

연삭가공 트러블슈팅을 위한 룰베이스 구성의 基礎

이재경*¹, 김진희*², 송지복*³

Basic Construction of Rule-Base for Grinding Trouble-shooting

Jaekyung Lee*¹, Gunhoi Kim*², Jibok Song*³

Abstract

Cognition and control of grinding trouble occurring during the grinding process are classified into a quantitative knowledge which depends on experimental data and qualitative knowledge which relies on skilful engineers. Grinding operations include a large number of functional parameters, since there are several ways of coping with grinding trouble. One is the qualitative method which depends on empirical knowledge utilizing the skilful experts from the workshop, the other is the quantitative method which utilizes the experimental data obtained by sensor. But, they are all difficult to accomplish from the grinding trouble-shooting system. The reason is that grinding troubles are not easily controlled in the quantitative method, and therefore, trouble-shooting has mainly relied on the knowledge of skilful engineers. Thus, there is an important issue of how a grinding trouble-shooting system can be designed and what knowledge is utilized among the large amount of grinding trouble information.

In this paper, basic strategy to develop the grinding database of rule-based rule, which is strongly depended upon experience and intuition, is described.

Key Words: Grinding Operations(연삭가공), Database(데이터 베이스), Rule-Based Rule(룰베이스 룰), Grinding Trouble-shooting(연삭가공 트러블슈팅), Automatic Manufacturing Process(자동화 생산공정)

1. 序 言

연삭가공은 불규칙적인 절인을 갖는 연삭수들을 고속회전시켜 정밀한 다듬질된 면을 얻는 고속정밀 가공법이다. 그러나 연삭가공법은 다른 가공법과 달리 동일한 가공조건이라할지라도 가공결과에 대한 재현성을 얻는다는 것은 매우 어렵다. 또한 트러블 발생시의 파라미터간의 복잡한 相互因果 關係에 대한 규명이 어렵고 정량화하기도 어렵다. 연삭가공에서 발생하는 트러블중 특히 Chatter Vibration과 연삭 Burning은 연삭가공중에 발생하는 트러블중 그

발생빈도가 가장 빈번하여 그에 관한 연구가 지속적으로 연구되어 왔다^(1,2). 특히 Chatter Vibration은 재형효과등의 면에서 정량적 해석의 관점이 매우 다른 것으로 알려져 있다⁽³⁾.

따라서 본연구에서는 연삭가공의 가공중에 발생하는 트러블 중에 연삭 Burning과 Chatter Vibration을 중심으로 트러블 슈팅을 위한 룰베이스 구축을 위한 룰베이스 룰의 기본개념과 메커니즘에 관한 기본적인 개념에 대하여 설명한다.

2. 트러블 슈팅룰 구성의 기본전략

*1 한국기계연구원 자동화연구부
*2 전주대학교 기계산업공학부
*3 부산대학교 기계공학부

본 연구 대상이 되고있는 연삭가공중 고정도·고품질을 요구하는 생산을 대상으로한 경우에 있어서는 동일한 모델의 공작기계라 할 지라도 그 결과는 경우에 따라서는 相異한 차이가 있어, 이러한 특징을 충분하고도 詳細하게 반영하기 위해서는 각각의 정보를 룰 베이스에 기능적으로 분류하여 收納함으로써 신뢰성있는 데이터의 활용 및 推論時間의 단축을 기대할수 있다. 본 연구에서는 Lot size가 비교적 적은 準專用 研削加工을 대상으로 하기 위한 工作機械의 특성을 고려하여 지식을 특정의 개념으로 분류하여 룰 베이스하고, 그 시스템 운영에는 目的指向型(Object Oriented Paradigm Systems)로 구축하였다.

