

페트리네트 모델을 이용한 냉동시스템의 고장 진단 Fault Diagnosis of a Refrigeration System Based on Petri Net Model

정석권 · 윤종수

S. K. Jeong and J. S. Yoon

Key Words : Petri Net(페트리네트), Fault Diagnosis(고장진단), Transition invariance(트랜지션 불변성), Backward Reasoning(후방추론), Inter node Search Method(중간노드 검색법), Man Machine Interface(맨 머신 인터페이스), Refrigeration System(냉동시스템)

Abstract : In this paper, we proposes a man-machine interface design for fault diagnosis system with inter-node search method in a Petri net model. First, complicated fault cases are modeled as the Petri net graph expressions. Next, to find out causes of the faults on which we focus, a Petri net model is analyzed using the backward reasoning of transition-invariance in the Petri net. In this step, the inter-node search method algorithm is applied to the Petri net model for reducing the range of sources in faults. Finally, the proposed method is applied to a fault diagnosis of a refrigeration system to confirm the validity of the proposed method.

1. 서 론

최근 각종 기계 장치의 자동화, 시스템화가 빠르게 진행되고 있다. 이러한 경향은 해당 시스템의 효율과 성능을 향상시킨 반면, 시스템 구성 요소 간의 관계를 복잡하게 만들었다. 이로 인해 고장 진단을 위해서는 대상 시스템에 대한 전문적인 지식과 숙련된 경험이 필요하게 되었다. 그러나 전문가의 확보가 우선 용이하지 않고, 또한 전문가의 잦은 직장 이동 등으로 고장에 대한 빠른 대응이 어렵다. 특히, 시스템의 일부 고장이 전체 시스템의 가동을 중단시키는 경우에 효과적인 고장 복구조치가 지연됨으로써 경제적으로 엄청난 손실을 초래할 수도 있다. 그러므로 시스템의 안정성과 신뢰성 확보를 위해 초보 기술자라도 전문가에 필적하는 신속하고 정확한 고장 진단이 가능한 고장 진단 시스템의 구축이 필수적으로 요구되고 있다^{1, 3)}.

본 논문에서는 페트리네트(이하 PN) 모델을 이용한 냉동시스템의 오프라인 고장 진단법을 제안한다. 냉동 시스템은 기본적으로 증발기와 응축기 그리고

압축기와 팽창밸브 및 배관으로 구성되어 냉동·공조 산업 분야에 오래 전부터 이용되어 오고 있다. 최근에는 실외기 1대에 다수의 실내기를 갖는 멀티에어컨 시스템과 같이 시스템이 복잡해지고, 공조 시스템과 냉동 창고 등이 갈수록 대형화, 자동화 되는 추세에 있어 이들 시스템에 대한 효율적인 고장 진단 시스템이 요구되고 있다. 그러나 고장에 관한 각종의 사례 데이터들은 매뉴얼로 단순 처리되어 현장 기술자 및 사용자들에게 참고 자료로 활용될 뿐, 효과적인 오프라인 고장 진단법으로 구축되어 있지는 않다.

사례 데이터에 근거한 오프라인 고장 진단은 임재철 등에 의해 PN의 트랜지션 불변성(transition-invariance; 이하 T-불변성)을 이용한 후방추론법이 제안되어 전동기 속도제어계의 고장 진단에 적용한 사례가 있다^{1, 2)}. 이 방법은 고장에 관한 지식을 PN의 그래프 표현을 이용해 모델링하고 T-불변성을 이용한 후방 추론을 통해 고장의 원인을 찾아내는 진단법이다. 이 방법은 고장 현상과 원인의 논리 관계가 복수의 원인은 허용하되 1개의 결과만을 갖는 혼-클로즈(Horn-Clause, 이하 HC) 명제만을 대상으로 추론이 용이하다. 그러나 이 방법의 단점은 특정한 원인에 의해서 고장이 발생한 경우에도 고장을 일으킬 개연성이 있는 모든 원인 해집합 전체를

접수일 : 2005년 9월 8일
정석권(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : skjeong@pknu.ac.kr
윤종수 : 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

