

자율적 제조 공정 관리를 위한 인지 에이전트의 개미 군집 지능

Ant Colony Intelligence in Cognitive Agents for Autonomous Shop Floor Control

박 흥 석*, 박 진 우, Tran Ngoc Hien
(Hong-Seok Park¹, Jin-Woo Park¹, and Tran Ngoc Hien¹)

¹University of Ulsan

Abstract: The flexibility and evolvability are critical characteristics of modern manufacturing to adapt to changes from products and disturbances in the shop floor. The technologies inspired from biology and nature enable to equip the manufacturing systems with these characteristics. This paper proposes an ant colony inspired autonomous manufacturing system in which the resources on the shop floor are considered as the autonomous entities. Each entity overcomes the disturbance by itself or negotiates with the others. The swarm of cognitive agents with the ant-like pheromone based negotiation mechanism is proposed for controlling the shop floor. The functionality of the developed system is proven on the test bed.

Keywords: autonomous manufacturing system, cognitive agent, ant colony technique

I. 서론

현대의 제조는 개별적 경향을 나타내며 이러한 경향은 고객의 요구에 대응하는 높은 품질 및 낮은 가격의 제품의 생산이 이루어지도록 한다. 이는 제조 환경의 복잡성과 역동성을 증가시키고 있으며 이러한 도전에 대응하기 위해 홀론형(holonic, 자연과 환경의 중합체), 생물형(biological), 재구성형(reconfigurable) 제조 시스템과 같은 생물체에 자극을 받은 제조 시스템이 문헌에서 제안되어 왔다[1]. 제안된 새로운 시스템들은 ERP (Enterprise Resource Planning)와 MES (Manufacturing Execution System) [2] 등과 같은 상위 레벨의 관리 영역에서 제조 환경 변화에 적응하기 위한 기능만을 고려하고 있으며 작업 현장에서의 자율적인 제어는 미비한 상황이다[3]. 현재 제조 시스템들은 머신의 고장이나 공구의 마모 또는 이송 장치의 작동이상과 같이 작업 현장에 장애가 발생하면 작동이 정지되며 이후 관리자 수준에서 생성된 새로운 작업 스케줄이 현장으로 하달된다. 이 방법은 복구에 긴 시간이 소요되거나 복구가 불가능한 경우에 한하여 장애 극복에 효과적인 방법이다. 그러나 복구에 짧은 시간이 필요한 장애가 발생한 경우 스케줄을 전체적으로 조정하는 것보다 자가 복구 시스템이 더욱 적합하다. 개미 군집에서 영감을 받은 제조 시스템에서는 ERP나 MES와 같은 상위의 관리 레벨의 도움 없이 개별적인 에이전트의 협력을 통하여 장애가 극복된다. 본 논문에서는 에이전트의 자율적인 작업 범위를 증가시키기 위하여 인지 에이전트의 개념을 제안하고 제조 시스템의 장애 핸들링을 위하여 페로몬 수치 산정을 이용한 의사 결정 메커니즘을 제안한다.

II. 문헌 고찰

자율성, 협력, 지능과 같은 생물체의 진보된 속성들은 생물체가 역동적인 환경 변화에 적응할 수 있도록 해준다. 이와 같은 생물학에서 영감을 받은 속성들은 제조 분야에 적용되기 시작하였으며 제조 시스템이 변화에 스스로 적응하기 위하여 유연하고 진화할 수 있는 특성을 갖춰준다. 이들 기술들은 스케줄링과 계획 또는 제조 제어 시스템의 아키텍처와 같은 최적화 문제에 대한 진화적 알고리즘으로 분류될 수 있다.

제조 시스템에 사용 가능한 생물학적 특성의 첫 번째 분야로는 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 개미 집단 최적화(ant colony optimization) 및 입자 군집 최적화(particle swarm optimization) 등이며 이들은 최적의 조립 순서 계획, 제조 스케줄링 및 절삭 파라미터 최적화 등에 사용된다[4,5]. 두 번째 분야로는 인공지능 및 인지과학을 적용하여 홀론형, 생물형, 재구성형, 인지형 및 Gentelligent 제조 시스템과 같은 진화형 제조시스템(EMS: Evolvable Manufacturing System)이라 불리는 새로운 제조 제어 시스템 모델이다[6]. 홀론형, 생물형, 재구성형 제조 시스템은 제조 시스템의 조직을 자율적인 객체들의 집합체로 간주함으로써 제조 시스템의 자율성과 자가 조직 기능에 초점을 맞춘다. 또한 인지 제조 시스템과 Gentelligent 제조 시스템은 제조 시스템의 지능적이고 유전적인 특성들을 개선하는 데에 초점을 맞춘다[7]. 이들 제조 시스템들을 실현하기 위해 에이전트 기술, 군집 지능, 인공 지능 및 인지 기술들이 제안되었다[6-11].

