

강구의 결함 판별을 위한 퍼지 논리 기반의 알고리즘 개발

Design of Fuzzy Logic based Classifying System for the Degree of Goodness of Steel Balls

김태균 · 최병재* · 김윤수 · 도용태

Tae-Kyun Kim, Byung-Jae Choi*, Yoonsu Kim and Yongtae Do

대구대학교 전자공학부

요 약

본 논문에서는 지금까지 검사자에 의해 목시 검사로 이루어지고 있는 강구의 결함 여부를 자동으로 평가할 수 있는 새로운 시스템을 제안한다. 먼저 결함 종류 판별을 위하여 특징값 6가지를 결정하고 퍼지 추론과 Choquet 퍼지 적분을 사용한다. 결함정도에 따라 분류된 결함을 Choquet 퍼지 적분을 수행하게 되면 결과 값에서 서로 상쇄가 발생하여 원하지 않는 결과를 제시할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 같은 특징을 갖는 계열들로 결함의 종류를 재분류하여 퍼지 적분을 수행함으로써 상태 평가치의 상쇄를 최소화한다. 그리고 최종 상태 평가치와 계열의 평가치를 사용하여 결함 종류를 분류하는 하는 방법을 제시하며, 실제 실험 결과를 통해 제안된 시스템의 타당성을 평가한다.

키워드 : Choquet 퍼지적분, 퍼지척도, 강구, 결함 판별 시스템, 상태 평가 시스템

Abstract

The steel balls are core elements between inner part and outer part in a bearing system. The degree of goodness of the steel balls has been visually processed by human beings. In this paper we propose a new method that uses image processing algorithm and fuzzy logic theory. We use fuzzy inference engine and fuzzy Choquet integral algorithm in the proposed system. We first distinguish the defects of the steel balls by an image processing algorithm. And then the degree of the defects is classified by a fuzzy logic system. We perform some simulations to show the effectiveness and feasibility of the proposed system.

Key Words : Choquet fuzzy integral, Fuzzy measure, Steel ball, Inspection system, State Assessment System

1. 서 론

베어링용 강구(steel ball)는 베어링의 내륜과 외륜 사이의 공간에서 마찰이 거의 없는 회전 운동을 일으키는 기초 부품이다. 이러한 강구에 결함이 있을 경우 회전축의 진동이 증가하게 되어 소음이 발생하거나, 미세 간극부의 접촉에 의해 마멸과 발열 등의 여러 가지 불량 현상을 초래한다 [1]. 이러한 구성요소의 고장이나 결함은 고속화 정밀화된 현재의 기계시스템의 전체 기능 정지를 초래하여 생산에 커다란 차질을 가져올 뿐만 아니라, 제품의 정밀도에도 직접적인 영향을 미친다. 그러므로 강구를 출고할 때에는 엄격한 전수검사가 요구되며, 현재 일반적인 검사방법으로 목시(目視) 검사나 다이얼 게이지를 이용한 접촉식으로 수동 검사를 하고 있거나 전수 검사가 아닌 표본 검사만을 수행하고 있는 실정이다[2].

목시 검사가 진행될 경우, 검사자는 단순 반복 작업으로 인해 피로나 단조로움을 느끼기 쉽고 거울과 같은 반사광을 내는 금속 표면을 검사할 때 검사자의 눈은 쉽게 피로를 느

끼기 때문에 신뢰성이 떨어질 뿐 만 아니라 긴 작업시간을 필요로 한다. 현재 베어링을 생산하는 업체들은 생산성 향상을 위하여 기계화와 자동화를 지향하고 있고, 또한 제품의 균일화를 위하여 다양한 가공 및 검사 방법을 고안하고 있다.

강구에 관련된 기존 연구들은 음파와 기계 시각을 이용하여 강구의 표면상의 결함을 찾는 시스템을 제안하고 있다 [3-4]. 그러나 결함을 검출하는데 그치고, 강구의 불량정도를 평가하거나 결함 내용을 판별하는 연구는 이루어 지지 않았다.

강구의 불량 정도와 결함 내용의 판별은 매우 중요하다. 어떠한 공정에 문제가 있을 경우 특정 결함이 다수 발생하게 되며, 결함 내용을 분석함으로써 공정상의 문제를 발견하여 더 이상의 같은 결함을 방지할 수 있다. 이러한 이유로 불량정도와 결함 내용의 판별은 매우 중요하다.

