

진화형 제조시스템 실현을 위한 생체 모방 기술

박홍석·박진우·Tran Ngoc-Hien (울산대학교), 김동훈·송준엽 (한국기계연구원)

I. 서론

오늘날의 제조 환경은 제품의 종류 및 공급의 변화뿐만 아니라 가공 및 조립에서의 예상치 못한 장애들로 인해 더욱 복잡해지고 있다. 기존의 중앙 집중형 및 순차적 제조 시스템들은 이러한 변화에 유연하게 대처하기 어려운 부분이 있으며 이러한 환경 변화에 대처하기 위하여 새로운 방법과 기술이 제안되고 있다. 본 논문에서는 제조 분야에서의 새로운 개념인 진화형 제조시스템(EMS : Evolvable Manufacturing System)에 대하여 소개하고자 한다. 실제 제조시스템이 진화형 제조시스템으로 변경되기 위해서는 차세대 신기술의 개발이 고려되어야 하며 알려진 바와 같이 지능형 제조 시스템이 그 중 하나이다. EMS는 자체 조직, 자기 진단 및 자기 치유 등과 같은 생물학에서 영감을 받은 특징을 갖고 있다. 이러한 특성은 제조 요구 사항의 끊임없는 변화에 대한 대응이 유연하게 이루어질 수 있도록 한다. EMS 모델은 생물학적 특성을 지닌 시스템의 조직으로부터 기능을 상속받으며 기계, 로봇 및 운송 장치 등에 있는 각각의 장치가 갖는 인식, 추론, 학습 및 협력 등과 같은 인지 기능이 대표적 상속 특성이다. 또한 EMS는 외부의 개입 없이 자율적인 객체들 사이의 상호 작용에 의해 제조 환경의 변화에 적응하고 진화 가능하다. EMS의 구현을 위해 인공 지능, 인지 에이전트 기술 및 개미 집단의 협동을 위한 군집 메커니즘 등과 같은 생물학의 특성이 반영된 기술이 사용된다.

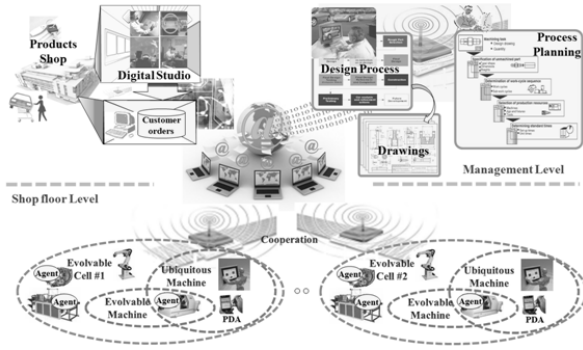
완전 자동화 제어 시스템은 생산성 및 제품 품질의 요구를 만족시킬 수 있으며 이러한 시스템은 대개 대량 생산에 적용되고 있다.^[1] 컴퓨터 통합 생산(CIM : Computer - Integrated Manufacturing)의 시대에 따라 인간 작업자는 로봇 및 자동화 장비로 대체되고 있는 상황이며 이에 따라 문제 해결을 위한 인간 근로자의 인지적 기능도 함께 제거되고 있으며 이로

인해 생산 시스템의 유연성도 함께 감소된다. 반면에 자동 제어 시스템의 한계는 그 자체의 유연하지 못한 구조로 인하여 다양한 변화 및 장애에 유연하게 적응하지 못하는 것에 있다.^[1] 따라서 시스템은 장애가 발생하였을 경우 재설정 및 재시작의 단계가 필요하다. 반면 제조 시스템은 유연성, 적응성 및 신뢰성의 요구에 도달할 수 있도록 하기 위하여 인간 작업자에 의해 운영되며 이러한 이점들은 인간 작업자의 문제 해결 능력 및 인지 능력에 의해 가능하다.^[2,3] 따라서 인간의 문제 해결 능력 및 인지 기능이 접목된 제조 시스템은 제조 환경의 변화에 신속하고 유연하게 적응할 수 있다. 그러나 이러한 시스템은 매우 높은 생산 비용^[3], 시제품 제작 또는 소량 생산에 제한되어 있다.^[2] 이러한 단점을 극복하고 자동화된 시스템과 인간의 인지 기능 모두의 장점을 결합하기 위하여 본 논문은 자기 조직, 자가 진단 및 자가 치료 등과 같이 변화하는 제조 환경의 요구사항에 대처 가능한 진화형 제조 시스템(EMS)을 제시한다.

