

◆ 특집 ◆ 자율적응 생산시스템 통합 운용기술

## 장애 자율 대응 가공 시스템 개발

### Development of a Machining System Adapted Autonomously to Disturbances

박홍석<sup>1,✉</sup>, 박진우<sup>1</sup>  
Hong Seok Park<sup>1,✉</sup> and Jin Woo Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 울산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Univ. of Ulsan)  
✉ Corresponding author: phosk@ulsan.ac.kr, Tel: 052-259-2294

Manuscript received: 2012.1.13 / Accepted: 2012.2.17

*Disruptions in manufacturing systems caused by system changes and disturbances such as the tool wear, machine breakdown, malfunction of transporter, and so on, reduce the productivity and the increase of downtime and manufacturing cost. In order to cope with these challenges, a new method to build an intelligent manufacturing system with biological principles, namely an ant colony inspired manufacturing system, is presented. In the developed system, the manufacturing system is considered as a swarm of cognitive agents where work-pieces, machines and transporters are controlled by the corresponding cognitive agent. The system reacts to disturbances autonomously based on the algorithm of each autonomous entity or the cooperation with them. To develop the ant colony inspired manufacturing system, the disturbances happened in the machining shop of a transmission case were analyzed to classify them and to find out the corresponding management methods. The system architecture with the autonomous characteristics was generated with the cognitive agent and the ant colony technology. A test bed was implemented to prove the functionality of the developed system.*

Key Words: Self-adaptation (자율대응), Cognitive Agent (인지 에이전트), Ant Colony Algorithm (개미군집 알고리즘), Autonomous Manufacturing System (자동화 제조시스템)

#### 1. 서론

제조시스템 내에서 발생하는 장애의 신속한 해결 방법에 대한 연구들은 일반적인 제조 산업 내의 공통적인 관심 분야이다. 그러나 기존의 제조시스템에서는 제품 생산 가능 시간 중 약 50~60%만이 실제 제품을 만드는 데에 소요되며 나머지 시간들은 제조시스템 내에서 발생하는 각종 장애로 인하여 허비되고 있다. 이는 제품의 생산성 향상을 추구하는 현대의 제조 산업 패러다임 변화에 큰 문제점으로 부각되고 있다. 제품 생산 시

발생하는 각종 장애들을 효율적으로 해결하기 위해 홀론형(Holonic, 자연과 환경의 종합체),<sup>1,2</sup> 생물형(Biological),<sup>3,4</sup> 재구성형(Reconfigurable)<sup>5,6</sup> 제조시스템과 같은 생물체에 자극을 받은 제조시스템이 문헌에서 제안되어 왔다. 이러한 제안된 시스템들은 제조시스템의 조직을 자율 객체의 집합으로 간주하며 이들 시스템들을 구현하기 위해 에이전트 기술, 군집 지능, 인공 지능 및 인지 기술들이 활용되었다.<sup>7-9</sup> 이들을 통해 제조시스템의 자율성과 자가 조직 기능을 확보할 수 있다.

제조시스템 내에서 발생하는 각종 장애들의 특

정은 미리 계획되지 않는다는 점에 있다. 각종 장애들은 발생 장애를 짧은 시간에 극복할 수 있는 장애와 긴 시간이 요구되는 장애로 분류되거나 시스템 내부에서 발생하는 장애 및 외부의 영향으로 인한 장애 등으로 분류할 수 있다. 제어시스템, 가공 장치, 자재 핸들링 장치 및 작업자 등을 통해 발생하는 장애들은 시스템 내부 발생 장애로 볼 수 있으며, 주문, 재고량 및 공급 등과 관련된 장애들은 외부 장애로 분류할 수 있다.