상태평가와 패턴 분류에는 인간의 사고 및 추론 과정을 수학적으로 표현하여 전문가의 지식이나 불확실한 데이터를 처리하는데 효과적인 퍼지이론과 인간의 정보처리 방식을 모방한 인공 신경망을 응용하고 있다. 요(urine) 분석을 위해 퍼지추론을 이용하였고, 중성자 보안검색 장치와 차종 분류 등에 신경망이 이용되었다. 퍼지와 신경망을 결합한 퍼지 신경망을 이용한 다중분광 화상 데이터분류 등의 연구 등도 이루어 졌다[4-7].

접수일자 : 2008년 11월 1일

완료일자 : 2009년 1월 21일

* 교신저자

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

퍼지적분은 어떤 대상을 평가할 때 각 평가항목의 평가치와 퍼지척도로 나타낸 이들의 중요도를 종합하는 방법으로, 주관적인 의사결정 분야에서 유용하다. 목재의 강도 예측이나 인간의 신뢰성, 다 기준 의사결정, 언안전역의 통항 위험성 평가 등과 같은 정보 결합 및 융합 영역에서 많이 응용되고 있다[8].

본 논문에서는 먼저 베어링용 강구의 결합 평가항목을 6가지로 정의하고, FLS와 퍼지척도 및 Choquet 퍼지 적분법을 반복 사용하여 불량률의 정도를 3단계로 평가하고, 9가지 종류의 결합으로 분류하는 것을 목적으로 하는 새로운 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 강구의 결합 종류와 퍼지 척도 및 퍼지 적분에 대하여 기술한다. 3장에서는 제안된 구조의 상태평가 알고리즘을 설명하고, 4장에서 구현된 시스템에 대한 실험결과를 기술하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다. 본 시스템에서 목표로 하는 강구의 크기는 3/4인치(19.05)로 제한한다.

2. 강구의 결합과 퍼지 적분

2.1 강구의 결합

강구에서 발생하는 결합의 종류와 특징을 표 1에 제시하였다. 결합의 정도는 치명·중·경결함으로 총 3단계로 구분하였고, 결합의 종류는 9가지로 나누었다.

표 1. 불량 강구의 결합 종류와 특징
Table 1. Defect types and characteristics of Steel Ball

구분	결합 종류	형태	특징
치명결함	크랙		굴곡형상으로 나타나며, 길이는 일정하지 않음
	생강구		표면의 광 상태가 적으며, 경결함 흠이 많음
	이형강구		다른 크기 강구 재료가 혼입
	토막강구		불 형성이 되지 않았으며, 중앙에 원 재경을 가지고 있음
중결함	스크래치		손톱자국 모양으로 깊음
	혹피		모양, 크기 및 방향성이 일정하지 않고 깊이가 다르며, 깊은 흠이 많고 검정색으로 나타남
	녹		붉은 반점 모양, 분화구 형상 및 흠 표면에서 발생한 녹
경결함	경결함흠		폭이 좁고 짧은 모양을 가짐
	광부족		표면 전체에 광택이 없음

표1에서 알 수 있듯이 강구의 결합이 가지는 특징은 수치적으로 정형화된 것이 아니라 언어적으로 정의되어 애매 모호함을 내포하고 있다. 컴퓨터에 의사결정능력을 부여하기 위해서는 먼저 애매한 특성의 언어적인 값을 정량적으로

기술하여야 한다. ‘많다’, ‘적다’ 등과 같은 애매한 특성이 있는 언어적인 값을 정량적으로 기술하는데 퍼지집합이 유용하게 사용되며, 애매한 상황에서의 의사결정은 보통의 고전 논리로는 설명할 수 없고 퍼지논리를 도입하여 설명할 수 있다[9]. 이러한 애매모호함 때문에 강구의 상태평가에 퍼지 이론을 사용하고자 한다. 퍼지 이론은 Zadeh 교수가 1965년 애매한 특성이 있는 언어적인 값을 정량적으로 기술하기 위하여 소개되었다[9].

2.2 퍼지 척도

퍼지척도는 애매한 대상을 주관적으로 계량할 때의 척도이다. 퍼지 척도의 정의는 전체집합 X의 임의의 부분집합 A, B를 구간 [0,1]의 실수치에 대응시키는 집합함수로, 다음 조건을 만족하는 것이다[10].

$$- \text{경계조건} : g(\emptyset) = 0, g(X) = 1 \quad (1)$$

$$- \text{단조성} : A \subset B \text{ 이면, } g(A) \leq g(B) \quad (2)$$

$$- \text{연속성} : A_1 \subset A_2 \subset \dots \text{ 또는 } A_1 \supset A_2 \supset \dots \text{ 이면 } \lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i) \quad (3)$$

즉, 퍼지 척도 g는 경계조건, 단조성, 연속성의 세 조건을 만족하여야 한다.