II. 진화형 제조 시스템의 개념

진화형 제조 시스템(EMS)라 말하는 미래의 제조시스템은(그림 1)에 나타난 바와 같다. 제조에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 다양한 제품이며 이는 주문 맞춤형 제품, 짧은 제품 수명 주기, 높은 품질 및 낮은 가격을 요구한다. 이러한 요구사항들을 만족시키기 위해 제조 시스템은 조건 변화에 대한 응답, 재구성 및 적응 기능이 더욱 필요하다.

EMS는 외부의 개입 없이 신속하고 정확하게 제조 환경의 변화에 응답하는 능력이 있다. 관리 단계에서는 소비자가 가상 스튜디오 내에서 자동 가이드를 활용하여 제품을 주문하게 된다. 이후 요청된 제품 정보는 제조 일정 수립을 위해 제



〈그림 1〉 EMS 모델

품 설계 및 공정 설계 부서로 전송된다. 이 단계에서 진화 알고리즘은 유전자 알고리즘 및 개미 집단 최적화 알고리즘 등과 같은 생물학적 영감으로부터 도출되며 이는 최적의 공정 계획을 생성하는 데 사용된다. 또한 관리 단계에서의 최적화 문제 해결을 위해 홀론릭 제조 실행 시스템, 에이전트 기반의 동적 스케줄링 등과 같은 제조 현장의 광범위한 정보 관리 방안들이 연구되고 있다.

진화형 제조 시스템의 패러다임은 Frei 등에 의해 제안되었다.^[4] 그러나 제안된 연구에서는 제조 시스템의 재구성 능력에 대한 연구가 중점적으로 진행되었으며 진화형 제조 시스템의 개념은 변경 가능한 제조시스템이라는 주제로 다양하게 연구되었다.

본 논문에서는 무선 환경 및 웹 서비스 내에서의 진화형 셀, 진화형 기계 및 유비쿼터스 기술 간의 협력을 통해 제조 환경의 변화에 대응하는 협력 진화 능력에 대해 소개한다.

CNC의 상태 및 가공 데이터는 IMT 2000 (international Mobile Telecommunications -2000) 및 무선 랜 등과 같은 유/무선 환경을 통해 실시간 확인 가능하며 이를 유비쿼터스 기술이 접목된 공작기계라 한다. CNC는 이러한 유비쿼터스 기술을 활용하여 언제 어디서나 실시간으로 제어 및 모니터링이 가능하다. 또한 CNC로부터 모바일 기기로 전송되는 정보들은 신속히 자동적으로 전송된다. 진화형 기계들은 제조 현장의 변화를 극복하기 위해 자가 진단, 자가 복구 및 다른 기계들과 협력할 수 있는 능력을 지닌다. 셀들 간의 협력은 제조 시스템의 총괄적 목표를 달성하기 위해 실행된다. 그리고 기계 및 셀들의 진화 특성은 인지 에이전트 기술 및 군집 지능의 협력 메커니즘 등을 활용하여 구현된다.

III. 사용 기술

1. 인공 인지 기술

기계 및 프로세스로 나타내어 지는 제조 시스템 관점에서

의 패러다임 “인지”란 제조 시스템의 자율적 작업 범위를 늘릴 수 있도록 하기위해 인지 능력 및 인지 제어가 장착된 상태를 말한다. 인지 제어는 환경 정보의 감지, 지식 기반의 추론 및 환경 변화에 대한 대응 등의 세 가지의 일반적 행위로 구성된다. 감지, 추론, 학습 및 계획 등과 같은 인지 능력은 제조 시스템 스스로 무엇을 하고 있는지를 알려 준다. 인지 기능을 갖춘 제조 시스템은 상호 협력이 용이하게 수행되며 이러한 특징은 제조 시스템의 유연성을 더욱 크게 만들어 준다. 인지 제조 시스템에서는 통신 및 지적 기능이 제조 환경에 적용 가능하도록 하는 인지에 대한 두 가지 측면이 존재한다.

