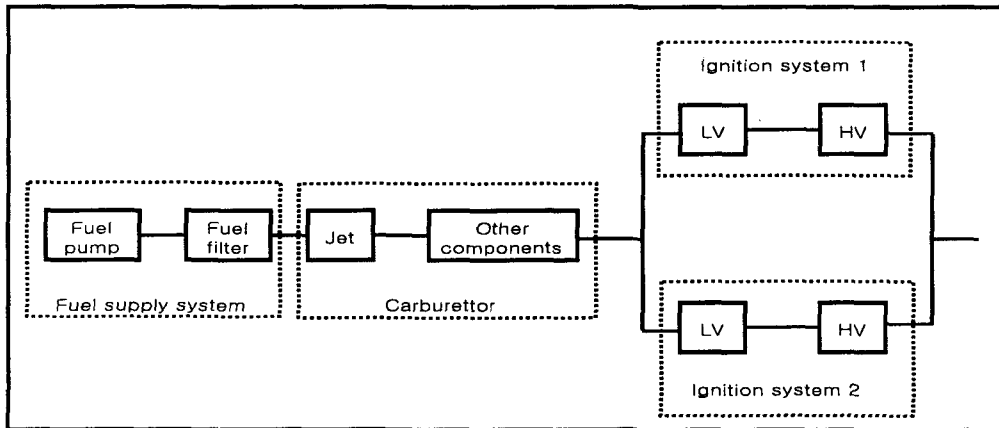
위 식 (1)에 의해서 가능성이 높다고 해서 반드시 고장 확률이 높다는 것을 의미하지는 않는다. 하지만 고장 발생 확률이 낮다는 것은 고장이 발생할 가능성은 낮다는 것을 알 수가 있다.

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

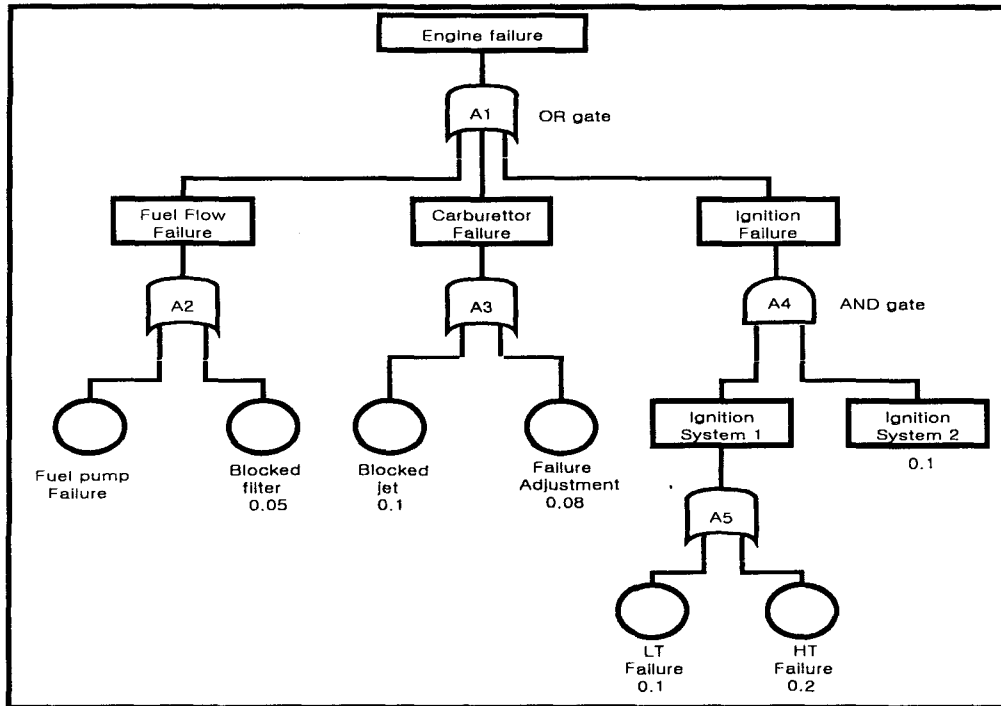
<표 1> 퍼지 언어 변수에 대한 고장 발생 확률 값

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

4. 적용사례



<그림 2> 엔진시스템의 블록도(RBD)



<그림 3> FTA of Engine(incomplete)

<그림 3>에서 보게 되면 연료펌프에 대한 고장정보 자료가 나타나 있지 않은 것을 볼 수가 있다. 이러한 이유는 다음과 같은 몇 가지로 나타내어질 수가 있다.