제조라인의 효율성을 나타내기 위해, 가공 장애는 라인 정지 시간, 장애 해결 속도, 가공품 품질 등으로 분류될 수 있다. 라인 정지 시간 손실은 셋업을 위한 기계 정지와 같은 계획된 부분과 파손, 수리, 자재 끼임 등과 같은 예측하지 못한 장애 발생에 따른 유지 보수 시간 등으로 나누어질 수 있다. 이러한 라인 정지 시간의 손실을 줄이는 것이 제조시스템의 효과적 운용 및 생산 효율성 향상에 가장 중요한 부분을 차지한다고 판단할 수 있다. 장애 대응 절차는 장애 발생 및 인지, 발생 장애의 분석, 장애 대응 방법 선정 및 평가의 순서로 이어진다. Shop floor 내의 많은 장애들의 모니터링, 계획된 일정의 변경 요구에 대한 주시, 장애의 사전 대응 또는 사후 대응에 대한 방법의 결정, 주요 가중치에 의한 대응 방법의 선정, 사용 정보들의 수집 및 선정, 선정된 장애 대응 방법에 대한 평가 등이 기존의 장애 대응 절차 주요 요소들이다.

본 논문에서는 작업의 모니터링 및 장애 대응을 위한 인지 에이전트 시스템의 프레임워크를 제안하고 발생하는 장애에 자율적으로 대응할 수 있도록 하는 기술들을 제안한다. 또한 자율적 장애 대응 시 바이오 기반 기술의 하나인 Ant Colony Algorithm 을 활용한 의사 결정 방법을 제안한다.

## 2. 자율대응 제조시스템을 위한 핵심 응용 기술

### 2.1 인지 에이전트

제조시스템에서 에이전트란 물리적 자원 요소 (기계, 로봇, 운송 장치 등) 및 논리 객체 (스케줄러, 주문 등) 등과 같은 개별의 자율적 요소라 할 수 있다. 각각의 에이전트들은 발생한 문제에 대한 기존의 정보가 없을 경우 상호간의 작용을 통해 주어진 목표에 도달할 수 있도록 구동된다. 여기서 자율성, 지능성, 적응성 및 협력 등이 에이전

트의 가장 중요한 특징 요소이다.<sup>10</sup> 에이전트 기술은 에이전트 소프트웨어의 개발 및 설정을 통해 시스템에 분산적으로 구축된다. 또한 에이전트들은 분산 제어 알고리즘을 활용하여 동일한 기능을 수행하며 이를 통해 자율적인 구동이 가능하게 된다. 개별 기계 에이전트 및 제품 에이전트들은 자원 할당 및 자율적 협상을 통해 제조 제어 의사 결정 과정을 수행한다. 이러한 접근 방식의 주요 이점은 어떠한 장애가 발생하더라도 일관적인 협상 과정을 통하여 최적의 해결책을 찾아낼 수 있으며, 서로 다른 기계 및 제품 간에 의사 결정이 가능하여 이후 더욱 강건한 시스템으로 변화할 수 있다는 것이다. 멀티 에이전트 시스템에서는, 각각의 에이전트들이 전체 시스템의 관점에서 서로 유기적으로 연동되며 문제 해결이 요구되는 경우 사전 정의된 목표에 따라 문제 해결에 접근한다. 이러한 에이전트의 기능을 통해 장애의 사전 대비, 동적으로 변하는 환경 내에서의 행동 학습, 자체 성능 개선 등을 이룰 수 있다. 학습 기능은 에이전트의 지능적인 특징으로부터 만들어질 수 있으며, 새로운 지식 및 기능들을 향후 더욱 최적화된 의사 결정을 위해 획득된다. 인지 제어는 다음의 일반적인 세 가지 행위로 구성된다.

- 환경 정보의 감지
- 기존 지식의 활용을 통한 추론
- 변경된 환경에 대한 원인 규명

인지 에이전트는 지각, 의사 결정, 지식, 제어, 통신 등의 5 개의 모듈로 구성되며 각각의 기능은 다음과 같다.

- 지각 모듈은 시스템 환경의 데이터 획득 역할을 담당한다. 시각적 데이터, 청각 데이터 및 진동 데이터 등과 같은 다양한 포맷의 데이터들은 표준 데이터 형식으로 변환되어야 한다.
- 의사 결정 모듈은 자율적인 방법으로 어떠한 상황에 대하여 의사결정을 내리는 역할을 담당한다.
- 제어 모듈은 시스템 환경으로 주어진 임무를 계획하고 수행하는 과정을 관리한다. 이와 동시에 다른 에이전트와 협력해야 할 상황이 발생할 경우 통신 모듈로 논의될 임무에 대한 정보를 전송한다.
- 통신 모듈은 각각의 에이전트들 간의 정보 상호 교류 역할을 담당한다. 주요 업무로 메시지 전송, 제어 모듈로부터 획득한 임무의 전송 등이 있다.
- 지식 관리 모듈은 계획, 의사, 지식 등의 관리를 담당한다.