첫 번째 측면은 데이터의 수집 및 관찰을 위한 기계-기계, 기계-인간의 연결 방법이 고려되어야 한다. 이를 위해 정보 통신 기술 (ICT : Information and Communication Technology) 이 사용되며 이는 개체 식별, 정보 수집 및 의사 결정 등이 가능하도록 하는 요소이다. 제조 실행 시스템 (MES : Manufacturing Execution System)은 기업 자원 관리 시스템 (ERP : Enterprise Resource Planning)과 제조 현장의 제어기 사이에서 스케줄링, 작업 관리, 품질 제어 및 데이터 수집 등과 같은 실행 인터페이스를 제공한다. RFID 기술 및 관련 센서 기술들은 제어, 생산 자동화 및 특수 데이터 수집 등에 대하여 큰 비중을 차지한다. 유비쿼터스 센서 네트워크 (USN : Ubiquitous Sensor Network)는 실시간 제조 데이터를 수집하기 위한 도구로 사용된다.

두 번째 측면은 학습, 추론 및 제어 등과 같은 지적 기능이 고려되어야 한다. 학습은 환경의 변화에 대한 동적 적응을 위한 지식과 기술을 획득하기 위한 방법으로써 매우 중요한 역할을 하고 있으며 향후 시스템의 능력을 향상시킬 수 있도록 도움을 준다. 또한 학습은 일반적으로 의사 결정 매개변수의 조정 또는 행동 규칙을 업데이트 할 수 있도록 하는 의사 결정 과정을 거친다. 제조 제어 상황에서 학습 메커니즘은 프로세스가 끝나거나 시스템 구성이 변경되었을 때 또는 예상하지 못한 장애가 발생하였을 때와 같은 상황에서 주로 구동된다. 추론은 시스템의 급격한 변화 및 복잡한 작업에 대응하기 위해 예측 작업, 의사 결정 및 인과 관계, 시간적 공간적 추론 등과 같은 여러 추론 메커니즘에 의해 수행되며 장애 및 환경 변화에 적응하기 위해 합리적으로 시스템이 스스로 적응할 수 있도록 한다.

2. 인지 에이전트 기술

인지 에이전트는 인공 인지 능력을 가지는 에이전트 구조인 BDI (Beliefs-Desires- Intentions) 아키텍처를 사용하는 컴퓨터 프로그램이다. Beliefs는 기계 및 공정의 상태와 같은 제조 현장 정보를 뜻하며 Desires는 시스템이 달성하고자 하

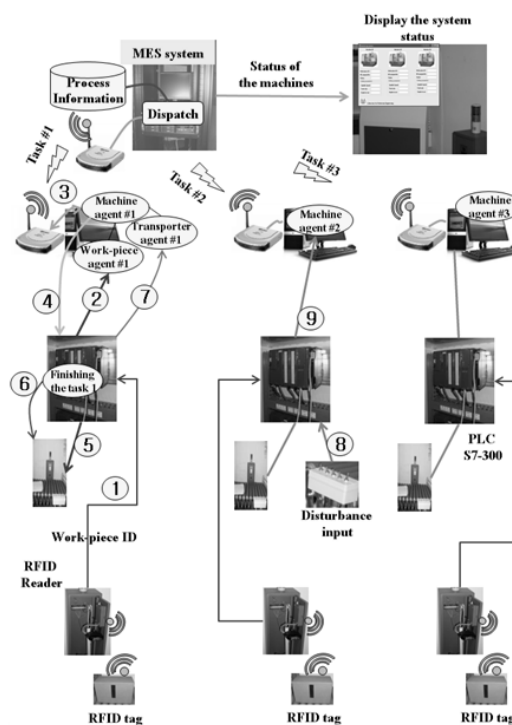
는 작업의 모든 가능한 상태를 나타낸다. 또한 Intentions는 시스템이 수행하기로 결정한 작업의 상태를 말한다. 결과적으로 에이전트는 인간의 인지 행위와 유사한 기능을 수행한다. 인지 활동은 인식, 추론 및 실행과 같은 세 단계의 루프를 수행한다. 또한 인지 에이전트는 자율성, 사회적 능력, 반응 및 선행위 등의 전통적 에이전트의 모든 특성을 상속한다. 자율성은 다른 에이전트로부터 지원받지 않고 목표를 달성할 수 있도록 하는 능력이다. 반면 에이전트 간의 상호 작용은 시스템의 총괄적 목표를 달성하기 위해 사용되는 에이전트의 사회적 능력이다. 지각과 행동 사이의 관계를 기반으로 한 에이전트의 반응은 제조 환경의 변화에 대응하기 위해 요구되는 능력이며 에이전트의 선행위 능력은 목표 지향적 행위를 나타낸다. 선행위 특성의 개선에 의해 표현되는 전통적 에이전트와 비교되는 인지 에이전트의 다른 특성은 인지 에이전트의 지능성이다. 지능은 환경 변화에 대한 적절한 결정을 위해 지식과 추론 메커니즘을 사용하는 에이전트의 능력이다.