본 논문은 작업 현장 수준에서의 변화에 적응하기 위한 AMS (Autonomous Manufacturing System)을 제안한다. AMS의 개념에서 제조 시스템의 모든 자원들은 지능을 가진 객체들로 간주하여 모델링된다. 각각의 객체들은 식별(identification), 데이터 수집 및 자율적 의사 결정 능력 등을 갖고 있다.

제조 시스템에서 발생하는 장애에 대응하기 위한 AMS는 다음과 같은 장점들을 제공한다.

- 장애 발생 시 제어 시스템이 제조 시스템을 완전히 정

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 5. 20., 수정: 2011. 6. 5., 채택확정: 2011. 6. 20.

박흥석, 박진우, Tran Ngoc Hien: 울산대학교 기계공학부

(phosk@ulsan.ac.kr/benesarang@ulsan.ac.kr/cokhi@mail.ulsan.ac.kr)

* 본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 '자율적응 생산시스템 통합융합기술 개발'사업의 지원으로 수행되었음.

지시하지 않고 장애 대응을 동시에 취하여 작업을 계속할 수 있게 함

- 제조 시스템에 포함된 객체들에게 의사 결정 능력과 자기 통제 능력을 부여함

AMS의 구현을 위해서는 제조 시스템 내의 지능형 객체 외에 자율형 제어 아키텍처가 요구된다. 제어 아키텍처는 위계적 구조에서 비-지능형 객체들에 대한 집중화 된 통제에서 분산된 구조에서 지능형 객체들에 대한 분권화 된 통제로 변화한다. 이 연구에서는 공구의 마모, 머신의 고장, 이송의 작동이상과 같이 복구 시간이 짧은 내부적인 장애에 적용하는 AMS의 방식에 초점을 맞춘다.

III. 적용 가능 기술

1. 인지 에이전트

인지 에이전트는 컴퓨터 프로그램으로서 BDI (Beliefs-Desires-Intentions) 아키텍처를 이용하여 에이전트에게 인지 능력을 부여한다[12]. Belief는 에이전트의 현재 환경 상태에 대한 정보이다. Desire는 에이전트가 수행하는 업무들의 모든 가능한 상태들을 말한다. Intention은 에이전트가 작업을 수행하여 달성하려는 업무의 상태이다. 결과적으로 에이전트는 인간의 인지 행동을 모방하는 인지 활동들을 수행한다. 인지 활동들은 세 가지 단계로 이루어진 루프를 수행한다. 즉 인식(perception), 사고(reasoning), 실행(execution)이다. 인지 에이전트는 전통적인 에이전트로부터 협력, 반응성, 적극성(proactiveness)와 같은 모든 특성들을 물려받는다. 에이전트들의 협력은 시스템 전반의 목적을 달성하기 위한 것이다. 반응성은 에이전트가 인식과 행동 사이의 관계에 기초하여 환경의 변화에 반응하는 능력이다. 에이전트의 적극성은 목표 지향적 행동을 나타내기 위한 능력이다. 전통적 에이전트와 비교하여 인지 에이전트의 다른 점은 적극적 특성을 개선함으로써 나타나는 지능이라 할 수 있다[13]. 지능은 에이전트가 자신의 지식과 사고 메커니즘을 이용하여 환경의 변화와 관련된 적합한 결정을 내릴 수 있는 능력이다. 인지 에이전트의 아키텍처는 그림 1에 나타나 있다. 아키텍처는 인식(perception), 의사 결정(decision), 지식(knowledge), 통제(control), 의사 소통(communication) 등의 5개의 모듈로 구성된다. 인식 모듈은

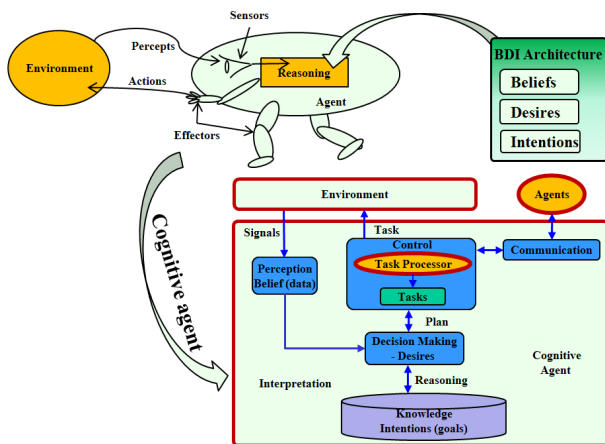


그림 1. 인지 에이전트의 아키텍처.
Fig. 1. Architecture of a cognitive agent.

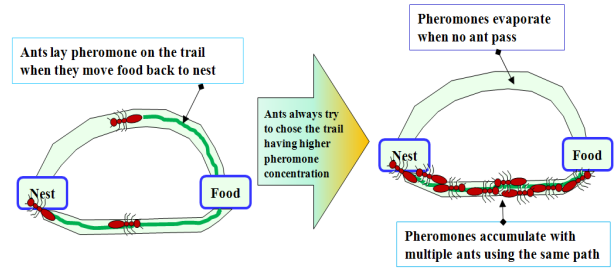


그림 2. 개미의 최단 경로 선택.
Fig. 2. The shortest route chosen by ants.

