

연삭가공 트러블슈팅을 위한 룰베이스 구성의 기초

이재경*, 김건희**, 송지복***

Basic Construction of Rule-Base for Grinding Trouble-shooting

Jaekyung Lee*, Gunhoi Kim**, Jibok Song***

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 a 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 model, which is strongly depended upon experience and intuition, is described.

Key Words : Grinding Operations(연삭가공), Database(데이터 베이스), Rule-Based Model(룰베이스 모델), Grinding Trouble-shooting(연삭가공 트러블슈팅), Automatic Manufacturing Process(자동화 생산공정), Analytic Hierarchy Process(階層分析)

1. 서 언

연삭가공은 불규칙적인 절인을 갖는 연삭숫돌을 고속회전시켜 정밀한 다듬질된 가공면을 얻는 고속정밀 가공법이다. 그러나 연삭가공법은 다른 가공법과 달리 동일한 가

공조건이라 할지라도 가공결과에 대한 재현성을 얻는다는 것은 매우 어렵다. 또한 트러블 발생시 파라미터간의 복잡한 상호인과 관계에 대한 규명이 어렵고 정량화하기도 어렵다. 연삭가공에서 발생하는 트러블중 특히 채터 진동(Chatter Vibration)과 연삭눌음(Grinding Burn)은 연삭가

* 한국기계연구원 자동화연구부
** 전주대학교 기계공학과
*** 부산대학교 기계공학과

공중에 발생하는 트러블 중 그 발생빈도가 가장 빈번하여 그에 관한 연구가 지속적으로 연구되어 왔다⁽⁴²⁾ 특히 Chatter Vibration은 재선택효과의 면에서 정량적 해석의 관점이 매우 다른 것으로 알려져 있다.⁽⁴³⁾

따라서 본연구에서는 연삭가공의 가공중에 발생하는 트러블 중에 연삭놀이와 체터진동을 중심으로 트러블 슈팅을 위한 룰베이스 모델의 구축을 위한 룰베이스 룰의 기본개념과 구성에 관하여 설명한다.

2. 트러블슈팅 룰구성의 기본전략

본연구 대상인 연삭가공 중 고정도 고품위를 요구하는 생산을 대상으로 한 경우에 있어서는 동일한 모델의 공작기계라 할지라도 그 결과는 경우에 따라서는 상이한 차이가 있어, 이러한 특징을 충분하고도 상세하게 반영하기 위해서는 각각의 정보를 룰 베이스에 기능적으로 분류하여 수납함으로써 신뢰성있는 데이터의 활용 및 추론시간의 단축을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 Lot size가 비교적 적은 준전용 연삭가공을 대상으로 하기 위한 공작기계의 특성을 고려하여 지식을 특징의 개념으로 분류하여 룰 베이스하고, 그 시스템 운영에는 목적지향형(Object Oriented Paradigm Systems)⁽⁴⁴⁾으로 구축하였다.

본 시스템 룰의 추론은 후레이임을 작업영역으로 이용하여 룰의 조건부를 조합(Matching)하여 실행한다. 룰의 추론은 條件照合(Pattern matching), 競合解消, 룰의 실행의 사이클을 반복해서 이루어진다. 조건조합은 룰의 각조건과 작업의 내용과의 조합으로 룰형 사이클 중에서 가장 실행시간이 걸리는 부분이다. 따라서 조건조합의 효율화가 데이터 베이스의 성능을 좌우하게 된다. 본 시스템에서는 조건조합의 효율화를 추구하기 위해 RETE 알고리즘⁽⁴⁵⁾을 개선·적용하고 있다. 개선된 RETE 알고리즘의 특징은 다음과 같다.

- (1) 룰의 컴파일에 있어서 전체 룰의 조건부를 기본적으로 분해해서 룰간에 동일한 조건을 공통화하여 최적인 추론 네트워크를 생성한다. 또한 추론 Network는 동일 크래스내에 폐쇄된 크래스내의 조건조합과 크래스간에 추천된 조건조합의 2단계로 구성된다.
- (2) 추론의 실행은 추론대상이 되는 후레이임 전체를 대상으로 하고 추론 네트워크에 표시된 순서로 조합을 하고, 그 조건조합의 도중결과는 Temporary Frame에 보존된다. 그때 복수의 조건부가 眞이 된 경우에

는 경합해소를 하여 한가지를 선택한다.