3. 군집 지능

자연 환경에서 집단 지능은 개체의 간단한 상호 작용으로부터 도출된다. 개미 집단의 집단 지능은 페로몬이라는 화학 물질을 통하여 제한된 인지 능력과 함께 개별의 상호 작용에 의해 발휘되며 동적인 환경 변화에 적응하기 위해 개미 집단에게는 자기 조직 능력이 요구된다. 자기 조직은 외부의 개입이 배제된 상태에서 개체들 사이의 관계 수정을 통하여 집단의 구조를 구성된다. 이러한 원리를 제조 분야에 적용하려면 제조 시스템에서는 설비 및 제품의 요구 사항 간의 일체화를 위한 자동 통신, 장치간 협력 및 자기 조직 능력이 개발되어야 한다. EMS 에는 에이전트 협상 메커니즘을 기반으로 한 장애 대응 자기 조직 시스템이 구성되어 있다.

IV. EMS의 구현

EMS의 개발을 위해 EMS 테스트베드가 선행적으로 구현되었다. 테스트베드의 모델은 <그림 2>에 나타내어져 있다. 투자 비용 및 설치 기간을 단축시키기 위해 장애 생성을 위한 스위치로 만들어 진 장애 발생기가 사용된다. 또한 기계의 제어기로서 PLC가 사용되었으며 MES를 통하여 공정 정보 및 기계 작업 수행 정보를 수집하고 배분한다. 시스템의 정보처리 상황은 모니터링 시스템 스크린에 실시간으로 표시되며 가공품 정보는 RFID 시스템으로부터 수집된다. 각각의 PC는 기계 에이전트, 가공품 에이전트 및 이송 에이전트 등의 세 가지 에이전트를 포함하고 있으며 가공품의 가공 공정 관리



<그림 2> EMS 테스트베드 모델

의 역할을 수행한다. 인지 에이전트는 PC에 설치된 JADE (Java Agent Development Environment) 플랫폼을 기반으로 구동된다. JADE 플랫폼은 에이전트 기반의 시스템 개발을 위한 라이브러리를 포함하고 있으며 에이전트 응용 프로그램의 실행을 위한 환경을 제공하는 에이전트 개발 도구이다.^[5] 기계 에이전트 사이의 상호 작용을 위하여 무선 통신 기술이 사용되었다. 그리고 에이전트 간의 메시지 교환 및 데이터 전송을 위한 포맷으로 XML (eXtensible Markup Language)가 사용되었으며 에이전트 간의 통신 언어로는 FIPA-ACL (Foundation for Intelligent Physical Agents - Agent Communication Language)가 사용되었다. 에이전트 간의 협상을 위한 기능 구현은 CNP (Contract Net Protocol) 기반의 페로몬 수치 추정 기법으로 가능하다. 테스트베드 적용을 위하여 세 대의 머시닝 센터로 구성된 시스템이 고려되었다. 표 1에는 가공 시간 등과 같은 초기 값을 통한 가공 순서가 나타