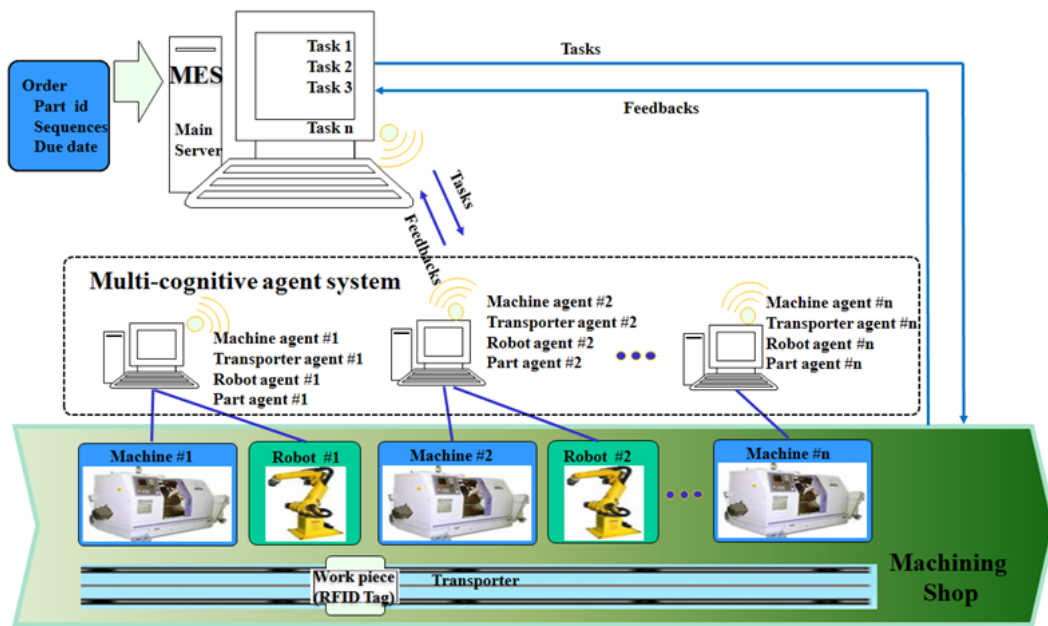


Fig. 1 Model of a machining shop based on agents

## 2.2 개미 군집 기술

개미가 먹이를 발견하여 집으로 가져올 때 길에 페로몬(Pheromone)을 깔아 놓아 페로몬의 농도에 의해 가장 짧은 길을 선택한다. 처음에는 임의의 길을 선택하지만 짧은 길은 자연적으로 왕래가 가장 빈번해지므로 페로몬의 농도가 증가한다. 이 원리를 자율적이고 협력적인 개체들의 집합체로 간주되는 제조 시스템으로 옮기면 제조 시스템은 국부적으로 기계의 능력과 제품에 대한 요구조건 사이를 부분적으로 일치시킴으로써 변화에 적응한다. 각각의 기계들은 특정한 장애형태를 극복하기 위한 페로몬 값(Pheromone Value)을 갖고 있으며, 가장 높은 페로몬 값을 가진 기계가 장애를 처리하기 위해 선택된다.

## 3. 개미 군집 기술을 이용한 제조 시스템

### 3.1 인지 에이전트 기반의 제조시스템

분산 제조시스템의 다양한 구조 및 특징들은 계층적인 구조로 구성되며 각 계층들은 서로 연관 관계를 가지며 만들어진다. 최상위 계층의 Inter-enterprise layer 는 기업들의 공통적이 목적을 성취하기 위한 연계 행위 및 상호 교류를 나타낸다. Enterprise layer 는 기업의 영업과 생산과 같은 실질적인 분산 협력을 나타낸다. Factory layer 에서는

shop floor 영역의 분산 배치를 통해 서로 협력하고 효율적인 제조 관리가 가능하도록 한다. Shop floor layer 는 유연 제조 시스템 내에서의 조립, 이송, 조직 등과 같은 다양한 셀들 간의 협력을 나타낸다. 마지막으로 Cell layer 에서는 사람과 장치 간의 상호 교류의 결과가 적용될 수 있도록 한다.

