

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.227>

JIIBC 2020-2-30

## 제조설비 자율제어를 위한 상태 정의 및 진단 알고리즘에 대한 연구

### A Study on Status Definition and Diagnostic Algorithm for Autonomic Control of Manufacturing Facilities

고동범\*, 박정민\*\*

Dongbeom Ko\*, Jeongmin Park\*\*

**요약** 본 논문은 제조설비 자율제어를 위한 상태 정의 및 진단 알고리즘을 소개한다. 사이버-물리 시스템 및 디지털 트윈기술을 통한 스마트 공장 시스템은 기존 제조 공장의 생산성 및 안정성을 높일 수 있어 최근 이슈가 되고 있다. 스마트 공장 시스템이 생산성을 향상시키고 작업자로 하여금 더 나은 의사결정을 할 수 있도록 하며 정상적이지 않은 공정 흐름을 제어하기 위한 자율제어 시스템은 스마트 공장 시스템을 구성하는 중요한 기술 중 하나가 된다. 그러나 통합된 수많은 설비 데이터를 기반으로 자율제어 프로세스를 수행하는 것은 상당한 사전 작업이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 제조설비 자율제어를 위한 추상화된 설비 상태를 정의하고 현재 상태를 진단할 수 있는 알고리즘을 제시한다. 이를 통해 통합된 설비 데이터가 아닌 설비 상태를 기반으로 자율제어를 실시하며 더 간단하게 자율제어 프로세스를 진행할 수 있도록 한다.

**Abstract** This paper introduces the state definition and diagnostic algorithm for autonomic control of manufacturing facilities. Smart factory systems through cyber-physical systems and digital twin technology are increasing the productivity and stability of existing manufacturing plants, which has become an issue recently. A Smart factory system is one of the key technologies that make up a smart factory system, to improve productivity, enable workers to make better decisions, and to control abnormal process flows. However, performing an autonomic control process based on large number of integrated plant data requires significant advance work. Therefore, in this paper, we define an abstracted facility state for manufacturing facility autonomic control and propose an algorithm to diagnose the current state. This makes the autonomic control process simpler by autonomic control based on the facility status rather than integrated facility data.

**Key Words** : Smart Factory, Autonomic Computing, Machine Status, Cyber-Physical Systems

\*준회원, 한국산업기술대학교 스마트팩토리융합학과  
\*\*정회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과(교신저자)  
접수일자 2020년 1월 15일, 수정완료 2020년 3월 13일  
게재확정일자 2020년 4월 3일

Received: 15 January, 2020 / Revised: 13 March, 2020 /

Accepted: 3 April, 2020

\*Corresponding Author: jmpark@kpu.ac.kr

Dept. of Computer Engineering, Korea Polytechnic University,  
korea

## I. 서 론

최근 제 4차 산업 혁명으로<sup>[1]</sup> 인해 빅데이터, 인공지능, IOT 기술 등을 활용한 지능형 공장 시스템의 개발은 현대 제조업에 있어 중요한 도전과제가 되고 있다. 이를 위해, 크고 작은 제조기업 들은 기존의 제조 시스템 기능을 확장하고 생산에 있어 더 적은 시간과 비용을 소모할 수 있는 지능형 시스템 개발이 필요하다. 최근 실제 공장 환경과 가상의 시스템을 밀접하게 동기화 시킬 수 있는 사이버-물리 시스템(Cyber-Physical Systems) 및 디지털 트윈(Digital Twin)은 공장 생산성을 향상시키고 현재의 상태를 인식하여 더 나은 결정을 내릴 수 있게 도와 줄 수 있어 공장을 효율적으로 운영할 수 있는 새로운 세대의 지능형 시스템을 구축할 수 있는 기반 기술이 된다<sup>[2]</sup>. 또한 오류가 발생했을 때 자율적으로 오류를 해결할 수 있는 자율제어 시스템 또한 중요한 요소가 된다.

가상의 모델을 통해 실제 존재하는 객체의 속성을 표현할 수 있는 디지털 트윈은 서로 다른 사이버-물리 시스템 간의 통합을 가능하게 하는 기술이며 이를 사용해 스마트 제조를 달성 할 수 있다.

그러나 여러 복잡한 시스템이 통합된 환경에서 단일 요소의 상태 정보를 확인하기 위해서 데이터 통합이 필수적이며<sup>[3]</sup> 통합된 수많은 데이터를 기반으로 공장 자율제어를 실시하는 것은 상당히 어렵다.