본 시스템의 룰의 推論은 후레임을 작업영역으로 이용하여 룰의 條件部를 照合하여 실행한다. 룰의 추론은 條件照合(Pattern matching), 競合解消, 룰의 실행의 사이클을 반복해서 이루어 진다. 條件照合은 룰의 각조건과 作業域 内容과의 조합으로 룰형사시클중에서 가장 실행 시간이 걸리는 부분이다. 따라서 조건조합의 효율화가 데이터 베이스의 성능을 좌우하게 된다. 본 시스템에서는 조건조합의 효율화를 추구하기위해 RETE 알고리즘⁴⁾을 적용하고 있다. RETE 알고리즘의 특징은 다음과 같다.

- (1) 룰의 검과일에 있어서 전체 룰의 조건부를 기본적으로 分解해서 룰간에 동일한 조건을 共通化하여 최적의 추론 네트워크를 생성한다. 또한 추론 Network는 동일 클래스내에 閉鎖된 클래스내의 조건조합과 클래스간에 추천된 條件照合의 2단계로 구성된다.
- (2) 推論實行은 추론대상이 되는 후레임 전체를 대상으로 하고 추론 네트워크에 표시된 순서로 조합을 하고, 그 조건조합의 途中結果는 Temporary Frame에 보존된다. 그때 複數의 조건부가 眞이 된 경우에는 競合解消를 하여 한가지를 선택한다.
- (3) 추론사이클의 두 번째 이후에는 Temporary Frame에 보존되어 있는 前回까지의 조건조합의 途中結果를 이용해서 조건조합 횟수를 감소시킨다.

競合解消(Conflict Resolution)은 照合된 複數의 Instantiation중에서 다음에 실행해야할 Instantiation을 추천한다. 본 시스템의 경합해소 전략은 다음과 같다.

- (1) Goal: Goal Instantiation을 Rule Instantiation보다 우선하여 선택한다. 만약 동일한 종류의 Instantiation이 複數하는 경우에는 우선 Instantiation중의 룰의 우선도가 가장 큰 것을 선택하고, 다음에 우선도가

동일한 Instantiation이 복수 존재하는 경우에는 Instantiation중의 Instance중 가장 최근에 更新되어 있는 것을 우선한다.

- (2) Rule: Rule Instantiation을 Goal Instantiation보다 우선하여 선택한다.
- (3) Mix: Goal Instantiation과 Rule Instantiation을 구별없이 취급한다. 그밖에 No-loop Goal, No-loop Rule, No-loop Mix은 기본적으로 Goal, Rule, Mix와 동일한 역할을 하지만 차이점은 Instantiation이 경합 집합으로부터 선택되어 룰의 실행부를 실행하여 과거에 만들어진 다른 Instantiation과 동일한 내용의 후레임을 작성하는 경우 동일한 내용의 Instantiation을 작성하는데 대하여 No-loop Goal, No-loop Rule, No-loop Mix은 작성하지 않는다.

한편, 본 시스템 룰의 지식표현(Knowledge Representation)은 다음과 같다.

- (1) 주어진 사실으로부터 새로운 사실을 이끌어내는 전향적 룰(Forward chaining Rule)과 결론을 가정하여 그 과정이 성립할수 있도록 조건을 이끌어내는 후향적 룰(Backward chaining Rule)이 있다.

- (2) 관련이 있는 룰을 Rule set로 정리하여 룰로 표현한 지식을 체계화한다.

- (3) 룰의 기동은 룰조건부와 후레임 조합에 의해 이루어지는 작업영역에 후레임을 채용한다. Forward chaining Rule은 <條件部> ⇒ <實行部> 로 구성된다.

여기서 조건부는 If부에 대응해서, 실행부는 Then부에 상응한다. 즉, 본 시스템의 Forward chaining은 조건부가 만족될 때 실행부에 記述된 一連의 절차가 실행되는 구조로 되어 있다. 또한, Backward chaining은 Head부, 조건부, 실행부로 구성되며,

<Head부> ← <조건부> ⇒ <실행부> 로 표현된다. Backward chaining Rule의 起動은 지정한 후레임 또는 Working Memory조건이 “眞”이 되지않는 경우 生成된 Goal이 Head부와 조합하여 조건부가 만족될 때 실행부에 기술된 일련의 절차에 의하여 실행된다.