환경으로부터 데이터를 획득한다. 의사결정 모듈은 자율적인 의사결정을 담당한다. 통제 모듈은 계획을 업무로 현실화 하고 환경에 대한 업무를 집행한다. 이와 동시에 이 모듈은 만약 계획이 에이전트 팀에 의해 프로세스 되면 의사소통 모듈로 업무를 보낸다. 의사소통 모듈은 인지 에이전트들 사이의 상호작용을 담당한다. 지식 기반 모듈은 에이전트의 의도, 계획, 행동 메커니즘을 담고 있다.

2. 개미 군집 활용 기술

자연 환경에서 집단적 지능은 개체들 사이의 단순한 상호작용에 의해 수행된다. 곤충의 집단에서 발견되는 개념인 군집 지능은 이러한 집단적 지능을 보여주고 있다. 군집 지능은 서로 간에 또는 환경과 국부적으로 상호작용하는 단순한 실체들로부터 성립된 개념이다. 개미 집단은 그림 2에 나온 것처럼 페로몬(pheromone)이라 불리는 화학물질을 이용하여 개미들 사이의 단순한 상호작용을 통해 자신들의 집으로 먹이를 옮기는 최단 루트를 발견할 때 집단 지능을 보여준다 [14]. 환경의 역동적인 변화에 적응하기 위해 개미 떼는 자가 조직 능력을 가져야 하며 자가 조직은 외부의 간섭 없이 개체들 사이의 관계를 변경함으로써 구조를 재조직하여 수행된다.

이 원리를 자율적이고 협력적인 객체들의 집합체로 간주되는 제조 시스템으로 옮기면 제조 시스템은 국부적으로 머신의 능력과 제품에 대한 요구조건 사이를 부분적으로 일치 시킴으로써 변화에 적응한다. 각각의 머신들은 특정한 장애 형태를 극복하기 위한 페로몬 값(pheromone value)을 갖고 있으며, 가장 높은 페로몬 값을 가진 머신이 장애를 처리하기 위해 선택된다.

IV. 개미 군집 기술을 이용한 제조 시스템

1. 자율형 작업 현장 제어 시스템

장애에 대응하기 위한 인지 에이전트 기반의 자율형 머시닝 샵(machining shop)은 그림 3에 나타나 있다. 머신, 가공소재(work-piece), 이송과 같은 자원들은 해당되는 에이전트가 통제하고 정상 상태에서는 MES가 작업 현장을 통제한다. 그렇지 않은 경우 에이전트는 스스로 장애를 극복하거나 무선 통신을 통해 다른 에이전트들과 협력한다. 발생한 장애를 에이전트가 해결하지 못하는 경우 MES로 메시지를 보내 재스케줄링을 하게 된다. 만약 발생한 문제를 해결하는데 많은 시간이 소요되면 MES는 ERP 시스템과의 의사소통을 통해 전체 시스템을 관리한다. 이 개념은 짧은 복구 시간 내에 내부적 장애를 해결하는데 적용된다. 본 논문에서 고려된 머시

장애 극복을 위해 전체 시스템이 1시간 이상 소요될 경우이며 이 경우 제한된 허용 범위 이내에서 계획된 스케줄을 수행하기 매우 어렵다. 비협의 범위는 복구 시간이 30분 이내인 장애로서 이전의 경험으로부터 복구시간을 알 수 있는 경우이다. 비협 또는 협의 범위로 분류하는데 주어진 시간을 클러치 하우징을 머신으로 가공할 때의 장애에 대한 통계에 근거하고 있다. 복구 시간이 30분 이하인 거의 모든 장애는 쉽게 복구할 수 있으며 작업자가 자신의 지식을 이용하여 수리할 수 있다.

나머지 장애는 협의형으로 분류된다. 그러한 장애들은 머시닝 샵 내의 에이전트 협의 과정을 통해 전통적인 머시닝 샵을 운영할 때 수집한 지식으로 해결할 수 있다. 장애에 대한 분석 결과를 보면, 머시닝 샵에서 수집된 약 700번의 장애(100%)는 비협의형(11.4%), 협의형(40.9%), 재스케줄링(47.7%)으로 분류된다.