진단 결과로 제시하기 때문에 고장 진단과 조치에 비효율적이다. 정영미 등은 이러한 문제점들을 보완하여 다수의 고장 원인과 다단계의 복잡한 논리구조를 갖는 고장진단 시스템에 효율적으로 적용 가능한 PN의 중간노드 검색법과 PN의 접속행렬 합성법을 제안하였다³⁾. 이 방법은 기존의 추론법이 PN 모델의 최초와 최종 노드에만 주목해서 후방추론을 행하는 것에 비해 중간노드를 적극적으로 검색해서 다수의 고장 원인 가운데 현재의 고장에 직접적인 영향을 주는 원인만으로 해를 압축한다. 또한, 고장에 관한 새로운 정보의 침식이 용이하도록 접속행렬의 합성법도 동시에 제안되었다. 다만, 이 방법은 이론의 제안 수준에 그쳐 초보자가 활용 가능한 MMI(Man-Machine Interface) 설계 단계에는 이르지 못하였다. 따라서 본 논문에서는 냉동시스템을 대상으로 하여 비전문가가 전문가 수준의 고장진단이 가능하게 하는 MMI 설계에 초점을 맞춘다.

우선, PN의 T-불변성을 이용한 후방추론법에 대해 설명하고, 효율적인 중간노드 검색법 및 접속행렬 합성법을 MMI 설계에 초점을 맞추어 재정리한다. 다음, MMI의 설계 과정을 보이고 냉동시스템에 적용한 예를 들어 제안하는 방법의 효용성을 보인다. 제안하는 방법은 비전문가도 전문가 수준의 신속 정확한 고장진단을 가능하게 함과 동시에 고장에 관한 새로운 정보를 항상 시스템에 반영시킬 수 있음을 보인다. 또한, 고장 현상에 대한 인과 관계가 사용자에게 시각적으로 명료히 전달될 수 있는 방법으로서 향후 사례 데이터에 근거한 오프라인 고장진단 분야에 다양하게 활용할 수 있음을 보인다.

2. PN의 T-불변성을 이용한 후방추론

2.1 PN의 정의와 그래프 표현

PN의 구조 C는 식 (1)의 요소로 구성된다.

$$C = (P, T, I, O) \quad (1)$$

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$; 플레이스 집합(place set)

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$; 트랜지션 집합(transition set)

I : 플레이스로 들어오는 트랜지션 연결 정보 (input incidence matrix)

O : 플레이스에서 나가는 트랜지션 연결 정보 (output incidence matrix)

PN에서 트랜지션은 발생하는 사건의 진행이나

명령 수행을, 플레이스는 트랜지션이 발생하기 위한 시스템의 여러 조건에 대한 정보가 저장된다. 아크(arc) ' \rightarrow '는 방향성을 가지며 트랜지션과 플레이스 사이의 사건의 흐름을 표현한다. 토큰(token) ' \bullet '은 각 플레이스에 부여된 상태의 값으로 조건 정보가 토큰의 개수로 표현된다. 마킹(marking) M 은 플레이스 내의 토큰의 수를 나타내고 이산시스템(discrete system)의 동적 상태를 표현한다. 트랜지션과 플레이스의 접속 관계를 그래프로 표현하면 Fig. 1과 같다.

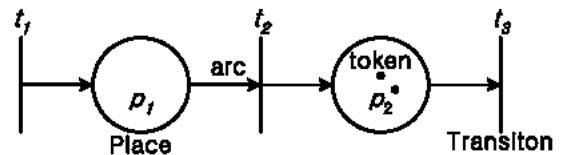


Fig. 1 PN graph expression

마킹된 PN는 초기 마킹 M_0 를 기반으로 시스템의 동작상태를 표현한다. 이 때 상태의 천이는 다음의 활성화(enable) 규칙과 발화(firing) 규칙에 따라 동작한다.

트랜지션 t_j 는 식 (2)의 조건을 만족하면 활성화로 된다.

$$O_N(t_j, p_i) \leq M(p_i) \quad (2)$$

여기서, $O_N(t_j, p_i)$ 는 플레이스 p_i 에서 트랜지션 t_j 로 향하는 출력 아크의 수이며, $M(p_i)$ 는 p_i 의 토큰의 수이다. 또한, 활성화 트랜지션들은 발화가 가능하며, 발화 규칙 (3)에 의해 초기 마킹된 PN는 새로운 마킹으로 변화하면서 상태천이가 이루어진다³⁾.

$$M_{k+1} = M_k + A \cdot t_k \quad (k=1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

