

## 퍼지 논리를 이용한 드릴의 마모 상태 진단

### Diagnosis of the Drill Wear Based on Fuzzy Logic

권오진\* · 최성주\*\* · 조현찬\*\*\*

Oh Jin Kwon, Seong Joo Choi, and Hyun Chan Cho

\* 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과

\*\* 한국기술교육대학교 기계공학부

\*\*\* 한국기술교육대학교 정보기술공학부

#### 요 약

공장 자동화 및 무인 자동화를 실현하기 위해 가장 기본적인 중요한 기술은 제조공정에 대한 감시 기술이다. 특히 절삭 공정에서 생산성을 향상시키기 위해서는 절삭 과정 중 드릴이나 엔드밀 등과 같은 공구의 마모상태가 실시간으로 감시되어야 한다. 본 논문은 드릴 공정에서 퍼지 논리를 도입하여 마모진단 시스템을 구성하였다. 실시간 마모진단을 위해서 절삭력과 절삭력의 변화량을 퍼지 입력 변수로 하여 컴퓨터를 이용한 드릴의 마모상태를 판단하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 퍼지 마모진단 시스템을 평가하기 위하여 퍼지 마모량과 드릴의 실제 마모량을 측정하여 그 결과를 비교하였다.

#### Abstract

One of the most important technology in Factory Automation and Unmanned Automation is to construct the diagnostic system for manufacturing process. To improve the productivity in cutting process, the state of tools such as bite, drill, endmill should be monitored continuously. In this study, fuzzy logic was used to check the wear of drill in drilling process. The input variables to construct the fuzzy rules are cutting force and the rate of cutting force's change. The experiment was done with the fixed spindle speed and feed rate in cutting condition. The proposed algorithm is verified by comparing Fuzzy wear with real wear measured.

**Key Words** : Diagnostic System, Manufacturing Process, Drill, Wear, Cutting Force, Fuzzy Logic

### 1. 서 론

최근 공장 자동화 및 무인 자동화를 실현하기 위해 가장 기본적인 중요한 요소는 시스템의 감시 기술이며 자동화 실현을 위한 요소와 기술로서 기계 자체의 고장 진단뿐만 아니라 기계의 공정 중에 발생하는 공구 마멸 및 파손의 실시간(Real Time)검출 기법의 필요성이 크게 강조되고 있다. 공구 상태의 감지는 무인 가공시 공구 파손이 제품의 불량 발생 및 비가공 시간(DOWN TIME)의 증가 요인을 검출하는데 필요로 하며 가공 중 공구의 마멸이 공구파손이나 가공 오차를 발생시키고 생산성과 직접적인 원인이 되므로 마모량의 측정은 매우 중요하다고 할 수 있다.

공구의 마멸 상태를 검출하는 방법에는 직접적인 방법과 간접적 방법이 있는데, 공장 환경하에서 보통 대단히 작은 마모간의 실시간 측정이 어렵다는 공통점이 있다. 그리고 간접적 방법들은 대부분 측정이 공구의 마모뿐만 아니라 공작물의 물성, 공구의 모양 그리고 절삭조건과 같은 공정 파라미터의 영향을 받는다. [1,2]

본 연구에서는 드릴가공에 있어서 공구 마모의 진단

에 퍼지이론을 적용하여, 실시간으로 공구 마모를 측정하고 이를 통하여 공구의 마멸상태를 확인하며 공구의 교체 등 필요한 조치를 할 수 있도록 하는 프로그램을 구성하고 실험을 통하여 가능성을 확인한다.

실제 작업환경에 있어서 절삭력에 영향을 미치는 요소로서 공구의 마모뿐 아니라 공작물의 물성, 절삭공구의 모양 그리고 절삭조건과 같은 공정 파라미터 등이 있는데 이러한 파라미터의 변화가 있을 때 절삭력 측정은 신뢰성이 낮아 진다는 문제점이 있다.