2. 인지 에이전트에 기반 한 장애 처리

그림 5는 머신에 장애가 발생하였을 때 인지 에이전트가 장애를 극복하는 메커니즘을 보여주고 있다. 최초에 컨트롤러와 인지 에이전트는 모두 MES로부터 업무를 받는다(①로 표시). 인지 프로세서는 목표들을 식별하고 목표들을 desire로 변환시킨다. 인식 모듈은 데이터를 수집하고 필터링하여 에이전트의 업무에 해당되는 정보를 획득한다. 다음으로 특징 추출 유니트(feature extraction unit)는 데이터를 높은 빈도와 낮은 빈도로 분류한다. 데이터 형태에 따라 머신의 상태를 진단하기 위해 낮은 빈도에 대해 퍼지 로직(fuzzy logic), 높은 빈도에 대해 뉴럴 네트워크(neural network)가 각각 사용된다 [15]. 진단 결과는 머신의 상태를 장애 상태 또는 정상 상태의 2가지 상태로 보고한다(②로 표시). 만약 장애를 복구하는데 긴 시간이 소요되거나 복구할 수 없는 경우 에이전트는 재스케줄링을 요구하는 메시지를 MES로 보낸다(③으로 표

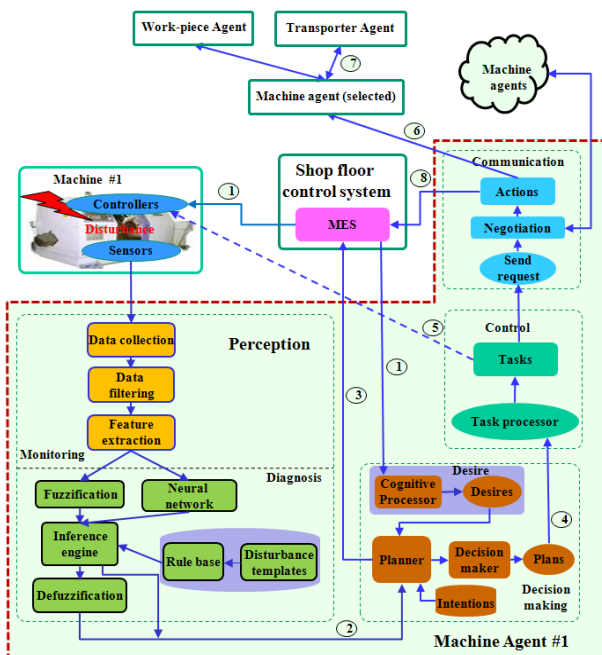


그림 5. 장애 대응을 위한 인지 에이전트의 메커니즘.
Fig. 5. Mechanism of cognitive agents for adapting to disturbances.

시). 이외의 경우 인지 에이전트는 정상 상태이거나 짧은 시간 내에 복구할 수 있는 장애가 있는 나머지 케이스들을 고려한다. 만약 진단(diagnosis) 모듈이 산출한 데이터가 원하는 목적에 부합되면 머신의 정상 상태를 보고하는 메시지가 MES로 보내지고 현장 작업은 계속되게 된다. 그렇지 않으면 의사결정 모듈은 데이터, Desire, Intention에 기초하여 새로운 계획을 생성한다(④로 표시). 만약 장애를 쉽게 복구할 수 있는 경우 이 계획은 즉시 실행되며 제품의 품질에 영향을 주지 않고 절삭 파라미터를 변경하여 공구의 마모를 복구한 경우가 대표적이다(⑤로 표시). 장애를 복구하기 어려운 경우 또는 작업자의 개입이 필요한 경우 예를 들어 머신이 고장난 경우 계획은 다른 머신을 대상으로 수립되어야 한다. 인지 에이전트는 의사소통 모듈을 통해 모든 머신 에이전트들에게 도움을 요청함으로써 다른 에이전트와 협조를 이행한다. 제조 시스템의 작업 상태를 유지하기 위해 장애가 발생한 머신의 작업은 다른 머신이 넘겨받게 된다(⑥으로 표시). 선택된 에이전트는 장애가 발생한 머신의 작업을 수행하고 있음을 알리기 위해 워크피스 에이전트와 이송 에이전트에게 메시지를 보낸다(⑦로 표시). 장애가 발생한 머신이 회복되면 작업 현장은 이전의 계획을 수행한다. 에이전트들 간의 협의로 어떠한 해결도 도출되지 않는 경우 재스케줄링을 위한 요청 메시지가 상위 관리 레벨인 MES로 전송된다(⑧로 표시).

3. 개미와 유사한 페로몬을 이용한 에이전트 협의의 메커니즘

각각의 머신 에이전트들은 개미로 간주되며 머신 에이전트에 대한 페로몬은 통신 매개체로 사용된다. 페로몬의 기능은 머신이 업무에 착수하는 능력을 나타낸다. 그림 6은 에이전트 협의의 메커니즘을 나타낸다.

머신 에이전트 #1은 협의의 형태에 속한 장애를 진단하며 나머지 머신 에이전트들에게 업무 정보를 보낸다. 업무 정보는 작업, 절삭 조건, 공구 형태, Fixture에 대한 요구조건으로 이루어져 있다.