2.3 Sugeno의 λ-퍼지척도

λ-퍼지척도는 확률척도에서 가법성 조건을 완화시킨 것으로, 어떤 대상을 평가할 때 인간의 주관적 판단의 애매성을 고려한 평가주체의 척도이다. 퍼지척도는 확률척도의 가법성을 만족하지 않으므로, 두 집합 A와 B의 합집합 $A \cup B (A \cap B = \emptyset)$ 에 대한 퍼지척도 $g(A \cup B)$ 를 단순히 $g(A) + g(B)$ 와 같이 각 척도의 합으로 나타낼 수는 없다[8]. 이는 퍼지척도를 구하는데 있어 어려운 문제를 야기한다. 예를 들어, 전체집합의 원소가 네 개인 경우에는 $g(\emptyset) = 0$ 과 $g(X) = 1 (X: \text{전체집합})$ 을 제외한 $2^4 - 2 = 14$ 개의 척도를 개별로 정할 필요가 생긴다. 이러한 문제에 대해 각 원소의 척도로부터 이들의 합집합의 척도를 일정한 법칙에 의하여 정하는 λ-퍼지척도가 1974년 일본의 Sugeno에 의해 제안되었다[10]. λ-퍼지척도는 다음 식 (4)와 같이 정의된다.

$$g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda g(A)g(B); \quad (\text{where } \lambda > -1) \quad (4)$$

$$\forall A, B \in P(X), A \cap B = \emptyset$$

위의 λ-퍼지척도에서 변수 λ는 각 집합들 간의 상호작용관계를 나타낸다. λ값에 따라 퍼지척도는 다음과 같이 서로 다른 성질을 가진다.

$$\lambda > 0 \text{ 이면 } g(A \cup B) > g(A) + g(B) \text{ (상승적)}$$

$$\lambda = 0 \text{ 이면 } g(A \cup B) = g(A) + g(B) \text{ (가법적)}$$

$$\lambda < 0 \text{ 이면 } g(A \cup B) < g(A) + g(B) \text{ (대체적)}$$

2.4 Choquet 퍼지 적분

집합 $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ 에 대하여 퍼지척도 $g: P(X) \rightarrow [0, 1]$ 가 정의되어 있고, X를 정의구역으로 하고 구간 [0, 1]을 치역으로 하는 함수 $h: X \rightarrow [0, 1]$ 가 정의되어 있다고 하자. $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$ 이라 할 때, X

에서의 함수 h 의 퍼지척도 g 에 대한 Choquet의 퍼지적분은 식 (5)와 같이 정의된다. 특히, Choquet 퍼지적분은 퍼지척도 g 가 가법적일 때 일반적인 가중합과 동일하게 된다 [10].

$$\int_X h(x) \circ g(\bullet) = h(x_n)g(H_n) + [h(x_{n-1}) - h(x_n)]g(H_{n-1}) + \dots + [h(x_1) - h(x_2)]g(H_1) \quad (5)$$

where $H_i = x_1, x_2, \dots, x_i$

3. 상태 평가 시스템의 설계

3.1 평가항목의 중요도 산정

본 논문에서는 평가 항목의 중요도를 AHP(Analytical Hierarchy Process) 기법을 이용하여 구한다. AHP는 의사 결정 문제를 계층 구조화하고, 이원비교를 기초로 평가기준들의 상대적 중요도를 도출한 후, 이를 계층구조에 따라 종합하여 평가순위와 종합적 선호도를 구하는 방법이다.

AHP를 이용한 가중치 계산은 4단계로 이루어진다. 먼저 평가기준들을 계층적으로 체계화하고, 두 번째로 평가항목끼리 상대 비교를 수행한다. 세 번째로 중요도를 계산하고 마지막으로 일관성 검사를 통해 적합성을 판단한다.

강구의 종합 상태 평가에 사용된 계층은 표 1을 기반으로 그림 1과 같이 구조화 하였다. 등급별로 분류되어진 각각의 결함의 가능성들이 모여 결함 등급을 결정한다. 이렇게 결정된 결함 등급을 종합하여 종합 상태평가가 이루어지는 구조이다.

