

# Hard Disk Drive 검사시스템의 고장 진단을 위한 퍼지-이진 논리 결합형 전문가 시스템에 관한 연구

論 文  
53D-6-11

## An Expert System using Fuzzy and Binary logic for the Fault Diagnosis of Hard Disk Drive Test System

文 雲 哲\* · 李 承 哲\*\* · 南 彰 祐\*\*\*  
(Un-Chul Moon · S. C. Lee · ChangWoo Nam)

**Abstract :** Hard Disk Drive (HDD) test system is an equipment for the final test of HDD product by iterative read/write/seek test. This paper proposes an expert system for the fault diagnosis of HDD test systems. The purposed expert system is composed with two cascade inference, fuzzy logic and conventional binary logic. The fuzzy logic determines the possibility of the system fault using the test history data, then, the binary logic infers the fault location of the test system. The proposed expert system is tested in SAMSUNG HDD production line, KUMI, KOREA, and shows satisfactory results.

**Key Words :** Expert System, Faults Diagnosis, Fuzzy Logic, Hard Disk Drive.

### 1. 서 론

전문가 시스템(Expert System)은 어떤 대상을 숙련된 전문가가 축적된 경험과 지식을 바탕으로 처리하고 있을 때, 이를 체계적으로 정리하여 자동화를 구현하는 것으로 요약될 수 있으며, 이는 감시, 예견, 제어, 진단, 처방 등의 각종 분야에서 활발하게 적용되어 왔다[1]-[4]. 한편, Zadeh 교수에 의해 퍼지 이론이 주창된 이후[5], 애매한 상황에 대해서도 논리적인 처리를 할 수 있는 퍼지 이론을 전문가 시스템에 적용하려는 퍼지 전문가 시스템(Fuzzy Expert System, FES)에 관한 연구 또한 지속적으로 이루어져 왔다[6]-[14].

이러한 시도들은, 그 적용 분야의 특성에 맞추어 다양하게 퍼지이론을 전문가 시스템에 적용하는 형태로 나타났다. Choi 등은 원자력발전소의 Alarm relation 구조를 바탕으로 하여 퍼지 관계(Fuzzy Relation)를 설정하고, 이들의 퍼지 추론으로부터 Alarm processing을 수행하는 위한 실시간 FES를 개발하였다[10]. Choi 등은 퍼지관계를 기초로 한 sagittal diagram을 구성하고, 이를 이용하여, 전력계통의 고장을 진단하는 FES방식을 제안하였다[11]. Lee등은 배전계통 릴레이(relay)와 고장과의 관계를 퍼지관계로 설정하여 고장을 진단하는 FES방식을 제안하였다[12]. El-Shal과 Morris는 공정 산업의 통계적 공정 제어 (Statistical process Control) 문제에 퍼지 시스템을 적용한 FES방식을 제안하였으며 [13], 문운철은 유리 용해로의 이상 감시를 이용한 FES를 제시하였다[14].

본 논문에서는 컴퓨터의 기록 장치인 Hard Disk Drive (HDD) 검사시스템의 고장 진단을 위하여 퍼지 논리를 이용한 전문가 시스템을 제시한다. HDD 검사시스템이란, 생산된 HDD의 읽기/쓰기/찾기 등의 검사를 반복적으로 수행하여 HDD의 이상 유무를 최종 확인하는 생산 공정의 마지막 단계이다. 이때, 검사 시스템의 고장이란, 검사를 시작할 수 없도록 검사 시스템이 고장난 경우 혹은 그리고 검사시스템이 HDD의 합격/불합격(pass/fail)을 정확히 판정하지 못하여 정상적인 HDD를 불합격으로 판정하거나, 불량 HDD를 합격으로 판정하는 경우를 의미한다.

HDD 검사 장비의 고장 진단 문제는, 그 특성상 불분명한 사실(Fact)들을 처리해야 되는 어려움이 있다. 즉, 계속하여 불합격 HDD로 검사 결과가 나타나는 경우에 있어서, 그 상황이 검사시스템의 고장으로 인한 것인지, 아니면 HDD 제품의 불량으로 인한 정상적인 검사의 결과인지를 구분하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 검사시스템의 고장 진단은 숙련된 시스템 운영자들의 경험적인 판단에 의해서 시행되고 있는 실정이다. 이러한 HDD 검사장비의 고장진단에 관한 연구는 아직까지 문헌으로 보고된 바 없으며, 이에 대한 전문가 시스템에 대한 연구도 보고되어 있지 않다.

본 연구에서는 이러한 HDD 검사시스템의 고장 진단용 전문가 시스템을 개발하기 위하여, 먼저 숙련된 시스템 운영자들의 규칙을 수집하고 정리하였다. 그 후, 정리된 규칙들을 검사시스템의 고장발생 유무를 판정하는 규칙베이스와 고장이 발생하였을 경우, 고장부위를 추적하는 규칙베이스로 이분화하였다. 이때, 고장발생 유무를 판단하는 규칙은 그 특성상 퍼지 논리를 이용하여 추론하도록 하였고, 고장 부위를 판정하는 규칙베이스는 기존의 이진논리를 이용하여 추론하도록 구성하였다. 제안한 퍼지 전문가 시스템은 C-언어를 이용하여 PC상에서 코딩하였으며, 삼성전자 구미공장의 실제 공정을 대상으로 그 실용성을 확인하였다.