머신 에이전트는 자신들의 데이터베이스로 업무의 내용을 매핑 함으로써 이들 요구조건들을 자신들의 능력과 비교한다. 머신 에이전트들이 요구조건을 만족시키는 경우, 그것들은 페로몬 값을 생성시키게 된다. 그렇지 않은 경우, 페로몬 값은 0이 된다. 본 논문에서 제안하는 페로몬 값 산출 방식은 다음과 같으며 가공 시간, 가공 비용 및 가공 품질 등

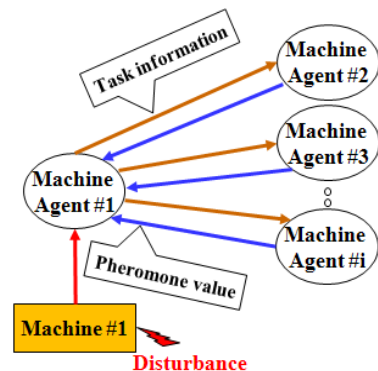


그림 6. 에이전트 협의.
Fig. 6. Agent negotiation.

이 고려된다.

$$p_{M_i} = q_i \left[\frac{1}{M_{PT} + M_c + \left(\frac{1}{M_q} \right)} \right] \quad (1)$$

여기에서 q_i 는 고장난 머신에서 요청된 머신 M_{A_i} 의 수행 능력 상태(queue status)이다. 만약 업무 t 가 머신 M_{A_i} 에서 수행 가능하다면 $q_i=1$ 이고, 그렇지 않다면 $q_i=0$ 이 된다. M_{PT} , M_c 및 M_q 는 업무 t 에 대한 머신 M_{A_i} 에서의 가공 시간, 가공 비용 및 가공 품질을 나타낸다. 가장 높은 페로몬 값은 최소 가공 시간 및 비용, 최고의 가공 품질일 경우 도출된다. M_{PT} , M_c 및 M_q 는 식 (2), (4) 및 (5)를 통해 도출된다.

$$M_{PT} = \frac{Q}{MRR} \cdot \left(1 + \frac{T_s}{T_f} \right) \quad (2)$$

업무 t 는 다양한 절삭 파라미터들로 인해 다른 머신 상에서 각각 다른 가공 시간을 가지며 파라미터들은 절삭 조건, 가공 능력 및 툴 타입에 의하여 결정된다. 머신 M_{A_i} 의 업무 t 에 대한 가공 시간은 식 (2)에 의해 계산된다. Q 는 절삭 부피 (mm^3), T_s 는 공구 셋업 시간(min), T_f 는 공구 수명(min)을 나타낸다. 절삭률(MRR: Metal Removal Rate) 값은 절삭 파라미터 및 공정 타입에 의해 결정되며 식 (3)에 의해 알 수 있다. v_c 는 절삭 속도(mm/min), f 는 이송 속도(mm/rev), a_p 는 절삭 깊이 (mm)를 나타낸다.

$$MRR = v_c \cdot f \cdot a_p \quad (3)$$

$$M_c = \frac{k \cdot M_{PT}}{60} \quad (4)$$

가공 비용은 식 (4)와 같이 머신의 시간당 운영 비용 (k : \$/hour) 및 가공 시간에 의해 결정된다.

가공 품질의 경우 치수, 공차 및 표면 거칠기 및 미세 구조 변형 등과 같은 가공품에 대한 요구 조건을 만족하여야 한다. 또한 가공 품질에 영향을 미치는 요소는 머신의 사양, 절삭 공구 및 재료의 물성치 등의 관계를 종합적으로 고려하여야 하며 식 (5)를 통해 그 관계를 알 수 있다[16]. R_a 는 가공 부품의 표면 거칠기 (μm)를 나타내며 α_{IT} 는 가공 부품의 치수 공차에 영향을 주는 머신의 정밀도 및 신뢰성에 대한 상호 연관 수치, β 는 가공 부품의 형상 공차, 표면 건전성에 영향을 미치는 절삭 공구의 경도 및 열 안전성에 대한 상호 연관 수치이다.

$$M_q = \frac{1}{R_a \cdot \alpha_{IT} \cdot \beta} \quad (5)$$

$$R_a = p \cdot v_c^{x1} \cdot f^{x2} \cdot a_p^{x3} \quad (6)$$

가공 부품의 표면 거칠기는 식 (6)을 통해 알 수 있다[17]. $x1$, $x2$, $x3$ 및 p 는 공구와 가공품의 상호 연관 상수이며 v_c , f 및 a_p 는 머신에서의 절삭 조건에 대한 허용 한계이다.

