

# 기능 전개 결과를 이용한 Function Tree 구성에 관한 연구

하 성도, 이 언경, 박 선주, 강 달모  
(한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터)

## A Study on the Construction of Function Tree using Function Deployment

Sungdo Ha, Eon-Kyung Lee, Sunjoo Park, Dalmo Kang  
(CAD/CAM Research Center, KIST)

### ABSTRACT

Fault tree analysis (FTA) is a widely used methodology for reliability analysis. The method is useful in that it suggests a very comprehensive way of describing the hierarchical relations of causes of faults and the corresponding results. However it is difficult to get appropriate fault trees for given products or systems without very profound knowledge and experience. This work aims to develop a methodology of fault tree construction using the results of function deployment for machine parts, which provides an objective way of preparing fault trees. The failure modes are defined to each function network generated by the function deployment method and the fault tree with respect to each viewpoint is constructed by arranging the failure modes. The fault tree is finally obtained by synthesizing the fault trees with respect to each viewpoint. The example of fault tree construction is also shown

**Key Words :** Fault Tree Analysis, 신뢰성 분석, 기능전개(Function Deployment)

### 1. 서론

제품의 신뢰성 평가를 위하여 연구된 여러 가지 방법들 중에서 널리 사용되고 있는 FTA (fault tree analysis) 는 제품 혹은 시스템의 고장을 최상위의 사건으로부터 하위의 원인으로 전개하여 체계적으로 고장의 원인을 파악함으로써 신뢰성 평가에 활용하는 방법이다. 즉 제품 혹은 시스템의 고장을 Top-down의 방법으로 전개하여 신뢰성 평가를 위한 Fault Tree를 전개하는 방법으로서 신뢰성 분석을 위한 도구로서 널리 사용되고 있다. 이러한 FTA 기법에 관련된 연구로는 Geymar와 Ebecken이 지식 획득과 관련된 컴퓨터 프로그래밍에서의 FTA 전개 방법에 관한 연구를 수행한 바 있으며 이일재와 이광원이 Fault Tree의 유래를 분석하고 그 수학적 해석에 초점을 두어 연구를 수행한 바 있다[1,2]. 한편 Vemuri et al.은 시각화 된 프로그램인 RIDL을 이용하여 동적 Fault Tree를 자동으로 합성하는 방안을 제시하였으나, 전자 회로와 같이 부품이 단순하고 단일한 기능만을 수행하는 경우에만 적용이 가능하며, 김길동과 조암의 연구는 이미 작성되어 있는

Fault Tree를 해석하는 수학적 모델을 제시하는 데에 중점을 두고 있다[3,4].

FTA와 관련된 기존의 연구에서는 Fault Tree에 대한 개념과 구성 형식 등에 대해서는 상세히 설명하고 있으나 Fault Tree를 구성하기 위한 체계적인 방법에 대한 구체적인 내용이 부족한 상황이고 특히 기계류 제품과 같이 그 기능의 정의가 간단하지 않은 경우에 FTA를 수행하기 위한 방법에 대한 연구는 미미하다.

제품 혹은 시스템의 기능과 특성을 충분히 이해하고 이를 바탕으로 Fault Tree를 구성하는 기존의 top-down 형태의 구성 방안은 기능과 특성의 해석이 복잡한 경우에는 적용이 용이하지 않다. 또한 기계류 제품과 같이 하나의 부품이 다른 부품과 기하학적으로 조립되어 다양한 기능을 구현하는 제품에서는 공학지식을 기반으로 하여 제품을 구성하는 각각의 부품에 대한 정확한 이해가 선행되고 이를 기반으로 하는 FTA가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 기계류 제품을 대상으로 제품의 설계 단계에서 구성된 부품의 기능을 분석하여 얻

어진 부품간 기능 전개 결과를 활용하여 Fault Tree를 구성하는 방법론을 활용하여 FTA를 체계적으로 수행하기 위한 방법을 개발한다. 개발된 방법론을 공조기에 사용되는 Scroll 압축기에 적용하여 FTA 분석을 위한 Fault Tree 구성에 적용한 사례를 살펴본다.

