

경계인자를 이용한 고장진단 지식의 표현법에 관한 연구 - A Study on the Diagnostic Knowledge Representation Using Boundary Factors -

정 현 식*

JUNG, Hyun Seok

이 병 군*

LEE, Byung Gun

ABSTRACT

The role of equipment maintenance in manufacturing becomes important. As a method of overcoming this problems, diagnostic expert system has been introduced. If such a system is, however, based on the troubleshooter's knowledge, many difficult cases are occurred in the real process of diagnosis using that kind of system.

This paper suggests to use the designer's knowledge for diagnosing the malfunctions of production equipments. To do that, a method of knowledge representation is also proposed, which is based on the concept of boundary factors. In addition, the disorder propagation is considered. As a results, one can simplify the process of reasoning and inspection.

1. 서 론

종래의 보전기술자들의 지식을 근거로 한 진단 엑스퍼트 시스템(Diagnostic Expert System)은 특정 설비에 대한 경험과 데이터가 존재한다는 것을 전제로 하고 있다. 그러나, 최근 첨단기술의 급속한 발전에 힘입어, 생산 설비가 대단히 복잡하고 정밀한 구조로 구성되어 있음을 감안할 때, 설비 도입의 초기에는 보전기술자에 의한 보전활동이 곤란한 것이 사실이다. 따라서, 설계지식에 의거하여 진단에 필요한 지식을 작성하고 이를 지식베이스로 구축하여 이용하는, 설계자의 지식을 이용한 진단 시스템이 필요하게 된다[1].

본 연구에서의 진단 시스템은, 완전히 새로운 형태의 기계로서 과거의 고장 데이터가 없는 기계를 주된 대상으로 하고 있다. 그러므로 설계자의 지식만을 이용한 진단 시스템을 구축하는 것을 말한다.

지식베이스 시스템을 구축할 때 가장 곤란한 점은 지식획득(knowledge acquisition)이며[2], 지식획득에 소요되는 시간은 지식베이스 시스템 개발의 코스트에 영향을 미친다. 또한, 시스템의 신뢰성, 유효성 및 유용성으로 평가되는 지식베이스 시스템의 성능은 추출된 지식의 신뢰

* 동서공과대학교 산업공학과

성, 유효성 및 정확성에 의존한다[3]. 따라서 우수한 지식원의 선정, 지식획득의 체계화 및 획득한 지식의 적절한 표현 방안은 지식베이스 시스템을 구축할 때 제일 먼저 처리되어야 할 과제이다.

본 연구의 목적은 고장진단용 지식베이스 시스템 구축을 위한 지식획득 수단과 그 표현형식을 구체화 시키고, 이러한 형태의 지식을 이용한 추론 알고리즘을 개발하는 것이다. 구체적인 지식획득 수단으로써 자동설계에 이용되고 있는 경계인자와 경계인자 그래프의 개념을 도입하여, 이를 설계자로부터 진단지식을 추출하는 데에 적용시키고 있다. 각 고장과 증상간의 관계는 필연적 관계와 가능적 관계로 나누어 기술한다. 전자는 고장 A가 증상 a를 반드시 유발시키는 경우를 의미하고, 후자는 고장 A가 증상 a를 일으킬 수 있는 인과관계를 가진 경우를 의미한다. 본 연구에서는 자동설계에서 활용하고 있는 경계인자의 개념을 먼저 검토한 후, 고장진단에 있어서의 경계인자에 대하여 논한다. 마지막으로 예제를 이용하여 추론과정을 설명한다.