장애 대응을 위한 인지 에이전트 기반 가공 시스템의 아키텍처는 Fig. 1 과 같다. 멀티에이전트 시스템은 장애가 발생하였을 때 제조 공정이 지속적으로 가동될 수 있도록 하기 위해 개발되었다. 또한 각각의 에이전트들은 앞서 언급된 인지 에이전트 아키텍처를 기반으로 설계된다. 인지 에이전트의 적용을 위해 머시닝 샵의 자원들은 에이전트의 제어를 통해 각각의 장애에 대하여 대응한다. 또한 MES(Manufacturing Execution System)은 각종 센서들을 바탕으로 shop floor 와 정보를 교환하며 해당 컨트롤러를 대상으로 운영 정보를 전송한다. 에이전트들은 제품 에이전트, 이송 장치 에이전트, 기계 에이전트 및 로봇 에이전트 등을 포함하는 각종 기능 인지 에이전트로 구분된다.

에이전트들은 머시닝 샵 내의 각종 기능 및 역할을 기준으로 분류된다. 물리적 에이전트를 구동하는 소프트웨어 에이전트들은 PC 들 상에서 구동되며, 각각의 PC 는 물리적 장치를 그룹화 하고 관리하는 역할을 한다. PC 에는 에이전트의 응용을

위한 플랫폼이 설치된다. 에이전트들이 가지는 각종 정보들은 에이전트 관리 시스템(AMS : Agent Management System)을 통해 관리된다. 또한, 에이전트 간의 통신은 메시지 전송 시스템(MTS : Message Transport System)을 통해 관리되며, 이러한 AMS 및 MTS 는 플랫폼 소프트웨어에 의해 제공된다. 에이전트 간의 메시지 송수신은 PC-PC, 무선 통신을 통한 MES 및 해당 기계 에이전트 간에 이루어진다.

### 3.2 제조시스템 장애 수집 및 장애 대응 전략

제안된 시스템의 결과는 장애의 분석 단계의 결과에 따라 크게 영향을 받는다. 에이전트는 장애의 진단 결과를 true 또는 false 로 의사 결정을 하기 때문이다. 본 연구에서는 자동차 트랜스미션 가공 라인에서 발생한 약 700 여 건의 장애 목록을 분석하였으며, 이를 통해 기계의 일반적인 장애 발생 유형을 분류하였다. 이러한 자료를 바탕으로 발생 장애의 극복 시간에 따라 협상, 비협상 및 리스케줄링의 세 가지 그룹으로 분류 가능한 장애 분석 결과를 도출하였다. 비협상 계획 및 협상 계획은 장애의 유형에 따라 다르게 적용된다. 긴 극복 시간(30 분 이상, 1 시간 미만)을 가지는 장애들(냉각 펌프 파손, 고정벨트 절손, 캠베어링 파손, 서보모터 고장 등)은 비협상 과정을 따르며 고장 극복을 위한 스케줄 재조정이 요구된다. 반면 짧은 극복 시간(30 분 미만)을 가지는 장애들 (Tool 검지 에러, 유압 펌프 소음, 그리퍼 일시 정지, 유압 오일 누수, Tool magazine 정지 등)은 협상 과정 계획을 따른다. 비협상 계획은 룰 기반 시스템을 기반으로 수행되며, 비협상 계획은 에이전트의 통신 및 의사 결정 과정을 거치며 수행된다. 자율 멀티 에이전트로 구성된 시스템은 에이전트 간의 상호 정보 교환을 통해 유기적인 협상 과정을 거친다. 특히 에이전트들은 자율적이지만 독립적이지 않기 때문에 일정한 방식을 통해 협상과정을 수행하여야 한다.

인지에이전트 기반 제조시스템의 장애 대응 전략은 다음의 6 단계와 같다.

