

공작기계지능화를 위한 에이전트 기반 의사결정지원시스템

이승우* · 송준엽* · 이화기** · 김선호***

* 한국기계연구원 지능기계연구센터

** 인하대학교 산업공학과

*** 동의대학교 메카트로닉스공학과

Agent-Based Decision Support System for Intelligent Machine Tools

Seung-Woo Lee* · Jun-Yeob Song* · Hwa-Ki Lee** · Sun-Ho Kim***

* Intelligent Machine System Research Center, KIMM

** Department of Industrial Engineering, INHA University

*** Department of Mechatronics, DongEui University

In order to implement Artificial Intelligence, various technologies have been widely used. Artificial Intelligence are applied for many industrial products and machine tools are the center of manufacturing devices in intelligent manufacturing devices. The purpose of this paper is to present the design of Decision Support Agent that is applicable to machine tools. This system is that decision whether to act in accordance with machine status is support system. It communicates with other active agents such as sensory and dialogue agent. The proposed design of decision support agent facilitates the effective operation and control of machine tools and provides a systematic way to integrate the expert's knowledge that will implement Intelligent Machine Tools.

Keywords : Intelligent Machine Tools, Agent-based System, Decision Support System, Knowledge

1. 서론

1800년대에 처음으로 등장한 공작기계는 그 사회적 수요가 매우 다양하고 수요 지향적 생산체제를 가졌다. 이러한 산업적 환경은 1900년대 중반까지 지속되었으며 1950년대에 개발된 NC 공작기계를 통해 공급 지향적 대량 생산체제를 갖추게 되었다. 1980년대 이후에는 소비자의 다양한 욕구에 대응할 수 있는 다양한 기능의 공작기계가 개발되고 컴퓨터와 이와 관련된 응용 기술의 발달로 다기능화와 지능화를 가진 공작기계가 출현하게 되었다. 공작기계의 지능화는 공작기계 자체의 지능화와 공작기계가 속해있는 생산시스템의 지능화로 분류할 수 있는데 모두 공작기계의 지능화가 선행되어야 한다[5]. 공작기계 지능화를 위한 선행조건은 컴퓨터와 네트워크

기술이 발달함에 따라 공작기계에 유연성과 이식성을 부여하게 되었고 분산적인 제어시스템의 구성이 가능하게 되었다.

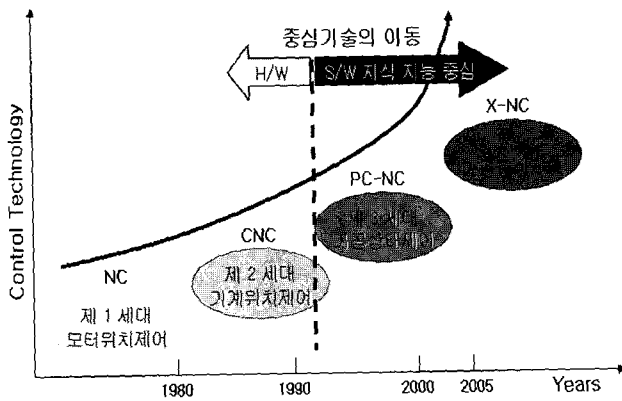
본 논문에서는 공작기계의 지능화를 위해 공작기계에서 발생하는 지식을 기반으로 사용자에게 최적의 가공조건을 제시하는 에이전트 기반의 의사결정지원시스템을 개발하고 적용한 사례를 소개한다.

2. 지능공작기계의 정의 및 개발 사례

지능공작기계라고 하는 것은 새로운 지식을 자율적으로 습득하고 지식을 가진 다른 지능공작기계와 대화를 하며 이를 통해 얻어진 지식을 기반으로 다른 기계 환

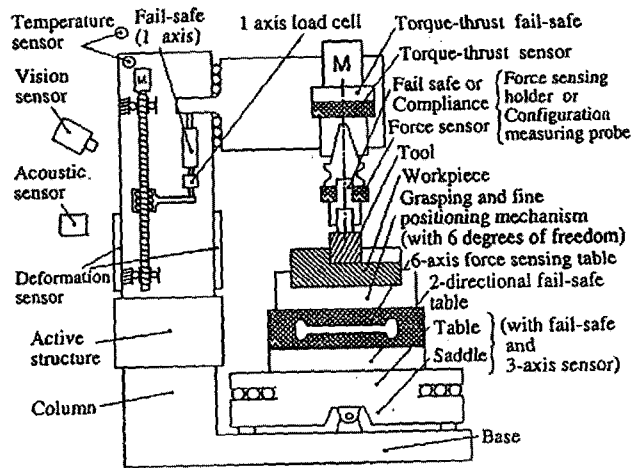
경에 대응해 자율적으로 적응하는 능력을 가진 기계라고 할 수 있다.

