

# Hard Disk Drive 검사 시스템의 고장 진단용 퍼지 전문가 시스템

남 창 우, 박 민 용, \*문 운 철  
연세대학교 전기전자공학부, \*중앙대학교 전자전기공학부  
전화 : 054-479-5634 / 핸드폰 : 016-639-9950

## Fuzzy Expert System for Fault Diagnosis of Hard Disk Drive Test Systems

Chang-Woo Nam, Mign-On Park, Un-Chul Moon  
Dept. of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University  
E-mail : joseph68@dreamwiz.com

### Abstract

This paper has been studied expert system using fuzzy theory for fault diagnosis of HDD test systems by detecting systems fault and presenting the way of repair using test history and rule base built via interview from experts.

The rules of fault diagnosis of HDD test systems are classified into 2 types, fuzzy and crisp, and these have been serialized to decide whether fault diagnosis be done or not by fuzzy rules and to present the way of repair by crisp rules.

And then this paper has designed expert system using fuzzy theory for fault diagnosis.

### I. 서론

전문가 시스템이란 숙련된 전문가에 의해 운영되는 시스템을 자동화 할 때 흔히 사용되는 방법으로 전문 인력의 전문 지식과 제어 전문가의 지식을 복합적으로 이용하여 시스템화 한 것이다. 전문가 시스템이 주로 사용되는 분야는 감시, 예측, 제어, 진단 등이다.

퍼지 전문가 시스템은 전문가 시스템에 퍼지 이론을 접목한 것으로 모호하거나 정형화하기 어려운 인간의 언어적인 지식을 처리하는데 유용하게 사용된다.

본 논문은 전문가와의 인터뷰를 통해 구축한 규칙베이스와 HDD 검사이력을 이용하여 검사 시스템의 고장을 발견하고 수리 방법을 제시하는, 퍼지 이론을 이용한 HDD 테스트 시스템의 고장 진단용 전문가 시스템 연구를 수행한 것이다. HDD 검사 시스템의 고장진단 규칙은 퍼지형과 이진형의 두 가지로 분류되며, 이 두 가지는 순차적으로 수행되어 퍼지형은 고장진단의 수행 여부를 결정하고 이진형은 고장진단을 수행하고 수리방향을 제시한다. 이를 토대로 퍼지 전문가 시스템을 설계하고 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다.

### II. HDD 검사 시스템 개요

#### 2.1 HDD 개요

HDD의 구조는 그림 1과 같이 크게 HDA(기구)부와 회로부로 나뉘며 회로부는 다시 HDD의 동작을 제어하는 제어부와 Host(HDD를 접속하고 있는 외부기기)와의 Interface를 담당하는 Interface부로 나눌 수 있다.

HDA부는 Data를 저장하는 Disk, Disk에 Data를 기록하거나 읽는 Head, Disk Assembly를 정속 회전시키는 Spindle Motor, Disk의 특정 위치로 Head를 옮기는 Voice Coil Motor 등으로 구성되어 밀폐된 금속(Cover 와 Base) Box안에 조립되어 있다.

제어부는 Head로부터 읽혀진 Analog Data를 Host가 판독할 수 있는 Digital 신호로 변조해 주고 Host로부터 Data를 받아 Preamp를 통해 Disk로 기록하게 해 주는 Read/Write Channel, Disk의 특정위치로 Head를

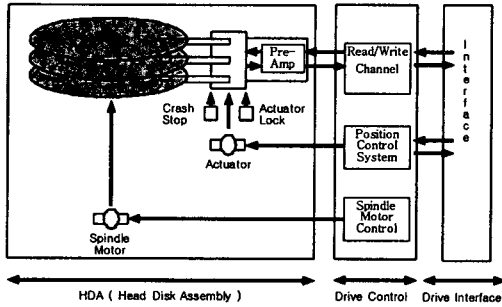


그림 1. HDD 구성도

움겨주는 Position Control System, Spindle Motor를 정속회전시키는 Spindle Motor Control로 구성되어있다.

Interface부는 HDD의 Data를 Host에 전달하고 Host로부터 Data를 받아 제어부로 보내는 기능을 한다.

### 2.2 HDD 검사 시스템

HDD 검사 시스템이란 완성된 HDD의 동작과 성능의 양불 판정을 하는 공정에서 사용되는 시스템으로 Chamber 형태로 되어있어 이곳에서 HDD주변의 온도를 변화시켜가며 HDD에 전원을 인가하여 Write, Read, Seek 등의 검사를 진행하여 HDD의 동작 성능 및 신뢰성에 대한 검사를 진행한다.