\* 正 會 員 : 中央大 電子電氣工學部 專任講師

\*\* 正 會 員 : 中央大 電子電氣工學部 教授

\*\*\*非 會 員 : 三星電子(株) 스토리지事業部 科長

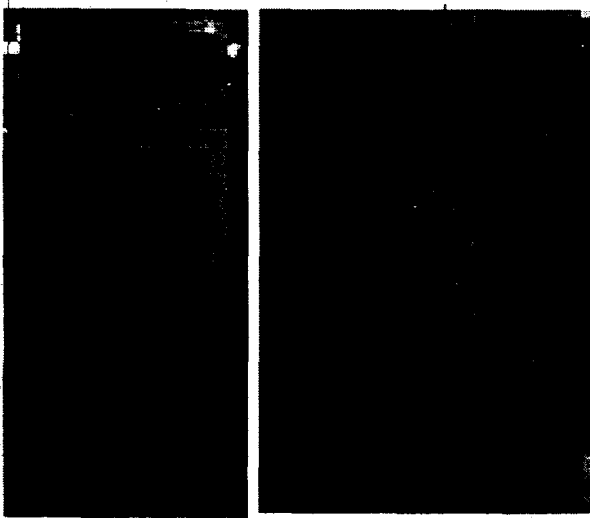
接受日字 : 2004年 4月 9日

最終完了 : 2004年 4月 26日

## 2. HDD 검사시스템

### 2.1 HDD 검사시스템의 개요

HDD 검사시스템이란 HDD 생산 공정에서, 최종적으로 완성된 HDD의 합격/불합격을 판정하는 시스템이다. 그림 1은 검사시스템의 외형을 보여준다. 이는 챔버(chamber) 형태로 되어있어 이곳에 다량의 HDD를 장착한 후, HDD에 전원을 인가하여 읽기/쓰기/찾기 등의 검사를 진행한다. 이 때, 가혹한 환경을 구현하기 위하여 검사시스템 내부의 온도를 변화시켜가며 HDD의 동작 성능 및 신뢰성에 대한 검사를 진행한다.



a) 전면                      b) 후면

그림 1 HDD 검사시스템의 외형

Fig. 1 Appearance of a HDD Test System.

그림 2는 검사시스템의 구성도로써, 하나의 호스트 컴퓨터가 있어서, 그 아래에 20개의 테스트보드(Test Board)를 제어하는 역할을 한다. 각 테스트보드는 독립된 PC(Personal Computer)의 메인보드(Main board)와 유사한 구조와 기능을 가지고 있다. 각 테스트보드는 3개의 IDE 카드가 설치되어 있으며, 각 IDE 카드 당 2개씩의 HDD가 장착되어 검사를 수행하게 된다. 따라서, 하나의 검사시스템은 한번에 20\*6=120개의 HDD를 검사한다.

호스트 컴퓨터는 전체 공정관리 파일서버에 연결되어 테스트 과정 중에서 발생한 각종 자료를 데이터 베이스에 저장하게 된다. 데이터 베이스에 저장된 검사이력 파일(history file)은 각 검사시스템, 테스트보드, IDE 카드, 검사된 HDD 등에 대한 각종 설정값 및 고장이력, 검사 결과들을 포함하고 있다.

그림 3은 하나의 테스트보드의 구성도이다. 각 테스트보드는 하나의 전원 제어 카드(Power Control Card)와 3개의 IDE card가 설치되어 있다. 각 IDE 카드에는 각각 2개씩의 포트(Port)가 장착되어 있어서, 각 포트에 하나의 HDD가 장착되어 검사를 수행하는 구조이다.

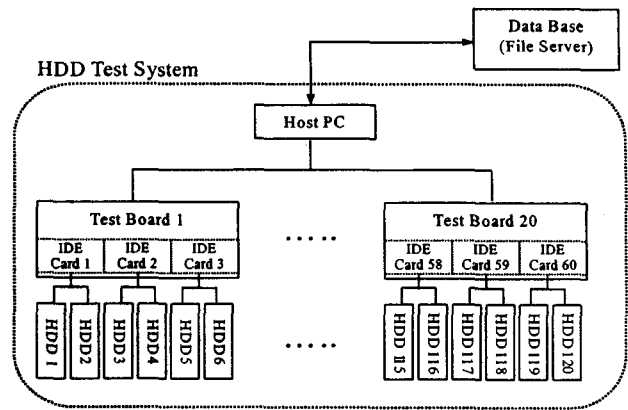


그림 2 HDD 검사시스템의 구성도

Fig. 2 Architecture of a HDD Test System

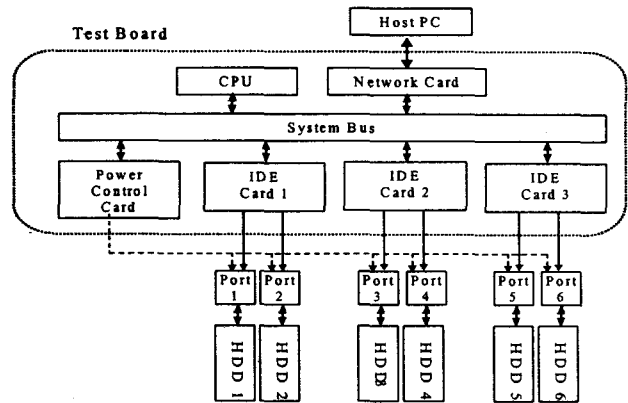


그림 3 테스트 보드 시스템의 구성도

Fig. 3 Architecture of a Test Board

### 2.2 검사시스템의 운영

전체적인 HDD 검사 과정은, 먼저 검사시스템 운영자가 호스트 컴퓨터를 이용하여 검사 조건을 설정한 후, HDD를 검사시스템의 포트에 수작업으로 장착한다. 검사시스템은 HDD의 장착을 감지하여 운영자가 설정한 검사 조건에 따라 자동으로 검사를 시작하게 된다.