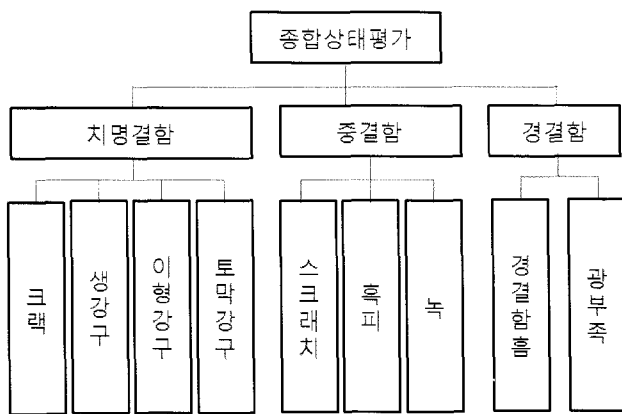


그림 1. 종합 상태평가에 사용된 계층구조

Fig 1. Hierarchical structure for state estimation system

상대비교에서는 동등하다고 판단되면 1, 절대적으로 중요하다고 판단되면 9를 부여한다. 즉, 정도에 따라 1에서 9 사이의 값을 부여한다. 반대의 경우라면 역수를 취하여 부여한다.

표 3과 같이 치명결함의 평가항목들을 상대비교하고 비교 행렬의 행렬곱을 계산하여 나온 결과행렬의 행간을 더한 행렬을 구한다.

표 2. AHP 평가척도

Table 2. Estimation value for AHP

평가척도
동등: 1, 약간 좋음 : 3, 매우좋음 : 5, 극히 중요 : 7, 절대적 중요 : 9

표 3. 치명결함 항목들에 대한 상대 비교

Table 3. The relative comparison of the deadly flaw items

구분	크랙	생강구	이형강구	토막강구
크랙	1	3/4	5/4	3/4
생강구	4/3	1	5/3	1
이형강구	4/5	3/5	1	3/5
토막강구	4/3	1	5/3	1

전체 합에서 각행의 비율을 산정하여 상대적 중요도를 구한다. 상대적 중요도를 구한 후 원소들의 평균을 구하여 λ_{max} 를 구한다. λ_{max} 를 이용하여 정합도(CI: Consistency Index)를 계산한다. 일관성이 완벽할 경우 영(0)이 되며 일관성이 나빠질수록 커진다. 정합도는 식 (6)과 같다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

정합비(CR: Consistency Ratio)를 이용하여 일관성을 검증한다. 정합비는 식 (7)과 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

일관성 지수(RI: Random Index)는 행렬의 차수 n에 따라 정의되며, 표 4와 같다.

표 4. 행렬 차수에 따른 RI의 값

Table 4. RI index value according to the order of the matrix

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

총 네 번의 Choquet 퍼지 적분을 위해 표 5와 같이 치명결함의 가능성에 대한 중요도와 중결함, 경결함의 중요도에 대한 가중치 그리고 최종 상태 판단을 위한 중요도가 필요하다.

중요도의 정합도(CI) 및 정합비(CR)는 통상 계층 분석법에서 인정되는 0.1이하의 값으로 그 유효성이 인정된다[8].

표 5. 결함의 정도에 따른 중요도

Table 5. The degree of the importance according to the degree of defects

구분	결함 종류	중요도	정합도	정합비
치명 결함	크랙	0.224	0.043	0.048
	생강구	0.229		
	이형강구	0.240		
	토막강구	0.236		
중결함	스크래치	0.385	0.001	0.002
	후피	0.308		
	녹	0.308		
경결함	경결함흙	0.429	0.000	.
	광부족	0.571		
최종 결함	치명결함	0.163	0.005	0.008
	중결함	0.297		
	경결함	0.54		

3.2 퍼지적분을 이용한 상태평가 시스템

본 연구는 베어링용 강구의 외관검사를 위한 기계시각 시스템에서 획득되어진 강구 영상에서 상태평가에 필요한 흠의 길이, 흠의 폭, 흠의 개수, 광 상태, 원형의 정도, 크기의 차이와 같은 6가지 평가항목의 특징 값을 입력받는다. 입력되어진 6가지 특징 값은 각 결함 내용에 대한 FLS(Fuzzy Logic System)의 입력으로 사용되고, 전문가의 설문조사와 자료 수집 분석을 통해 얻은 퍼지 규칙을 사용하여 다시 9가지 결함 내용에 대해 각각의 가능성을 그림 2와 같이 계산한다. 입력된 평가항목의 특징 값의 언어변수는 5가지로 VS(Very Small), S(Small), M(Middle), B(Big), VB(Very Big)로 나누어져 있고 삼각형 멤버십 함수로 정의하였다. 이렇게 퍼지화 된 언어변수를 전진부로 사용하는 추론엔진은 각 결함 종류별로 퍼지 규칙이 정해져 있고 결과를 무게 중심법을 사용하여 비퍼지화한다. 이렇게 9가지 결함의 가능성을 [0, 1] 사이의 값으로 계산한다.