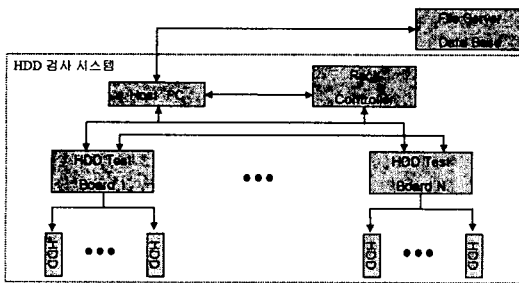


그림 2. HDD 검사 시스템 구성도

그림 2에서 HDD Test Board는 HDD를 실제로 검사하며 검사 후 그 결과를 Host PC에 전송한다. Host PC는 검사 작업자의 지시를 입력받아 검사의 시작을 HDD Test Board들에 지시하고 검사 결과를 HDD Test Board들로부터 전송 받아 HDD 검사시스템의 화면에 보여주고 취합한 검사 결과를 File Server의 Data Base로 전송한다. 또 Rack Controller를 제어하

여 HDD로 들어가는 초기 전압 값을 설정하고 HDD Test Board들의 전원을 제어하며 검사 시스템의 경광등을 제어하여 시스템의 상태를 작업자에게 알려준다.

## III. HDD 검사 시스템 고장진단

### 3.1 고장진단 개요

HDD 검사 시스템에서 고장진단이란 HDD 검사 시스템의 이상 유무를 확인하는 행위이며, HDD 검사 시스템의 이상이란 검사 시스템이 HDD에 전원을 인가하여 Write, Read, Seek 등의 검사를 진행할 때 검사의 양불 판정을 정확히 하지 못하여 양품 HDD를 불량으로 판정하거나 불량 HDD를 양품으로 판정하는 경우, 또는 시스템의 문제로 인해 검사를 진행하지 못하는 경우를 의미한다.

HDD 검사 시스템은 한대의 시스템으로 많은 HDD를 동시에 검사하기 때문에 검사 도중 이상이 발견되는 경우 다른 부분은 계속 검사를 진행하고 이상이 발견된 부분만을 고장 진단을 수행해야 하는 경우가 많이 발생한다. 그러나 이와 같은 경우는 검사가 진행중인 HDD에 영향을 주어 정상적인 양부 판정이 이루어지지 않도록 할 가능성이 많아 매우 능숙하고 조심스러운 고장 진단을 요구하므로 이런 경우가 최소한으로 발생하도록 고장진단의 필요 여부를 정확히 판정하여 그 가능성을 줄이는 것이 필요하다.

### 3.2 숙련된 유지보수 인력의 고장진단 지식

본 논문에서는 HDD 검사 시스템 고장진단을 위한 퍼지 전문가 시스템의 규칙 베이스를 구축하기 위해 숙련된 유지보수 인력을 대상으로 인터뷰를 실시해 고장진단에 대한 표현 방법과 구조, 특성을 파악하였다.

이와 같은 인터뷰를 통해 수집한 유지보수 인력의 고장진단에 대한 지식, 경험 및 File Server의 Data Base에서 추출한 수리이력에 대한 자료를 정리한 후 고장 현상에 따라 10개의 범주로 나누고 이 중 전문가 시스템의 적용이 가능한 4가지 범주를 수리 방법에 따라 세분화하였다. 그 결과 4개의 범주 내에 세부 48 항목으로 정리하였으며 표 1은 그 중의 일부이다.

대분류	중분류	항목(문제점)	고장 부위
N/R	Cell N/R	1. LCD Main 5V/12V SPEC Out	SMPS300
		2. P/B(Power Board) ID 오류	P/B
History	7회 결과	3. 불량이 연속하여 여러 번 반복	*검사 시스템
		4. 불량률이 많다	*검사 시스템

표 1. 유지보수 인력의 고장진단 규칙

### IV. 퍼지 전문가 시스템

#### 4.1 HDD 검사 시스템에서의 퍼지 논리

##### (1) 입출력 제어변수의 선정

퍼지 제어에서는 언어 변수가 사용되는데 이는 시스템이 크고 복잡하여 모델링이 어려운 경우 시스템을 근사적으로 정의하고 특성을 평가할 수 있도록 해 주는 체계적인 수단이 된다. HDD 검사 시스템의 고장 진단에서는 고장진단의 수행 여부를 결정하기 위해 HDD 검사 시스템의 과거 및 현재의 검사 이력을 분석한다. 이 검사 이력으로부터 추출한 퍼지 입출력 변수는 표 2와 같다.