3. 룰베이스 룰의 기본분류

연삭가공의 트러블 診斷·處理는 專門的, 經驗的 知識을 If-Then형의 Production Rule의 형태로 축적한다. 연삭가공의 曖昧하고 相互關係가

복잡한 정보를 룰화하여 사용하는 경우에는 階層分析(AHP)^[2]를 적용하여 지식의 타당성을 부여하여 룰의 우선순위를 준다. 본시스템의 트러블의 診斷·處理를 위한 룰을 구성하기위한 룰은 Fig.1~3과같이 연삭조건(공작물주속도, 절입깊이, 연삭숫돌주속도), 드레싱 조건(절입깊이, 이송속도, 드레서의 전단각) 및 연삭숫돌(입자크기, 결합도)와 Grinding Burn, Chatter Vibration 및 공작물의 표면조도 불량률 트러블 슈팅을 위한 룰을 구축하기 위한 기본적인 구성요소로 설정하였다.

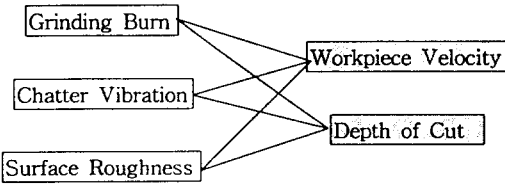


Fig.1 Relationship of Grinding Trouble Among Cutting Conditions

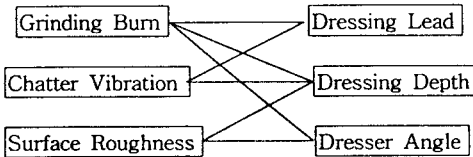


Fig.2 Relationship of Grinding Trouble Among Dressing Conditions

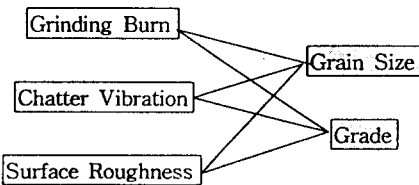


Fig.3 Relationship of Grinding Trouble Among Grinding Wheel

그이유로는 연삭가공중에 발생하는 트러블 중 Burning과 Chatter Vibration이 가장 빈번히 발생하며, 이러한 트러블을 유발시키는 요인중 가공조건으로는 절입이, 공작물의 주속도의 영향이 제일 크며, 드레싱 조건으로는 드레싱시의 절입깊이, 드레싱시의 이송속도, 드레서의 절입각도에 의한 영

향이, 그리고 연삭숫돌의 요인중에는 Grain, Grain Size, Grade, Bonding Material, Structure 중에서 Grain Size와 Grade가 가공중에 발생하는 트러블의 중요한 영향인자로 나타났다⁽⁵⁾. 또한 이러한 룰을 룰베이스에 구축하기위하여 본 시스템에서는 Fig.4와 같은 퍼지이론을 도입하여 트러블의 발생 정도를 구분하여, 이를 구체적으로 트러블을 발생시키는 요인들을 Fig.5~7과같이 룰베이스를 분류하여 "If - Then"와 같은 조건부와 결론부로 구성하였다.

예를들어 Fig.5의 Rule No.4에서 "If Grinding Burn이 Brown Type이고 Surface Roughness가 불량" 이라면, 이의 주요원인으로는 "연삭숫돌의 절입깊이에 있으며 그 처리방향으로는 절입깊이를 약간(30%) 줄이도록 한다." 또한 "IF 가공면의 干涉色이 Brown type이고, 설정한 연삭숫돌의 結合도가 M이고, 연삭숫돌면에 눈매움(Loading)현상이 있고, 가공면이 거칠고, 연삭액의 공급형태가 정상이라면, THEN 절입깊이(Depth of Cut)에 의한 연삭눌음으로 보이며, ⇒ "처리로서" 절입깊이(Depth of Cut)를 크게(NH) 줄이라는 메시지가 전달된다.