<표 1>

Machine	Process	Processing time (min)	Pheromone value
Machine center #1 (MA1)	Turning (T1)	4	pv(t1)=0.105
Machine center #2 (MA2)	Drilling (T2)	2	pv(t2)=0.841
Machine center #3 (MA3)	Milling (T3)	5	pv(t3)=0.054

〈표 2〉 기계#2 잔여 작업 전송을 위한 기계#1, 기계#3의 페로몬 수치

Machine	Process	Processing time (min)	Pheromone value
Machine center #1 (MA1)	Drilling (T2)	3	pv(t2)=0.307
Machine center #3 (MA3)	Drilling (T2)	2	pv(t2)=0.693

내어져 있다.

실제 가공 시스템에 EMS의 개념을 적용하기 위해 12 대의 기계 및 17개의 공정을 가지는 클러치 하우스 제조 시스템이 연구 대상으로 선정되었다. 또한 이 시스템에서 3년 간 발생한 685 개의 장애를 분석하였다. 이러한 자료를 바탕으로 발생 장애의 극복 시간에 따라 non-negotiation, negotiation 및 rescheduling 의 세 가지 그룹으로 분류 가능한 장애 분석 결과를 도출하였다. Non-negotiation 그룹은 장애 극복 시간이 30분 이하의 장애에 해당하며 기존에 발생한 장애 대응 경험에 근거하여 각각의 에이전트 간의 협상 과정 없이 장애에 대응한다. 대부분의 장애는 30분 이내에 대응 가능하며 이는 기존의 경험 및 지식을 가진 운영자에 의해 수리가 가능하다. 이외의 나머지 장애들은 negotiation 그룹 및 rescheduling 그룹으로 분류되며 그 비율은 non-negotiation 그룹 11.4%, negotiation 그룹 40.9%, rescheduling 그룹 47.7%이다. 테스트베드 실행을 위한 PLC 프로그램은 SIMATIC Step 7을 이용하여 생성되었다.

만약 기계 #2에서 공구 파손과 같은 장애가 발생한다면 에이전트는 발생한 장애를 negotiation 그룹으로 분류하고 그 즉시 기계 #2 에이전트는 다른 기계 에이전트들에게 도움을 요청한다. 전송되는 메시지는 기계 정보 및 메시지를 받을 기계 에이전트의 네트워크 주소로 구성된다. 이후 기계 에이전트들은 잔여 작업을 위한 다른 루트를 찾기 위해 협상 과정을 거친다. 이러한 협상 과정은 기계 에이전트들 간의 현재 상태에 대한 페로몬 수치 평가, 공정의 선행 관계 등의 평가에 기반을 둔다(〈표 2〉). 협상 과정 이후 각각의 페로몬 수치, 현재 상태 및 가공품 정보를 바탕으로 기계 #3 에이전트가 선택되어 기계 #2의 잔여 작업을 인계 받게 된다. 그 결과 테스트베드의 기계 #3의 녹색 표시등이 켜지며 기계 상태는 작동으로 변경된다.