2. 진단지식의 획득 수단으로서의 경계인자

설계자와 보전기술자의 사고에는 근본적인 차이가 있다. 즉, 설계자의 경우는 동력전달과정을 주된 흐름으로 사고하고 있으므로 어떤 고장이 발생되었다면 다음 단계에는 어떤 형태로 나타날 것인가라는 식의 사고를 하고 있지만, 보전 기술자의 경우는 이와 반대 방향의 사고를 통하여 진단을 행하고 있다. 따라서, 어떤 증상을 일으킨 고장을 기술하라는 형식의 지식획득 수단은 설계자로 하여금 많은 시간과 노력을 요구함과 동시에, 작업상의 에러를 유발시킬 가능성이 높아진다. 따라서 설계자와 보전 기술자에게 진단 지식을 기술하는 임무를 부여할 경우에는 이들 각자의 사고흐름에 맞는 지식표현 도구를 제공해 주어야만 효율적으로 작업을 수행할 수 있다.

설계자가 고장진단 시스템을 구축할 경우 최대 이점은 대상 설비의 구조에 관한 지식을 정확하게 알고 있다는 점이다. 그러나, 구조에 대한 지식을 어떤 형식으로 표현할 것인가라는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위한 유효한 수단으로써 설비의 구조기술법이 도입되고 있음을 여러 문헌을 통하여 발견할 수 있다[4,5,6,7]. 특히, 인텔리전트 CAD용의 구조표현에 적용되고 있는 경계인자의 개념은 설비와 요소에 대한 제원의 결정과 전체의 기능을 표현할 수 있는 구조표현방법이며, 개념 자체가 간단하고 이해하기 쉬운 이점이 있으므로 본 연구에서는 이 개념을 도입하고자 한다.

기계는 각 구성 요소간의 체계적인 접속을 기본으로 상호간에 영향을 미치고 그 결과로써 하나의 기능을 발휘할 수 있도록 설계되어 있다. 접속되어 있는 요소가 서로간에 적절한 영향을 미치기 위해서는 어떤 형태로든 필요한 정보를 교환하지 않으면 안된다. 이 때의 두 요소간의 공유제원을 경계인자(Boundary Factor)라고 한다[8,9]. 설계대상 S를 부분 $S^1, S^2, \dots, S^j, \dots, S^n$ 으로 분해하여 다음과 같이 표현한다.

$$S = S^1 \cup S^2 \cup \dots \cup S^j \cup \dots \cup S^n.$$

하나의 기능을 가진 부분구조를 유니트라고 하면, 모델론(modelon)은 “결합에 의하여 모델을 표현할 수 있는 유니트”라고 정의할 수 있고[8], 그림 1과 같이 표현된다. 그림 1과 같이 2개의 모델론 M^j, M^k 의 결합상태를 생각해 보자. 이 상황에서 2개의 모델론간의 공유제원을 각각 모델론 M^j, M^k 의 경계인자라 하고, B^{jk} 로 나타낸다.

$$M^j \cap M^k : B^{jk} = \{c^j\} \cap \{c^k\}.$$

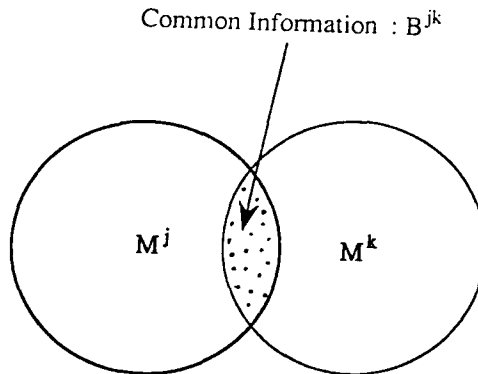


그림 1. 모델론과 경계인자와의 관계

여기서 c^j 와 c^k 는 모델론 M^j , M^k 의 설계제원이다.

일반적으로, 하나의 모델론이 어떤 설계대상에 이용될 것인지는 불명확하지만, 어떤 모델론이 결합될 수 있는 다른 모델론을 일거할 수는 있다. 즉, 적어도 모델론 내의 전체 제원 중, 결합할 때 공유될 가능성이 있는 제원을 미리 구별해 둘 수는 있다. 모델론 M^j 에 결합할 가능성이 있는 어떤 모델론 M^k, M^l, M^m 을 고려해 보면, M^j 의 경계인자 B^j 는 다음과 같이 표현된다.