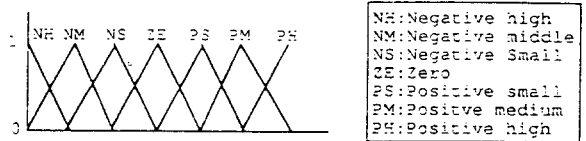


Fig.4 Fuzzy Grade for Grinding Trouble-shooting Adopting in This System

또한 Fig.8~10은 룰베이스 룰을 구성할때에 있어서 연삭가공을 구성하고 있는 요소들에 따라 트러블의 발생영향 정도가 다르므로 룰이 경합(Conflict Resolution)될때에 대한 가중치(Weight)을 부여한 것으로 Fig.8에서 Grinding Burn은 연삭가공조건 중 절입깊이의 영향이 가장 크고, Fig.9에서 Chatter Vibration은 연삭숫돌 중에서 Grade에 의한 영향요인과 연삭숫돌의 편심이 가장 크며, Fig.10에서 표면조도 불량률은 가공조건중 절입깊이의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. Fig.8~10에서 SR: Surface Roughness, GB: Grinding Burn, CV: Chatter Vibration, GW: Grinding Wheel, CC: Cutting Condition, DC: Dressing Condition, GS:





















Rule No.	IF-close			THEN-close		
	Grinding Burn	Chatter Vibration	Surface Roughness	Modify Parameter		
				Depth of Cut	Workpiece Velocity	Wheel Velocity
1				NS		
2				NS		
3				NS		
4				NM		
5				NL		
6				NL		
7					PS	
8						PM
9					NS	
10					NM	
11					NM	PM

Fig.5 Trouble Rule of Grinding Cutting Conditions










Rule No.	IF-close			THEN-close		
	Grinding Burn	Chatter Vibration	Surface Roughness	Modify Parameter		
				Dressing Lead	Dressing Depth	Dresser Angle
1				PS		
2						PS
3					NS	
4						PS
5						PM

Fig.6 Trouble Rule of Dressing Conditions

Rule No.	IF-close			THEN-close		
	Grinding Burn	Chatter Vibration	Surface Roughness	Modify Parameter		
				Grain Size	Structure	Grade
1	Yellow					NS
2	Yellow		bad			NS
3	Brown	susist				NS
4	Brown		bad			NS
5	Blue	susist		PS		NM
6	Blue		bad		PS	NM
7			bad			PS
8	Yellow					NS
9	Brown		bad			NS
10	Blue	susist	bad	PS		NM
11	susist		bad			NS