- 1 단계 : MES 를 통한 shop floor 관리

최초, 작업 관리 모듈이 MES 및 인지 에이전트로 작업 명령을 전송하며, 이어 인지 에이전트는 목표를 확인하고 요구 사항에 맞추어 정보를 변환한다. 머시닝 샵의 상태는 모니터링 모듈에 의해 실시간으로 업데이트 되며, 이와 동시에 에

이전트와 관련된 정보들을 선별한다.

- 2 단계 : 모니터링 및 진단

각종 장애 정보들은 특징 추출 유니트를 통해 장애 빈도를 선별한다. 장애 발생의 빈도에 따라 낮은 빈도의 장애일 경우 퍼지 로직, 높은 빈도의 장애일 경우 신경망 네트워크가 사용된다. 이후 머시닝 샵의 상태 진단 결과 (장애 또는 정상 상태)가 보고된다. 이후 공정 계획 모듈은 설정된 목표치와 진단 결과를 비교한다. 만약 데이터가 설정된 값에 도달하였다면 기계의 정상상태 메시지가 MES 에 보내지며 shop floor 는 지속 가동된다.

- 3 단계 : 비협상 계획

장애가 발생한 경우 의사 결정 모듈은 필요와 목적 및 획득된 데이터를 기반으로 새로운 계획을 산출한다.

- 4 단계 : 협상 계획

장애가 발생하여 기계가 정지되었다면 기계의 수리 시간 동안 해당 가공 일정은 다른 기계에 의해 수행된다. 이때 인지 에이전트는 다른 에이전트와 상호 협력하며, 모든 기계 에이전트에게 작업 전송 요청 메시지를 보내게 된다. 가장 좋은 해결책은 가능한 많은 기계 에이전트에 요청을 하고 요구사항에 적합한 기계 에이전트를 찾아 평가를 하는 것이며, 생산시스템의 가동성을 유지하기 위해 장애가 발생할 경우 일반적으로 다른 기계가 해당 작업을 인계하게 된다. 선택된 에이전트는 제품 에이전트와 이송 장치 에이전트에 기계 장애 발생에 따른 작업임을 알리는 메시지를 전달한다.

- 5 단계 : 단기간 극복 가능한 장애를 위한 해결책

장애 복구에 있어 긴 복구 시간이 필요하거나 에이전트들 간의 협상이 필요한 경우라면 MES 에 새로운 일정 계획 수립을 위한 요청을 하게 된다.

- 6 단계 : 기계의 장애가 복구되었을 때 기계는 기존의 일정 계획에 따라 재가동 된다.

### 3.3 개미 군집 알고리즘 기반의 협상 의사 결정 메카니즘

개미군집 알고리즘을 <sup>11</sup> 바탕으로 한 페로몬 수치의 계산은 식 (1)을 통해 수행되며 가공 시간, 가공 비용 및 가공 능력 등이 고려되어 설계되었다.

$$P_{MA_i} = \frac{q}{\alpha_t \times \frac{M_t}{M_{to}} + \alpha_c \times \frac{M_c}{M_{co}}} \quad (1)$$

$q$  는 고장난 기계에서 요청된 기계  $MA_i$  의 작업 수행 능력을 나타낸다.  $q$  는 치수, 공차, 표면 거칠기 및 미세 구조 변형 등과 같은 가공품의 기능적 요구 정보를 포함한다. 만약 업무  $t$  가 기계  $MA_i$  에서 수행 가능하다면  $q=1$  이고, 그렇지 않다면  $q=0$  이 된다.  $M_t$  및  $M_c$  는 업무  $t$  에 대한 기계  $MA_i$  에서의 가공 시간, 가공 비용 및 가공 품질을 나타낸다.  $M_{t0}$  및  $M_{c0}$  는 최초의 작업  $t$  에 대한 최소 가공 시간 및 가공 비용을 나타낸다. 가장 높은 페로몬 값은 최소 가공 시간( $M_t$ ) 및 가공 비용( $M_c$ )일 경우 도출된다. 업무  $t$  는 다양한 절삭 파라미터들로 인해 다른 기계 상에서 각각 다른 가공 시간을 가지며 파라미터들은 절삭 조건, 가공 능력 및 톨 타입에 의하여 결정된다. 기계  $MA_i$  의 업무  $t$  에 대한 가공 시간은 식 (2)에 의해 계산된다. 절삭률(MRR: Metal Removal Rate) 값은 절삭 파라미터 및 공정 타입에 의해 결정되며 터닝 공정일 경우 식 (3)에 의해 결정된다.