$$B^j = B^{jk} \cup B^{jl} \cup B^{jm} \cup \dots$$

또 경계인자 $B^j (= \{b_i^j | i = 1, 2, \dots\})$ 는, 외부로부터 영향을 받는 입력 경계인자 \hat{B}^j 와 외부에 영향을 미치는 출력 경계인자 \check{B}^j 의 2종류가 있다고 생각된다. 즉,

$$B^j = \hat{B}^j \cup \check{B}^j.$$

입력 모델론을 이용하여 설계제원 D 를 구하기 위해서는 설계식 F^j 가 필요하다. 이들의 관계는

$$D^j = F^j(B^j)$$

와 같이 표현할 수 있다. 이 F^j 는

$$\check{B}^j = F^j(\hat{B}^j)$$

와 같이 출력경계인자를 구하는 경우에도 이용할 수 있다. 이와 같은 F^j 를 프로그램화 하여 모델론의 프로세서로 활용하고 있다.

그림 2는 모타, 커플링, 감속기로 구성된 유니트이고, 표 1은 구성 모델론간의 경계인자이다. 그림 3은 경계인자들의 관계를 나타낸 경계인자 그래프이다. 표 1과 그림 3에서, 예를 들어, 모델론 1인 모타의 경계인자 B^1_1 (회전속도)은 설계식 F^1_1 에 의하여 경계인자 B^1_3 (정격마력)로 산출되고 있음을 알 수 있다. 예를 들어, B^1_1 (회전속도)과 B^2_1 (회전속도)과의 관계처럼 설계식이 표시되어 있지 않은 관계는 B^1_1 이 그대로 출력되고 있음을 나타낸다. 또, 모델론의 결합에 의한 구조 모델론은 모델론의 계층구조로 표현할 수 있다. 따라서, 경계인자를 정보로 가지고 있는 모델론은 독립된 유니트라고 간주할 수 있고, 하나의 부품을 모델론으로 생각할 수도 있는데,

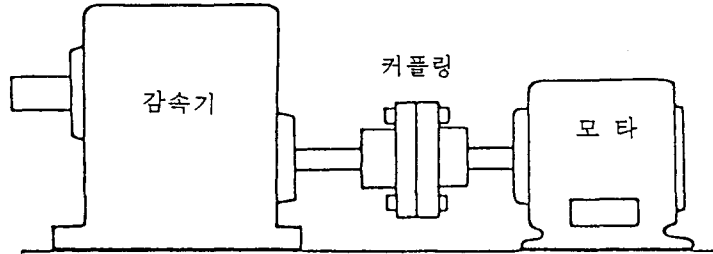


그림 2. 감속기와 모타 시스템

표 1. 감속기와 모타 시스템의 경계인자

Modelon	Name	Boundary Factor
M ¹	Motor	B ¹ ₁ Rotational Speed B ¹ ₂ Rated Speed B ¹ ₃ Rated Horse Power B ¹ ₄ Diameter of Shaft
M ²	Coupling	B ² ₁ Rotational Speed B ² ₂ Transfer Torque B ² ₃ Inside Diameter of Fitting Surface to Shaft B ² ₄ Outside Diameter of Fitting Surface to Shaft
M ³	Reducer	B ³ ₁ Rotational Speed of input Side B ³ ₂ Rotational Speed of Output Side B ³ ₃ Torque of Input Side B ³ ₄ Torque of Output Side B ³ ₅ Diameter of Shaft of Input Side

이 경우의 모델론을 모델론素라고 한다[10]. 이와 같은 모델론의 결합에 의한 설비구조표현법이 진단 지식을 추출하는 기본이 된다.

3. 진단지식의 획득과 표현

3.1 고장과 증상간의 인과관계

고장진단에 이용할 데이터를 지식의 형태로 취급하려고 하면, 고장과 증상간의 인과관계가 그 핵심이 되어야 한다. 본 절에서는 이 인과관계를 좀 더 세분하여 고찰하고자 한다.