여기서, k 는 주목하는 임의의 시점, M_k 는 k 상태에서의 마킹, t_k 는 k 상태에서의 T 의 발화 벡터로서 발화일 경우 1, 비 발화일 경우 0의 값을 갖는다. 또한, A 는 $a_{ij}(\in A)$ 를 고유한 값으로 가지는 전체 접속행렬(incidence matrix)이며 식 (4)에 의해 구할 수 있다. 이 때 I 와 O 는 $m \times n$ 차원의 입력행렬과 출력행렬로서 행은 플레이스, 열은 트랜지션에 각각 대응한다.

$$A = I(p_i, t_j) - O(t_j, p_i) \quad (4)$$

접속행렬은 PN의 구성에 관한 모든 정보를 가지

고 있으므로 이 행렬로부터 역으로 PN 그래프를 생성할 수도 있다. 단, 고장진단 시에는 양방향의 아크(\leftrightarrow)를 갖는 참조관계는 없는 것으로 본다. $I(p_i, t_j)$ 가 1이면 트랜지션 t_j 가 플레이스 p_i 의 입력이고, $O(t_j, p_i)$ 가 1이면 플레이스 p_i 가 트랜지션 t_j 의 입력이다. $I(p_i, t_j) - O(t_j, p_i) = 0$ 은 플레이스 p_i 와 트랜지션 t_j 사이에 입·출력 관계가 없음을 의미한다. 예를 들어 Fig. 1에 대한 접속행렬 A_1 은 식 (5)와 같다. 이 식으로부터 역으로 Fig. 1을 생성하는 것도 가능하다.

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.2 T-불변성을 이용한 후방추론

고장 현상과 원인의 관계가 'A→B 또는 A OR B →C'로서 'A→C', 'B→C'로 표현되는 HC 관계로 간주한다. HC에서 A와 B, C는 각각 하나의 명제이며, PN 모델링 시 모든 명제는 플레이스로, 각 명제 사이의 인과 관계는 트랜지션으로 표현한다.

T-불변성을 이용한 후방추론은 모델링된 PN에 새로운 트랜지션을 최초의 원인 P의 후단과 최후의 결과 P의 전단에 부가해서 시스템을 해석한다. 즉, 고장이 발생하면 고장현상을 나타내는 결과 P에 새로운 결과 T를 부가하여 현상의 발생을 표현하고, 고장의 원인을 나타내는 플레이스에도 새로운 원인 T를 부가하여 모든 원인 P가 고장현상의 원인임을 표현한다. 이렇게 PN를 변형하면 선형대수 이론에 근거하여 T-불변벡터를 구할 수 있다.

[정의 1] $Ax=0$ 을 만족하는 0이 아닌 벡터 x 를 T-불변벡터라 한다.

식 (3)에 Fig. 1을 적용시키면 식 (6)과 같다.

$$M_0 + A(t_1 + t_2 + t_3) = M_3 \quad (6)$$

여기서, $M_0(-0)$ 는 고장이 없는 초기 상태를 나타낸다. 고장이 발생하면 고장 원인 P인 p_1 에 토큰이 생성되어 M_1 상태로 되고, t_2 가 발화하게 되어 p_1 의 토큰이 소멸됨과 동시에 결과 P인 p_2 에 토큰이 생성되어 M_2 로 된다. 다음 단계에서 결과 T인 t_3 가 발화하게 되므로 고장 결과(현상) P인 p_2 의 토큰도 소멸되어 $M_3=0$ 으로 된다. M_0 와 M_3 가 0인 상태에서의 상태방정식은 $Ax=0$ 으로 되고, $A \neq 0$ 이므로 $x \neq 0$ 인 T-불변벡터 x 는 반드시 결과

t_3 와 원인 t_1 을 동시에 포함하게 된다. T-불변벡터에 포함된 원인 T가 구하고자 하는 고장현상에 대한 원인이다.