1970년대에 마이크로프로세서의 발전으로 컴퓨터가 내장된 NC가 출현하였고, 이러한 NC를 내장한 공작기계들은 생산시스템의 요구를 적극 수용함으로써 생산시스템의 중심에서 생산체제의 변화를 주도하였다. <그림 1>은 NC 개발의 역사를 나타낸 것으로 NC가 개발된 1952년에서 1980년까지를 1세대, 1980년에서 1985년 중반까지를 제 2세대 그리고 1990년 중반에서 2000년대 중반까지를 제 3세대로 정의하고 그 이후를 4세대로 정의하고 있다. 3세대에서의 가장 큰 특징으로는 1990년대 초에 PC 기반의 NC 제어가 출현하면서 NC의 중심기술이 하드웨어에서 소프트웨어 기반의 지식/지능 중심 기술로 이동하고 있다는 것이다. 특정 제조사 중심의 기술만을 사용하는 폐쇄형 CNC에서 사용자 응용 기술의 적용이 가능한 개방형 CNC가 개발되었다는 것이다[5].



<그림 1> NC 개발의 역사

지능공작기계와 관련된 대표적 연구로서 하타무라는 <그림 2>와 같은 센서기반의 지능형 머시닝센터에 대해 연구하였다. 그림에서 보는 바와 같이 머시닝센터 각 부위의 온도, 음향, 영상, 토크, 힘, 절삭력 등을 측정할 수 있는 센서를 설치하고 이를 바탕으로 상태감시 및 제어 등의 다양한 기능을 수행하도록 구성하였다. 특히 공작기계에서 많은 문제점을 발생시키고 있는 열 변형 보상을 위해 신축 구조체와 신경회로망에 의한 열 변형 보상기법을 적용하고 있다[5]. 이러한 하타무라의 연구는 지능기계에 대한 좋은 선행연구를 수행한 것으로 평가받고 있으나 정보의 수집은 센서가 하고 제어명령은 외부의 PC가 하는 이중 구조 및 너무 복잡한 센서구조로 인해 이들에게서 올라오는 다양한 신호를 처리할 수 있는 컴퓨터 능력이 뒷받침되지 못하였으며 폐쇄형 CNC의 환경을 극복하지 못하여 적용하지 못하였다.



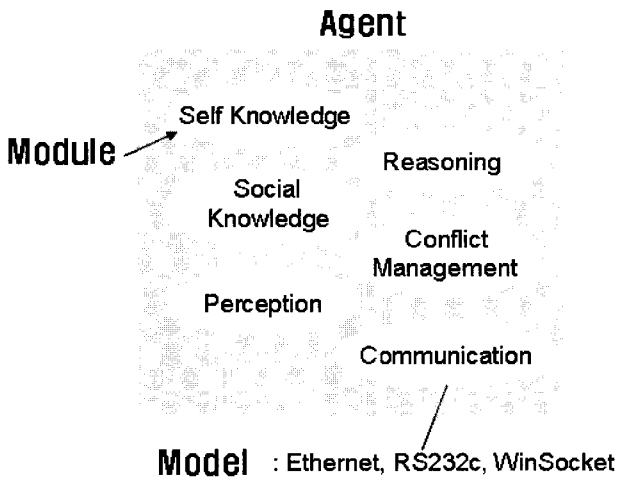
<그림 2> 센서기반의 지능형 공작기계

공작기계에 PC 기반의 개방형 제어가 적용되면서 지능화를 위한 적응제어 기술 등이 연구되고 있다[5]. 적응제어에 대한 한 방법으로 NC 코드에 적합한 이송속도 자동부여, 절삭력 유지 등을 통한 공구파손 방지 및 가공시간을 단축할 수 있는 절삭 시뮬레이션 등이 있다. 또한 예측이 불가능한 이상을 인지하고 그것을 회피하기 위한 기능을 지능화하기 위해서 인간의 지식처리 기능을 제어계에 입력시켜 예측 불가능한 가공 트러블을 인간의 간섭 없이 공작기계가 해결하여 연속자동운전이 가능하도록 하는 연구가 진행되고 있다. 주요 기능 및 장치로는 가공 시뮬레이터, 지능형 센싱 장치, 지식처리 제어장치 등이 있다.