항목	내용	
입력	FCOCF	마지막 7회 HDD 검사에서의 불량 발생수
	FCOL	마지막 7회 HDD 검사에서의 연속적인 불량 발생수
	COFC	장비에 의한 불량일 가능성
출력	POFA	고장 진단이 필요할 가능성

표 2. 퍼지 입출력 변수

##### (2) 입출력 변수의 멤버십함수

입출력 공간의 퍼지 분할은 입출력 변수들의 언어값을 결정하는 것으로 퍼지 규칙의 작성과 밀접한 관계가 있으며 언어 변수의 라벨(small, medium, large 등), 부정어(not), 그리고 수식어(very 등)의 결합으로 이루어진다. 라벨의 수 즉 입출력 공간의 퍼지 분할은 제어규칙의 수와 밀접한 관계가 있고 퍼지 시스템의 성능에 결정적인 영향을 미치므로 퍼지 제어기의 설계에 있어서 퍼지 분할은 중요한 부분이다. 퍼지 분할에 대한 법칙은 없으며, 퍼지 분할을 할 때 숙련된 유지보수 인력의 경험적 지식과 제어 전문가의 지식 그리고 실제의 데이터를 이용한다.

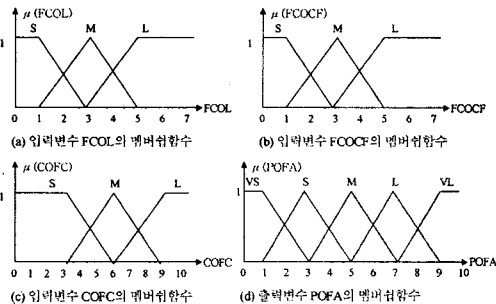


그림 3. 퍼지 입출력 변수의 멤버십함수

HDD 검사 시스템 고장진단 입출력 변수의 멤버십

함수가 그림 3에 나타나 있다. x에 대한 멤버십함수  $\mu_A(x)$ 는 x가 논리공간(universe of discourse) A에 속하는 정도를 나타낸다.

##### (3) 퍼지 규칙 및 추론

HDD 검사 시스템에 의한 HDD 검사 도중 불량 발생하면 퍼지 알고리즘에 의해 검사 이력의 분석이 시작된다. 이때 퍼지화에 의해 퍼지 집합이 발생하면 이러한 퍼지 집합에 의해 규칙 베이스로부터 적용될 규칙군이 선택되고 Mamdani의 퍼지 추론 알고리즘에 의해, 선택된 규칙군으로부터 추론 합성이 이루어지면 추론된 결과를 이산치형 무게중심법으로 비퍼지화하여 유지보수 인력에게 고장 진단을 실시할지 여부로 제시된다. 이 과정의 흐름도가 그림 4에 제시된다.

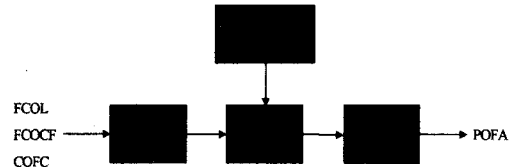


그림 4. 퍼지 추론 흐름도

##### (4) 비퍼지화

퍼지 추론 출력의 비퍼지화에는 여러가지 방법이 있으며 본 논문에서는 흔히 사용되는 이산치형 무게중심법을 사용하였다. 이때 출력된 값이 정해진 임계치(Threshold Value) 이상일 때 HDD 검사 시스템의 고장진단이 필요하다고 판단되어 유지보수 인력에게 고장진단 요구를 하게 되며 필요한 이진 추론을 수행하게 된다.

#### 4.2 HDD 검사 시스템에서의 이진 논리

규칙의 전건부의 내용이 양부가 명확하거나 관리 규격이 명시된 값으로 되어있는 경우 그 적합성 여부를 명확히 알 수 있다. 이와 같이 각 사실이 객관적인 판단에 근거하여 그 참, 거짓 여부를 파악할 수 있는 규칙의 경우에는 기존의 이진 논리를 이용하여 그 규칙의 활성화 여부를 판단한다.

본 논문에서는 고장진단시 이진 규칙의 추론을 사용하였고 입력으로 검사 이력 또는 각종 센서 값을 사용하고 출력으로 수리 방향을 제시한다.

예를 들어 표 1의 경우 입력으로 사용되는 LCD Main Display의 5v/12v값은 5v/12v  $\pm 5\%$ 라는 규격이 명시되어 그 적합성 여부를 명확히 알 수 있으며 규격을 벗어나면 이진 추론은 SMPS300을 출력하여 수리할 부위를 제시해 준다.

### 4.3 전체 구성

퍼지 전문가 시스템의 전체 구성은 그림 5와 같다. 이상현상의 발생으로 퍼지논리는 먼저 입력으로 HDD 검사 시스템의 검사이력을 읽어 동작에 필요한 입력 변수를 받아들인다. 이를 규칙 베이스를 바탕으로 추론하여, 검사 시스템의 고장진단 필요 여부를 결정하고 고장진단이 필요하다 판단되면 다음 단계인 고장점 검으로 넘어간다.