$Ax=0$ 은 0벡터를 항등원으로 하는 행렬 A에 대한 역원 x 를 구하는 것이다. 이 식을 전치(transpose)시키면 $x^T A^T = 0$ 로 되며, T-불변벡터 x^T 는 $n \times n$ 차원의 단위행렬 I를 이용한다. 접속행렬 A^T 에 대하여 단위행렬의 각 행을 A^T 의 각 항이 0이 되도록, 한 행의 상수 배를 다른 행에 더하는 행 연산의 반복 시행으로 A^T 와의 곱이 0이 되는 행 벡터를 구할 수 있다³⁾. T-불변벡터 x^T 는 하나 이상이 존재하므로 이를 모두 포함하는 행렬 D를 정의한다.

$$DA^T = 0 \quad (7)$$

행렬 D는 T-불변벡터 x^T 를 모두 포함하고, $n \times n$ 차원을 가지며, 행렬 A^T 와의 곱이 0으로 되는 I의 선형 조합 행렬이다. 컴퓨터를 이용한 연산 프로그램에 의해 쉽고 빠르게 구할 수 있으며, 구한 해 중에 고장 결과 T를 제외한 고장원인 T가 최종적으로 구해지며 이를 후방추론이라 한다.

3. 중간노드 검색법과 MMI 설계

3.1 중간노드 검색법

앞서 설명한 PN의 후방추론에 근거한 고장 진단법은 고장 원인이 복수 개 존재하는 일반적인 경우를 고려하면 대단히 비효율적이다. 왜냐하면, 고장이 특정 한 원인에 의해서 발생한 경우에도 고장을 일으킬 수 있는 모든 원인을 해로서 제시하기 때문이다. 이 경우 기존의 고장진단은 구해진 모든 해에 대한 확인 작업이 필요하므로 고장 원인 규명에 막대한 시간이 소요되어 경제적으로 큰 손실을 초래한다. 고장의 원인과 결과 사이에 다단계의 복잡한 인과 관계를 갖는 일반적인 상황을 고려할 경우, 전문가는 특정 고장이 수반하게 될 각종의 징후들을 확인하여 해의 범위를 효과적으로 압축해 간다. 이를 구현한 것이 중간노드 검색법이다³⁾.

중간노드란 최초의 원인 T와 최후의 결과 T를 제외한 트랜지션들을 말한다. 이 방법은 여러 고장의 원인 가운데 현재의 고장에 직접적으로 작용하는 원인만으로 해를 최대한 압축한다. Fig. 2에 중간노드 검색법의 개념도를 보인다.

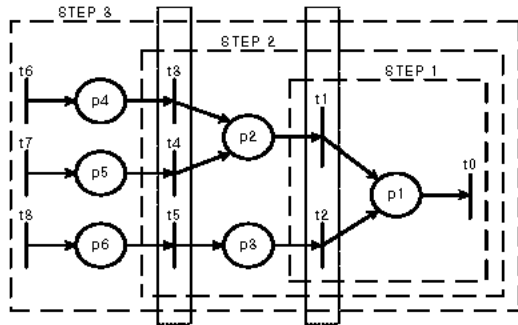


Fig. 2 Concept of inter-node search

그림에서 p_1 이 주목하고 있는 최종 고장 현상 P 이고 대응하는 최종 노드는 t_0 이다. 최초의 원인 P 는 p_4, p_5, p_6 이고 이에 상응하는 최초 노드는 t_6, t_7, t_8 이다. 중간노드 검색법은 후방추론처럼 고장 현상의 최초 원인들 t_6, t_7, t_8 을 해로서 제시하지 않고 중간노드인 $t_j(j=1\sim 5)$ 를 단계적으로 검색해 간다. 직접적인 고장 원인이 p_6 일 경우, 이로 인한 고장 징후에 해당하는 p_3 라는 중간 단계를 거쳐 최종 고장 현상에 이르게 된다. 중간노드 검색은 p_1 이 수반하게 될 중간 단계의 고장 징후인 p_2, p_3 의 발생 유무를 우선적으로 확인하는 방법이다. 만일 해당하는 현상이 없을 경우 인과 관계를 나타내는 트랜지션은 제거하고, 현상이 발생한 경우 인과 관계를 나타내는 트랜지션을 새로운 결과 T로 간주한다. 이와 같이 불필요한 트랜지션을 제거하면서, 최초의 원인 T까지 과정을 반복한다. 각 단계에서 해가 아닌 T항을 제거한 단계별 접속행렬들을 모두 합성해서 고장의 전체 경로를 나타내는 고장 현상에서 최초 원인까지의 과정을 나타내는 해를 도출한다.

중간노드 검색법을 적용하기 위해서는 단계별 접속행렬이 요구된다. 단계별 접속행렬은 이미 구해진 전체 접속행렬 A로부터 다음의 정의에 의해 구할 수 있다.