이러한 여러 가지 파라미터를 모두 고려하는 것이 바람직하나 본 연구에서는 드릴가공에서 마모가 진행되면서 나타나는 절삭력과 절삭력의 변화량으로서 퍼지 개념에 입각하여 실시간 마모 진단을 하고자 한다.

### 2. 드릴의 절삭 기구와 마모진단

드릴은 그 자신의 회전에 의해 2개의 절삭날이 공작물의 표면에서 파들어 가서 구멍을 뚫고 들어가며, 드릴의 절삭 속도는 외주부에 가까울수록 빠르게 된다. 따라서 드릴 가공에 있어서 마모가 가장 심한 부위는 외주부이다. 통상의 절삭 속도란, 이 외주 속도를 말한다. 반대로, 드릴의 중심부에 가까워지면 절삭 속도는 저하되고, 회전 중심인 치즐 중앙부에서의 절삭 속도는 제로가 된다.

치즐부는 절삭에 관여한다기 보다는 공작물을 소성

접수일자 : 2001년 12월 1일

완료일자 : 2001년 12월 26일

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R02-2000-00250)의 일부 지원으로 수행되었습니다.

변화시켜서, 강대한 추력으로 피삭재를 솟아 올려 잡아 뽑는 것과 같은 작용이 주가 된다.

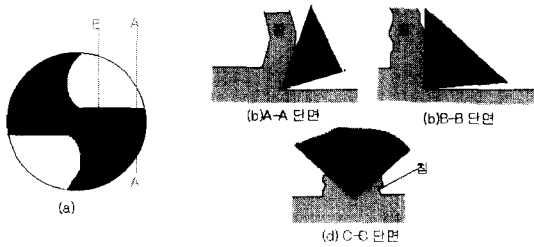


그림 1. 절삭날 각부의 절삭상태

<그림1>은 드릴 각부의 절삭상태를 나타낸다. 드릴은 선단부에서 생크로 가는데 따라 지름이 조금 가늘게 되도록 만들어져 있다. 이것을 백 테이퍼라고 한다. 이것은 구멍 뚫기 작업중에 가공 구멍의 내면과 드릴이 접촉으로 인한 마찰작용으로 인한 가공구멍의 확대를 방지하고 드릴의 랜드를 상하게 하는 것을 조금이라도 피하기 위함이다. 그리고 절삭액을 절삭날부로 보내기 위해서는 플러스로 작용하는 잇점도 있다.

위 <그림1>에서 알 수 있듯이 드릴 가공을 함에 따라 마모가 가장 심한 단면은 A-A단면으로서 마모가 진행됨에 따라 날끝각은 작아지게 된다.

모든 절삭 가공에 있어서 마모량이 증가하면 절삭력 또한 증가하게 된다. 공구 마모량은 일반적으로 플랭크 마모량으로 마모의 정도를 판단한다. 그러나 이러한 판단기준은 가공 중 실시간 측정이 어려운 점이 있다. 또한 칩핑이나 기타 외란에 대한 공구 수명의 판단은 더욱 어렵다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 드릴 가공시 실시간으로 측정이 가능한 절삭력과 절삭력의 변화량으로 드릴의 마모를 진단한다.

현장에서 드릴 가공시 드릴의 사이즈와 피삭재의 재질에 따라서 드릴의 수명은 달라질 수 있다. 본 연구에서는 주어진 피삭재를 Ø10 드릴로 가공하면서 마모가 가장심한 드릴 외주부의 마모를 마모량의 기준으로 정하였다.

<그림2>은 플랭크 마모로 인해 드릴 외주부가 마모되는 형태를 나타낸다. 드릴 외주부는 플랭크 마모가 가장 심한 부분으로서 절삭날의 가장 중요한 역할을 담당한다.