- (3) 추론사이클의 두 번째 이후에는 Temporary Frame에 보존되어 있는 전회까지의 조건조합의 도중결과를 이용해서 조건조합 횟수를 감소시킨다.

競合解消(Conflict Resolution)는 조합된 복수의 인스턴스(Instance)중에서 다음에 실행해야 할 인스턴스를 추천한다. 본 시스템의 경합해소 전략은 다음과 같다.

- (1) Goal: 골 인스턴스(Goal Instance)를 룰 인스턴스(Rule Instance)보다 우선하여 선택한다. 만약 동일한 종류의 인스턴스가 복수개 존재하는 경우에는 우선 인스턴스중의 룰의 우선도가 가장 큰 것을 선택하고, 다음에 우선도가 동일한 인스턴스가 복수 존재하는 경우에는 가장 최근에 갱신되어 있는 것을 우선한다.
- (2) Rule: 룰 인스턴스를 골 인스턴스보다 우선하여 선택한다.
- (3) Mix: 골 인스턴스와 룰 인스턴스를 구별없이 취급한다. 그밖에 No-loop Goal, No-loop Rule, No-loop Mix는 기본적으로 Goal, Rule, Mix와 동일한 역할을 하지만 차이점은 인스턴스가 경합집합으로부터 선택되어 룰의 실행부를 실행하고 과거에 만들어진 다른 인스턴스와 동일한 내용의 후레이임을 작성하는 경우 동일한 내용의 인스턴스를 작성하는데 대하여 No-loop Goal, No-loop Rule, No-loop Mix는 작성하지 않는다.

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

- (1) 주어진 사실로부터 새로운 사실을 이끌어내는 전방향 룰(Forward chaining Rule)과 결론을 가정하여 그 과정이 성립할 수 있도록 조건을 이끌어내는 후방향 룰(Backward chaining Rule)이 있다.
- (2) 관련이 있는 룰을 Rule-set로 정리하여 룰로 표현한 지식을 체계화한다.
- (3) 룰의 기동은 룰조건부와 후레이임 조합에 의해 이루어지는 작업영역에 후레이임을 채용한다. Forward chaining Rule은 <조건부> ⇒ <실행부> 로 구성된다.
여기서 조건부는 If부에 대응해서, 실행부는 Then부에 상응한다. 즉, 본 시스템의 Forward chaining은 조건부가 만족될 때 실행부에 기술된 일련의 절차가 실행되는 구조로 되어 있다. 또한, Backward chaining은 Head부, 조건부, 실행부로 구성되며,

<Head부> ← <조건부> ⇒ <실행부> 로 표현된다. Backward chaining Rule의 기동은 지정한 후레임 또는 Working Memory조건이 "True"가 되지 않는 경우 생성된 Goal이 Head부와 조합하여 조건부가 만족될 때 실행부에 기술된 일련의 절차에 의하여 실행된다.

3. 룰베이스 룰의 기본분류

연삭가공의 트러블 진단·처리는 전문적, 경험적 지식을 If-Then형의 Production Rule의 형태로 축적한다. 연삭가공의 애매하고 상호관계가 복잡한 정보를 룰화하여 사용하는 경우에는 계층분석(AHP)¹⁰⁾를 적용하여 지식의 타당성을 부여하여 룰의 우선순위를 준다. 본시스템의 트러블의 진단·처리를 위한 룰을 구성하기 위한 룰은 Fig.1~3과 같이 연삭조건(공작물주속도, 절입깊이, 연삭숫돌 주속도), 드레싱 조건(절입깊이, 이송속도, 드레서의 전단각) 및 연삭숫돌(입자크기, 결합도)과 Grinding Burn, Chatter Vibration 및 공작물의 표면조도 불량률 트러블 슈팅 룰을 구축하기 위한 기본적인 구성요소로 설정하였다. Fig. 1~3중에서 상호관계를 표시하는 실선은 가공중에 발생하는 연삭 트러블이고, 점선은 연삭초기부터 발생하는 트러블 관계를 나타내고 있다.