$$M_t = \frac{Q}{MRR} \times (1 + \frac{T_s}{T_t}) \quad (2)$$

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

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

$$M_c = \frac{k \times M_t}{60} \quad (4)$$

$\alpha_t$  및  $\alpha_c$  는 가공 시간 및 비용에 대한 가중치를 나타낸다. 이 두 요소는 시장의 다른 상황에 대해 서로 의존성을 지니는 속성을 가진다. 예를 들어 경기 호황의 상황일 경우 가공 시간의 가중치가 증가하며 불황의 상황일 경우 가공 비용의 중요성이 증가하게 된다.

#### 4. 구현

인지 에이전트들은 .NET 플랫폼과 C#을 이용하여 개발하였다. 에이전트는 XML (Extensible Markup Language) 메시지를 통해 MES 및 다른 에이전트들과 상호작용한다. 에이전트와 PLC (Programmable Logic Controller)를 이용하여 교신하

기 위해 KEPServerExTM 소프트웨어의 OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) 프로토콜이 사용된다. 프로세싱 정보를 포함한 데이터베이스, 네트워크에서 교신하기 위한 에이전트의 어드레스, 기계 에이전트의 업무들에 대한 페로몬 값, 장애 DB 는 SQL ServerTM 2005 를 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.

#### 4.1 인지 에이전트 기반의 제조시스템 테스트 베드

제조시스템의 발생 장애에 자율적으로 대응하기 위한 테스트 베드를 Fig.2 와 같이 구현하였다.

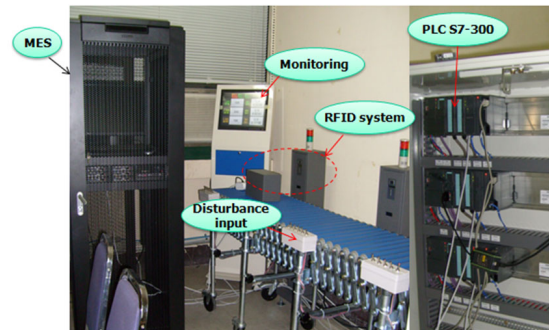


Fig. 2 Implementation of H/W for cognitive agent based manufacturing system

테스트 베드의 구성 요소는 MES, PLC S7-300 × 3, PC × 3, RFID 태그, RFID 리더, 모니터링 장치, 장애 입력 장치 × 3, 이송 장치 등이다. MES 는 생산 단위, 일정 및 계획을 전송하는 역할을 수행하며 공정 관리, 성능 분석, 유지보수 관리, 자원 할당 및 품질 관리가 이에 해당된다. RFID 태그는 물리적 제품에 부착되고 객체의 식별을 위한 정보가 태그에 저장된다. RFID 리더는 RFID 태그와 직접적으로 상호작용하는 하드웨어 장치이다. 상위 레벨에서의 활용을 위해서는 RFID 리더의 프로토콜이 명확하게 정의되어야 한다. RFID 미들웨어는 하나의 서버 상에서 구동되거나 다른 기계들에 배포될 수 있는 소프트웨어이다.

MES 의 주요 역할 중 하나는 일정 계획 및 공정 계획의 정보를 리소스 컨트롤러에 전송하는 것

이다. 평소 정상 상태의 시스템은 녹색 등으로 표시되며, 가공품 데이터는 RFID 시스템에 의해 수집된다. 또한 PLC 는 시스템의 공정 운영을 구동한다. 가공품-PC, PC-PC 간의 무선 통신 시스템은 많은 이점을 가지며, 특히 실제 제조 환경 내에서 공간 활용성 및 구성 요소들의 이동성을 보장한다. 무선 통신 시스템에서 통신 장치를 재배치하는 일은 간단한 일이 되며, 추가 비용이 들지 않고 짧은 설비 정지 시간을 통해 효율적인 라인 관리가 가능하게 한다. 또한 어려움 없이 시스템 통신 장치를 추가하거나 제거할 수 있다.