Reggia 등은 병과 증상간의 가능적 인과관계를 정의하고 있다[11]. 즉, “이런 병이 발생하였을 때, 그것에 대한 증상이 반드시 일어난다고는 할 수 없다” 라는 사실을 병과 증상간의 가능적 인과관계라 한다. 원인과 결과 사이에 존재하는 이러한 가능적 인과관계를 이용한 연구

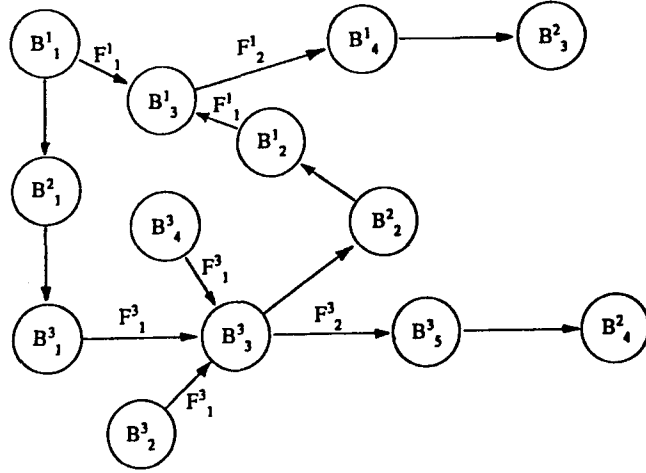


그림 3. 경계인자 그래프

사례도 여러 번 발표되었다[12,13]. 만약 위에서 기술한 관계만으로 진단지식을 기술한다고 하면, 비교적 간단하게 지식베이스를 구축할 수 있을 것이다. 반면, 애매한 관계밖에 표현하고 있지 않으므로, 진단가설의 존재범위를 축소시키기 위한 별도의 알고리즘이 필요하게 된다. 애매한 지식을 사용한 추론의 결과는 아무리 정교한 알고리즘을 사용하여도 결국 애매한 결론이 되고 만다. 인간의 행동에 있어서도 확실한 지식이 없는 경우의 추론 결과는, 그 결론에 대한 확신이 결여되어 있기 때문에 직접적인 행동으로 연결되지 않는 경우가 대부분이다. 만일, 가능적 인과관계 이외에 보다 강력하고 이용가능한 관계가 존재한다면, 알고리즘의 정확성 혹은 신뢰성에 그렇게 좌우되지 않는 결론을 도출할 수 있을 것이다. 이것은 “지식은 힘이다” 라고 하는 평범한 진리에서도 그 타당성을 발견할 수 있다. 바꾸어 말하면, 추론의 효율이 계산의 효율에 의존하는 추론이 아니고, 추론에 이용하고 있는 지식의 질에 좌우되는 추론을 구사할 수 있게 된다.

이론적으로, 인과관계에는 가능적 인과관계 이외에 필연적 인과관계가 존재한다. 이 관계를 정의하면 다음과 같다. “이런 원인(고장) d_i 가 결과(증상) m_j 를 반드시 유발시키는 경우의 원인과 결과간의 관계를 필연적 인과관계라고 한다.” 이 두가지의 관계를 모두 이용하기 위해서는, 의료진단이나 설비의 고장진단에 관한 지식에 이러한 필연적 관계가 포함되어 있는지 여부를 먼저 판단하여야 한다. 만약 이 지식의 존재를 확인할 수 있다면, 진단 지식의 질은 상당한 신뢰성을 얻을 수 있을 것이다. 이는 필연적 관계는 가능적 관계에 포함되는, 좀 더 좁고 명확한 범위를 가지기 때문이다.