즉 연삭과정중에 발생하는 트러블의 제어가 가장 관건이 되며, 대부분이 가공중의 가공조건의 변화에 기인하는 것으로 연삭숫돌의 표면상태의 변화가 가장 큰 요인으로 작용된다. 또한 연삭가공 초기부터 발생하는 트러블은 가공조건(공작물 주속도, 공작물의 절입깊이)과 드레싱 조건

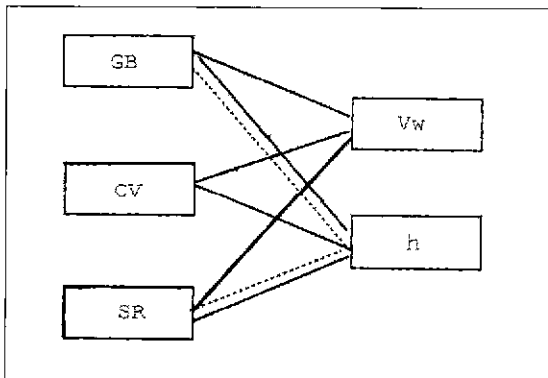


Fig. 1 Relationship of Grinding Trouble Among Cutting Conditions

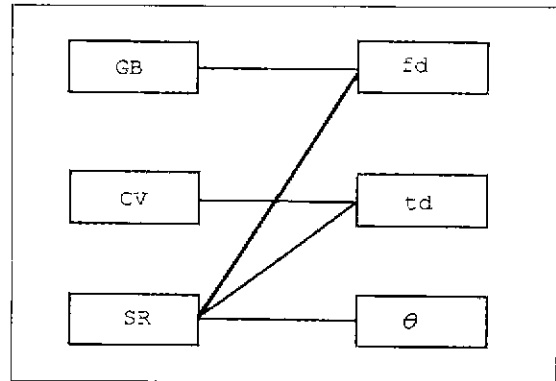


Fig. 2 Relationship of Grinding Trouble Among Dressing Conditions

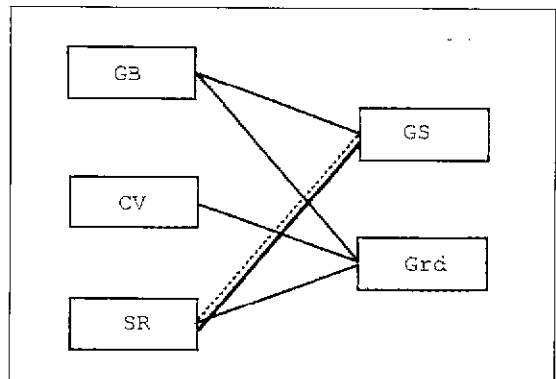


Fig. 3 Relationship of Grinding Trouble Among Grinding Wheel

(드레싱시의 이송속도와 절입깊이) 및 연삭숫돌의 편심등에 의해서 기인하게 된다.

그리고, 연삭가공의 트러블의 발생은각각의 조건이 별개로 작용하는 것보다는 위에 제시한 가공조건, 연삭숫돌, 드레싱조건들의 복합적인 요소에 의하여 발생하는 것이 일반적이다. 따라서 본 시스템에서도 Fig. 4와 같이 각각의 구성요소들을 포함하는 룰 베이스 룰을 구성하고 있다.

한편 연삭가공 중에 발생하는 트러블중 Burning과 Chatter Vibration이 가장 빈번히 발생한다. Fig. 6은 연삭가공에 발생하는 연삭눌음에 대한 영향정도를 연삭숫돌, 가공조건(V_s :숫돌의 주속도, V_w :공작물 주속도, h :공작물 절입깊이), 드레싱조건(f_d :드레싱시의 이송속도, t_d :드레싱시의 절입깊이) 및 연삭액 등의 영향에 관한 데이터이다.