3. 지능공작기계 구현을 위한 에이전트 기술 응용

3.1 에이전트의 정의 및 멀티 에이전트

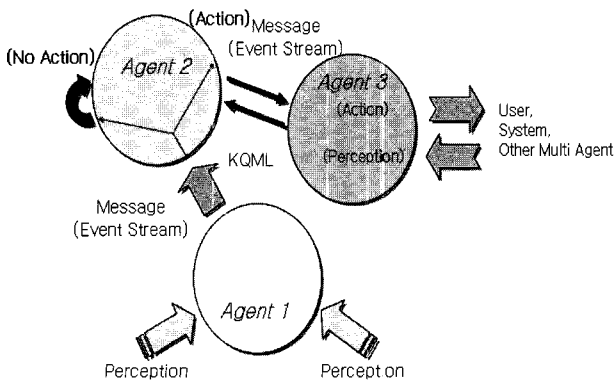
에이전트는 자신의 감각기관(sensor)을 통해 환경(environment)을 인지(percept)하고 내부 작용을 통해 그 환경에 반응(action)하는 시스템을 말한다. 이와 같이 에이전트란 자율적으로 의사결정을 내릴 수 있고 독립적으로 작동하며 상호간의 협력으로 어떤 목적을 달성하기 위한 하나의 단위로서 인공지능(AI)분야에서 많이 사용되고 있는 기법이다[1]. 지능 에이전트 구현을 위해서 어떤 특정영역(domain)에서 지식을 표현하는 것은 매우 어려운 문제로서 어떤 방법을 사용하여 에이전트를 구현하느냐 하는데 중요한 영향을 미친다.



<그림 3> 에이전트의 구조 및 구성

<그림 3>은 에이전트의 구조와 에이전트가 기본적으로 가져야하는 기능을 나타낸 것이다[2]. 에이전트의 기능 구현을 위해 있는 것이 모듈이며, 이 모듈을 구현하는 방법을 모델이라고 한다. 에이전트의 주용 기능 구성은 판단을 위한 추론 모듈, 다른 에이전트 혹은 외부와의 연결을 위한 통신모듈, 에이전트가 활동하는데 필요한 데이터와 지식을 가지고 있는 셀프 날리지(self knowledge) 모듈 등이 있으며 이외에 외부환경을 인지하는 인지모듈 및 여러 모듈 간의 기능을 조절하는 컨플릭트(conflict) 관리 모듈이 있다.

보다 복잡한 문제해결을 위해서는 독립된 여러 에이전트들이 서로 협력하여 동작하는 멀티 에이전트(multi agent) 시스템이 사용되고 있다[1]. 멀티 에이전트는 독립적인 응용 프로그램 집합 또는 단독 에이전트로 해결할 수 없는 복잡한 서비스를 다른 에이전트와의 협력을 통해 제공할 수 있고, 새로운 에이전트를 추가하여 새로운 서비스에 대한 시스템의 확장이 용이하다는 장점이 있다.



<그림 4> 멀티 에이전트의 구조

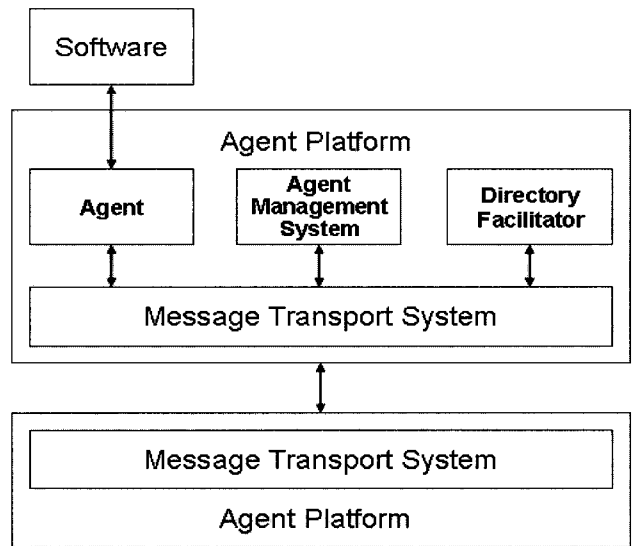
<그림 4>는 멀티 에이전트의 구조를 나타낸 것으로 멀티에이전트의 핵심은 에이전트간 통신으로서 멀티 에이전트 환경에서 메시지(message) 연결은 어떤 에이전트가 다른 에이전트에 지속적인 목표 수행을 위해 하는 요구와 확인 작업이라 할 수 있다.