테스트 베드 상에서 장애가 발생하면 알람이 울리고 붉은 등이 켜진다. 이후 자원 에이전트가 자신의 능력을 기반으로 발생한 장애를 극복하기 위한 절차를 진행한다.

**4.2 비협상 계획**

만약 장애가 기계 1 에서 발생하였을 경우 장애 발생 신호는 PLC 1 에 입력되고, 이후 알람과 붉은 등을 통해 장애가 발생되었다는 것이 알려진다. 이와 동시에 장애 정보는 모니터링 장치에 표시된다. 기계 에이전트 1 는 공정 계획 라이브러리 내에서 가장 적합한 계획을 찾기 위해 자료 검색 기능을 구동시킨다. 만약 새로운 공정 계획이 발견될 경우 PLC 2 로 정보를 전송하고 장애 극복 후 녹색 등이 켜진다(Fig. 3).

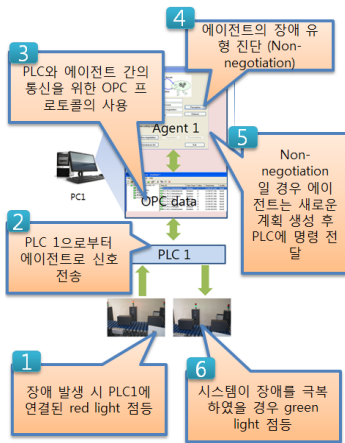


Fig. 3 Non-negotiable plan

**4.3 협상 계획**

기계 에이전트 1 은 해당 기능 및 동작을 유지하는데 필요한 요청사항을 다른 기계 에이전트로

전송한다. 각각의 기계 에이전트들은 기계 에이전트 1 의 요청 사항에 대한 회신을 위하여 적합한 해결책을 검색한다. 기계 2 가 선택될 경우 기계 에이전트 1 은 가공품에 대한 정보를 가공품 에이전트 2 에 요청한다. 이후 이송 장치 에이전트 1 은 기계 1 의 가공품을 전송시킨다. 시스템이 정상 상태로 회복되면 녹색 등이 켜진다(Fig. 4). 협상 과정에서 각각의 에이전트들은 메시지 통신 기반 상호 통신을 수행한다.

함수(Send, Receive)는 이러한 상호 작용을 위한 기능을 담당한다. 에이전트의 의사 결정을 위해 추론 메커니즘 함수(Search, Evaluate)가 요구된다. 또한 물리적 장치(PLC, PC)와 함수(Load and Translate Signals, Execute Command)는 상호 작용한다. 모든 에이전트는 무선 통신 인터페이스 기능을 가진다. 이러한 협상 과정은 기계 에이전트들 간의 현재 상태에 대한 페로몬 수치 평가, 공정의 선행 관계 등의 평가에 기반을 둔다.

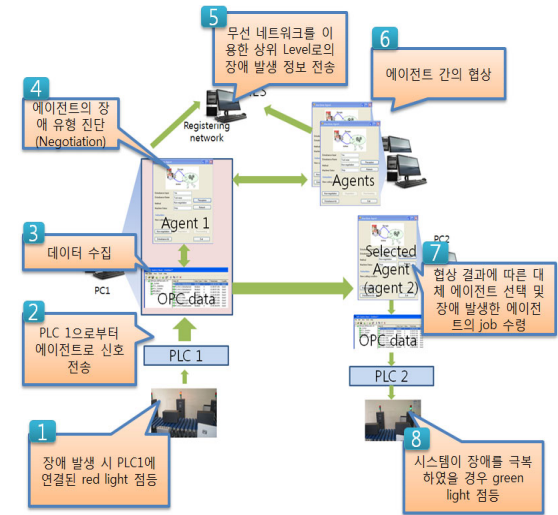


Fig. 4 Negotiable plan

**4.4 결과 검토**

개발된 시스템은 추가 작업에 의한 Cycle Time 은 길어지지만 가공 작업의 중단 없이 지속 생산이 가능하게 된다. 다시 말해 장애가 발생한 공정을 위탁 받은 기계에서 계획된 작업과 더불어 위탁 작업을 수행함으로써 Cycle Time 이 계획된 것보다 길어진다. 장애 제거 후에는 계획 Cycle Time 으로 정상적으로 가공작업을 진행한다. 즉 기계의 Cycle Time 은 길어지지만 가공 수행의 정지를 최