HDD 테스트보드는 IDE 카드와 전원 제어 카드를 제어하여 HDD의 읽기/쓰기/찾기 검사를 시행한다. 이때, 주어진 허용치 이상의 오류가 발생하거나 혹은 정상적인 검사가 불가능한 경우에는 불량 HDD로 처리한다. 발생한 불량은, 불량이 발생한 검사의 단계에 따라, B/I Fail, D/L Fail, ATE Err, M/C Err, Empty 등의 불량 종류를 기록하고, 그 결과를 호스트 컴퓨터로 전송한다. 호스트 컴퓨터는 이를 파일 서버의 데이터 베이스로 전송함과 동시에 검사 시스템의 화면에 보여주어 작업자가 이를 보고 검사가 끝난 HDD를 분류할 수 있도록 한다. 그러면 작업자는 이를 분류하여 합격 HDD는 다음 공정인 포장 공정으로 보내고, 불량품 HDD는 수리 공정으로 보내게 된다.

HDD 검사시스템에 이상이 발생하여 정확하지 않은 판정을 하게 되면, 합격품을 수리 또는 폐기하거나, 불량품이 시장으로 출하되어 심각한 문제를 발생시킬 수 있다. 그러므



따라서 본 논문에서는, 이러한 규칙들의 특성에 따라, 그림 5와 같은 전문가 시스템의 전체구조를 설정하였다. 한 HDD의 검사가 끝나면, 퍼지 논리 추론을 이용하여, 그 포트의 검사이력을 추론하여 검사시스템의 고장의 발생 유무를 추론한다. 이때, 고장으로 판단되면, 포트가 포함된 테스트보드의 고유번호를 이진추론 부분에 전달하여, 그 포트가 속한 테스트보드 전체에 대해서 고장 부위를 조사하게 된다. 이진추론 부분에서는 검사이력 파일과 더불어 호스트 컴퓨터에 접속하여 고장이 발생한 테스트보드의 센서값들, 소프트웨어적인 접속 여부 등의 정보를 입력받아, 고장이 의심되는 테스트보드의 구체적인 고장 부분을 추론하게 된다.

**3.3 고장가능성의 퍼지 추론**

검사시스템의 한 포트에서 HDD의 검사가 완료되면, 그 결과가 검사이력파일에 저장되고, 그 포트의 검사이력을 조회하여 검사시스템의 고장 가능성을 추론한다. 이를 위하여, 수집된 규칙을 분석하여, 3개의 입력값과 하나의 출력값을 정의하였다. 표 1은 선정된 퍼지 입출력 변수를 나타낸다.

표 1에서, NF는 각 포트별 최근 HDD 검사에서의 불량 발생 수로써, 이전 7회까지의 검사 결과 중, 불량이 발생한 총 갯수로 정의하였다. 따라서 NF는 0부터 7까지의 정수중의 한 숫자로 정의된다. 또한 NCF는 각 포트별 최근 HDD검사에서의 연속적인 불량발생 횟수로써, 이전 7회까지의 검사결과 중, 연속적으로 발생한 최대의 갯수이다. 따라서, 0부터 7까지의 정수중의 한 숫자로 정의된다. 즉, 이전 7회 검사 중, 불량이 없으면 0, 이산적으로 하나씩 불량 발생한 경우에는 1, 이전 7회의 모든 검사가 불량이었다면 7로 정의된다.

표 1 퍼지 추론을 위한 입출력 변수

Table 1 Input-Output of fuzzy inference

입력	NF	최근 검사에서의 불량 발생 수
	NCF	최근 검사에서의 연속적인 불량 발생 수
	DFS	검사시스템에서 유래된 불량일 가능성
출력	POSF	검사시스템의 고장일 가능성

또한, DFS는 검사시스템에서 유래된 불량일 가능성으로, 이는 각 HDD 불량 유형에 따라 처리하도록 하였다. 이를 위하여, 숙달된 운영자의 경험을 바탕으로 하여, 모든 HDD 불량 유형을 검사시스템의 고장에서 기인할 가능성에 따라 각각 0-10까지의 정수로 분류하였다. 즉, 검사시스템이 고장일 경우에 자주 발생하는 HDD 불량 유형에 대해서는 10에 가까운 값을 부여하였고, 그렇지 않은 경우에는 0에 가까운 값을 부여하였다. 그 후, 가장 최근에 발생한 불량 유형에 따라서 DFS를 결정하였다. 따라서, DFS는 가장 최근에 발생한 불량 유형에 의해서만 결정된다.

마지막으로 퍼지 추론의 출력인 POSF는 0에서 10사이의 실수로 표현되며, 10에 가까울수록 검사 시스템의 고장일 가능성이 높은 것으로 표현하였다.