스포츠 과학에서 이용하고 있는 약물검사의 경우, 선수의 소변이나 혈액을 검사하여 그 결과를 가지고 선수의 약물복용 사실을 입증하는 결정적인 증거로 삼고 있다. 이는 약물 복용과 혈액 및 소변과의 관계가 필연적이라는 사실을 근거로 하고 있다. 이처럼, 병의 발생 메카니즘이 명확하게 증명되어 그 치료법이 확립되어 있는 병 중에는 병과 증상간의 필연적관계를 설정할 수 있는 경우도 있다. 의료기술의 발전과 더불어 이러한 병의 수도 늘어갈 것이다. 이렇게 필연적 인과관계가 늘어날 가능성이 있는 분야라는 것은, 의료진단이 병의 발생 메카니즘에 대한 확실한 정보가 부족한 분야라는 의미일 것이다. 의료전문가의 지식만을 이용하고 있는 의료진단 전문가 시스템이 의무적으로 개발되고 있음에도 불구하고 실제로 활용되는 시스템이 적은 이유 중의 하나는, 사용자 인터페이스의 문제도 있지만, 가능적 인과관계로 구성된 타인의 경

험적 지식을 그대로 신용하기에는 너무 큰 위험이 따른다는 인식이 더 중요한 이유가 되고 있다.

그러나 의료진단에 있어서의 인과관계 중에도 필연적인 인과관계가 존재한다는 것은 틀림없는 사실이다. 그렇다면, 인간의 논리적인 사고에 따라 제작되는 설비의 고장진단에 대하여는 더 많은 필연적관계가 존재할 것이다. 이 필연적 관계에 대한 지식은 해당 설비의 설계자로부터 획득할 수 있다. 설비의 고장과 그 증상에 대한 인과관계에 관한 설계자의 지식을 보다 효율적으로 이용하는 방법을 제시하는 것이 본 연구의 가장 큰 목적중의 하나이다.

3.2 진단 지식획득의 체계화를 위한 고장진파

설계자의 지식을 효율적으로 추출하고 이를 기술하기 위하여 본 연구에서 활용하고자 하는 도구는 설계에서 이용하고 있는 경계인자의 개념이다. 이 개념을 진단지식기술용으로 변환하기 위하여 다음과 같이 고장의 진파형태를 고려해야 한다.

먼저, 설계자는 자신이 설계한 부분의 최소 단위에서 발생할 수 있는 모든 고장을 예측하여야 한다. 이는 설계과정에 있어서의, 어떤 모델론이 결합될 수 있는 다른 모델론을 예측하는 과정에 해당한다. 열거한 고장과 고장간의 관계를, 각각의 고장이 가진 고장특성에 따라 진파되는 과정을 기술한다. 이러한 고장의 진파과정에 이용되는 고장의 종류는 다음과 같다.

- (1) 외부의 어떤 원인에 의하여 발생한 고장 : 1차 고장(S)
- (2) 1차 고장이 원인이 되어 발생한 고장 : 제1종의 2차 고장(T)
- (3) 1차 고장 혹은 2차 고장의 성질이 변화한 상태 : 제 2종의 2차 고장(C)
- (4) 관측가능한 증상(m)

여기서, 1, 2차 고장은 기능저하 혹은 기능 정지의 경우를 의미하므로 수리하여 원래의 상태로 복원하지 않으면 안된다. 그러나 증상이란 고장의 외부에서 관찰 가능한 형태에 지나지 않으므로, 고장부분을 수리하면 그에 따른 이상현상도 없어지는 경우를 의미한다. (3)의 제 2종의 2차 고장은 엄밀한 의미에서는 고장이 아니다. 예를 들면, 그림 2에서 모타의 회전속도가 떨어짐으로써 모타 축의 회전속도가 저하되는 경우가 C에 해당한다.

3.3 경계인자법에 의한 고장의 표현

생산 설비는 그 기능과 호환성에 의거하여 여러개의 유니트로 분해할 수 있고, 각각의 유니트는 여러 개의 요소로 분류할 수 있다. 즉, 분해할 수 없는 최소단위인 요소를 모델론素라고 하면, 몇 개의 모델론소가 결합되어 하나의 모델론(유니트), 몇개의 모델론(유니트)이 결합되어 하나의 완성된 설비를 형성하고 있다. 이것이 설비의 계층구조이다.