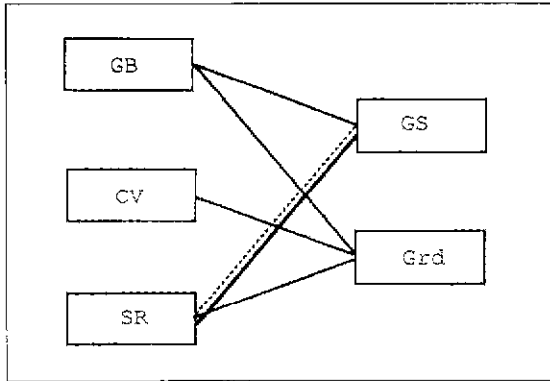


Fig. 4 Relationship of Grinding Trouble Related to Grinding Operations

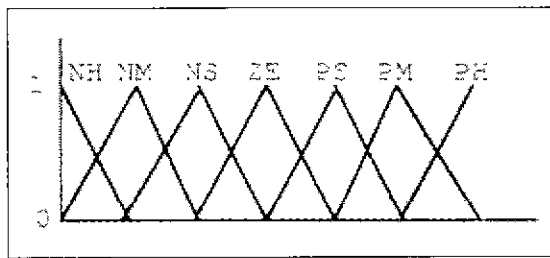


Fig. 5 Fuzzy Grade for Grinding Trouble-shooting Adopting in This System

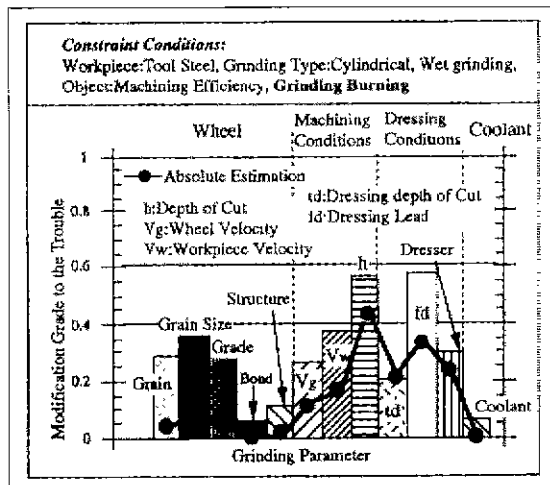


Fig. 6 Weight Value by AHP for Burn

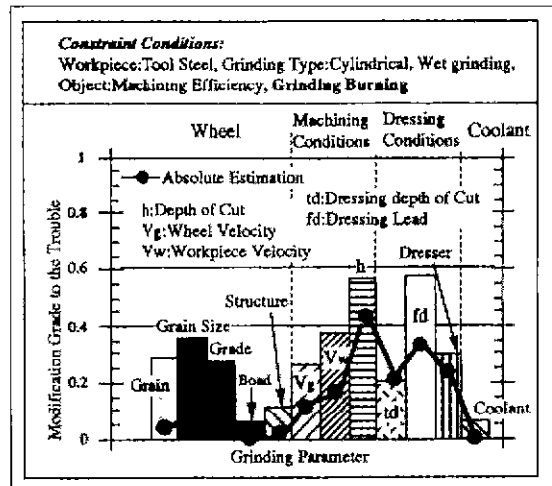


Fig. 7 Weight Value by AHP for Chatter Vibration

이 결과에서와 같이 연삭숫돌에 대해서는 연삭숫돌의 입자크기, 결합도, 입자의 종류, 조직, 결합제의 순으로 연삭늘움에 대한 영향이 크며, 가공조건은 절입깊이, 공작물 주속도, 숫돌 주속도의 순으로, 그리고 드레싱 조건중에는 드레싱시의 이송속도, 절입깊이, 드레서의 종류 순으로 영향정도가 크다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 6의 실선은 이러한 각각의 파라미터가 전체적으로 연삭늘움에 어느 정도의 영향을 미치는가를 계층분석(AHP)를 이용하여 그 정도의 중요도를 정량화한 것으로 공작물의 절입깊이, 드레싱시의 이송속도, 드레서의 종류, 공작물 주속도의 순으로 영향정도가 크다는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 7은 Fig. 6과 같은 방법으로 연삭진동(Chatter Vibration)에 관한 데이터이다. 각각의 파라미터가 전체적으로 연삭진동에 어느 정도의 영향정도는 공작물 주속도, 연삭숫돌의 결합도, 공작물의 절입깊이, 드레싱시의 절입깊이의 순으로 영향정도가 크다는 것을 알 수 있다.