에이전트의 통신을 위해 KQML(Knowledge Query and Manipulation Language)을 이용하는 통신을 하며, 이것은 기본 에이전트 통신 언어(ACL, Agent Communication Language)에서 확장되고 개조되어진 것으로 정보와 지식을 교환하기 위한 프레임워크를 제공한다.

3.2 지능형 에이전트 구현을 위한 표준규약

에이전트들이 상호간에 협동하여 공통된 목적을 달성하기 위해서는 표준화된 규약에 의해서 에이전트를 만드는 표준규약이 필요하다. 지능형 에이전트 구성을 위한 대표적인 포럼으로는 FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agent)가 있으며 컴퓨터와 통신회사들이 주축이 되어 에이전트 레벨에서의 표준 제정에 중점을 두고 있다[6].

상용적용과 제한적 상호작용을 가지는 첫 번째 FIPA 표준규격은 1997년에 제정되었으며, 에이전트 관리, 에이전트 통신, 에이전트 소프트웨어 통합 등이 논의되었다.



<그림 5> FIPA 에이전트 platform

<그림 5>는 FIPA에서 제안하고 있는 에이전트의 기본관리 참조 플랫폼(platform)을 나타낸 것으로 에이전트의 수명주기(life-cycle)를 제어하는 AMS, 같은 기능을 수행하는 에이전트의 검색 서비스를 제공하는 DF와 외부의 다른 에이전트 플랫폼과 통신하는 것처럼 에이전트

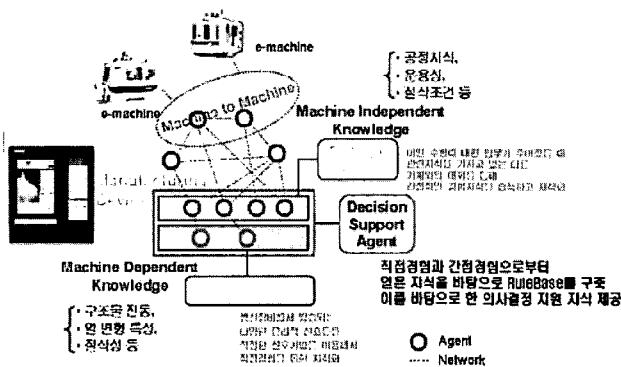
간의 통신 기능을 제공하는 MTS 등으로 구성되어 있다. FIPA 규약을 따르는 대표적 플랫폼인 FIPA-OS 혹은 JADE는 지능형 에이전트를 구축하기 위한 소프트웨어 도구로서 구축에 필요한 요소들을 필수적인 요소, 대체 가능한 요소 및 선택적인 요소 등으로 구분하고 각 요소들은 에이전트 셸(shell), 태스크(task) 관리자, 컨버세이션(conversation) 관리자 및 메시지 이송 서비스 등이 있다.

4. 에이전트 기반 의사결정지원시스템

4.1 지능공작기계의 지식구조

지능공작기계의 개발을 위해서는 인간과 똑같이 사고하고 행동할 수 있는 구조와 인간전문가를 대신할 다양한 지식과 이에 적합한 지식처리 메커니즘을 필요로 한다. 본 논문에서는 지능공작기계에서 사용할 수 있는 지식을 기계 종속적인 지식과 기계 독립적인 지식으로 분류하였다. 기계 종속적인 지식은 해당 기계 자체에서만 사용될 수 있는 지식으로 구조물의 진동, 열변형 특성, 절삭성 등이 있다[8]. 기계 독립적인 지식은 해당 기계뿐만 아니라 다른 기계에서도 통용될 수 있는 지식으로 공정지식, 운용성, 절삭조건 등이 있다.

인간이 가진 지식처리 메커니즘을 공작기계에 부여하기 위해서 <그림 6>과 같은 에이전트 기반의 지식처리 구조를 구성하였다. 센서리 에이전트는 공작기계에서 방출되는 물리적인 신호들을 적절한 신호처리 기법을 통해 신호를 입력받으며, 대화 에이전트는 주로 통신 모듈을 이용해 다른 기계와의 지식을 교환하는 역할을 하게 된다. 본 논문에서 다루고 있는 의사결정지원 에이전트는 축적된 지식을 규칙화 하여 센서리 혹은 대화 에이전트로부터 오는 지식을 바탕으로 의사결정지원을 하고 새로운 지식을 추가하기도 한다.