이와 같이, 3개의 입력과 하나의 출력을 결정한 후, 운영자의 경험과 지식을 바탕으로, 각각의 입력을 각각 3개의 언어 변수로 나누어 표현하고, 출력은 5개의 언어적인 변수로 설정

하였으며, 이를 그림 6에서 나타내었다. 그림 6에서 두 입력 변수 NF와 NCF는 같은 언어변수로 정의되었다.

그림 6의 언어적 분할에 따라, 언어적인 3개의 입력 변수의 조합에 따른 총 27개의 퍼지 규칙이 생성되게 된다. 이 중 몇 가지의 예를 표 2에 나타내었다. 퍼지추론에 필요한 추론 방식은 일반적인 Mamdani의 방식[15]-[17]을 사용하여 최종적인 고장 가능성을 출력하였다.

각 포트별 고장이력에 의하여 최종적으로 퍼지 시스템의 출력인 POSF값이 적절한 임계값을 넘어서는 경우에는 검사시스템의 고장으로 판정하게 된다. 검사 시스템의 고장이라고 판단되면, 퍼지 추론 대상 포트가 속한 테스트보드의 고유번호를 이진추론 부분에 전달하여 구체적인 고장부위를 추론하기 위한 이진 추론이 진행되게 된다.

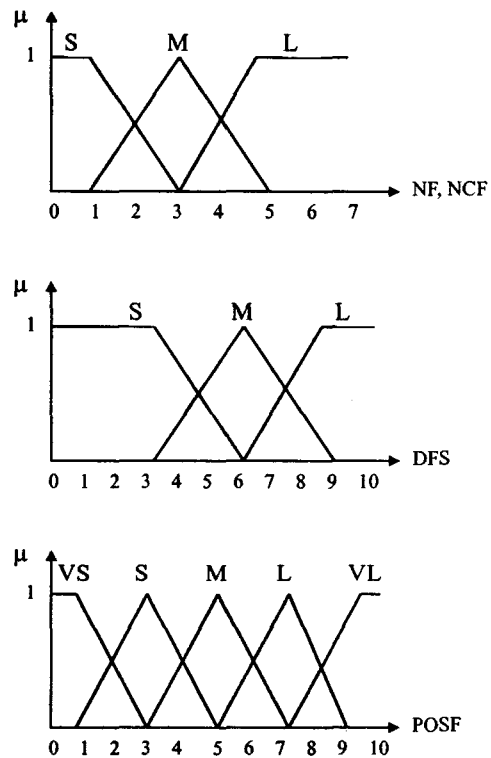


그림 6 입출력 변수의 멤버십 함수  
Fig. 6 Membership functions of Input and Output.

표 2 퍼지 규칙의 예제

Table 2 Examples of fuzzy rules

규칙	입력변수			출력변수
	NF	NCF	DFS	POSF
1	S	S	S	VS
2	S	S	M	VS
3	M	S	S	S
4	M	M	S	M
5	L	M	M	L

### 3.4 고장 부위의 이진 추론

퍼지 추론의 결과, 검사시스템의 특정한 n번째 테스트보드가 고장이라고 전달되면, 이진 논리 기반 전문가 시스템의 추론을 통하여, n번째 테스트보드의 구체적인 고장부위를 추론한다.

본 연구에서는, 여러 상황의 사실(Fact)로부터 최종적인 고장 부위를 추정하는 전방향추론 (Forward Reasoning)을 적용하였다. 이에 따라서 운영자의 고장 부위 판단에 관련된 지식을

If (현상) Then (고장부위) (7)

와 같은 형태로 정리하였다. 따라서, 각 규칙의 전건부 (현상) 부분은 다양한 사실들의 논리 조합 형태로 표현된다.

그 후, (7)과 같은 형태로 정리된 모든 규칙에서 사용되는 사실들을 추출하여 이진 추론의 입력값들을 정리하였다. 표 3은 선정된 이진추론의 입력과 출력값을 나타낸다. 예를 들어, 표 3의 입력들 중, STATE\_BOARD 및 STATE\_IDE는 각각 현재의 테스트 보드 및 IDE카드의 합격과 불합격 HDD의 갯수를 나타내는 정보이다. 또한 STATE\_PORT는 각 포트에 연결된 HDD의 소프트웨어적인 접속 가능 여부이며, VOLT\_SMP300은 전원 제어 카드의 출력으로써, 5Volt/12Volt의 5%허용한도에 적합한지의 여부이다. 기타 CMOS\_PM, ..., FILE\_LAN 등의 모든 입력값은 호스트 컴퓨터 접속을 통하여 프로그램적으로 읽어들이 수 있는 값들이다. 따라서, 기존의 이진논리를 이용하여 명확하게 처리될 수 있는 값들이다. 이진 추론의 최종적인 출력은 고장이 발생한 부분과 그 부분이 속하는 테스트 보드와 검사시스템의 고유번호이다.