장애를 관리하는 머신 에이전트는 나머지 머신 에이전트의 페로몬 값을 산출함으로써 어떠한 머신의 워크피스가 패스되어야 하는지를 결정한다. 머신 에이전트 #1은 의사결정을 위해 다음과 같은 알고리즘을 이용한다.

send (message) /* 에이전트는 나머지 에이전트들에게 업무 정보를 송신 */

receive (pheromone) /* 에이전트는 페로몬 값들로 이루어진 응답들을 수신 */

Case 1: 모든 페로몬 값이 0인 경우.

send (message) /* 에이전트는 MES에 재스케줄링을 요청 */

Case 2: 0이 아닌 머신 에이전트(i)의 페로몬 값만 있는 경우

send (message) /* 에이전트 머신 에이전트(i)가 선택됨 */

Case 3: 0이 아닌 적어도 두 개의 페로몬 값들이 있는 경우 머신 에이전트 (j)가 가장 높은 페로몬 값을 갖는다면,

send (message) /* 머신 에이전트(j)가 선택됨 */

협업 과정에서 나머지 머신 에이전트들의 알고리즘은 다음과 같이 주어진다.

receive (message) /* 머신 에이전트들은 머신 에이전트#1이 보낸 업무 정보를 수신한다 */

analyse (message) /*자신들의 데이터베이스로 업무 정보의 내용을 매핑*/

generate (pheromone) /* 업무에 대한 페로몬 값을 생성 */

receive (message) /* 머신 에이전트들은 머신 에이전트#1으로부터 응답을 수신 */

만약 머신 에이전트(i)가 선택된다면,

cooperate (agents) /*선택된 머신 에이전트는 작업소재 및 이송 에이전트들과 협력*/

V. 구현

인지 에이전트들은 .NET 플랫폼과 C#을 이용하여 개발하였다. 그림 7은 인지 에이전트를 프로그래밍 하기 위한 상호 작용(interaction) 프로토콜, 에이전트 행위(behavior), 데이터베이스(DB)의 세 가지 커널을 나타내고 있다. 에이전트는 XML (Extensible Markup Language) 메시지를 통해 MES 및 다른 에이전트들과 상호작용한다. 에이전트와 PLC (Programmable Logic Controller)를 이용하여 교신하기 위해 KEPServerEx™ 소프트웨어의 OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) 프로토콜이 사용된다. 프로세싱 정보를 포함한 데이터베이스, 네트워크에서 교신하기 위한 에이전트의 어드레스, 머신 에이전트의 업무들에 대한 페로몬 값, 장애 DB는 SQL

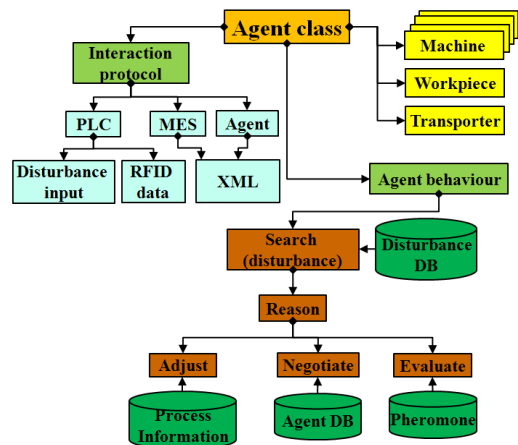


그림 7. 에이전트 프로그래밍을 위한 시스템 분석.

Fig. 7. System analysis for programming agents.

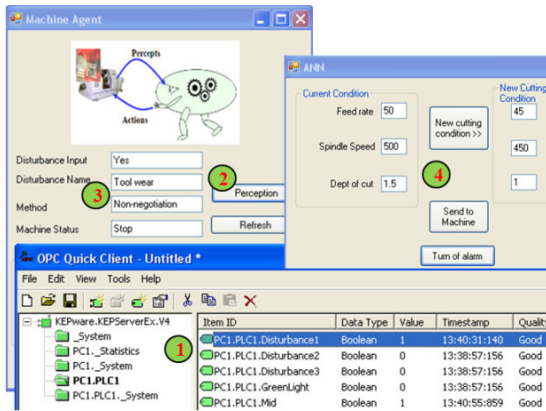


그림 8. 공구 마모의 경우에 대한 시스템 화면.
Fig. 8. The screen shot of the system in the case of tool-wear.

Server™ 2005를 이용하여 구축되었다. 에이전트는 장애 형태를 진단하기 위해 ‘검색(search)’ 방법을 이용한다. 장애 형태에 따라 에이전트는 ‘조정(adjust)’ 또는 ‘협의(negotiate)’ 방법을 이용하여 사고한다. 에이전트의 협의에는 ‘평가(evaluate)’ 방법이 이용된다.

1. 비협의(non-negotiation)의 경우 시스템의 반응

머신#1에서 장애가 발생하였다고 가정하면 머신 에이전트 #1은 장애 신호를 그림 8에서와 같이 KEPServer^{EX}(①로 표시)를 통해 PLC#1으로부터 받는다. 그리고 장애 DB에 근거하여 장애의 형태를 진단한다(②로 표시).

만약 장애가 공구의 마모와 같이 비협의형에 속한다면(③으로 표시) 에이전트는 현재의 절삭 파라미터, 공구 정보, 또는 롤 기반의 절삭 조건 제안과 같은 입력 값이 부여되며 뉴럴 네트워크를 이용하여 결정된 절삭 파라미터를 조정한다. 파라미터를 최신으로 변경한 후(④로 표시) 머신 에이전트는 이들 파라미터들을 머신의 컨트롤러로 보낸다.