소화 함으로써 전체적인 생산성 향상을 이끌어낼 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 인지 에이전트의 정의 및 인지 에이전트를 구성하는 모듈, 인간의 의사 결정 모델을 바탕으로 한 에이전트의 특징 부여와 같은 자율 적응 제조시스템에 적용 가능한 인지 에이전트 모델을 정의하였다. 또한 개미군집 기술의 페로몬 값 산정 및 제조 의사 결정으로의 반영을 통해 시스템의 강건성을 증가시키고 유연한 의사 결정 능력을 확보하도록 하였다. 이를 통해 유연 자동 시스템 운영에서의 가장 큰 도전과제인 내·외적으로 발생하는 예견치 못한 장애들을 신속하게 극복할 수 있음을 확인할 수 있다. 즉 오늘날 같이 다양한 제품 및 복잡한 제조 환경에서의 제조 시스템 운영 가동률 향상 및 운전 비용의 저감을 이끌어 낼 수 있다. 향후 제조시스템의 자기 대응 범위의 확장 및 제조 자원의 중요도에 따른 장치 구성 등이 고려되어 자기 조정 메커니즘에 더욱 초점을 둔다면 제조 제어 시스템의 강건성 및 안정성이 더욱 확보될 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 ‘자율적응 생산시스템 통합운용기술 개발’ 사업의 지원으로 수행되었음(과제 번호: 10033468).

## 참고문헌

1. Valckenaers, P. and Van Brussel, H., “Holonc Manufacturing Execution Systems,” *Annals of the CIRP*, Vol. 54, No. 1, pp. 427-432, 2005.
2. Westkämpfer, E., “Manufacturing on Demand in Production Networks,” *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No. 1, pp. 329-334, 1997.
3. Ueda, K., Kito T. and Fujii N., “Modeling Biological Manufacturing System with Bounded-Rational Agents,” *Annals of the CIRP*, Vol. 55, No. 1, pp. 469-472, 2006.
4. Zaeh, M. F., Beetz, M., Shea, K., Reinhart, G., Bender, K., Lau, C., Ostgathe, M., Vogl, W., Wiesbeck, M., Engelhard, M., Ertelt, C., Ruehr, T., Friedrich, M. and

- Herle, S., “The Cognitive Factory, In: ElMaraghy, H. A. (Eds.) *Changeable and reconfigurable manufacturing systems*,” Springer, pp. 355-371, 2009.
5. Park, H.-S. and Choi, H.-W., “Development of a Modular Structure-based Changeable Manufacturing System with High Adaptability,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 9, No. 3, pp. 7-12, 2008.
6. Wiendahl, H.-P., ElMaraghy, H. A., Nyhuis, P., Zaeh, M. F., Wiendahl, H.-H., Duffie, N. and Brieke, M., “Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation,” *Annals of the CIRP*, Vol. 56, No. 2, pp. 783-809, 2007.
7. Cus, F. and Zuperl, U., “Particle swarm intelligence based optimisation of high speed end-milling,” *Computational Materials Science and Surface Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp. 148-154, 2009.
8. Leitao, P., “A bio-inspired solution for manufacturing control systems,” *IFIP International Federation for Information Processing*, Vol. 266, pp. 303-314, 2008.
9. Zhao, X. and Son, Y., “BDI-based human decision-making model in automated manufacturing systems,” *International Journal of Modeling and Simulation*, Vol. 28, No. 3, pp. 347-356, 2008.
10. Monostori, L., Váncza, J. and Kumara, S. R. T., “Agent-Based System for Manufacturing,” *Annals of the CIRP*, Vol. 55, No. 2, pp. 697-720, 2006.
11. Xiang, W. and Lee, H.-P., “Ant Colony Intelligence in Multi-agent Dynamic Manufacturing Scheduling,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 21, No. 1, pp. 73-85, 2008.