[정의 2] P_x 는 결과 T로 간주되는 트랜지션 t_c 에 대하여 $A(p_i, t_c) = 1 \quad (i=1, 2, 3, \dots, m)$ 을 만족하는 플레이스 집합이다.

[정의 3] T_y 는 P_x 의 플레이스 p_c 에 대하여 $A(p_c, t_j) \neq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n)$ 을 만족하는 트랜지션 집합이다.

[정의 4] 단계별 접속행렬 $A_s(x \times y)$ 는 P_x 를 행으로 T_y 를 열로 하는 원소 $a_{ij}(\in A)$ 를 값으로 가지고,

나머지 원소의 값은 0인 $m \times n$ 차원의 행렬이다.

이상의 정의들을 이용하여 중간노드를 검색하는 알고리즘을 만들고 컴퓨터 화면을 통해 고장징후에 해당하는 중간노드의 발생 유무를 확인하는 Man-Machine Interface (이하 MMI)를 설계한다.

3.2 MMI의 설계

MMI는 사용자에게 Yes/No의 형태로 중간단계의 고장현상에 대한 발생 유무를 확인하는 프로그램이다. 알고리즘의 언어는 화면제어용으로는 비주얼 베이직을 기본으로 하고 T-불변벡터의 연산 및 정의의 2~4에 근거한 중간노드 검색에는 Matlab을 사용하였다.

Fig. 3에 MMI 알고리즘의 흐름도를 보인다. 프로그램을 실행하면 식 (4)의 전체 접속행렬이 프로그램 상에 로딩된다. 고장 사례가 플레이스번호와 문자열로 텍스트(combo) 창에 출력되고, 목적으로 하는 고장현상을 사용자가 선택하게 된다. 프로그램 내부에서는 정의의 2~4에 따라 선택한 고장현상의 중간 징후에 해당되는 중간노드에 대한 검색이 순차적으로 이루어진다. 최종적으로는 고장의 최초 원인이 확정되며, 그 전체 경로가 PN 그래프로 표현되어 고장의 인과 관계를 명확히 파악할 수 있도록 해 준다.

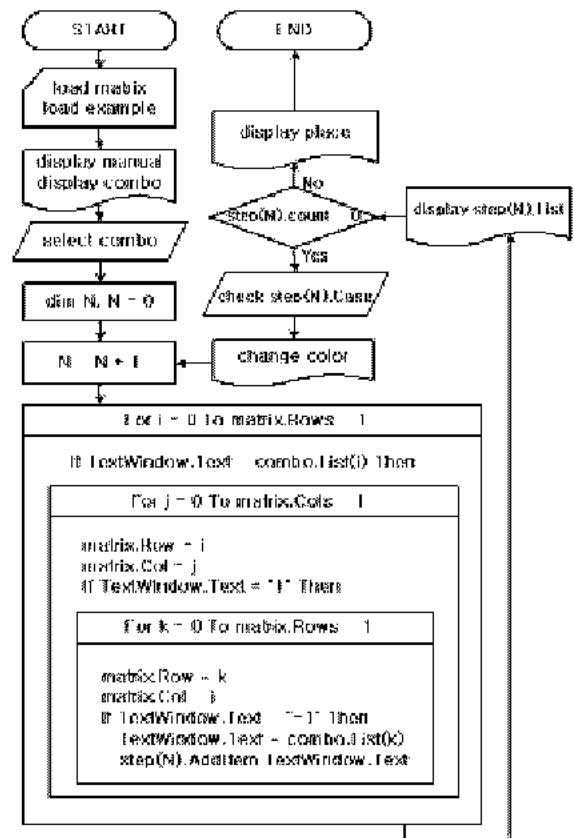


Fig. 3 Flow chart of MMI algorithm

4. 냉동시스템의 고장진단

Table 1은 냉동시스템의 고장에 관한 사례 데이터이고, Table 2는 이 사례들을 분석하여 고장의 원인과 결과의 형태로 정리한 내용이다. 제안된 오프라인 고장진단은 이와 같이 기존의 축적된 고장 사례 데이터들을 활용하여 MMI의 형태로 사용자에게 제공함으로써 초보자라도 전문가 수준의 고장진단이 가능하도록 하는 방법이다.

Fig. 4는 Table 1의 고장 사례로부터 정리된 Table 2의 인과 관계를 고려하여 PN로 모델링한 것이다. PN의 접속행렬 A는 식 (4)에 의해 (8)과 같이 구해진다.