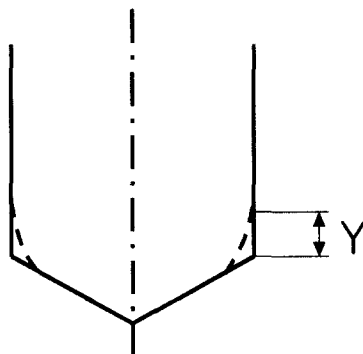


그림 2. 드릴의 마모측정

표 1. 마모기준 단위(mm)

마모량	0%	20%	40%	60%	80%	100%
끝단마모(Y)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	Y>1

<표1>은 퍼지조직에 의한 마모와 이에 상응하는 드릴 외주부의 끝단 마모Y(그림2)의 관계를 나타낸 것이다. 마모가 60%일때 외경끝단 마모가 0.6mm로 대응하게 하는 방법으로 퍼지조직에 의한 마모와 실제 마모량을 비교하였다. 본 연구에서는 정밀한 드릴가공이 아닌 공구가 파손이나 마모의 진행으로 인한 용착 등을 피할 수 있을 정도의 드릴 가공을 계속하면서 퍼지 마모와 실제 마모량을 측정하여 비교하였다.

### 3. 퍼지 모니터링 시스템

#### 3.1 절삭력 및 절삭력 변화율에 의한 전건부 구성

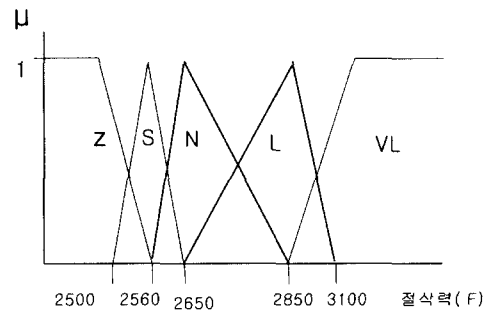


그림 3. 절삭력 F에 의한 전건부

<그림3>는 절삭력에 의한 전건부로서 절삭력의 크기를 언어적 변수로 나타낸 것이다. 절삭력에 의한 전건부는 실험 결과 위 <그림3>와 같은 형태가 적절함을 알 수 있었다. 이는 마모에 따른 절삭력의 형태가 비선형을 나타내는 특성때문이다. 특히 마모가 공구 수명 한계치에 이르면 절삭력은 급격히 증가하게 된다.

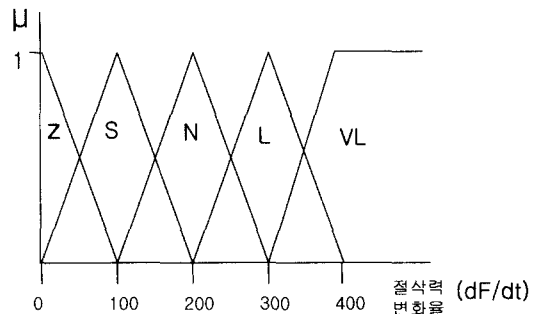


그림 4. 절삭력 변화율 ΔF에 의한 전건부

<그림4>은 절삭력 변화율에 의한 후건부를 나타내는 것으로 절삭력 변화율은 공구의 칩핑에 의한 영향을 포

함한다. 마모 진행에 따른 절삭력 변화량과 치핑의 영향까지 고려하여 언어적 변수로 표현하였다.

3.2 마모량에 의한 후건부 구성

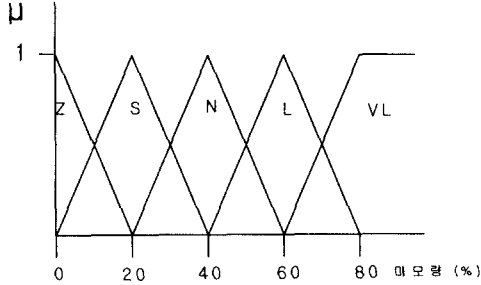


그림 5. 마모량에 의한 후건부 구성

<그림5>는 마모량에 의한 후건부로서 절삭력과 절삭력 변화율에 의한 마모량을 퍼센티지로 결과를 출력하게 된다. 마모량 80%까지만 실험했으며 그 이상은 가공시 용착과 칩과 공구의 이탈 등으로 가공이 불가능하였다.