<그림 6> 지능공작기계의 지식처리 구조

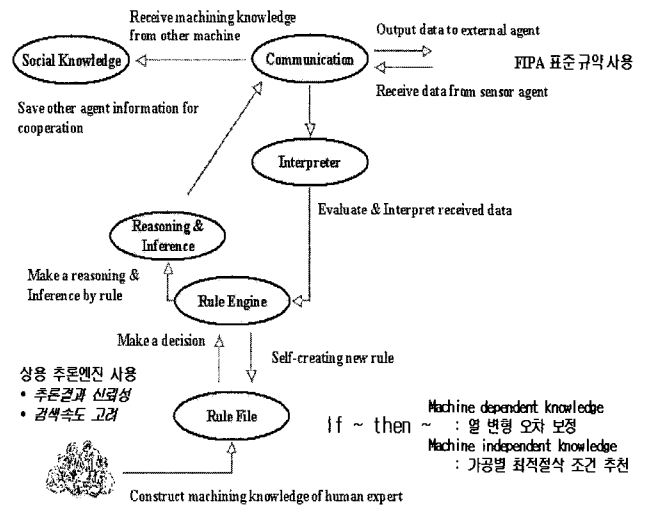
추론기능을 이용한 의사결정지원 에이전트는 정해진 규칙과 순서에 의해서만 결과를 제시하는 단순규칙을 알고리즘화 한 한정시스템과는 달리 보다 유연하고 다양한 의사결정지원 기능을 제공한다[7]. <표 1>은 의사결정지원 에이전트를 중심으로 다른 에이전트와의 처리 지식 연관을 나타낸 것이다. 개발된 시스템이 기존의 전문가시스템과의 가장 큰 차이점으로는 통신기능에 의해 유기적으로 외부환경의 변화에 따라 적절히 대응할 수 있고 다른 에이전트 그룹에 속해 있는 지식을 활용할 수 있다는 것이다.

<표 1> 의사결정지원 에이전트에서의 구성 지식

	영역지식	에이전트	연 결 성
기계종속지식	열 변형 보정	센 서 리	on-line
기계독립지식	절 삭 조 건	대 화	off-line

4.2 모듈기반의 의사결정지원에이전트 구현

앞에서 언급한 표준 에이전트 구조를 사용하여 <그림 7>과 같이 6개의 모듈로 구성되는 의사결정지원 에이전트를 구현하였다.

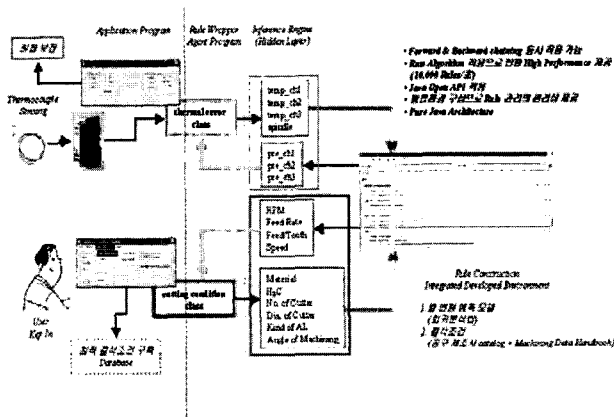


<그림 7> 모듈 기반의 의사결정지원 에이전트

각 모듈은 순수 Java 구조로 되어 있다. 통신모듈은 다른 에이전트와의 통신을 담당하며 FIPA 표준 규약을 사용하여 작성되었다. 인터프리터(interpreter) 모듈은 통신 모듈에서 수신된 데이터를 추론 엔진에서 사용할 수 있도록 유효한 데이터인지 평가하고 인식할 수 있는 형

식으로 변환한다. 추론 엔진은 규칙형태로 가지고 있는 규칙베이스를 이용하여 입력된 데이터를 추론하고 추론된 결과를 추론/참조 및 통신 모듈을 거쳐 다른 에이전트로 보낸다. 추론엔진은 추론결과의 신뢰성과 속도를 위해 상용 제품을 사용하였다. 사용된 추론엔진은 초당 10,000개의 규칙을 처리할 수 있으며 Java API를 적용할 수 있어 용이하게 에이전트를 구성할 수 있다. 이외에 다른 에이전트와의 협업을 위해 다른 에이전트의 정보를 가지고 있는 소셜 날리지(social knowledge) 모듈이 있다.