시동 후 로드가 걸리지 않는 고장 사례에 주목한다. 이 때 언로워드 전자밸브는 정상이지만 유압이 낮고 유온이 높으며, 흡입압력은 정상이지만 토출압력이 높고, 냉각수와 공기의 온도는 정상이고 냉매에 공기가 유입되지 않았지만 토출배관의 밸브가 잠겨있는 상황이라고 가정한다.

Table 1 Definition of each place

place	meanin	place	meaning
d_1	공기가 냉매계통에 흡입	d_8	냉매의 통과량 제한
d_2	냉각수 · 공기 온도가 높거나 유량부족	d_9	냉동부하 감소
d_3	토출배관 밸브가 약간 잠겨있음	d_{10}	냉매가 부족함
d_4	토출압력 · 온도가 높음	d_{11}	흡입압력이 낮음
d_5	유온이 높거나 유량부족	d_{12}	유압이 낮음
d_6	흡입스트레이너 막힘	d_{13}	언로워드 전자밸브불량
d_7	전자밸브 개도 이상	d_{14}	시동 후 로드가 걸리지 않음

Table 2 The relation of cause and effect

relation	cause / effect	relation	cause / effect
R1	$d_1 \rightarrow d_4$	R2	$d_2 \rightarrow d_4$
R3	$d_3 \rightarrow d_4$	R4	$d_4 \rightarrow d_5$
R5	$d_6 \rightarrow d_8$	R6	$d_7 \rightarrow d_8$
R7	$d_8 \rightarrow d_{11}$	R8	$d_9 \rightarrow d_{11}$
R9	$d_{10} \rightarrow d_{11}$	R10	$d_{11} \rightarrow d_{12}$
R11	$d_{12} \rightarrow d_{14}$	R12	$d_{13} \rightarrow d_{14}$

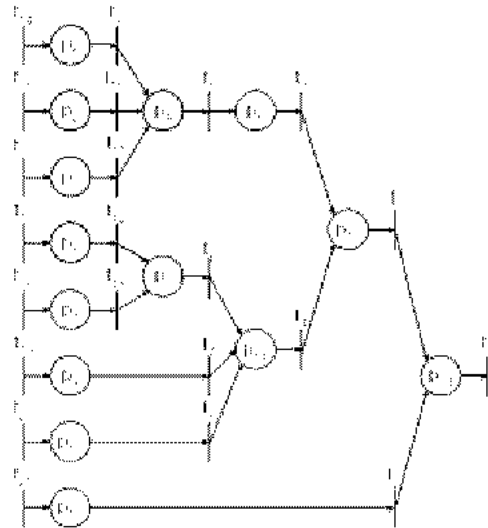


Fig. 4 PN model of the trouble in the refrigeration system

$$A = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 & P_8 & P_9 & P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Fig. 5는 Table 2와 Fig. 4에 관한 정보를 입력하여 Fig. 3에 의해 생성된 MMI 실행시의 초기 화면이다.

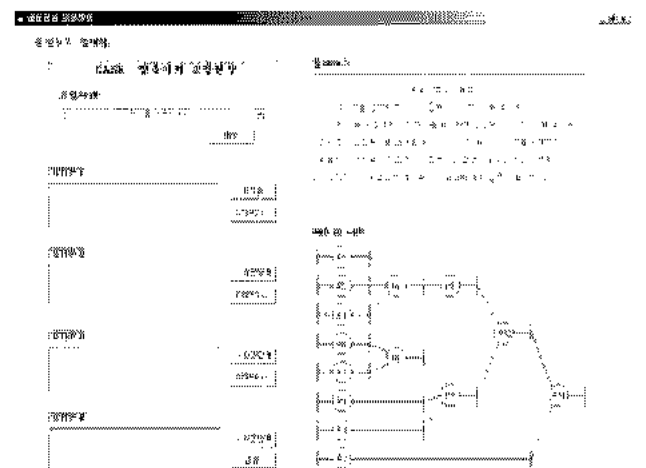


Fig. 5 Initial state of the MMI(version 1.0)

Fig. 6은 사용자의 입력에 따라 프로그램이 종료된 최종 화면을 나타낸다.