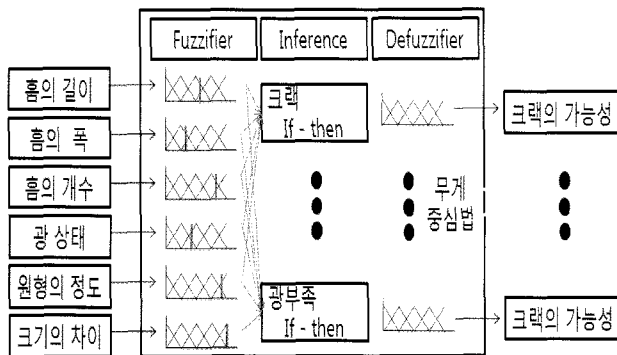


그림 2. FLS를 이용한 결함의 가능성 계산

Fig 2. The proposed FLS.

각 결함의 가능성을 그림 3과 같이 3번의 Choquet 퍼지 적분을 사용하여 각 계열별 가능성을 계산하고, 마지막으로 Choquet 퍼지 적분하여 종합적인 상태평가를 한다.

●퍼지 Choquet 적분

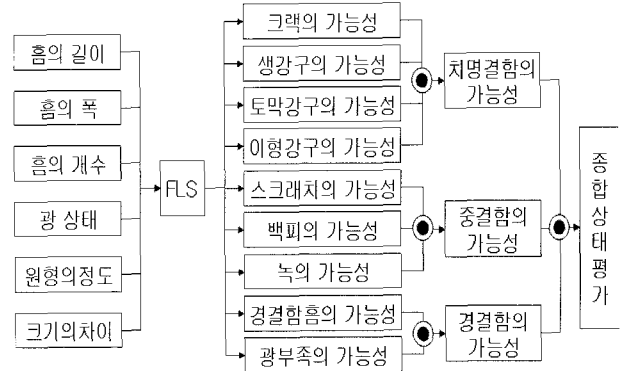


그림 3. 결함의 정도에 따라 분류한 종합 상태 평가 알고리즘

Fig 3. State estimation algorithm for the classification of the degree of defects

치명결함의 가능성은 크랙, 생강구, 토막강구, 이형강구의 가능성들을 평가지수로 하고, 각 결함의 중요도를 퍼지적으로 하여 그림 4와 같이 Choquet 퍼지 적분하여 계산한다. 이러한 과정을 중결함과 경결함의 가능성을 계산하기 위해 반복한다.

다시 치명·중·경결함 내의 결함 내용들의 가능성을 평가지수로 하고 각 결함등급의 중요도를 퍼지적으로 하여 치명결함의 가능성의 계산과정과 똑같이 Choquet 퍼지 적분하여 종합상태평가의 결과 A_s 를 도출한다.

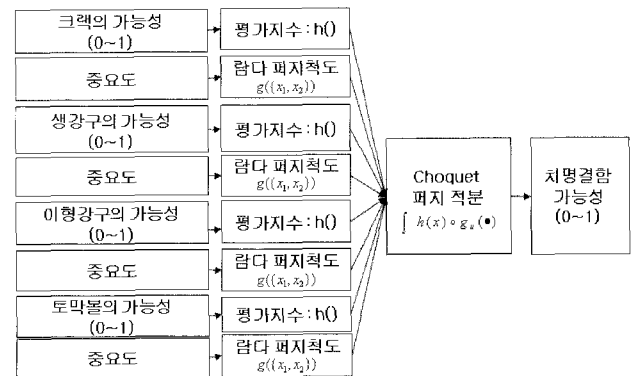


그림 4. 치명결함의 가능성에 사용된 Choquet 퍼지 적분 Fig 4. The Choquet fuzzy integral in the deadly defects.

하지만 그림 3과 같은 방법으로 평가를 수행한 결과 전체적으로 종합 상태 평가치가 낮게 나왔다. 결함의 종류가 크랙일 경우 크랙의 가능성이 높게 나오지만 치명결함내의 생강구와 토막강구 및 이형강구의 가능성은 거의 영(0)에 가까운 값이 나오게 되는데, 같은 치명결함내의 결함들이므로 중요도가 비슷하여 Choquet 퍼지 적분을 하게 되면 치명결함의 가능성이 낮게 나오게 된다. 이는 치명결함내의 결함종류들이 서로 연관성이 아주 낮기 때문이다.

결함들의 상쇄를 최소화하기 위하여 결함의 정도에 따른 분류가 아닌 그림 5와 같이 성질이 비슷한 계열로 분류를 함으로써 상쇄를 줄이고자 하였다.