3.3 Fuzzy rule

전건부 입력변수는 절삭력 F와 절삭력 변화율ΔF로 하였고 후건부는 마모량 W으로 하였다. 따라서 rule은 다음과 같은 If~Then의 형태로서 <표2> 와 같다.

if F is A<sub>i</sub> and ΔF is B<sub>i</sub> , then W is C<sub>i</sub>.(1)  
 .  
 .  
 .

마모량 (wear)		절삭력 변화량(ΔF)				
		Z	S	N	L	VL
절삭력F	Z	Z	Z	S	L	VL
	S	S	S	N	L	VL
	N	N	N	L	L	VL
	L	L	L	L	VL	VL
	VL	VL	VL	VL	VL	VL

표 2. Rule Base

여기서,

- Z : zero
- S : small
- N : normal
- L : large
- VL : very large

3.4 추론 및 비퍼지화

Inference는 계산량을 줄이고 빠른 비퍼지화를 위하여 Larson법을 사용하였다. Larson법으로 위에서 정의한 Rule을 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\mu_{C_i}(W) = \mu_{A_i}(F) \cdot \mu_{B_i}(\Delta F) \cdot \mu_{C_i}(W) \quad (2)$$

$$\mu_C(W) = \mu_{C_1}(W) \vee \dots \vee \mu_{C_n}(W) \quad (3)$$

또한, 본 실험에서는 드릴의 절삭가공시 공구마모를 진단하는데 있어서 공구파손이나 마모로 인해 발생할수 있는 제품의 손상이나 기계적인 파손을 미연에 방지하고 신속한 대응을 위하여 Defuzzification은 높이법(Height Method)를 사용하였다. 이 방법은 간단하고 처리방법이 빠르다는 장점이 있다.

4. 실험의 구성방법 및 결과

4.1. 실험 구성

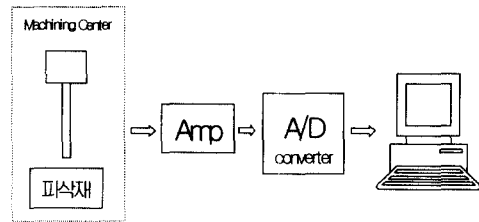


그림 6. 실험 구성도

위 <그림6>는 실험 구성 방법을 나타낸다. 실험은 일정한 회전속도(rpm)과 이송속도를 유지하기 위하여 머시닝센터(M.C)를 이용하였다.공구동력계는 Piezo-Instrument Type 9123B를 사용하였고 data acquisition은 Labview을 이용하였다.

4.2 실험재료

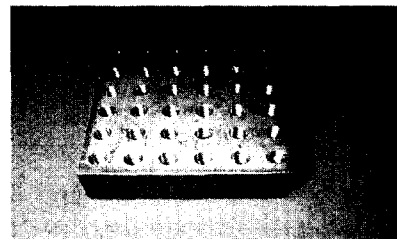


그림 7. 피삭재

<그림7>의 피삭재 재질은 SM45C(150mm×150mm×20mm)이다. 마모 상태를 관찰하기 위하여 프로그램을 실행시킨 상태에서 드릴이 가공할 수 있을때까지 가공을 수행하였다.

4.3 절삭조건

드릴은 현장에서 많이 이용되는 고속도강 재질의 드릴(Ø10)을 사용하였다. 드릴의 날끝 선단각 114°, 비틀림각 35°, 시닝은 X형으로 된 드릴이다.

절삭속도는 스피들 속도 300rpm, 이송속도 0.1mm/rev 하에서 절삭유는 사용하지 않고 실험을 수행하였다.