- (1) 부품이 신제품일 경우

- (2) 과거 데이터를 손실하였을 경우
- (3) 확실한 고장 확률 값을 정의하기 어려운 경우

이러한 위 3가지 경우처럼 불확실한 고장정보를 가지고 있을 경우에는 기존에 사용해왔던 전통적인 FTA로 고장을 해석하기란 어려움이 따르고 있다. 따라서 이 논문에서 제시하고 있는 Fuzzy FTA를 사용하여 불확실한 부품에 대한 고장 확률 값을 퍼지언어 변수로써 예측하여 부품에 대한 고장 가능성 값을 찾아내어 전체 시스템의 신뢰도를 예측하는 것이 바람직하다고 할 수가 있다.

따라서 불확실한 고장 정보에 대한 고장 기준을 퍼지 언어변수로써 다음 표와 같이 구분할 수가 있으며, 각 기준에 대한 Monte Carlo에 의해서 정의된 식에 기준확률 값을 적용하게 되면 아래 표와 같은 고장 가능성 값을 찾아낼 수가 있다.

< 표 2 > 퍼지 언어 변수에 대한 고장가능성

순위	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

<그림 3>의 엔진 시스템의 FT에서 연료펌프에 대한 과거 유사설비 불신뢰도 값을 참조하여 기존 고장 해석 방법인 전통적 FTA 의 값을 구하게 되면 엔진 시스템 전체의 불신뢰도(F_E)는 0.54의 값이 나오게 된다.

하지만 연료펌프(fuel pump)에 대한 고장(failure) 데이터를 모른다고 하였을 때 불확실한 고장 정보에 대해서 고장 기준의 언어변수로써 표현하여 그 값을 계산하게 되면 다음 <표 3>과 같이 결과 값을 찾을 수가 있다.

<표 3>에서 Fuzzy FTA 값의 평균을 구하게 되면 엔진 시스템(Engine System)은 평균 값 0.62의 값을 가지게 된다. 두 결과 값을 보면 중간 순위이지만 높은 순위때는 심각한 결과가 발생할 수가 있다. 따라서 Fuzzy FTA의 고장기준에 대한 결과 값을 가지고 고장해석 방법에 따라 계산하게 되면 엔진 시스템의 전체 고장 가능성을 예측할 수가 있다. 3절에서 언급하였듯이 고장 가능성 값이 높다고 해서 반드시 고장 발생

확률은 높다고 할 수는 없지만, 고장 가능성 값이 낮다면 고장 확률 값도 그 만큼 낮아지게 된다. 따라서 위 사례 시스템의 전체 고장 가능성 값을 가능하면 설계단계에서 보다 철저히 신뢰성이 높아지도록 설계를 하는 것이 바람직 할 것이다.

그러므로 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 고장 분석 대상의 시스템 및 부품에 대해서는 사전에 보다 철저히 신뢰성을 높일 필요가 있으며, 보다 시스템 및 부품의 안전성을 충분히 고려하여 시스템 및 부품 설계에 이러한 것을 반영하여 품질 개선에 노력하여야 한다.

<표 3> Engine System 전체에 대한 Fuzzy FTA의 값

순위	linguistic presentation	고장 가능성 구간	고장 가능성 값	Fuzzy FTA 값
1	undefined	(0.00 , 0.05)	0.00	0.24
2	not likely	(0.06 , 0.15)	0.10	0.32
3	unlikely	(0.16 , 0.25)	0.20	0.39
4	low	(0.26 , 0.35)	0.30	0.47
5	medium	(0.36 , 0.45)	0.40	0.54
6	likely	(0.46 , 0.55)	0.50	0.62
7	more or less high	(0.56 , 0.65)	0.60	0.69
8	high	(0.66 , 0.75)	0.70	0.77
9	very high	(0.76 , 0.85)	0.80	0.85
10	very very high	(0.86 , 0.95)	0.90	0.93
11	unknown	(0.96 , 1.00)	1.00	1.00

5. 결 론

전통적인 신뢰성 이론에 기초를 둔 고장률의 정의와 계산방식에 대해서는 많은 논문들에서 다루어져 왔다. 그러나 실제로 산업현장에서는 취급해야 하는 시스템이나 부품에 대해서는 충분한 고장데이터가 부족하거나 정리되어 있지 않은 경우가 많다. 이러한 경우에 전통적인 신뢰성 이론의 직접적인 사용을 어렵게 하고 있다. 그러나 부품에 대해 정량적인 값으로 표현하기 어려운 부품에 대해서는 퍼지언어 변수로 변환하여 고장 가능성을 예측하는 것이 전통적인 신뢰성 방법보다 더욱더 바람직 할 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 적용사례 엔진시스템(Engine System)의 경우 고장률의 확률분포함수를

모른다는 가정하에 고장이 발생할 확률을 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 값을 확정적으로 주어진 부품의 고장가능성 값과 구별하기 위하여 별도의 DB를 구축하여 저장시켜 둘 필요가 있다.