설계자는 하나의 요소를 설계한 시점에서 그것을 모델론素로 간주하여, 이 모델론素에서 발생가능한 고장을 경계인자라 하고 이를 열거한다. 모델론素의 집합은 유니트 모델론이 되며, 각 모델론素에 있어서의 각종 고장 및 증상의 표기는 다음과 같이 한다. 고장발생시 유니트 단위로 교체하지 않으면 안되는 경우에는 그 유니트의 요소인 모델론素을 기본으로 하지 않고, 모델론(유니트)을 기본으로 하여 그 모델론에서 일어날 수 있는 고장을 열거할 수도 있다.

- M_i^j : i번째의 모델론(素)
- S_j^i : i번째의 모델론의 j번째의 1차고장
- T_j^i : i번째의 모델론의 j번째의 제 1종의 2차고장
- C_j^i : i번째의 모델론의 j번째의 제 2종의 2차고장
- m_j^i : i번째의 모델론의 j번째의 증상

이러한 표기법은 다음과 같은 이유에서 도입되었다. 즉, C를 이용함으로써 검사를 위한 분해단계를 줄일 수 있다. 즉, 그림 4와 같은 고장진파 그래프에서 m_1^5 라는 증상이 나타났다고 하면 이 증상을 일으킨 원인이 되는 고장으로서 S_1^1 과 S_3^1 중의 어느 하나 혹은 두가지 모두의 고장

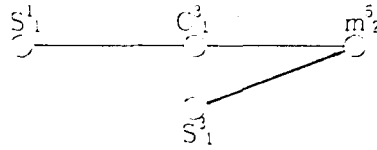


그림 4. 고장진파의 기술에

을 고려해야 하는 데, 이 중의 어느 고장이 실제로 발생되어 있는지는 검사를 통하여 확인하지 않으면 안된다. 그러나 고장 진파의 일반적인 정향으로써, S_1^1 보다는 C_1^3 을 검사하는 쪽이 검사가 간단한 경우가 있다. S_1^1 을 검사하기 전에 C_1^3 을 검사해 봄으로써 S_1^1 의 검사이부를 결정할 수 있는데, 만약 C_1^3 이 나타나 있지 않다면, S_1^1 은 고장이 아니라고 판단하게 되고, 그만큼 검사 시간을 단축시킬 수 있다. 또, 증상 m_1^2 은 고장진파 그래프의 頂上事象이 되므로 다음에 기술하는 진단을 위한 추론의 출발점이 된다.

다음으로, 추론과정을 설명하기 위하여, 그림 2의 모터(M^1), 커플링(M^2) 및 감속기(M^3)로 구성된 계를 생각해 보자. 이 계에서 생각할 수 있는 고장은 그림 5와 정계인자 그래프로 표현된다. 여기서 고장 S_1^1 은 T_1^2 을, S_1^2 는 T_1^1 과 T_3^2 를 각각 유발시키고 있음을 알 수 있다. 그림의 "P"와 "N"은 앞에서 기술한 가능적 인과관계와 필연적 인과관계를 나타낸다. 이 그래프를 컴퓨터에 저장시키면 그림 6과 같은 매트릭스가 된다. 추론시에는, N은 1, P는 2, 그리고 관계가 없는 경우에는 0으로 처리된다. 생산 실비를 10개의 유니트로 분해하였다면 그림 6과 같은 매트릭스도 10개가 형성된다. 실비를 분해하지 않고 하나의 매트릭스로 나타낼 경우보다 가능한 많은 유니트로 분해하여 유니트 단위의 매트릭스로 저장하는 편이 메모리 용량을 적게 사용한다. 여기서 I는 고장의 입력, O는 그 영향으로 나타나는 고장 혹은 증상을 나타낸다. 추론시에는 이 매트릭스상의 숫자를 변경시켜 가면서 추론의 경로를 표시하고 있다.

4. 추론

이상에서 기술한 지식획득 과정과 그 결과로써 얻어진 진단지식 매트릭스를 이용한 고장진단을 위한 추론과정을 예제와 함께 기술하면 다음과 같다.