또한 이러한 물을 룰베이스에 구축하기 위하여 본 시스템에서는 Fig. 5와 같은 퍼지이론을 도입하여 트러블의 발생정도⁶⁾를 구분하여, 이를 구체적으로 트러블을 발생시키는 요인들을 Fig. 8~10과 같이 룰베이스를 분류하여 "If - Then" 와 같은 조건부와 실행부로 구성하였다. 즉, Fig. 8은 가공조건에 관한 트러블 슈팅을 위한 룰을 구성하기 위한 기본적인 규칙을 정리한 것이다. Rule No.4에서 "If Grinding Burn이 Brown Type이고 Surface Roughness가 불량" 이라면, 이의 주요원인으로는 Then "연삭숫

RULE NO	IF-CLOSE			THEN-CLOSE	
	GB	CV	SR	Modify parameter	
				h	V _w
1				NS	
2				NS	
3				NS	
4				NM	
5				NL	
6				NL	
7					PS

Fig. 8 Basic Concept of "If - Then" Production Rule for Machining Conditions

RULE NO.	IF-CLOSE			THEN-CLOSE		
	GB	CV	SR	Modify parameter		
				Id	cd	θ
1				PS		
2						PS
3					NS	
4						PS
5						PM
6						
7						

Fig. 10 Basic Concept of "If - Then" Production Rule for Dressing Conditions

RULE NO.	IF-CLOSE			THEN-CLOSE		
	GB	CV	SR	Modify parameter		
				GS	Str	Grd
1						NNS
2						NS
3						NS
4						NS
5						NM
6				NS		NM
7						PS

Fig. 9 Basic Concept of "If - Then" Production Rule for Grinding Wheel

돌의 절입깊이에 있으며 그 처리방향으로는 절입깊이를 약간(30%) 줄이도록 한다". 또한 Fig. 9의 연삭숫돌에 관한 룰의 구성에서 "If 가공면의 간섭색이 Brown type이고, 설정한 연삭숫돌의 결합도(Grade)가 M이고, 연삭숫돌면에 눈매움>Loading)현상이 있고, 가공면이 거칠고, 연삭

액의 공급형태가 정상이라면, Then 절입깊이(Depth of Cut)에 의한 연삭늘음으로 보이며, ⇒ "처리로서" 절입깊이(Depth of Cut)를 크게(NH) 줄이라는 메시지가 전달된다. 또한 Fig. 10은 드레싱조건에 관한 룰베이스 구성이다.

또한 Fig. 11~13은 룰베이스 룰을 구성할때에 있어서 연삭가공을 구성하고 있는 요소들에 따라 트러블의 발생 영향 정도가 다르므로 룰이 경합(Conflict Resolution)될때에 대한 가중치(Weight)를 부여한 것으로 Fig. 11에서 Grinding Burn은 연삭가공조건 중 절입깊이의 영향이 가장 크고, Fig. 12에서 Chatter Vibration은 연삭숫돌 중에서 Grade에 의한 영향요인과 연삭숫돌의 편심이 가장 크며, Fig 13에서 표면조도 불량은 가공조건중 절입깊이의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

Fig. 1~13에서 SR: Surface Roughness, GB: Grinding Burn, CV: Chatter Vibration, GW: Grinding Wheel, CC: Cutting Condition, DC: Dressing Condition, GS: Grain Size, Grd: Grade, STR: Structure, h: 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 가중치를 부여함으로써 트러블 슈팅을 위한 룰베이스 룰의 구축을 간소화할 수 있다.