개발된 시스템은 공작기계에 장착되는 개방형 제어기에 실장되어 센서로부터 기계 운용에 따른 온도를 입력 받고 열변형량을 예측하게 되며 사용자에게 직접 필요한 절삭정보를 제공하게 된다. 개방형 제어기는 표준 PC를 기반으로 윈도우 XP 등과 같은 표준운영체제와 실시간 운영체제를 함께 사용한다. 가장 큰 장점으로 NC 개발업체가 제공하는 기능에 국한되지 않고 사용자의 필요에 따라 적합한 NC 기능의 개발이 가능하다는 것이다. <그림 8>은 개발된 의사결정지원 시스템의 구성을 나타낸 것으로 추론 엔진이 운용되는 히든 레이어(hidden layer)와 개방형 제어기에서 운용되는 응용프로그램 및 이를 연결시켜주어 에이전트화하는 랩퍼(wrapper) 프로그램으로 구성되어 있다. 데이터의 교환은 FIPA 규격에 의해 Java API 및 외부 클래스를 통해 이루어지고 있다.



<그림 8> 에이전트 기반 의사결정지원 시스템 구성

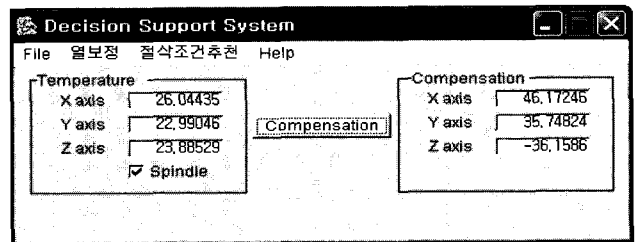
5. 적용 연구

에이전트 기반 의사결정지원시스템의 성능을 평가하기 위해 구현된 시스템을 실제 공작기계에서 발생하는 대표적인 기계 종속적인 지식과 기계 독립적인 지식을 대상으로 적용시켜 보았다.

5.1 열 변형량 보정

공작기계에서 발생하는 오차는 오차의 형태에 따라 정적오차와 동적오차로 구분되며, 동적오차는 기계의 진동, 채터 및 스핀들 유닛의 진동에 의해 발생하는 오차이고 정적오차는 공작기계의 구성요소인 안내면, 컬럼, 볼 스크루 등 구조계의 조립 특성에 따른 기하오차와 열 변형 오차로 구분된다. 특히 열 변형 오차는 공작기계 전체 오차량의 약 70%를 차지하는 것으로 분석되고 있다.

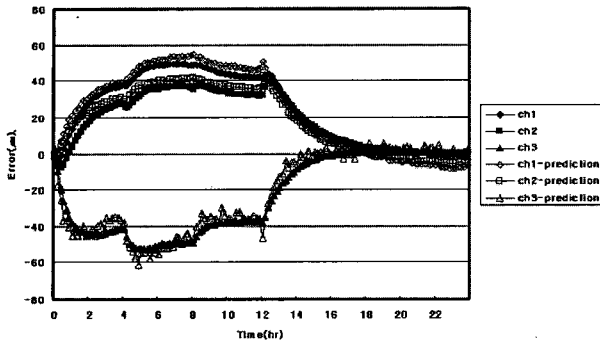
공작기계에서 발생하는 열 변형량을 보정하기 위해 개발된 의사결정지원시스템에 다중선행회귀분석법을 이용한 예측모델을 사용하여 공작기계의 온도가 입력되면 변형량을 추론할 수 있는 규칙베이스를 구성하였다. 온도 변화에 따른 열 변위량 측정은 ISO/DIS 230-3 및 BS3800:part3:1900 그리고 ASME B5.54- 1992를 따른다. 열 변형량 규칙베이스 구성을 위해 개방형 제어기를 가지는 3축 밀링 머신을 4000 rpm, 6000 rpm, 5000 rpm 순으로 4시간씩 스핀들을 회전시키고 난 후 12시간 무부하 상태로 냉각하였으며 10분마다 공작기계의 z축 1곳과 y축 상, 하에 온도센서를 부착하여 온도를 스캔하고 예측모델에 의해 변위량을 예측하였다.