우선 사용자가 좌측 상단의 고장 사례 프레임에서 압축기의 고장현상 d_{14} 를 선택한다. 프로그램은 d_{14} 의 고장 징후에 해당하는 중간노드 d_{12} 와 d_{13} 의 고장 발생 여부를 묻는다. 가정에 따라 d_{12} 를 선택하면, d_{12} 의 원인이 되는 d_5 와 d_{11} 의 고장 발생 여부를 순차적으로 묻고 사용자가 d_5 를 선택하게 된다. 다음 단계에서 d_4 를 거쳐 최종적으로 d_1, d_2, d_3 가운데 d_3 을 선택하게 됨으로써 고장의 최초 원인이 확정됨과 동시에 최초 고장 원인부터 최종 고장 현상 d_{14} 까지의 경로가 PN 그래프 상에 붉은 선으로 출력된다.

Fig. 7은 접속행렬의 합성과 제거 프로그램의 화면이다. 고장의 인과 관계는 접속행렬의 형태로 정보가 저장된다. 따라서 고장 현상에 관한 새로운 정보가 발생되면 이를 반영하여 고장진단 프로그램이 최신의 정보에 근거하여 업그레이드 되게 된다.

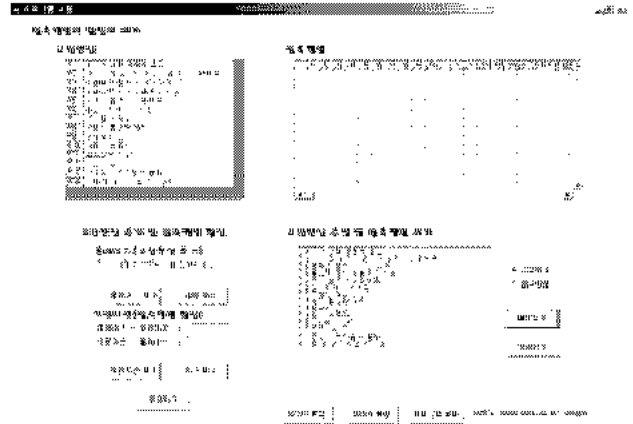


Fig. 7 Revise window for program upgrade

5. 결 론

본 논문에서는 고장 사례 데이터에 근거한 냉동시스템의 오프라인 고장진단법을 제안하였다. 고장진단에는 페트리네트의 T-불변성을 이용한 후방추론을 수정하여 중간노드 검색법을 적용하였다. 특