Fig.7 Trouble Rule of Grinding Wheel

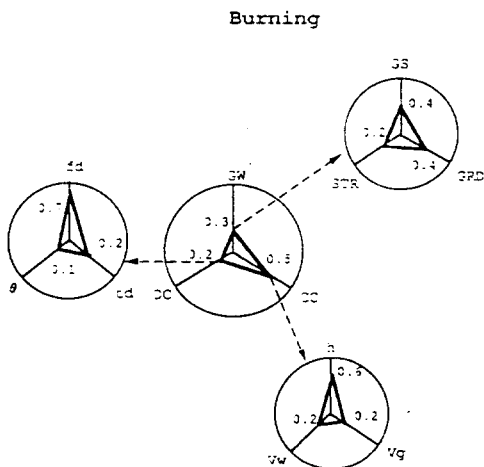


Fig.8 Weight of Grinding Burn

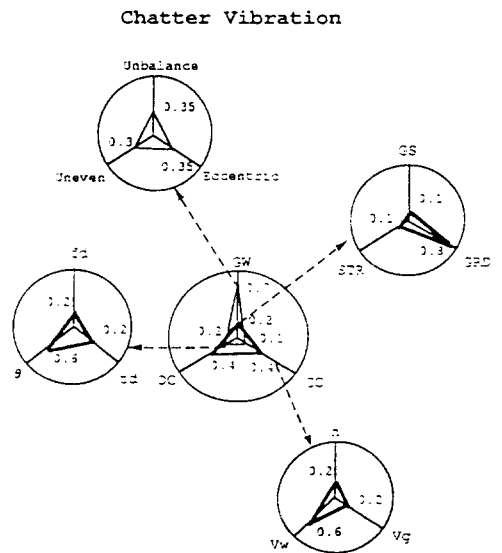


Fig.9 Weight of Chatter Vibration

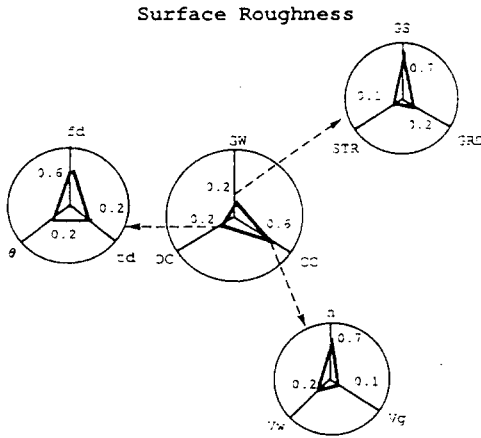


Fig.10 Weight of Surface Roughness

Grain Size, GRD: Grade, STR: Structure, h_c : Depth of Cut, V_w : Workpiece Velocity, V_g : Wheel Velocity, f_d : Dressing Lead, t_d : Dressing Depth of Cut, θ : Dressing Angle을 의미한다.

이와같이 각 연삭가공의 구성요소를 분류하여 가공중에 발생하는 트러블에 대한加重值(Weight)를 둬으로써 트러블 슈팅을 위한 룰베이스 룰의 구축을 간소화할 수 있고, 룰의 처리를 고속화할 수 있다.

4. 結 論

본 연구는 연삭가공 자동화 생산시스템의 구현을 위한 데이터 베이스의 구축을 위한 룰베이스 룰을 위한 기본적 개념에 관하여 연구하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 룰베이스 모델에 의한 연삭가공용 룰베이스는 다양한 숙련 경험자의 정성적 지식과 정량적 지식을 유기적으로 축적·이용할 수 있도록 하였다.
- (2) 본 시스템에서 정의한 연삭가공중에 빈번히 발생하는 Grinding Burn과 Chatter Vibration에 관한 특성을 토대로 트러블 슈팅을 위한 룰의 구성 및 경합해소를 위한 룰에 가중치를 두어 시스템의 효율성을 주었다.
- (3) 目的指向型 推論方式을 도입함으로써 다양한 입력조건에 대해, 본 시스템에서 정의한 競合解消戰略에 의해 효과적인 추론이 가능하도록 설계하였다.

參考文獻

- (1) S. Kawamura, Y.Iwao, S.Nishiguchi; "Studies on the Fundamental Grinding Burn(2nd Report)," JSPE, Vol.45, No.1, 1986, p.83
- (2) G.H. Kim, J.K. Lee; "Knowledge Acquisition and Design for the Grinding Trouble Knowledge-base," KSPE, Vol.12, No.1, 1995, p.47
- (3) Gunhoi Kim, Ichiro Inasaki; "Establishment of Optimum Grinding Conditions Utilizing the Fuzzy Regression Model," JSME, Vol.59, No.566, 1993, p.280
- (4) R. Reiter; "A Logic for Default Reasoning, Artificial Intelligence," 13, 1980, p.81
- (5) 이재경, 김건희; "연삭동력에 의한 Grinding Burn 검지를 위한 기초적 연구", 한국공작기계학회지, 제6권, 제1호, 1997, p.18