<그림 9> 열 변형 보정프로그램의 적용

<그림 9>는 열 변형 보정 프로그램의 적용을 나타낸 것으로 각 축에 설치되어 있는 온도센서로부터 온도를 입력받아 사용자에게 변형 예측치를 제시한다. 열 변형 보정은 <그림 9>와 같은 수동보정과 자동보정으로 구분되며 자동보정은 일정 시간간격에 의해 보정값을 제시하는 방법을 사용하고 있다. 예측된 값은 NC 프로그램 제어, 서보 루프 제어, 원점 보정 등과 같은 보정방법들이 있으나 현재는 작업자의 원점보정에 의하여 열 변형에 의한 오차를 수정한다.

온도 변화에 따른 예측치를 실제 공작기계에 설치한 변위센서에 의한 측정치와 비교한 결과 <그림 10>과 같이 약 98% 정도의 정확도를 가지고 있는 것으로 분석되었다.

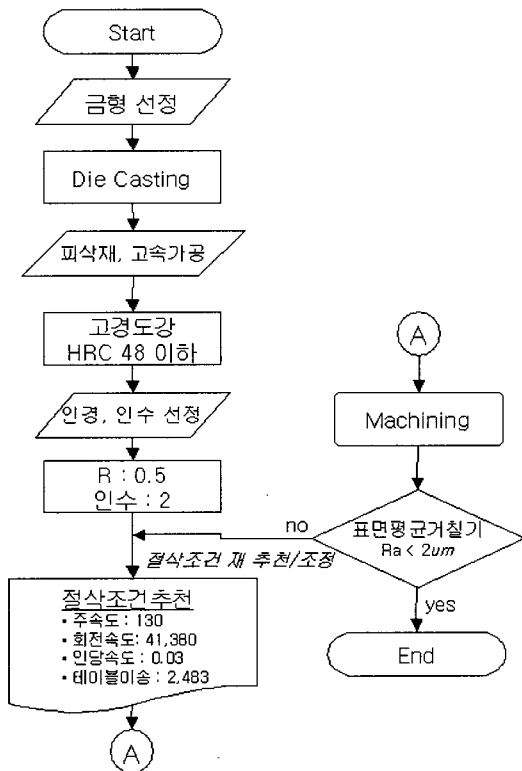


<그림 10> 변위량의 예측치와 측정치의 비교

5.2 공작물의 재질과 가공방법에 따른 절삭조건 추천

최근 제품의 종류가 다양해지고 수명이 짧아지면서 금형산업에서는 경제적으로 금형을 단시일 내에 생산하기 위해 노력하고 있다.

금형제작은 보통 크기, 형상, 복잡도에 따라 다르지만 보통 1200~3800 시간 정도가 소요되고, 전체제작시간의 33~55% 정도를 NC 가공이 차지한다. NC 가공에서의 절삭조건은 가공시간을 결정하는 중요한 요소이며, 가공정밀도와 공구수명에 영향을 미친다.

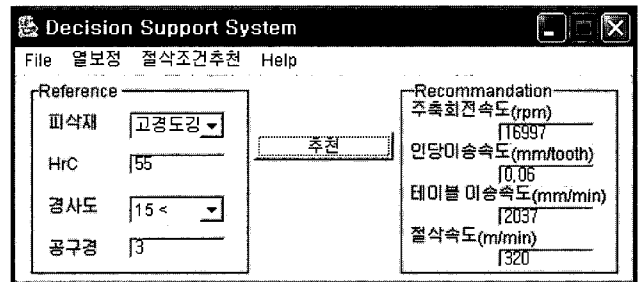


<그림 11> 절삭조건 추천 Flow

절삭조건 추천 적용에서는 공구제조사에서 제공하는 공구별 절삭조건을 규칙화하여 가공물의 재질에 따라 절삭조건을 추천하도록 하였다. 금형가공에 가장 많이 사용되는 볼 엔드밀을 대상으로 고속 및 보통 가공으로 구분하여 개방형 제어기에서 바로 절삭조건을 추천 받도록 하였다.

<그림 11>은 절삭조건 추천 Flow를 나타낸 것으로 금형을 선정하고 금형의 재질 및 가공방법과 사용공구의 인경과 인수를 입력하면 절삭조건이 추천되고 이를 기준으로 가공을 하게 된다. 가공이 완료된 후 검사를 통해 표면 평균 거칠기가 기준치에 만족되면 이 절삭조건은 사용되고 만약 기준치에 만족하지 않으면 절삭조건을 재추천하거나 조정하여 사용하게 된다. 이때의 절삭조건이 만족되면 이때의 절삭조건으로 규칙베이스가 변경된다.