표 3 이진 추론용 입출력 변수

Table3 Input and output of binary inference

항목	내용	
입력	STATE_BOARD	한 테스트 보드의 전체 HDD상태
	STATE_IDE	한 IDE 카드에 연결된 전체 HDD상태
	STATE_PORT	한 포트의 HDD상태
	HISTORY_BOARD	한 테스트 보드에 연결된 전체 HDD검사 이력
	VOLT_SMPS300	SMPS300의 5V/12V출력 전압값
	CMOS_PM	테스트보드의 "CMOS Power Management" 설정값
	CMOS_MAIN	테스트보드의 "CMOS main" 설정값
	PB_ID	"Power Control Board ID" 설정값
	PB_HDD	"Power Control Board HDD" 상태값
	FILE_TEST	검사 관련 파일들의 상태
FILE_LAN	네트워크 관련 파일들의 상태	
출력	FAULT	수리가 필요한 부분의 이름
	TEST_BOARD	테스트보드 번호
	TEST_SYSTEM	검사시스템 번호

구체적인 추론 엔진은, 표 3과 같은 입력을 기반으로 하여, 각 규칙의 (현상)부분을 만족하는지를 평가하여 그에 따른 고장부위를 출력하게 된다. 이때, 각각의 규칙의 (현상)부분을 구성하는 각각의 사건들은 C-언어상에서 독립된 함수( )의 형태로 코딩하였다. 따라서, 각 함수는 하나의 사실을 나타내므로 그 출력은 on과 off 혹은 yes와 no의 두가지 값을 갖도록 설정하였다. 그리고, 각 규칙의 (현상)부분은 독립된 함수들의 논리적인 조합 형태로 표현되도록 하였다.

예를 들어, 다음과 같이 3개의 사실 A, B, C 표현되는 4가지의 고장부위  $\alpha, \beta, \gamma, \omega$ 를 나타내는 규칙이 있다고 가정하자.

규칙 7) IF (A and B) Then (Fault  $\alpha$ ). (8)

규칙 8) IF (A and  $\sim$ B) Then (Fault  $\beta$ ). (9)

규칙 9) IF ( $\sim$ A and C) Then (Fault  $\gamma$ ). (10)

규칙10) IF ( $\sim$ A and C) Then (Fault  $\omega$ ). (11)

이들 4개의 규칙은 그림 7과 같은 흐름도를 갖는 c-언어로 표현된다. 사건 A, B, C는 각각 하나의 사건들로서, 표 3의 입력들로부터 각각 독립적으로 계산된다. 각 사건들은 독립된 함수의 형태이며, 출력 값으로 Yes 혹은 No값을 갖는 형태로 코딩되었음을 알 수 있다.

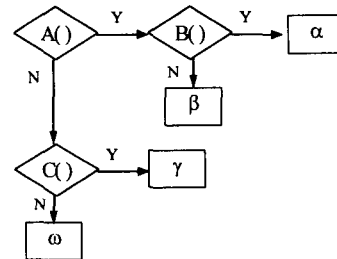


그림 7 규칙 7)-10)의 흐름도

Fig. 7 Flow chart of Rule 7)-10).

한 테스트보드의 구체적인 고장 위치 추적은, 고장의 종류에 따라 크게 "테스트보드 운영 관련 고장", "IDE 카드 관련 고장", 그리고 "포트 관련 고장"으로 분리하여 처리하였으며, 이를 그림 8에 나타내었다. 테스트보드 관련 고장은 주로 테스트보드의 CPU, COMS 혹은 전원제어카드 관련 고장으로 주로 전체 포트에 영향을 미치는 고장의 종류이며, IDE 카드 관련 고장 및 포트 관련 고장은 주로 IDE 카드의 고장, 핀(pin) 접속불량, cooling pan 불량 및 검사할 HDD에 소프트웨어적으로 접속이 되지 않는 경우 등으로써, IDE 카드 혹은 포트 단위로 영향이 나타나는 고장의 종류이다. 그림의 IDE 카드 및 포트 관련 고장에서 나타나는 피드백 루프는 각각 2개의 IDE 카드와 6개의 포트에 대해서 순차적인 추론을 실시함을 의미한다.

그림 9는 그림 8의 추론 과정 중, 테스트보드 운영 관련 고장의 처리 흐름도의 일부이다. 편의상, 퍼지 추론의 결과로 m번째 검사시스템의 n번째 테스트 보드의 고장이라고 판단 되었으며, 이에 따라 추론을 시작하는 상황을 나타내었다.

먼저, 함수 T\_B\_file( )은 소프트웨어적으로 테스트 보드의

버퍼 파일에 접속가능 여부를 판단하는 사실(Fact)이다. 만약, 버퍼파일에 접속할 수 없다면, 이는 테스트보드가 정상적으로 운영되고 있지 않다는 의미로 이 경우 Fault: CPU, Test Borad: n, 그리고 Test System: m를 출력하여 m번째 검사시스템의 n번째 테스트보드의 CPU에 문제가 발생하였다고 출력하고, 추론을 중지한다.

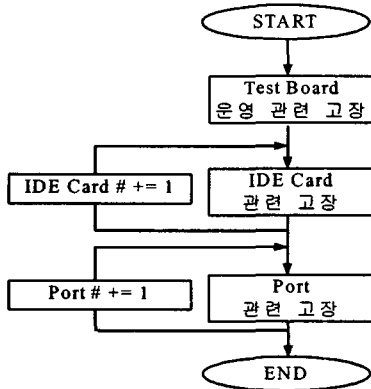


그림 8 이진 추론 흐름도  
Fig. 8 Binary Inference Flow.