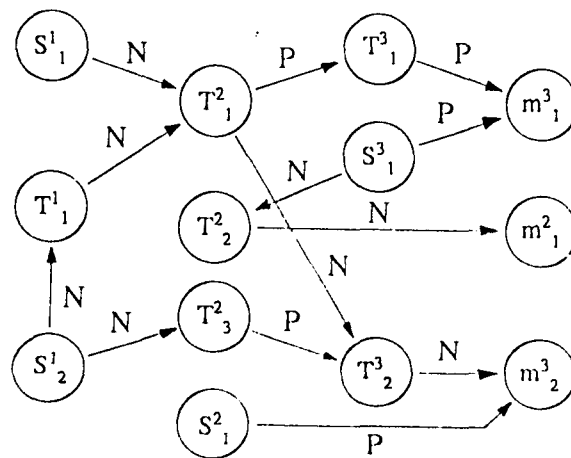


그림 5. 고장진파 그래프

I \ O	S ¹ ₁	T ¹ ₁	S ¹ ₂	T ² ₁	T ² ₂	T ² ₃	S ² ₁	T ³ ₁	T ³ ₂	S ³ ₁	m ² ₁	m ³ ₁	m ³ ₂
S ¹ ₁				N									
S ¹ ₂		N				N							
T ¹ ₁				N									
T ² ₁								P	N				
T ² ₂											N		
T ² ₃									P				
S ² ₁													P
T ³ ₁												P	
T ³ ₂													N
S ³ ₁					N							P	

그림 6. 고장전파 매트릭스

[추론과정]