일반적으로 절삭조건은 주축회전속도(RPM), 인당이송속도(mm/tooth), 테이블 이송속도(mm/min), 절삭속도(m/min) 등이며, 여기에서는 일반가공에서는 주축회전속도와 테이블 이송속도만을 제시하고 고속가공에서는 특성상 네 가지 조건 모두를 추천하도록 하였다. <그림 12>는 2날을 가지는 고속가공용 볼 엔드밀의 절삭조건 추천 사례를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 가공물의 피삭재질과 경도(HrC)를 입력하고 가공물의 경사도(15° 기준)와 공구경(공구직경)을 입력하면 절삭조건이 추천된다.



<그림 12> 2날 볼 엔드밀의 절삭조건 추천-고속가공

6. 결론 및 향후연구

지능공작기계란 인간전문가가 생산 장비를 운영하는 방법과 가공에 필요한 지식 및 이상상태에 대한 대처능력을 구현한 가공기계라 할 수 있다.

이를 위해 개방형 제어기에서 구현되는 멀티 에이전트 기반의 제어시스템을 구현하였으며 본 논문에서는 경험적 지식을 축적하고 이를 바탕으로 공작기계의 상태를 판단하고 보정하며 절삭조건을 제시할 수 있는 의

사결정지원시스템을 개발하였다. 공작기계에서 사용되는 지식을 대상 기계에서만 사용할 수 있는 기계종속적인 지식과 모든 기계에서 사용 가능한 기계독립적인 지식으로 분류하였으며 이들 지식을 규칙형 시스템을 가지는 규칙베이스와 전/후향 추론을 모두 사용하는 방법으로 시스템을 구현하였다. 개발된 시스템의 정량적 평가를 위해 기계종속적인 지식의 대표적인 사례라고 할 수 있는 열 변형량 보정과 기계독립적인 지식으로 피삭재질에 따른 절삭조건 추천에 대해 적용해 보았다. 이를 통해 개발된 시스템의 유효성을 검증할 수 있었으며 에이전트 구현을 통한 협동 작업이 가능한 것으로 사료된다.

추후 연구로는 보다 많은 기계종속적 지식 및 기계독립적 지식에 대한 규칙베이스 구축이 이루어져하며 지능형 에이전트 표준규약을 따르는 각 구성모듈 구성을 통해 M2M(Machine to Machine)환경에서 스스로 적용하고 지능기계가 가지고 있는 지식을 교환할 수 있는 메커니즘에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 국가지정연구실사업인 “지식진화 기반 지능제조설비 및 인터넷 기반 통합관리 기술”의 일환으로 진행되었음.

참고문헌

[1] Ranjit Bose; “Intelligent Agents Framework for Developing Knowledge-Based Decision Support System for Collaborative Organizational Processes,” Expert System With Application, 11(3) : 247-261, 1996.

[2] Bui T. and J. Lee; “An Agent-Based Framework for Building Decision Support System,” Decision Support System, 25 : 225-237, 1999.

[3] Huaiqing Wang; “Intelligent Agent-Assisted Decision Support System: Integration of Discovery, Knowledge Analysis and Group Analysis,” Expert System With Application, 12(3) : 323-335. 1997.

[4] 박홍석; “에이전트 기술 응용 Shop Floor 제어방안“, 한국정밀공학회지, 18(4) : 176-181, 2001.

[5] 김선호; “지식기반형 지능화 기계와 지식진화형 지능화 기계”, 한국정밀공학회지, 19(2) : 17-25, 2002.

[6] Joseph P. Bigus and Jennifer Bigus; Constructing Intelligent Agents Using Java, 2nd Edition, Wiley, 2001.

[7] 이승우, 김동훈, 임선중, 송준엽 외; “지식진화기반 지능제조설비 및 인터넷 기반 통합관리 기술”,

KIMM/M1-0302-00-0062, 한국기계연구원, 2004.

[8] 김선호, 이승우, 김동훈, 임선중 외; “지식진화형 지능공작기계 - 지식구조설계 -”, 한국정밀공학회 2003년도 추계학술대회 발표논문집, 경남대학교, 마산, pp.509-512, 2003.

[9] 이승우, 임선중, 김동훈, 이화기, 김선호; “지능공작기계 구현을 위한 Decision Support Agent 설계”, 한국정밀공학회 2004년도 춘계학술대회 발표논문집, 영남대학교 경산, pp821-824, 2004.