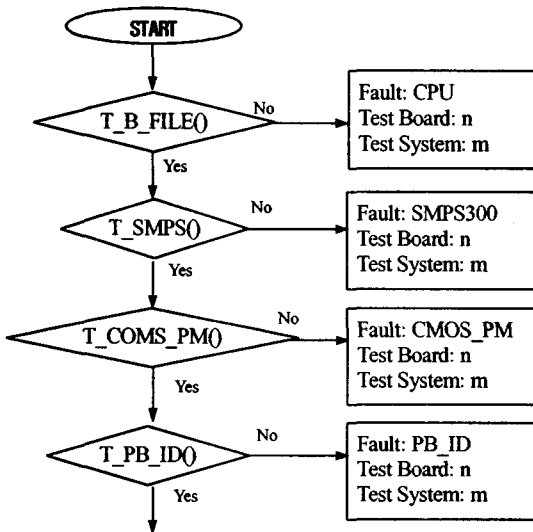


그림 9 이진 추론 흐름도의 일부.  
Fig. 9 A Part of Binary Inference Flow.

만일, 버퍼 파일에 접속할 수 있다면, 함수 T\_SMPS( )는 SMPS300의 출력 전압값을 점검하여 정해진 규격 내에 들어 오는지 확인한다. 전압 값이 규격 밖이면 Fault: SMPS300, Test Borad: n, 그리고 Test System: m을 출력하여, m번째 검사시스템의 n번째 테스트 보드의 HDD에 전압을 공급해주는SMPS300의 고장이라고 출력하고, 추론을 중지한다. 만일 규격에 적합하면 다음의 T\_CMOS\_PM( )을 수행한다. 함수 T\_CMOS\_PM( )은 테스트보드의 CMOS 설정 중 "CMOS Power Management"값의 설정값을 점검하여, 비정상이면 Fault: CMOS\_PM, Test Borad: n, 그리고 Test System: m을 출력하여 CMOS\_PM값의 고장이라고 출력하고, 정상 이

면 다음 함수 T\_PB\_ID( )를 수행한다. T\_PB\_ID( )는 전원제어카드의 ID값이 테스트 보드의 ID와 같은지 여부를 확인하여 다르면 Fault: PB\_ID, Test Borad: n, 그리고 Test System: m을 출력하여 전원제어카드의 ID값 설정을 점검하도록 하고, 같으면 나머지 고장 진단 흐름도에 따라 추론을 진행하여 고장 부위를 추론을 진행한다.

최종적인 추론의 결과로, IDE 카드나 포트의 고장 이라고 추론되면, 출력의 Fault 부분에 고장부위와 그 고유번호를 동시에 출력하여 구체적인 IDE 카드 혹은 포트의 위치를 알 수 있도록 하였다.

이진 추론의 맨 마지막 추론 단계에서도 고장부위가 추론되지 않으면 Fault: M/T, Test Borad: n, 그리고 Test System: m을 출력한다. 이 때, Fault의 종류인 M/T는 고장 부위를 추론하지 못한 경우이다. 즉, 퍼지 추론에서 n번째 테스트보드의 고장이라고 추론되었지만, 이진추론 결과, 고장부위가 추론되지 않은 경우이다. 이런 경우에는, n번째 테스트보드에 대한 수동 검사가 요구되는 상황이다.

#### 4. 실험결과

제시된 퍼지 전문가 시스템의 실 적용 가능성을 확인하기 위하여, 삼성전자(주) 구미공장 스토리지 사업부의 실제 생산라인의 20대의 검사 장비를 대상으로 선정하여 실험을 실시하였다. 제안한 시스템은 C-언어를 이용하여 PC상에서 코딩하였으며, 서버를 통하여 실험 대상 검사시스템에 접속하도록 하였다.

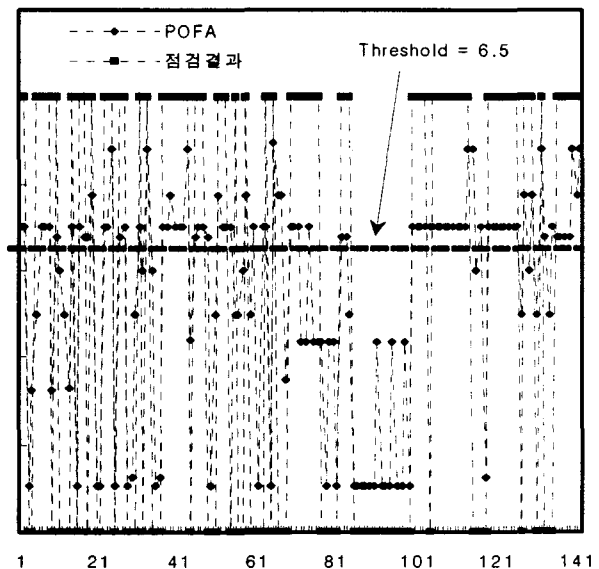


그림 10 실제 고장과 POSF값의 비교  
Fig. 10 Comparison of Real Fault and POSF

먼저, 대상 검사장비의 검사이력 파일을 바탕으로 퍼지 추론의 출력(POSF)을 구하고, 이를 검사이력 파일의 고장기록과 비교하였다. 그림 10은 각 포트 별로 다양하게 선정된 142 종류의 경우에 대하여 각각 고장발생 유무의 퍼지 추론과 검사이력 파일상의 고장을 비교한 결과이다. 그림 10에서,

횡축은 총 142개의 상황을 나타내며, 종축에는 각 상황에 대한 퍼지 추론의 결과인 POSF값과 점검결과를 나타내었다. 이 때, 실제 고장이 발생한 경우는 그 값을 10으로, 고장이 발생하지 않은 경우는 0으로 표시하였고, 퍼지 추론의 결과값인 POSF를 점으로 나타내었다.