## 2. 구성 방법 개요

### 2.1 구조 및 형태

지금까지의 Fault Tree 구성 방법으로는 수집한 자료의 해석을 바탕으로 하는 직관적방법을 통해 그려지는 것이 대부분이었다. 특히 전기전자류 제품과는 달리 하나의 부품이 여러 가지 기능을 구현하도록 설계되는 기계류 부품의 경우 기존의 전기전자류 제품에 적용되던 Fault Tree구성 방법을 그대로 적용시키기 어렵다. 앞 절에서 소개한 여러 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위하여 새로운 방법을 제시하려 하였으나 만족할 만한 결과를 제시하지 못하고 있다.

본 논문에서는 기존의 방법을 개선하여 제품을 구성하는 각 부품들의 기능적 계급구조(Functional Hierarchical Structure)와 그에 따른 기능전개, 그리고 기능전개를 통해서 연계 되는 각각의 고장 양식을 연결시키는 방법론을 개발한다. 개발된 방법론의 개요는 Fig.1과 같다. 그림에서 가장 왼쪽에는 대상 제품의 기능적 계급구조가 그려져 있고, 오른쪽에는 이들을 바탕으로 얻어진 Fault Tree가 나타나 있다.

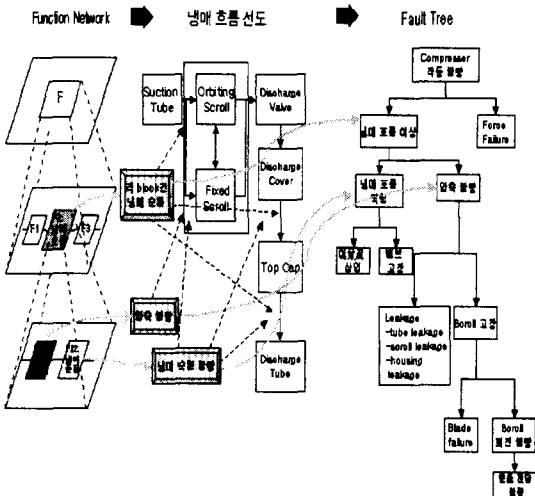


Fig. 1 Framework of Fault Tree deployment

## 2.2 기능전개 및 Fault Tree와의 연계

Function Network은 제품을 구성하는 각각의 부품의 기능들을 여러 가지의 관점에서 분석하고 정리하여 하나의 그림으로 요약한 것이다. 개별 부품간의 기능들 사이의 상호 관계에 따라 일방적 관계인지, 상호 관계인지가 화살표의 방향으로 표현된다. 기능전개는 주어진 관점에 따라 관련된 부품을 정리하고, 그 관계의 종류에 따라 분류하여 정리한 결과로 얻어지게 된다.

Function Network에서 기능 전개도로, 여기서 다시 Fault Tree로의 전개 과정을 살펴 보면 다음과 같다. 전체 제품의 기능을 그 하위 기능으로 세분화하고, 세분된 각 하위 기능을 다시 세분화하는 과정을 반복하여 전체 기능과 하부 기능을 계급적인 구조로서 표현한다. Function Network은 이러한 분석의 결과로 얻어진다. 즉 각각의 세부 기능에 따라 그 기능에 대응되는 부품들을 연관 지어 구성 부품이 주어진 세부 기능에 있어 맡게 되는 역할을 선도로 표시하면 Function Network을 얻을 수 있다. 이를 활용하여 기능 전개도에서 블록으로 표현되어 있는 단위 기능 및 화살표로 표현된 상하 관계에 대한 각각의 고장을 예상할 수 있다. 여기서 각각의 고장 양식은 Function Network에서의 기능의 '역'에 해당하므로 각 수준에서의 기능과 그에 해당하는 고장 방식을 연결할 수 있다. 고장 방식들은 또한 계급 구조를 가진다. 이렇게 얻어진 고장 방식과 그 기능상의 계급 구조에 따라 고장 방식들을 배열하면 Fault Tree가 얻어지게 된다. 이러한 관계를 Fig.1에서와 같이 화살표로 표현하여 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.

## 3. 기능전개 방법

본 연구에서 제안되는 제품 기능 전개 방법에서는 제품의 고유기능을 이해하여 단위 기능들과 단위 기능들 사이의 상호관계를 표현하는 Function Network을 구성한다. 제품 기능 전개방법은 1) 제품의 고유기능 및 Flow를 파악하여, 2) 파악된 상호관계와 관련된 단위 기능을 선정하고, 3) 선정된 단위 기능을 이해하여 단위 기능들의 상호관계를 체계적으로 분석하여, 4) 'From-To Relation Matrix'를 작성하고, 5) 그룹화 알고리즘을 통하여 제품의 기능을 분류하며, 6) 이를 토대로 기능 관계도(Function Network)를 작성하는 단계로 구성된다[5].