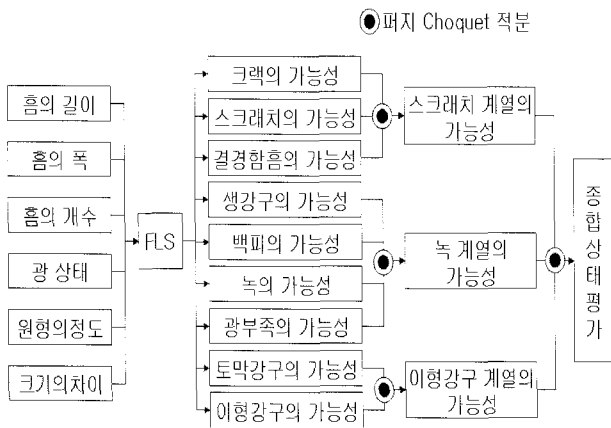


그림 5. 동일 계열로 분류한 종합 상태 평가 알고리즘
 Fig 5. Another state estimation algorithm for the classification of the degree of defects.

성질이 비슷한 계열로 분류하기 위해 표 1의 결함의 특징을 분석하였다. 흠의 길이와 폭에 많은 영향을 받는 크랙, 스크래치, 경결함 흠을 스크래치 계열로, 흠의 개수와 광 상태를 녹 계열로, 그리고 강구의 원형에 가까운 정도와 크기와 관련이 있는 것을 이형강구 계열로 나누었다. 이렇게 나누어진 계열들을 그림 6과 같이 계층구조화 하였다.

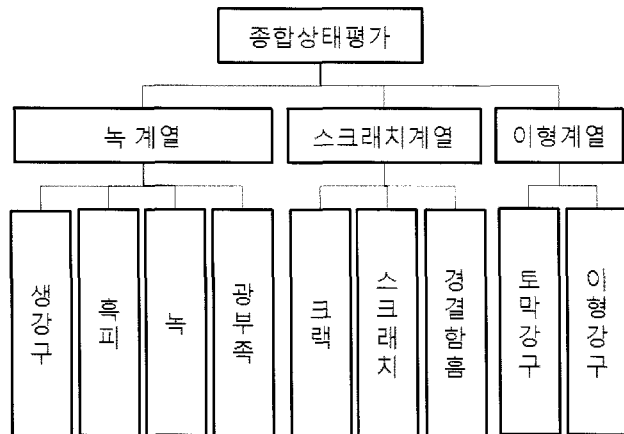


그림 6. 종합 상태 평가 시스템의 계층구조
 Fig 6. Hierarchical structure for state estimation algorithm.

각 계열의 가능성을 계산하기 위하여 표 6과 같이 평가 항목의 중요도를 3.1절과 같은 방법으로 새로 산정하였다. 특징값 입력 부분과 FLS 부분은 앞서 제안한 결함의 정도에 따른 평가 알고리즘과 동일하게 적용하였다.

그림 5와 같이 비슷한 특징을 갖는 크랙, 스크래치, 경결함 흠을 Choquet 퍼지 적분하여 스크래치 계열의 가능성을 구한다. 이와 같은 방법으로 녹 계열과 이형강구 계열의 가능성을 구한다.

이렇게 구해진 가능성들을 다시 Choquet 퍼지 적분하여 최종 강구의 상태 평가치 A_s 를 도출하고 표 7과 같은 판단 기준에 의해 강구의 최종상태를 평가하였다.

표 6. 결함의 계열에 따른 중요도

Table 6. The degree of the importance according to the defects group

구분	결함 종류	중요도	정합도	정합비
스크래치	크랙	0.652	0.000	0.000
	스크래치	0.217		
	경결함흠	0.13		
녹	생강구	0.536	0.001	0.001
	흑피	0.179		
	녹	0.179		
	광부족	0.107		
이형	이형강구	0.667	0.000	.
	토막강구	0.333		
최종 결함	스크래치계열	0.308	0.000	0.000
	녹 계열	0.308		
	이형계열	0.385		

표 7. 강구의 불량 상태 평가 기준

Table 7. Decision criteria for the degree of goodness of steel balls

등급	판단기준
양품	$0.9 < A_s \leq 1$
경결함	$0.8 < A_s \leq 0.9$
중결함	$0.7 < A_s \leq 0.8$
치명결함	$0.0 < A_s \leq 0.7$

3.3 퍼지 논리를 이용한 결함 종류 판별

강구가 불량이라면 세 가지 결함 평가 등급 중의 하나로 평가될 것이며, 결함이 소속된 계열의 가능성이 가장 크게 나타날 것이다. 이러한 원리를 불량 종류 판별에 적용하였다.