그림 10에서 실제 고장인 경우, 즉 10으로 표현된 경우는 POSF값이 높게 나타났으며, 정상인 경우에는 POSF값이 상대적으로 낮게 추론됨을 확인할 수 있어, 퍼지 추론이 비교적 정확함을 확인할 수 있다. 이와 같은 그림을 통한 분석을 통하여, 다양한 경우에 대하여 고장과 정상을 구별할 수 있는 최적의 임계값을 6.5로 선정하였다. 즉, 퍼지 추론의 POSF값이 6.5 이상인 경우에는 검사 시스템의 고장이 발생한 것으로 판정하도록 하였다.

표 4 전문가시스템의 추론결과 비교

Table 4 Comparison of the Inference Results

장비	포트	FN	NCF	DFS	PO SF	추론된 고장부위	점검 결과	추론 결과
320	10	6	4	7	7.8	Port	Port PIN 접속불량	정추론
320	58	2	2	4	3.4	-	Test OK	정추론
320	84	6	3	6	7.0	COOLING FAN	COOLING FAN	정추론
333	30	5	5	8	8.8	POWER B/D	POWER B/D	정추론
336	59	4	2	7	7.2	IDE CARD	Test OK	오추론
333	85	6	4	7	7.8	M/T	Test OK	정추론
323	24	5	3	5	6.8	M/T	COOLING FAN	오추론

본 연구에서는 전문가시스템의 최종적인 고장 위치 추론 결과가 실제 고장부위와 일치한 경우를 "정추론" 이라고 명명하였다. 이는 고장인 경우에 고장의 부위를 정확하게 추론하였거나, 고장이 아닌 경우에 고장이 아니라고 판정한 경우이다. 또한 고장 부위를 잘못 추론하거나, 고장인 경우를 고장이 아니라고 추론한 경우를 "오추론"으로 명명하였다. 표 4는 제안된 전문가 시스템의 적용 결과의 일부이다.

표 4에서 첫 번째 행은 320번 검사시스템의 10번 포트의 NF, NCF, DFS가 각각 6, 4 그리고 7로 나타나, 최근 7개 HDD 검사의 결과 중에서 6개가 불량이며 이중 4개가 연속적으로 발생하였고, 최종 발생한 HDD 불량 종류가 검사장비성 불량의 가능성이 7임을 나타낸다. 이 경우 퍼지 추론의 결과 POPF가 7.8이 추론되어 임계값 6.5이상이기 때문에 검사장비의 불량으로 판정되었고, 이에 따른 이진 추론의 결과, 포트의 불량이라고 판정되었음을 나타낸다. 실제 점검 결과, 포트 핀 (Port Pin)의 접속불량으로 나타나, 이 경우에는 제안된 전문가 시스템의 추론이 정확하였음을 알 수 있다.

표 4의 두 번째 행은 퍼지 추론의 결과, POSF값이 3.4로 나타나 고장이 아니라고 판정하였으며, 이 경우에도 정확한 추론이 되었음을 알 수 있다. 다섯 번째 행은 오추론의 예로써, 전문가시스템이 IDE 카드의 고장이라고 판정하였지만 실제로는 고장이 아닌 경우이다. 마지막 두 행은 이진추론 결과가 M/T인 경우로써, 고장이라고 판단되었지만, 고장부위를 추론할 수 없는 경우이다. 이 경우에는 실제시스템의 고장이

아닌 경우에는 정추론으로, 실제시스템의 고장인 경우에는 오추론으로 분류하였다.

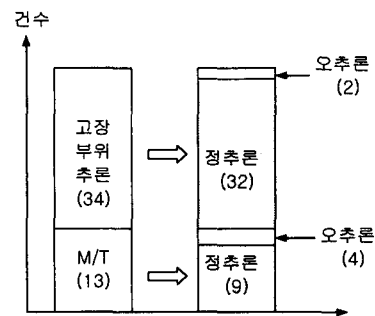


그림 11. 제안된 전문가시스템 테스트 결과

Fig. 11. Test Results of Proposed Expert System.

실험 과정 동안, 퍼지 시스템의 추론 결과로 47건에 대해서 고장이라는 판단이 내려졌으며, 이에 대한 분석을 그림 11에 나타내었다. 그림 11에서 총 47건의 이진추론 결과, 34건은 고장부위를 제시하였으며 13건은 고장부위를 찾지 못하여, M/T로 추론 결과를 제시하였다. 이때, 고장부위를 제시한 34건 중, 32건은 정추론 하였으며 2건은 오추론하였다. 그리고, 고장 부위를 제시하지 못한 13건 중, 9건은 정추론 4건은 오추론으로 밝혀졌다. 따라서 전문가 시스템에서 고장이라고 판단한 전체 47건의 적중률은, 정추론한 32+9=41건의 비율로서, 41/47=87%로 나타났다.