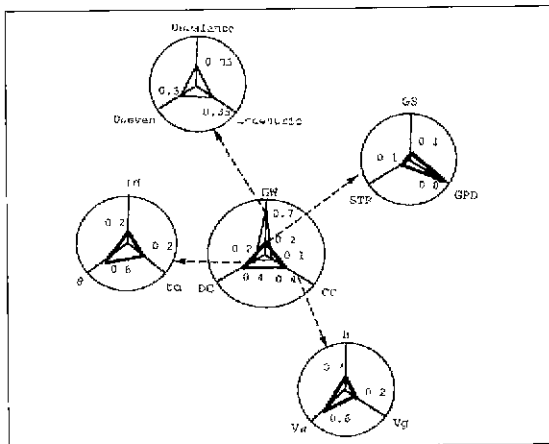


Fig. 11 Weight Value for the Grinding Burn

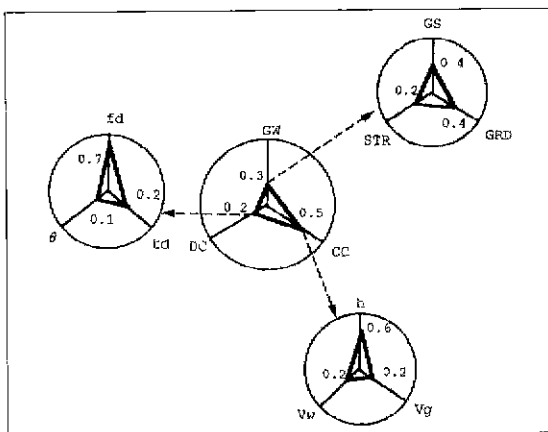


Fig. 12 Weight Value for the Chatter Vibration

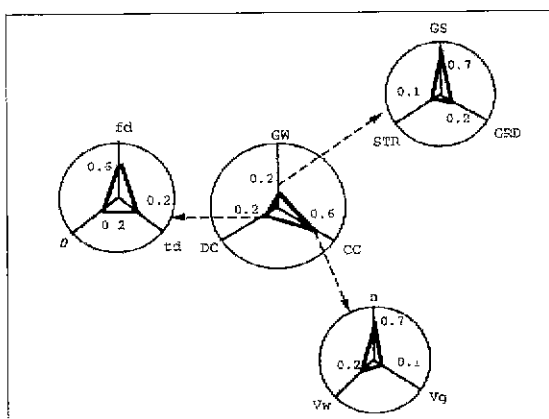


Fig. 13 Weight Value for the Surface Roughness

4. 結 論

본 연구는 연삭가공 자동화 생산시스템의 구현을 위한 데이터 베이스의 구축을 위한 룰베이스를 위한 기본적인 개념에 관하여 연구하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 룰베이스 모델에 의한 연삭가공용 룰베이스는 다양한 숙련 경험자의 정성적 지식과 정량적 지식 등을 유기적으로 축적 이용할 수 있도록 하였다.
- (2) 본 시스템에서 정의한 연삭가공 중에 빈번히 발생하는 Grinding Burn과 Chatter Vibration에 관한 특성을 토대로 트러블 슈팅을 위한 룰의 구성 및 경합해소를 위한 룰에 가중치를 두어 시스템의 효율성을 주었다.
- (3) 목적지향형 추론방식을 도입함으로써 다양한 입력 조건에 대해, 본 시스템에서 정의한 경합해소 전략에 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, pp. 83~88, 1986
- (2) G.H. Kim, J.K. Lee. "Knowledge Acquisition and Design for the Grinding Trouble Knowledge-base." KSPE, Vol.12, No.1, pp. 47~53, 1995.
- (3) G.H. Kim, I. Inasaki. "Establishment of Optimum Grinding Conditions Utilizing the Fuzzy Regression Model," JSME, Vol.59, No.566, pp. 280~285, 1993.
- (4) U. Dayal, H.Y. Hwang. "View Definition and Generalization for Database Integration in a Multidatabase System," IEEE Transactions on Software Engineering, Vol.SE-10, No.6, pp. 628~633, 1984.
- (5) R. Reiter. "A Logic for Default Reasoning, Artificial Intelligence." 13, pp. 81~90, 1980.
- (6) 이재경, 김건희. "연삭동력에 의한 Grinding Burn 검지를 위한 기초적 연구", 한국공작기계학회지, 제6권, 제1호, pp.18~24, 1997.