다음 절에서는 Scroll 압축기를 사례로 하여 제품 기능 전개 방법을 단계별로 설명한다.

### 3.1 제품의 고유기능 및 Flow 파악

Scroll 압축기의 고유기능은 “냉매 압축”이다. 냉매를 압축하기 위해서 필요한 Flow를 분석해보면 Energy Flow (에너지 흐름), Material Flow (물질 흐름), Force Flow (힘 전달)의 세가지로 구분할 수 있다. (Fig.2 참조).

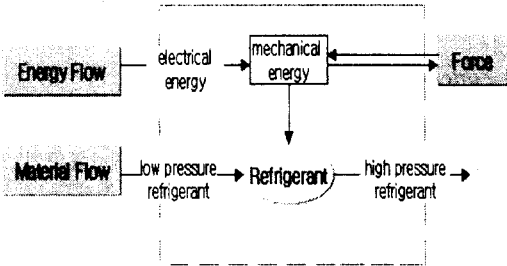


Fig.2 Inherent function and flow of a scroll compressor

### 3.2 관점별 단위 기능 선정

앞 단계에서 파악된 Flow를 구성하기 위해 필요한 단위기능을 선정한다. Scroll 압축기의 경우 Fig.3과 같이 21개의 단위 기능을 수행하는 부품 (Key Parts)들을 정의할 수 있다.

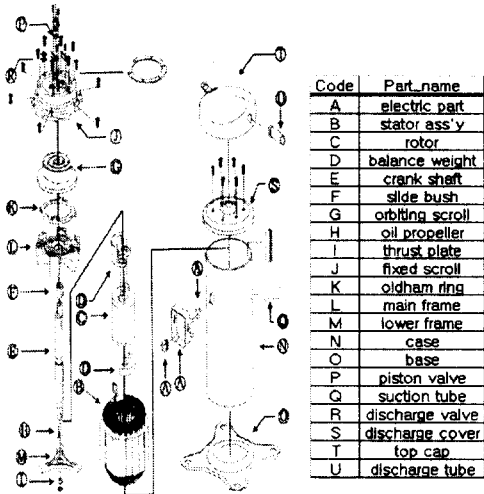


Fig.3 Key parts of scroll compressor

### 3.3 단위기능 및 단위기능간 상호관련성 정의

Scroll 압축기의 21개의 단위 기능에 대하여 기

능 및 단위기능간 상호관련성을 상세하게 기술한다. 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Example of function and interaction definitions

|                             |       | Fixed Scroll(J) and Discharge Valve(R)  |                      |                    |
|-----------------------------|-------|---|----------------------|--------------------|
| Function of fixed scroll    |       | Compression of the refrigerant using mechanical energy derived from orbiting scroll                                 |                      |                    |
| Function of discharge valve |       | Discharge of the high pressure refrigerant to the discharge cover   |                      |                    |
| Interaction                 |       | Fixed scroll compress low pressure <b>refrigerant</b> and delivers high pressure refrigerant to the discharge valve |                      |                    |
| Score                       |       | <b>Force</b>  | <b>Material Flow</b> | <b>Energy Flow</b> |
|                             | J → R | 0   | 1                    | 0                  |
|                             | R → J | 0   | 0                    | 0                  |

### 3.4 관점별 From-To Relation Matrix 작성

앞 단계에서 정의된 각 관점에 대한 부품 기능 간 상호관련성 점수를 정의하여 계산하고 이를 활용하여 From-To Relation Matrix를 작성한다.

### 3.5 그룹화

앞 단계에서 작성된 From-To Relation Matrix는 Fig.4의 그룹화 알고리즘을 통하여 기능의 상호관련성에 따라 Matrix의 행렬 순서를 바꾸어 재배치된다. 즉, 재배치된 Matrix는 그룹화 된 형태에 따라 직선형, 방사형, 순환형 등으로 분류된다. Matrix상의 각 그룹은 하나의 상위기능을 구현하는 것으로 정의된다.