2. 협의(negotiation)의 경우 시스템의 반응

그림 9는 공구 파손과 같이 협의형 장애에 속하는 경우의 시스템 구동을 보여준다(③으로 표시). 에이전트 협의를 위해 서버/클라이언트 네트워크가 구축되었다(④로 표시). 이를 바탕으로 이후 개미 집단에 기초한 메커니즘을 이용하여 머신 에이전트들의 협의가 시작된다. 협의 이후 가장 높은 페로몬 값을 갖는 머신 에이전트들이 머신 #1의 업무 #1을 수행하는데 선택된다.

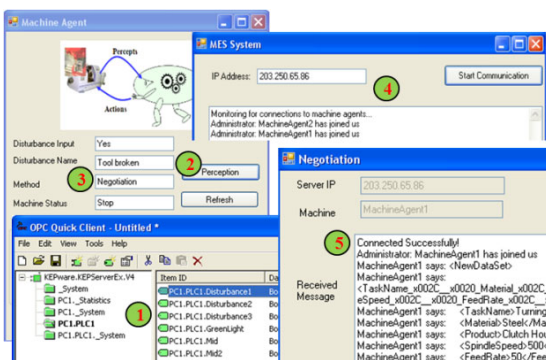


그림 9. 공구 파손의 경우에 대한 시스템 화면.
Fig. 9. The screen shot of the system in the case of tool broken.

3. 결과 검토

개발된 시스템의 기능성은 그림 10의 테스트 베드(test bed)에서 증명되었다. 장애를 발생시키기 위해 장애 발생기(온/오프 스위치)가 사용되었다. PLC들은 머신들이 MES로부터 프로세싱 정보를 받고 머시닝 작업을 집행하는 컨트롤러로 간주된다. 시스템의 프로세싱 정보는 모니터링 스크린에 표시되며 워크피스 정보는 RFID (Radio Frequency Identification) 시스템을 이용하여 수집된다. 머신, 작업소재, 이송 에이전트를 포함한 인지 에이전트들은 PC에 설치되었으며 각각의 PC들은 머신을 이용한 워크피스의 머시닝 프로세스에 대한 관리를 담당한다.

표 1에는 가공 시간 등과 같은 초기 값을 통한 가공 순서가 나타내어져 있다. 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 인계받게 된다. 그 결과 테스트베드의 기계 #3의 녹색 표시등이 켜지며 기계 상태는 작동으로 변경된다. 이러한 실험 결과는 개발된 시스템이 비협의형 및 협의형에 속하는 장애들을 성공적으로 극복함으로 보여주며 이를 통해 머신의 고장시간을 줄임으로써 제조 생산성이 향상된다.

표 1. 고장 발생 이전의 초기 가공 순서/시간 및 페로몬 값.
Table 1. The initial machining process/time and pheromone values before disturbance input.

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

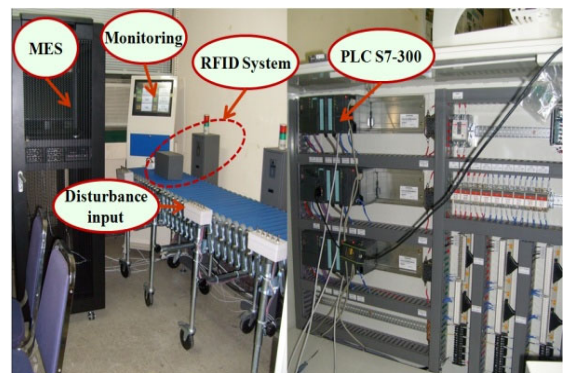


그림 10. 실험장비 셋업.
Fig. 10. Experimental setup.

표 2. 머신#2 잔여 작업 전송을 위한 머신#1, 머신#3의 페로몬 값.

Table 2. The pheromone value of machine #1 and machine #3 for transfer of the remaining tasks of machine #2.

Machine	Process	Processing time (min)	Pheromone value
Machine center #1 (MA1)	Drilling (T2)	3	Pv(t1) = 0.307
Machine center #3 (MA3)	Drilling (T2)	2	Pv(t3) = 0.693