고장점검은 이진로직으로 동작하며 입력으로 각종 센서값을 받아들이고 이진 규칙에 의한 추론으로 고장 부위를 판단하는데 고장부위를 정확히 판단할 수 있으면 유지보수 인력에게 고장부위를 제시해 주고 그렇지 않으면 고장진단이 필요하다는 사실만을 제시해 준다.

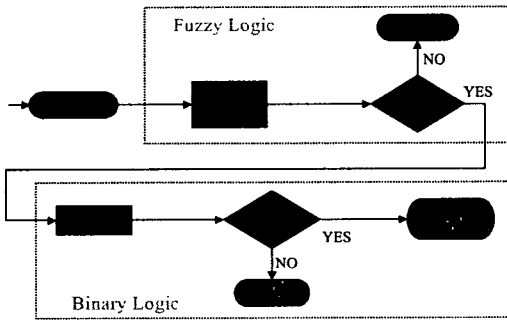


그림 5. 퍼지 전문가 시스템 전체 구성도

### V. 시물레이션

이 장에서는 4.3절에서 제안한 퍼지 전문가 시스템의 적용 가능성을 확인하기 위해 삼성전자 구미 2공장 스토리지 시스템사업부의 2002년 9월 유지보수 인력이 실제로 고장 수리한 Data를 입력으로 하여 퍼지 전문가 시스템의 출력(POFA)을 구하였으며 이 출력과 실제 고장 수리한 Data를 비교하여 시스템이 유지보수 인력에게 고장 수리를 요구 할 임계값을 구하였다.

항 목	임 계 값		
	6	6.5	7
1. 적중률	56.7%	56.7%	62.4%
2. 전문가 적중률	40.8%		

표 3. 고장 발견 적중률

표 3은 임계값을 6, 6.5, 7로 했을 때의 퍼지 전문가 시스템의 적중률과 유지보수 전문가의 적중률 비교로 유지보수 인력대비 39.0%~52.9%의 적중률 향상을 보이며 그림 6은 퍼지 시스템의 출력인 POFA값과 실제 고장수리한 자료와의 비교 그래프이다.

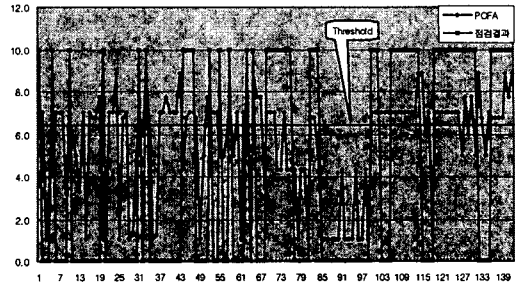


그림 6. 실제 고장수리와 POFA값 비교

### VI. 결론

완성된 HDD의 양분 판정을 하는 검사 공정은 네트워크로 연결된 많은 검사 시스템들이 진행되는 공정으로 검사 시스템들의 효율적인 운영은 HDD의 생산 공정에서 매우 중요하다.

본 논문은 크게는 HDD 검사 시스템의 고장 진단에 퍼지 전문가 시스템의 개념을 도입하였으며, 세부적으로는 검사 시스템의 특성에 맞는 퍼지 규칙에 의한 추론과 이진 규칙에 의한 추론의 순차적인 적용을 통해 HDD 검사 시스템의 효율적인 고장진단이 가능함을 시물레이션을 통해 입증하였다.

본 논문은 HDD 생산 공정 검사 시스템의 운영 효율을 높이기 위한 방안을 제시함으로써 더 높은 생산성을 낼 수 있는 검사장비의 운영방법을 제시하는 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌(또는 Reference)

- [1] E.H. Mamdani, Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant Proc. IEE, Vol12, pp1585~1588, 1974.
- [2] C. C. Lee, Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Part I, IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Vol.20, No.2, March/April, pp.404-418, 1990
- [3] 양재우, Expert System 의 개요, 대한전자공학회 잡지, Vol.12, No.2, 4, 1985
- [4] 황희수, 김현기, 오성권, 우광방, 하수처리 활성오니공정을 위한 규칙 베이스 퍼지 제어기 설계, 대한전자공학회논문지, Vol.28, No.7, 7, 1991
- [5] 채석, 오영석, 이상윤, 이지홍, 애매논리를 이용한 칼라 텔레비전의 백색균형 자동조정에 관한 연구, 대한 전자공학회논문지, Vol.30, No.6, 6, 1993