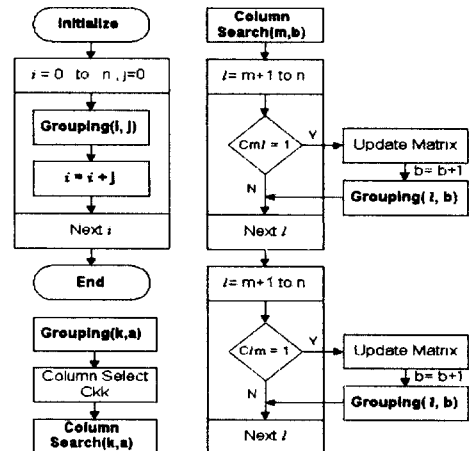


Fig.4 Grouping algorithm

### 3.6 기능 관계도 작성

기능 관계도는 각 관점별로 그룹화 알고리즘을 이용하여 생성된 Matrix를 활용하여 작성된다. Scroll 압축기에 대하여 구성된 각 관점별 기능 관계도 결과는 Fig.5~7과 같다.

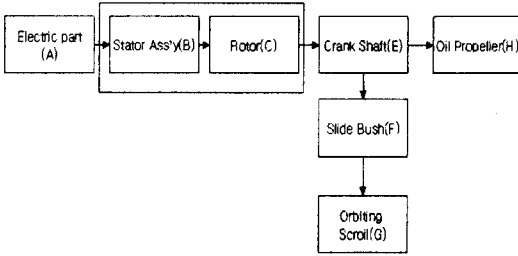


Fig.5 Function network for energy flow

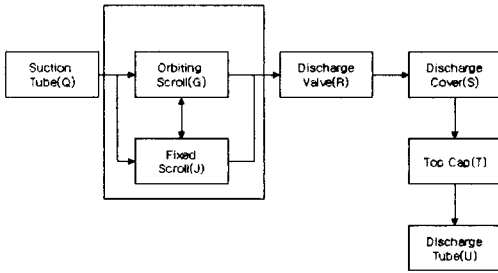


Fig.6 Function network for material flow

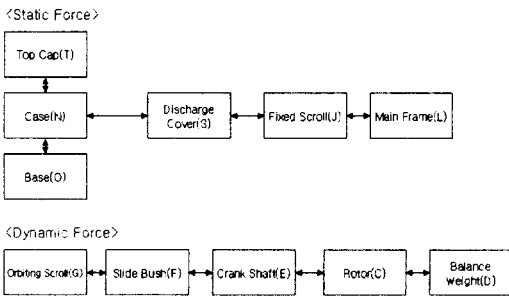


Fig.7 Function network for force flow

### 4. Function Tree 전개 방법

Scroll 압축기를 대상 제품으로 하여 본 연구의 방법론을 적용시켜 보면 다음과 같다. 우선 압축기의 기능을 파악하기 위한 관점을 정의하는데, 'Energy Flow', 'Material Flow', 'Force Flow'의 세 관점에서 분석한다. 본 절에서는 'Material Flow'인 '냉매 흐름'에 초점을 맞추어 설명하기로 한다.

### 4.1 관점에 따른 기능 전개

기능 전개의 알고리즘 및 구체적인 방법은 3절에서 설명한 바와 같으며 '냉매 흐름' 관점에 따른 기능 전개 결과는 Fig.6와 같다. Fig.6의 기능전개도에서 각각의 블록은 부품의 단위 기능을 의미하며, 블록을 연결한 선은 단위 기능들 사이의 상호관련성을 나타낸다.

### 4.2 Function Tree 전개 방법

Function Tree 전개에서 기능 전개도는 고장 위치와 그 고장의 발생 방식을 체계적으로 정리할 수 있게 하여 주는 것이다. 얻어진 기능 전개도의 각 블록과 선에 대해 각기 가능한 모든 고장 방식을 부여하여 각각의 단계에서 어떠한 고장이 일어날 수 있는지를 모두 표시한다. Fig.8은 Function Network에 고장의 형태 (Failure Mode)를 표시한 예이다.

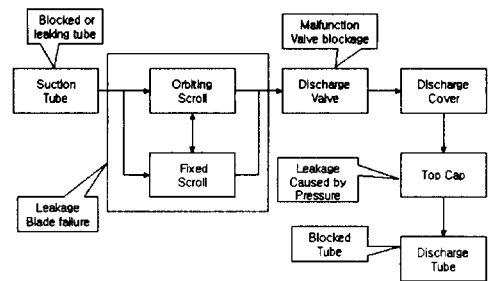


Fig.8 Fault modes expressed in function network

Fig.8과 같이 기능 전개도에 가능한 모든 고장 방식을 표현하면 고장이 일어날 수 있는 부품, 장소, 형태를 쉽게 추론해 낼 수 있다. 위의 그림에서는 설명을 위하여 간략하게 표시하였지만, 실제로는 모든 블록과 선에 대하여 고장 방식을 분석하여 기입하게 된다.