VI. 결론

장애에 적응하기 위한 현재의 방법에 비교하여 개미 집단으로부터 영감을 받은 제조 시스템은 적용 가능한 솔루션이며 유연성, 적응성, 신뢰성이라는 요구조건을 만족시킨다. 이 연구는 또한 인지 에이전트와 개미 군집 기술과 같은 생물학에서 영감을 받은 기술들을 제조 분야에 적용하였을 때의 효율성을 증명한다. 본 논문에서 제안된 인지 에이전트 및 의사 결정을 위한 개미 군집 지능의 제조 시스템 적용 방법 제안 및 구현을 통하여 제조 시스템의 중앙 관리를 회피하여 시스템의 강건성을 증가시키고 유연한 의사 결정 능력을 확보한다. 이는 제조 계획의 전체적인 수정 또는 상위 레벨로의 통지 행위를 배제하여 발생하는 장애에 대해 자동적으로 충분히 대처할 수 있음을 의미한다. 또한 발생 장애를 비협 의형, 협의형 및 재스케줄링 등의 그룹화를 통한 자가 조정 메커니즘에 초점을 두어 발생 장애에 대한 유연한 대응이 가능하도록 하였다. 이를 바탕으로 향후 더욱 많은 장애에 대한 인지 에이전트의 유연성 및 자기 대응 범위의 확장이 요구된다. 또한 시스템 안정성 및 자원의 중요도에 따라 이중화 장치 등의 하드웨어 확장을 고려한다면 본 논문의 연구 결과의 실용화에 더욱 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] C. Christo and C. Cardeira, "Trends in intelligent manufacturing systems," *Proc. of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 3209-3214, Jun. 2007.
- [2] E. Westkampfer, "Manufacturing on demand in production networks," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 46, no. 1, pp. 329-334, 1997.
- [3] H. K. Toenshoff and M. Winkler, "Shop control for holonic manufacturing systems," *Proc. of the 28th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, vol. 25, no. 3, pp. 277-281, May 1996.
- [4] P. Valckenaers and H. Van Brussel, "Holon manufacturing execution systems," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 1, pp. 427-432, 2005.
- [5] H. Shan, S. Zhou, and Z. Sun, "Research on assembly sequence planning based on genetic simulated annealing and ant colony optimization algorithm," *Assembly Automation*, vol. 29, no. 3, pp. 249-256, Jul. 2009.
- [6] F. Cus and U. Zuperl, "Particle swarm intelligence based optimisation of high speed end-milling," *Computational Materials Science and Surface Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 148-154, 2009.
- [7] B. Denkena, H. Henning, and L.-E. Lorenzen, "Genetics and

intelligence: new approaches in production engineering," *Production Management*, vol. 4, pp. 65-73, 2010.

- [8] K. Ueda, T. Kito, and N. Fujii, "Modeling biological manufacturing systems with bounded-rational agents," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 55, no. 1, pp. 469-472, 2006.
- [9] P. Leitao, "A bio-inspired solution for manufacturing control systems," *IFIP International Federation for Information Processing*, vol. 266, pp. 303-314, 2008.
- [10] K. R. Cho, S. W. Baek, and D. W. Lee, "Fitness change of mission scheduling algorithm using genetic theory according to the control constants," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 6, pp. 572-578, Jun. 2010.
- [11] Y. G. Hur, "A fuzzy shape control method for the stainless steel at the cold rolling process," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 10, pp. 1062-1070, Oct. 2009.
- [12] X. Zhao and Y. Son, "BDI-based human decision-making model in automated manufacturing systems," *International Journal of Modeling and Simulation*, vol. 28, no. 3, pp. 347-356, 2008.
- [13] H. K. Toenshoff, P.-O. Woelk, O. Herzog, and I. J. Timm, "Agent-based in-house process planning and production control for enterprises in supply chains," *Proc. of the 12th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, pp. 329-338, Jul. 2002.
- [14] W. Xiang and H. P. Lee, "Ant colony intelligence in multi-agent dynamic manufacturing scheduling," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 21, pp. 73-85, Feb. 2008.
- [15] P. Wang, N. Propes, N. Khiripet, Y. Li, and G. Vachtsevanos, "An integrated approach to machine fault diagnosis," *Proc. of the IEEE Annual Textile, Fiber and Film Industry Conference*, May 1999.
- [16] H. K. Toenshoff, C. Arendt, and R. Ben Amor, "Cutting of hardened steel," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 49, no. 2, pp. 547-566, 2000.
- [17] F. Cus and U. Zuperl, "Approach to optimization of cutting conditions by using artificial neural networks," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 173, no. 3, pp. 281-290, Apr. 2006.



박 홍 석

1952년 7월 18일생. 1979년 한양대학교 기계공학과(공학사). 1987년 독일 RWTH Aachen 기계공학과(Dipl. -Ing.). 1992년 독일 University of Hannover 기계공학과(Dr. -Ing.). 1993년~현재 울산대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 지능 및 자동화 시스템 설계 및 제어.



박 진 우

2007년 울산대학교 기계자동차공학부(공학사). 2009년 울산대학교 대학원 기계자동차공학과(공학석사). 2010년~현재 울산대학교 대학원 기계자동차공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 지능형 제조시스템 및 증강현실.



Tran Ngoc Hien

2001년 베트남 University of Transport and Communications 기계공학과(공학사). 2007년 베트남 Hanoi University of Technology 기계공학과(공학석사). 2008년~현재 울산대학교 대학원 기계자동차공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 지능형 제조시스템.