비록 정량적인 통계가 문헌으로 보고되지는 않았지만, 현장 운영자들의 경험치에 의하면, 검사시스템 운영자의 고장발생 초기 적중률은 약 40% 정도로 알려져 있다. 이는 많은 검사 시스템 장비를 집중하여 정확하게 판단하기 곤란하며, 비숙련된 시스템 운영자로부터 기인한다고 판단된다. 따라서, 이와 같은 운영자들의 적중률과 비교하여 볼 때, 제시된 전문가 시스템은 상당한 수준의 적중률을 나타냄을 확인하였다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 HDD 검사시스템의 고장 진단을 위한 전문가 시스템을 제안하였다. 이를 위하여, 먼저, 전문가의 고장 판단 규칙을 취합/정리하였고, 취합된 규칙의 특성에 적합하도록 퍼지 규칙 베이스와 이진 규칙 베이스에 의한 순차적인 추론 방식을 제안하였다. 퍼지 추론은 기존의 이진 논리로는 구현하기 어려운 애매한 검사시스템의 고장 발생 유무를 판정하도록 설계하였으며, 이에 따라 고장이라고 판단된 경우에는 이진논리에 의한 추론을 통하여 고장부위를 제시하도록 하였다. 이진 추론에서는 취합된 전문가의 규칙을 전방향 추론의 "If (현상) then (고장부위)"의 형태로 정리하여 최종적인 고장부위를 결정하도록 하였다. 제안된 전문가 시스템은 실제 HDD 생산 공정의 검사시스템에 대하여 실험을 실시하였고, 효율적인 고장 진단이 가능함을 입증하였다.

본 연구 결과는, 기존에 운영자가 수동으로 직접 확인하던 많은 과정을 자동화하여, 고장 부위 판정에 소요되던 시간 또한 획기적으로 감소할 수 있으며, 운영자들의 실수나 경험부

측에서 오는 잘못된 고장 진단을 방지하여 HDD 생산성 향상에 중요한 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

**감사의 글**

이 논문은 2003년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

**참 고 문 헌**

[1] S. H. Kaiser, "Expert System: An Overview", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 11, No. 4, October 1986.

[2] 양재우, "Expert System의 개요", *대한전자공학회지*, Vol.12, No.2, 4, 1985.

[3] 이재규, 주석진, 오상봉, *전문가 시스템의 응용과 사례분석*, 법영사, 1995.

[4] 김화수, 조용범, 최종욱, *전문가 시스템*, 집문당, 1998.

[5] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", *Inform. Contr.*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.

[6] K. S. Leung and W. Lan, "Fuzzy Concepts in Expert Systems", *IEEE Computer*, pp. 43-56, September 1988.

[7] D. S. Yeung and E.C.C. Tsang, "A Multilevel Weighted Fuzzy Reasoning Algorithm for Expert Systems", *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, Vol.28, No.2, pp.149-158, March 1990.

[8] L. O. Hall, M. Friedman and A. Kandel, "On the validation and testing of Fuzzy Expert System" *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, Vol.18, No.6, pp.1023-1027, November/December 1988.

[9] H. L. Larsen and R. R. Yager, "The use of fuzzy relational thesauri for classificatory problem solving in information retrieval and expert system", *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, Vol.23, No.1, pp.31-41, Jan/Feb 1993.

[10] S. S. Choi, K. S. Kang, H. G. Kim and S. H. Chang, "Development of an on-line fuzzy expert system for integrated alarm processing in nuclear power plants", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol.42, No.4, pp.1406-1418, August 1995.

[11] H. J. Cho and J. K. Park, "An expert system for fault section diagnosis of power systems using fuzzy relations", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.12, No.1, pp.342-348, February 1997.

[12] Heung-Jae Lee and etal, "A fuzzy expert system for the integrated fault diagnosis", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.15, No.2, pp.833-838, April 2000.

[13] S. M. EL-Shal and A. S. Morris, " A fuzzy expert system for fault detection in statistical process control of industrial process", *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, Vol.30, No.2, pp.281-289, May 2000

[14] 문운철, "퍼지 전문가 시스템을 이용한 유리용해로 이상감시 시스템 구축 사례", *한국 지능정보 시스템 학회 논문지*, 제8권 1호 pp. 65-73, 2002년 6월.

[15] B.Kosco, *Neural network and fuzzy systems*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1992

[16] H. J. Zimmermann, *Fuzzy set theory and its applications*, Kluwer Academic Publishers, 1991

[17] W. Pedrcz, *Fuzzy logic and fuzzy systems*, JOHN WILEY & SONS, 1989.

**저 자 소 개**

**문운철(文雲哲)**



1991년 서울대학교 전기공학과 졸업, 동 대학원에서 1993년 석사, 1996년 박사학위 취득, 1996년부터 2000년 8월까지 삼성SDS 근무, 2000년 9월부터 2002년 8월까지 우석대학교 전기공학과 전임강사, 2002년 9월부터 중앙대학교 전자전기공학부 전임강사. 2001년도 제어자동화시스템공학회 젊은 연구자 논문상 수상. 관심분야는 지능이론, 자동제어 및 전력계통과 각종 산업 현장에의 적용.

**이승철(李承哲)**



1969년 서울대학교 전기공학과 졸업, 미국 플로리다 대학원에서 1982년 석사, 1985년 박사학위 취득. 1985년-1995년 미국 테네시대학교 전기 및 컴퓨터공학과 부교수, 1995년-현재 중앙대학교 공과대학 전자전기공학부 교수. 관심분야는 전력IT 및 전력계통 신뢰도.

**남창우(南彰祐)**



1991년 연세대학교 전자공학과 졸업, 동 대학원에서 2003년 석사학위 취득, 2003년부터 삼성전자 스토리지 시스템 사업부 제조기술 그룹 과장.