4.4 실험결과

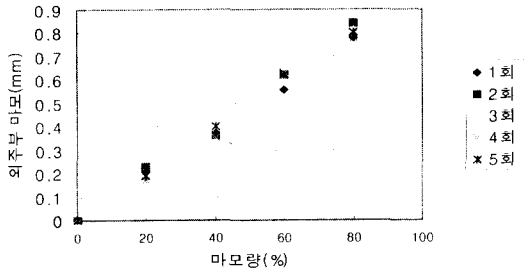


그림 8. 드릴 외주부 마모와 퍼지마모 비교

<그림8>은 절삭력과 절삭력의 변화량으로 드릴의 마모량을 측정하였을 때 처음 기준으로 잡았던 드릴 외주부 마모와의 차이를 나타낸다. 이때 가공시 퍼지 로직에 의한 마모와 처음 마모기준으로 정하였던 외주부 마모가 근사한 값을 가짐을 알 수 있었다. 따라서 정밀한 가공이 아닐시 퍼지 로직에 의한 마모 판단은 신뢰성이 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

현장에서 절삭 가공시 피삭재와 공구의 물성치를 통한 공구수명이나 교체 시기를 판단하는 것은 가능하다. 그러나 피삭재의 불균일이나 기타 외란을 고려한 공구수명 판단은 쉽지 않다.

본 연구에서는 다양한 마모기구와 외란에 대해서 유연하게 적용될 수 있는 공구마모 진단법을 제시하였다.

제안된 마모진단 방법은 공구의 마모정도를 사용자가 현장여건에 맞게 조절하여 적용하기가 쉽다. 또한 좀더 정확한 마모측정은 뉴럴 네트워크를 적용하여 퍼지 함수의 정밀도를 높임으로서 구현 가능하다.

참 고 문 헌

[1] 김선호, 이춘식, 박화영, “밀링공정 패턴 인식을 위한 절삭신호 특성분석”, 한국정밀공학회춘계학술 대회논문집 1993 v. 춘계, pp. 235-241

[2] 최성주, “AE 신호를 이용한 드릴의 마멸과 절손탐지에 관한 연구”, 한국기술교육대학교 논문집 vol.1 no.1 pp : 77-89

[3] 김성동,한철호, “비일정 절삭조건에서 절삭음향, 절삭동을 이용한 공구마모의 퍼지 진단시스템 개발”, 금오공과 대학교 논문집 vol. 20 pp : 25-35

[4] 변증남, “ 퍼지 논리 제어”, 홍릉출판사 1997 pp : 91-108

[5] 안두성, “제어이론을 이용한 국산 드릴의 측면 마모 해석”, 부산수산대학 연구보고 제 27권 2호, pp : 53-60

[6] 고태조, 조동우, “면삭밀링가공시 공구 부절삭날 마모 길이의 퍼지적 평가”, 한국정밀공학회지 1995, 12 pp : 28-38

[7] 김화영, 안중환, “모터진류를 이용한 드릴가공에서의 절삭이상상태 감시 시스템”, 한국정밀공학회지 1995, 12 pp : 98-107

[8] 윤중호,최원식 “선삭에서 퍼지알고리즘을 이용한 칩형상 예측”, 경일대학교논문집 vol. 16 NO. 3 pp : 859-865

저 자 소개



권오진(Kwon, Oh Jin)

2000년 : 한국기술교육대학교  
생산기계공학과 졸업  
2000년~현재 동 대학원 기계공학과  
석사과정

관심분야 : 공정감시, CAE, 퍼지이론, 정밀계측

Phone : 016-409-9188  
E-mail : kwonshop@hanmail.net



최성주(Choi, Seong Joo)

2000년~현재 한국기술교육대학교 기계공학부 교수 재직 중

관심분야 : 가공공정의 최적화, 고속가공 및 CAM, 기계상태 감시제어 및 공정 자동화 Virtual Instrument 응용 및 계측

Phone : 011-9830-8938  
E-mail : sjchoi@kut.ac.kr



조현찬(Cho, Hyun Chan)

제 11권 제 1호 2001년 2월 참조