V. 결론

진화형 제조시스템의 개발은 본 연구의 내부 장애에 대한 자동적 대응 방안과 협력 모델을 통하여 제안되었으며 가공

시스템에서의 장애 극복을 위한 인간의 인지 행위에 대한 적용 가능성 검토를 위하여 인지 에이전트 기술이 사용된 인공 인지 기술이 사용되었다. 이러한 기술은 에이전트 기술과 인지 기술의 결합이라 할 수 있다. EMS의 구축을 위해 자율성 및 협동성을 가진 에이전트 기술 및 인지 능력이 접목된 에이전트 기술이 요구된다. 이에 따라 미래의 제조 시스템의 구현에는 인간의 인지 능력이 반영된 인지 에이전트 기술이 필수적이라 할 수 있다. 인지 에이전트는 중앙 관리를 회피함으로써 시스템의 강건성을 증가시키고 유연한 의사 결정 능력을 통하여 시스템의 자율적이고 유연한 대응 및 구현의 가능성을 보여준다. 따라서 인지 에이전트 기반의 제조 제어 시스템은 제조 계획의 전체적인 수정 또는 상위 레벨로의 통지 행위를 배제하고 장애에 대해 자동적으로 충분히 대처할 수 있는 능력을 지니게 된다. 다시 말해 인공 인지 능력을 지닌 제조 제어 시스템은 유연성, 적응성 및 안정성의 요구 사항을 만족시킨다. 제안된 EMS 개념의 검증을 위하여 EMS 테스트베드가 구현되었으며 발생 장애의 non-negotiation, negotiation, rescheduling 그룹화를 통한 자기 조정 메커니즘에 초점을 두어 발생 장애에 대한 유연한 대응이 가능하도록 하였다. 이를 바탕으로 향후 더욱 많은 장애에 대한 인지 에이전트의 유연성 및 자기 대응 범위 확장이 요구된다.

참고문헌

- [1] Park H.S., Lee W.G., Agent-based shop control system under holonic manufacturing concept, Proceedings of the 4th Korea-Russia International Symposium, pp.116-121, 2000.
- [2] Zaeh M.F., Beetz M., Shea K. et al., The cognitive factory, In: ElMaraghy H.A(ed) Changeable and reconfigurable manufacturing systems, Springer, London, pp.355-371, 2009.
- [3] Zaeh M.F., Lau C., Wiesbeck M., Ostgathe M., Vogl W., Towards the cognitive factory, Proceedings of the International Conference, CARV, 2007.
- [4] Frei R., Barata J., Onori M., Evolvable production systems context and implications, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.3233-3238, 2007.
- [5] Bellifemine F., Caire G., Greenwood D., Developing Multi-Agent Systems with JADE, John Wiley & Sons., 2007.

**박 홍 석**

1979년 2월 한양대학교 기계공학과 학사.
 1987년 2월 독) RWTH Aachen, Dipl. ~Ing.
 1992년 2월 독) University of Hannover, Dr. ~Ing.
 1979년 1월~1979년 12월 삼성중공업 산업기계설계실 설계기사.
 1980년 1월~1987년 1월 한국과학기술연구소 (KIST) 발전기 연구실 연구원.
 1987년 2월~1989년 12월 독일 생산 공학 연구소 (IFW) 연구원.
 1993년 3월~현재 울산대학교 기계자동차공학부 교수.
 <관심분야> 지능 및 자동화 시스템 설계 및 제어 기술

**김 동 훈**

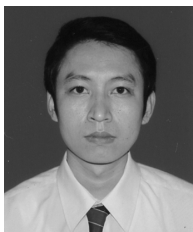
1990년 2월 경북대학교 전자공학과 학사.
 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 석사.
 2005년 8월 경북대학교 전자공학과 박사.
 1992년 3월~현재 한국기계연구원 책임연구원.
 2009년 1월~현재 ISO TC184 SC5 국제표준 전문위원.
 2009년 1월~현재 한국자동차공학회 생산 및 재료부문 총무.
 2007년 1월~현재 한국정밀공학회 평의원, 전문위원(생산시스템부문).
 2009년 1월~현재 지경부 통합기술청사진 기획위원 (로봇분과, IT융합분과).
 <관심분야> IT융합 기계시스템 지능화

**박 진 우**

2007년 8월 울산대학교 기계자동차공학부 학사.
 2009년 8월 울산대학교 기계자동차공학과 석사.
 2010년 2월~현재 울산대학교 기계자동차공학과 박사과정 재학.

**송 준 엽**

2001년 2월 부산대학교 생산공학 박사.
 1985년 3월~현재 한국기계연구원 실장, 책임연구원.
 2005년 3월~현재 과학기술연합대학원(UST) 겸임교수.
 2008년 1월~현재 한국정밀공학회 부문회장(생산시스템).

**Tran Ngoc-Hien**

2001년 2월 University of Transport and Communications 학사.
 2007년 2월 Hanoi University of Technology 석사.
 2008년 8월~현재 울산대학교 기계자동차공학과 박사과정 재학.