### 4.3 관점에 따른 부분 Function Tree의 구성

Function Network 구성을 통하여 기능 전개도를 얻었고, 얻어진 기능 전개도에 고장 방식을 부여하여 얻어진 고장 방식을 다시 Function Network의 수준 구조에 따라 나열하면 각각의 고장방식이 하나의 트리 구조를 이루게 된다. Fig.1과 같이 Fault Tree의 각 단계는 Function Network의 각 수준과 대응되게 되는데, 이런 방법으로 트리 구조를 확장하

여 더 이상 전개될 수 없을 때까지 트리 구조를 확장하면 관점에 따른 Fault Tree를 얻을 수 있다.

기존의 방법에서는 Fault Tree는 Top-down형식으로 최상위 고장으로부터 순차적으로 하위 단계를 추론해 내는 방법을 따르나, 본 연구의 방법에서는 각각의 Fault Tree 전개 단계를 기존의 Fault Tree 전개 방식과는 다르게 병렬적으로 연결해주는 특징이 있다. 이런 방법의 전개는 보다 쉽게 고장방식에 접근할 수 있다는 장점이 있으며, 또한 Function Network에서 Fault Tree로 이행되는 과정이 객관적인 과정을 거쳐 수행되므로 기존의 방법에 비하여 전문가의 경험과 지식에 대한 의존도가 적어질 수 있는 장점이 있다.

Fault Tree를 구성하기 위해 이제 기능 전개도에 나열된 고장 방식을 Function Network 상의 계급 구조에 맞도록 위치시킨다. Function Network에 나타난 각기 블록의 역기능이 Fault Tree에서의 하나의 고장 단위가 된다. 이런 방법을 이용하여 다른 관점에 대해서도 Fault Tree를 구성해 보면 다음과 같다. Fig.9는 '에너지 흐름'관점에서의 부분 Fault Tree를 구성한 것이며, Fig.10은 'Force Flow'관점에서의 기능 전개 및 해당하는 Fault Tree의 결과이다.

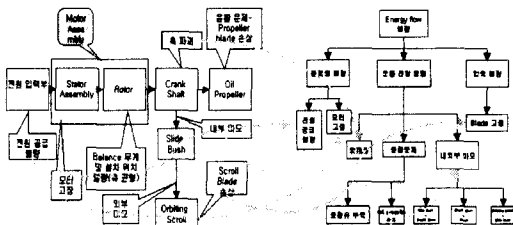


Fig.9 Link between fault modes and fault tree with respect to energy flow

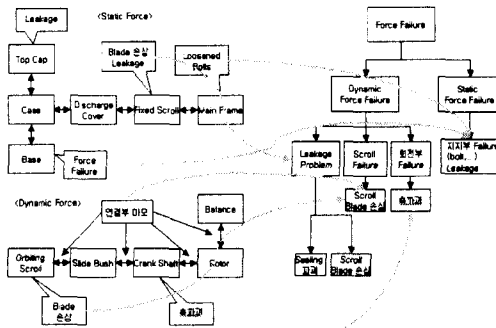


Fig.10 Link between fault modes and fault tree with respect to force flow

위와 같이 세가지 관점에 따른 Fault Tree를 Function Network을 기초로 한 기능 전개도로부터 작성하였다.

#### 4.4 전체 Fault Tree의 구성

마지막 단계는 앞에서 얻은 관점별 Fault Tree들을 하나로 통합하는 것이다. 관점별로 얻어진 세 개의 Fault Tree를 연관되는 사안끼리 연결한다. 이때 하나의 내용이 다른 하나에 종속되는 경우가 발생 하기도 한다. 예를 들어 전체 Fault Tree를 보면 'Energy Flow'가 '냉매 흐름'의 하위 단계로 주어졌다. Fig.11은 전체 Fault Tree의 결과이다.