우선 종합 상태 평가에 사용되었던 각 계열의 가능성 중 가장 큰 가능성을 가지는 계열에서 종합 상태 평가 등급에 포함되는 결함을 선택한다. 이 과정에서 사용되는 가능성들은 이미 상태 평가를 위해 계산되어진 결과값을 이용함으로써 더 이상의 산술 연산은 필요치 않다.

결함의 등급은 판단 기준에 따라 두 가지 이상 나올 수 없으나, 평가된 결함 등급에 해당하는 각 결함과 계열의 가능성은 두 가지 이상 같게 나올 수 있다. 이럴 경우 가능성이 같은 계열의 결함 상태에 해당하는 모든 결함 내용을 검토하여 가장 높은 평가치를 선택하고 상태와 계열의 평가치가 같고 결함 종류의 가능성도 동일하게 나왔다면 3.1절에서 계산한 중요도가 높은 결함을 선택한다.

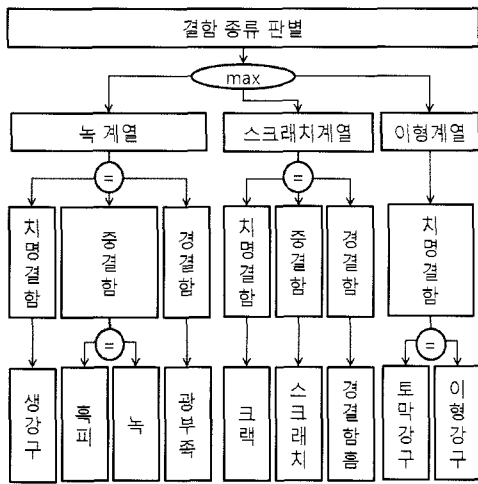


그림 7. 퍼지 논리를 이용한 결합 종류 판별
 Fig 7. Decision making system for the degree of goodness of steel balls

4. 실험

제안된 방법의 유용성을 평가하기 위하여 실험을 수행하였다. 이 특징값은 결합 종류마다 100개씩 총 900개의 데이터로 이루어져 있다.

표 8은 여러 종류의 결합과 양품에 대하여 실험한 결과이다. 결합 종류 판별에서 양품은 완벽히 분류해 내는 등 우수한 성능을 보였다. 모든 결합을 효과적으로 분류하였으나 흑피와 녹의 결합 특징이 서로 비슷하여 오분류가 발견되었다. 현재 검사 방법은 인간의 목시 검사이고, 이를 통한 검사시 매우 엄격한 기준에 의해 이루어졌을 때에도 최고 80% 정도의 효율을 가진다[2]. 그러나 본 시스템은 모든 결합 종류에 대해 80% 이상의 검사 성능을 나타내었다.

표 8. 여러 종류의 결합에 대한 실험 결과
 Table 8. Test results

결합 종류	정분류	오분류
양품	100	0
크랙	100	0
스크래치	100	0
경결합	100	0
생강구	100	0
흑피	90	10
녹	80	20
광부족	100	0
이형강구	100	0
토파강구	100	0

1개의 강구 상태를 평가하고 분류하는데 소요되는 시간 계산을 위해 임의의 Text 파일에서 6가지 특징 값을 입력받아 계산하였다. 100개의 경우를 실험한 결과 109 ms가

소요되었다. 즉, 한 개 강구의 상태 평가에 소요 되는 시간은 약 1.09 ms이다.

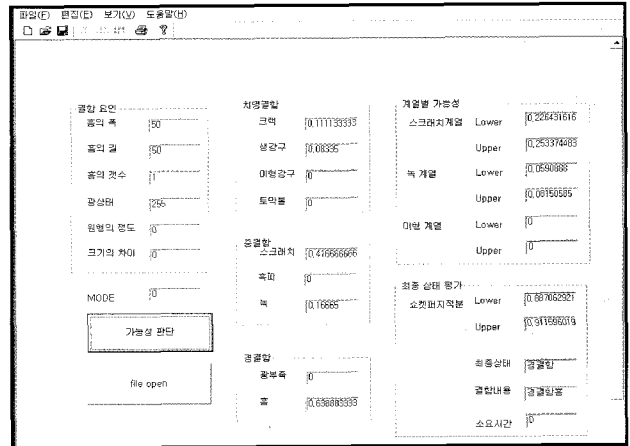


그림 8. 실험 화면 예
 Fig 8. Simulation results.