6. 참고문헌

1. 김성호, 박태홍, et al., "Fuzzy logic 제어기의 구성", 한국자동제어 학술회의 논문집, 1989.
2. 이호준(큐맨 GREEN 컨설팅), "기업 생존 전략을 위한 신뢰성기법 활동 방안", 신뢰성·보전성심포지엄, 1998
3. 유동선·이교원 공저, 기초 퍼지 이론, 교우사 출판사, 개정증보판, 1998, pp. 3-12
4. 박주식, "고장진단을 위한 퍼지 전문가 시스템의 개발", 안전경영학회 논문집, 2000. 5.13
5. 박주식, "퍼지언어변수에 의한 퍼지고장진단전문가 시스템 모델", 한국보전공학회 논문집, 1999. Vol.4, No.1, pp.21-31
6. 이근오·강영식·백종배 공역, 설비신뢰성 공학, 동화기술출판사, 2000. 7, pp. 62-76
7. 이상용 저, 신뢰성 공학, 형설출판사, 1994, pp. 179-222
8. 갈원모·김유창·유병철·박노춘 공저시스템 안전공학, 태성출판사, pp. 172-209
9. 신뢰성 이론의 일반적인 소개 및 생산, 보수 공정에서의 응용과 문제점, 한림대학교 통계학과 박동호 교수, 신뢰성·보전성 심포지엄, 1993. 11.26
10. 최성운, "QFD에서 품질, 기술, 원가 및 신뢰성", 안전경영학회 논문집, 2000. 5. 13, pp. 427
11. 제품개발에서의 신뢰성 체계 구축 및 실시 사례, LG 생산기술원시스템기술센터, 지수윤, 신뢰성·보전성 심포지엄
12. 채석·오영석 지음, 퍼지이론과 제어, 청문각 출판사, 1995, pp. 163-180
13. 효과적인 FMEA 실시 절차에 관한 연구, 아주 대학교 장중순 논문
14. 이상용 저, "FMEA에 관한 고장해석", 신뢰성 공학, 형설출판사, 1994, pp. 179-222
- 15 Brown, C. B., "A Fuzzy Safety Measure," J. Eng. Mech. Div., Vol.5, 1979, pp. 855-872
- 16 Buckley, J.J., "A Fuzzy Expert System", Fuzzy Sets and Systems, Vol.20, 1986, pp 1-16
17. Clark, C, H, "Importance sampling in Monte Carlo analysis", Operations Research, Sep/Oct, 1961, pp 603-620

18. Elliot, M., "Knowledge-based systems for reliability analysis," Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp., 1990, pp 481-489.
19. Kim, I. S., M. Modarres, "Application of goal tree-success tree model as the knowledge-based of operator advisory systems," Nuclear Eng. and design, Vol.104, 1997, pp.67-81
20. MIL-STD-882, MIL-HDBK-217E : Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1984
- 21 MIL-STD-1629A :Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis , 1980
22. Nisra, K. B., G. G. Weber, " A New Method for Fuzzy Fault Tree Analysis," Microelectronics Reliability, Vol.29, No. 29, 1989, pp. 195 - 212,
23. Practical Reliability Engineering : Third Edition Revised, PATRICK D. T. O'CONNOR , British Aerospace plc, UK with DAVID NEWTON DN Consultancy, UK . RICHARD BROMLEY RGB Services Ltd, UK

저 자 소 개

김 건 호 : 현재 안산공과대학 경영공학과 조교수로 재직중이며 성균관 대학교 수학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득 하고, 명지대학교 산업공학과 박사 과정 수료

정 영 득 : 조선대학교 학부, 명지대 석사졸업
 현재 전주공업대학 시스템정보경영과 교수
 관심분야는 설비관리, 안전관리, 산업정보시스템, 생산공학

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

강 경 식 : 인하대학교 산업공학과를 졸업하고 동 대학원 산업공학과에서 석사를 마쳤으며, 경희대학교에서 박사를 취득하였다. 또한 미국 노스다코타 주립대학에서 교환교수로 재직하였으며, 현재는 명지대학교 산업공학과에서 교수로 재직중이다. 관심분야로는 생산 계획 및 통제, 품질경영, 산업안전관리 등이다.