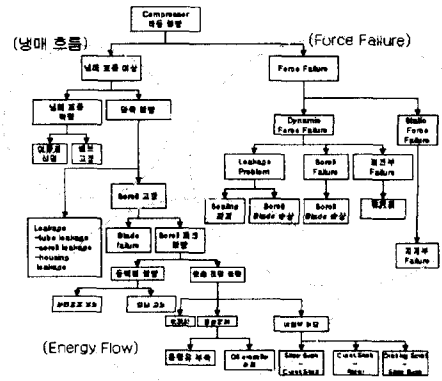


Fig.11 Complete fault tree of a scroll compressor

이 과정은 지금까지 얻어진 부분 Fault Tree들을 고장이 일어나는 부분의 계급구조에 따라 나열하는 것이며 전체 Function Network에 대해 전혀 다른 개념을 제시하지 않는 한 많은 경우 그 형태에 커다란 차이가 없게 된다.

#### 5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 FTA에서 사용되는 Fault Tree를 전개하기 위한 체계적인 방법을 개발하였다. 이 방법은 제품의 기능 전개 결과로 구성된 각 관점별 부분 Function Network을 활용하여 각각의 Function Network에 표현되어 있는 단위 부품의 기능과 부품들 사이의 상호 관계에서 발생할 수 있는 모든 고장 형태를 정의하고 이를 토대로 각 관점별 Fault Tree를 구성한다. 이렇게 구성된 각 관점별 Fault Tree들의 상호 관련성을 분석하여 하나의 통합된 Fault Tree를 구성함으로써 FTA를 수행하도록 한다.

이러한 방법론의 개발을 통하여 Fault Tree를 구성하기 위하여 제품의 기능 전개 결과로 얻어지는 Function Tree를 활용하는 체계적인 방법을 개발함으로써 기계류 제품과 같이 그 기능의 해석이 복잡하고 그로 인한 Fault Tree 구성이 복잡한 경우에도 용이하게 FTA를 구현할 수 있도록 하였다.

본 논문에서 제시된 방법에 의하여 구성되는 Fault Tree의 특성은, 우선 Function Network에서의 단위 부품의 기능과 상호 관계가 적절히 구현되지 못하여 발생하는 현상을 Fault로 정의하고 해석하여 Fault Tree를 구성함으로써 체계적인 구성 방안을 통하여 Fault Tree를 해석자의 지식이나 경험 보다는 객관적인 과정을 통하여 얻을 수 있다는 점이며, 둘째로는 Function Network과 Fault Tree사이에 연계성을 가지고 있으므로 Fault가 발생하면 이의 구체적인 원인이 되는 부품들을 Function Network에서 용이하게 파악할 수 있으며 하나의 Fault가 다른 부품의 기능에 미치는 영향 또한 용이하게 파악할 수 있다는 점이다.

향후 연구 내용으로는 대상 제품의 기능 전개를 제품의 최하위 수준인 설계 파라미터에서 그 기능 및 다른 파라미터와의 상호 관계까지를 고려하여 계층적인 Function Network을 구성하고 이를 활용하여 Fault Tree를 심화할 수 있도록 추구한다. 이러한 계층적인 Fault Tree를 통하여 보다 정밀하고 체계적인 FTA가 가능해지며 보다 향상된 신뢰성 분석의 결과를 기대할 수 있다. 또한 계층적 Function Network과 계층적 Fault Tree를 활용하여 설계자는 제품의 성능과 신뢰도를 향상시키기 위하여 필요한 설계 요소를 파악하고, 특정한 설계 요소를 변경하는 경우 발생 가능한 Fault를 미리 파악할 수 있으므로 보다 효율적인 설계가 가능해 질 것이다.

### 참고문헌

1. Geymayr, J., Ebecken, N., "Fault Tree Analysis: A Knowledge-Engineering Approach," IEEE Trans. On Reliability, Vol. 44, No. 1, pp.37-45, 1995.
2. 이일재, 이광원, "FT의 빠른 신뢰도 계산을 위한 연구," Journal of KHIS, Vol. 12, No. 3, pp. 180-190, 1997.
3. Vemuri, K., Dugan, J., and Sullivan, K., "A Design Language for Automatic Synthesis of Fault Trees," 1999 Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 91 - 96, 1999.
4. 김길동, 조암, "퍼지집합에 의한 FT 분석 및 신뢰성 분석," 한국산업안전학회지, 제 12 권, 제 3 호, pp. 155-160, 1997.
5. 하성도, 이언경, 방건동, 박세형, "설계 지원 시스템 개발을 위한 제품 기능 전개 방법에 관한 연구," '99년도 추계 학술대회 논문집, 한국 정밀공학회, pp. 471-475, 1999.