본 시스템의 구현에는 Visual C++6.0을 사용하였고 Intel사의 Pentium 4 CPU 2.8 GHz 사양의 컴퓨터에서 실험하였다.

5. 결론

본 연구에서는 Choquet 퍼지 적분을 사용하여 강구의 불량 상태와 종류를 판별하는 효과적인 시스템을 제안하였다. 강구의 불량 기준에 기초하여 상태 평가에 필요한 평가 항목 6가지를 결정하였다. 평가항목의 특징 값들을 FLS를 통해 각 결합의 가능성을 평가하였고, 이를 위해 6가지 입력값에 대한 멤버십 함수를 정의하였다. 각 결합에 대한 퍼지 규칙을 전문가의 설문조사를 통해 정의하였고, 결합의 가능성은 무게 중심법으로 비퍼지화하였다. 9가지 결합의 가능성을 평가지수로 하고, AHP를 통해 구해진 중요도를 사용하였다. Choquet 퍼지 적분을 이용하여 각 결합의 가능성과 등급별 가능성을 종합하여 최종 상태를 평가하였다. 이 과정에서 결합의 등급별로 Choquet 퍼지 적분했을 때 가능성이 서로 상쇄되는 문제점이 발생하였으며, 이를 계열별로 나누어 Choquet 퍼지 적분함으로써 해결할 수 있었다. 제안한 시스템은 실험을 통해 그 효용성을 검증하였다. 향후 연구로는, 제안된 시스템에서 오분류되었던 흑피와 녹의 결합에 대한 우수한 성능의 시스템 개발이 요구된다.

참고 문헌

- [1] 김정식, 김명창, 배정철, “베어링 내륜의 내면 연삭 가공에서 진원도 개선 방안”, 한국정밀공학회지 제 13권 제 5호, pp.60-66, May, 1996.
- [2] 박수우, 김윤수, 이상욱, 임병훈, 김태균, 박철영, 최병재, 이문락, 도용태, “베어링 강구 검사용 기계시각 시스템 설계”, 한국센서학회논문지 제 17권 제 5호,
- [3] P. Parent, C-H Chou, and B. T. Khuri-Yakub,

"Ball bearing inspection with an acoustic microscope", *Proc. of IEEE Ultrasonic Symposium*, Vol. 2, pp.1111-1113, Oct. 1988.

[4] T. W. Ng, "Optical inspection of ball bearing defects," *Measurement Science and Techniques*, Vol. 18, pp.73-76, 2004.

[5] 이승진, 김기련, 민상기, 김봉수, 이영우, 김재형, 전계록, "퍼지추론을 이용한 요분석 시스템 분류기의 시뮬레이션", *한국시뮬레이션학회 2000년 추계학술대회논문집*, pp.186~191, Nov. 2000.

[6] 가용걸, 백두권, "신경망을 이용한 루프검지기 차종 분류 알고리즘", *정보과학회논문지 소프트웨어 및 응용 제33권 제5호*, pp.489-498, May. 2006.

[7] 전영준, 김진일, "퍼지 알고리즘의 융합에 의한 다중분광 영상의 패턴분류", *정보과학회논문지 소프트웨어 및 응용 제32권 제7호*, pp.674-682, Jul. 2005.

[8] 금중수, 장운재, "퍼지로직과 쇼캐적분을 이용한 연안해역의 통항 위험성 평가", *해양환경 안전학회 추계학술대회*, pp.69-75, Nov. 2004.

[9] 변증남, "퍼지논리제어", *홍릉과학출판사*

[10] 김영민, 김치경, 홍건호, 홍성걸, "철근콘크리트 건물의 퍼지기반 상태평가", *대한건축학회논문집 구조계 제17권 제12호*, pp.123-132, Dec. 2001.



최병재(Byung-Jae Choi)
현재: 대구대학교 전자공학부 교수

관심분야 : 지능제어 및 시스템
E-mail : bjchoi@daegu.ac.kr



김윤수(Yoonsu Kim)
2004년; 대구대 전자시스템과 졸업
2007년~현재: 동 대학원 전자공학과 석사과정

관심분야 : 퍼지 이론, 신경회로망, 유전알고리즘
E-mail : skyblue1981@nate.com



도용태(Yongtae Do)
현재: 대구대학교 전자공학부 교수.

관심분야 : 로봇센서, 인공지능, 기계시각
E-mail : ytdo@daegu.ac.kr

저자 소개



김태균(Tae-Kyun Kim)
2007년: 대구대 전자시스템과 졸업.
2007년~현재: 동 대학원 전자공학과 석사과정

관심분야 : 지능제어, 인공지능, 기계시각
E-mail : na821c@nate.com