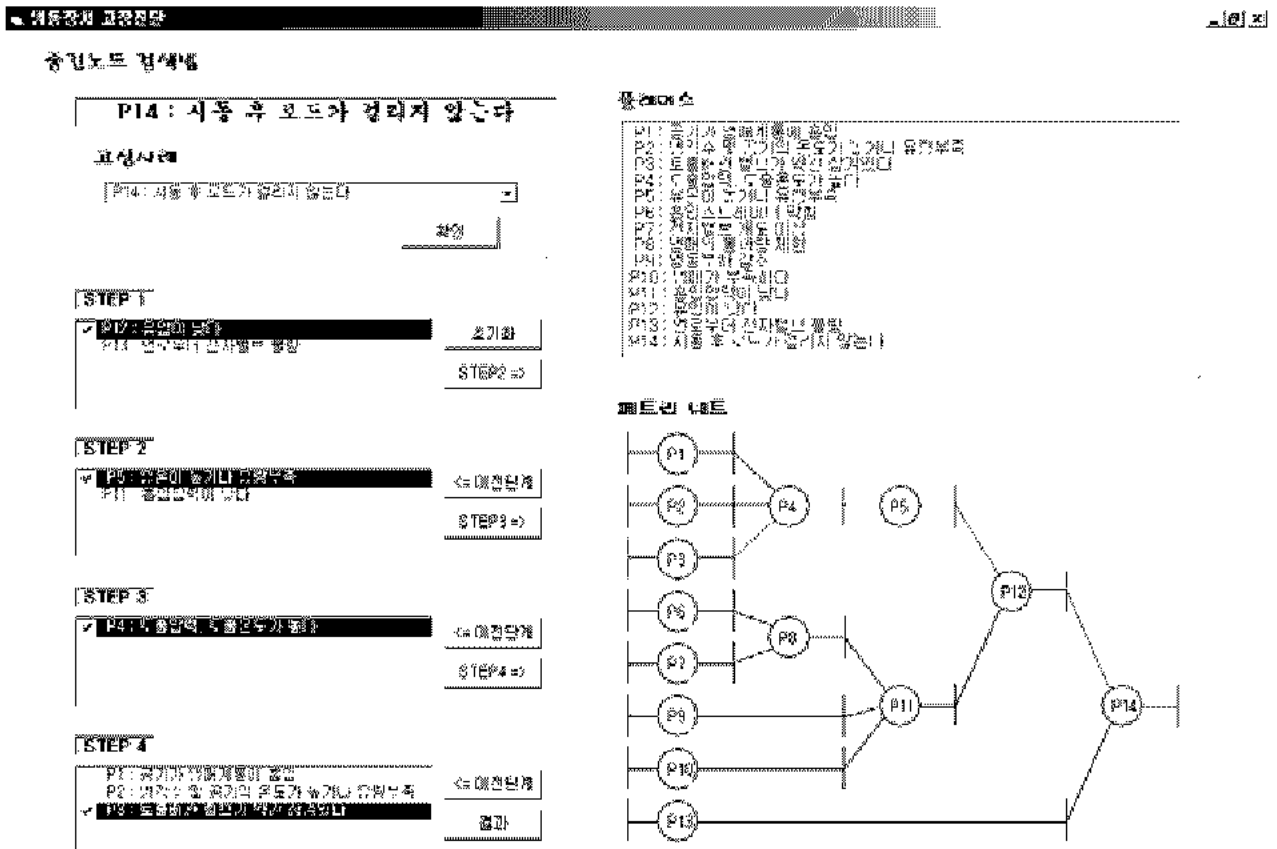


Fig. 6 Final state of the MMI

히, 고장의 인과 관계가 다단계의 복잡한 구조를 갖는 시스템에 대해 초보자가 컴퓨터 화면과의 대화를 통해 최초의 고장 원인을 효과적으로 압축해 갈 수 있도록 하는 MMI를 설계하였다. 제안된 방법은 냉동 시스템의 고장진단에 적용하여 그 효율성을 입증하였다.

본 논문에서 예를 든 냉동시스템의 고장에 대해 후방추론을 적용할 경우, 총 8가지의 원인이 해로 제공되므로 고장처리를 위해서는 이들 해를 모두 확인해야만 한다. 그러나, 중간노드 검색법은 이 고장에 직접적으로 작용하고 있는 하나의 원인만으로 해를 제한해 주므로 전체 원인을 모두 검색할 경우 발생하는 시간 낭비와 인력 소모를 최소화 할 수 있다. 또한, 이 방법은 모든 연산이 행렬 정보로 처리되므로 컴퓨터를 통한 고속연산이 가능하며 원인의 추론 과정 전체를 PN의 그래프 표현을 통해 시각화할 수 있으므로 고장과 원인의 전체 인과 관계를 직관적으로 이해할 수 있는 장점도 가지고 있다. 뿐만 아니라, 고장에 관련된 새로운 정보가 발생될 경우, 이를 쉽게 프로그램에 반영할 수 있게 되어 업그레이드가 용이한 진단 프로그램이 될 수 있다.

후 기

“이 논문은 2003년도 부경대학교 발전기금재단의 지원에 의하여 연구되었음”

참고 문헌

1. 임재걸, 1997, “페트리넷을 이용한 고장 진단시스템 디자인 방법”, 한국정보처리학회, '97 추계학술대회논문집, Vol. 4, No. 2, pp. 526~530.
2. 임재걸, 1997, “논리 프로그램의 페트리넷 모형에서 후방추론 방법”, 한국정보과학회, '97추계학술대회논문집, 제 24권, 제 2호.
3. 정석권, 정영미, 유삼상, 2001, “페트리네트의 T-invariance를 이용한 시스템의 고장진단”, 한국해양공학회지, Vol. 15, No. 4, pp. 101~107.
4. 윤종수, 유삼상, 정석권, 2005, “PN 모델을 이용한 냉동시스템의 고장진단”, '05한국동력기계공학회 춘계학술대회논문집, pp. 222~226.
5. J.L Peterson, 1981, “Petri Net Theory and The Modeling of Systems”, Prentice-Hall.
6. 한도영, 류병진, 2005, 잔차입력 RBF 신경망을

사용한 냉방기 고장검출 알고리즘, 설비공학논문집, Vol. 17, No. 8, pp. 780~788.