- <단계 1> 증상을 입력한다(m³₁).
 - <단계 2> 입력받은 증상을 일으킬 가능성이 있다고 되어 있는 한단계 아래의 고장을 모두 탐색한다. (S³₁, T³₁)
 - <단계 3> 복수개의 고장이 선택된 경우, 하나의 고장에 초점을 맞추고 그 고장이 유발시키는 증상 혹은 고장이 있는지 조사한다. (T³₁은 m³₁이외는 유발시키는 증상이 없으므로 제외, S³₁ → T²₂ → m²₁으로 되어 있으므로 유발시키는 증상이 있음)
 - <단계 4> 해당 증상이 있으면 증상이 나타나 있는지 여부를 조사한다(m²₁이 나타나 있는지 조사).
 - 4-1) 이 증상(m²₁)이 나타나 있다면, 이는 최초의 이상 발견시에는 발견하지 못했던 증상으로써, 진단해야 할 증상의 집합에 기록해 둔다.
 - 4-2) 해당 증상(m²₁)이 나타나 있지 않고, 고장에서 증상으로의 관계가 필연적인 관계로만 구성되어 있을 경우에는 그 증상(m²₁)을 유발하는 고장(S³₁)을 고려 대상에서 제외시킨다. 고장에서 증상으로의 관계에 가능적관계가 하나라도 포함되어 있는 경우에는 이 증상을 유발시킬 가능성이 있는 고장(S³₁)은 진단가설로써 남겨 둔다.
 - <단계 5> 단계 3에서 선택된 모든 고장에 대하여 단계 4를 실행.
 - <단계 6> 단계 4-2를 수행한 상태에서 진단가설에 포함되어 있는 고장 중의 하나를 선택하여 그 고장의 한 단계 아래의 고장을 탐색한다.
 - 6-1) 해당고장이 있으면 단계 3에서 단계 5까지를 실행.
 - 6-2) 해당고장이 없으면 단계 3-1에서 발견된 증상에 근거하여 단계 1-단계 5까지를 수행한다. 단계4-1의 증상집합에 포함되어 있는 모든 증상을 고려하였다면 추론을 종료시킨다.
 - <단계 7> 단계 3 - 단계 6까지를 수행한다.
- 이 추론의 특징은 다음과 같다. 발견된 증상에서 추론이 시작되지만, 진단가설에 포함되어 있는 고장(예 S³₁)이 실제로 발생되어 있다면 그에 따른 또 다른 증상(예 m²₁)이 나타나 있을 것이라는 가능성을 충분히 감안하고 있다는 것이다. 또한, 고장과 증상간의 필연적 인과관계에 충실함으로써 S³₁ → T²₂ → m²₁ 까지의 관계가 전부 필연적인 관계이고 m²₁이 발생되어 있지 않다면, S³₁을 진단가설에서 제외시킴으로써 진단가설의 범위를 효과적으로 축소시킬 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서 제안하고 있는 진단지식 표현법은 고장의 전과과정을 상세하게 분류하였으므로 복잡한 메카니즘의 설비에 관한 진단지식 기술에 적합하다. 또한 고장과 증상간에 존재하는 인과관계를 명확히 함으로써 최종적으로 고장여부를 확인해야 할 부위를 효과적으로 줄일 수 있다. 설계시의 사고의 흐름과 같은 방향의 사고로써 설계자의 진단 지식을 추출할 수 있으므로 증상을 기준으로 이 증상을 일으키는 고장을 기술할 때에 발생할 수 있는 오류를 방지할 수 있다. 미래의 활용 방법으로서, 한 유니트의 고장진단지식을 기술해 두면, 그 유니트를 다른 설비에 이용할 경우에 진단 매트릭스를 그대로 이용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 정현석, 조규갑, 설계지식의 고장진단에의 활용에 관한 연구, 대한 산업공학회 추계학술대회, pp. 479-480, 1993
- [2] Lenat, D., Parakash, M. and Chepherd, M. : "CYC : Using Common Sense Knowledge to Overcome Brittleness and Knowledge Acquisition Bottlenecks", *AI Magazine*, Vol. 6 No. 4, pp. 65-85 (1986)
- [3] Chaya Garg-Janardan and Garvrial Salvendy : "A Conceptual Framework for Knowledge Elicitation", *Int. J. Man-Machine Studies*, Vol. 26, pp. 521-531(1987)
- [4] 吉川弘之 外 : "機械の構造規則", *精密機械*, Vol. 45, pp. 1099-1106 (1976)
- [5] 伊東誼, 新野秀憲 : "工作機械の構造記述(第1報, 記述方法とそれによる二, 三の例)", *日本機械學會論文集 (C編)*, Vol. 46, pp. 562-571 (1980)
- [6] 新野秀憲, 伊東誼 : "工作機械の構造創成方法 (第1報, バリエント・デザイン方式による創成)", *日本機械學會論文集(C編)*, Vol. 50, pp. 213-221 (1984)
- [7] 横山正明 外, "機械構造의 自動生成에 關する 基礎的研究(第1報, 機械의 機能構造의 그래프 記述法)", *日本機械學會論文集(C編)*, Vol. 51, pp. 1152-1157 (1985)
- [8] 沖野教郎 : *自動設計의 方法論*, pp. 41-71, 養賢堂 (1982)
- [9] 沖野教郎 : "自動設計의 一方法論 - 境界因子設計定式化", *精密機械*, Vol. 42, No. 6, 臨時增刊, pp. 405-411 (1976)
- [10] 沖野教郎 : "オブジェクト 指向による 形狀モデリング의 知能化-TIPSから Modelonへ", *システム・制御・情報*, Vol. 33, No. 8, pp. 385-390 (1989)
- [11] Reggia, J., Nau, D. S. and Wang, P. V. : "Diagnostic Expert Systems Based on a Set Covering Model", *Int. J. of Man-Machine Studeis*, Vol. 19, pp. 437-460 (1983)
- [12] Reggia, J. A., Nau, D. S. and Wang, P. V. : "A Formal Model of Diagnostic Inference", *Information Sciences*, Vol. 37, pp. 227-285 (1985)
- [13] Peeters, M., Evens, M. and Hier, D. : *A Comparison of the Generalized Set Covering Algorithm With a Decision Tree Algorithm for the Diagnosis of Stroke*, Proceedings of Expert Systems for Advanced Manufacturing Technology, Dearbon, MI, pp. 153-169 (1987)