따라서 본 논문에서는 설비 자율제어를 위한 추상화된 상태를 정의하고 정의된 상태 기반으로 1)공정 분석, 2) 공정별 이동 경로 추출, 3)통합 공정 맵 구현을 통해 공장을 모니터링 할 수 있는 비트맵 기반의 통합 공정 맵을 제안한다. 또한 정의된 상태 및 공정 맵을 기반으로 실시간 설비의 상태를 모니터링 할 수 있는 알고리즘을 소개하고, 여러 공장 시나리오에 따라 알고리즘을 검증한다.

## II. 관련연구

### 1. MES(Manufacturing Execution System)

생산관리 시스템(MES)은 제조 사이클 전반에 걸쳐 수집된 데이터를 토대로 현장 작업자에게 비용절감, 품질 관리 등의 조언을 할 수 있도록 하는 소프트웨어를 말한다<sup>[4]</sup>. 생산관리 시스템은 주로 수집한 공장 데이터를 토대로 모니터링 및 리포팅 기능을 제공하여 더 나은 공장 관리를 할 수 있도록 한다. 생산관리 시스템은 직접적으로 생산라인에 개입하여 상품을 제조하지는 않지만, 수집

한 정보의 통합 및 분석을 통해 관리자로 하여금 문제에 대한 직관적이고 빠른 대처를 가능하게 한다. 최근 제 4차 산업 혁명으로 인해 제조업 분야에서 혁신이 요구됨에 따라 생산관리 시스템의 발전 역시 조명되고 있다.

### 2. 디지털 트윈(Digital Twin)

디지털 트윈이라는 개념은 NASA에 의해 '실제 비행체를 시뮬레이션하기 위한 고성능의 물리적 모델, 센서 등을 사용하는 통합된 시스템에 다중 물리학과 스케일을 적용시켜 동작하는 확률적인 시뮬레이션'으로써 언급되었다. 디지털 트윈의 주요 범위는 확률론, 과거의 센서 데이터를 고려하여 다양한 측면과 타겟 시스템을 반영한 하위모델이다. 이러한 개념을 기반으로 항공기가 아닌 다른 분야에서 디지털 트윈 개념을 사용할 수 있는 연구가 이루어졌으며 Industry 4.0과 같은 첨단 제조 환경에서 디지털 트윈의 역할에 대한 토론이 진행 중이다. 제조 분야에서의 디지털 트윈은 스마트 팩토리를 실현하는 데 가장 유망한 기술 중 하나이며 제품의 생산주기 동안 실제 시스템과 통합된 제조 공장에서의 디지털화로 완성되는 가상 공장(Virtual Factory)으로 대표될 수 있다<sup>[5-8]</sup>. 종합적으로 디지털 트윈은 실제 모델을 기반으로 가상 모델을 구성하고 구성된 가상 모델의 분석을 통해 오류를 탐지하는 프로세스로 이루어진다.

### 3. 자율제어 시스템

자율제어 시스템은 시스템이 정상적인 시나리오를 수행하지 못할 때, 오류 원인을 추론하고 추론한 원인을 토대로 수립한 전략을 실행함으로써 시스템의 오류 상태를 해결할 수 있는 시스템을 말한다. 자율제어 시스템은 1) 모니터링, 2)오류 분석, 3)전략 계획, 4)전략 실행의 4가지 단계를 수행한다. 최근 제 4차 산업 혁명으로 인해 제조 공장에 지능형 시스템을 도입하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한 지능형 생산 시스템의 생산성 및 효율을 증가시킬 수 있는 자율제어 시스템 또한 중요한 이슈가 되고 있다<sup>[9,10]</sup>. 그러나 규모가 큰 공장을 자율제어 하기 위해 지식 베이스를 구축하고 해결 전략을 세우는 과정은 자율제어 시스템 개발자가 공장 내부의 상황을 자세하게 알아야 할 뿐 아니라 부하가 매우 높은 과정이다. 따라서 우리의 이전 연구는 자율제어 시스템을 쉽게 모델링 할 수 있는 목표 모델과 오류 트리를 모델링함으로써 시스템의 목표를 추상화시켜 지식베이스를 좀 더 쉽게 구축할 수 있는 자율제어 시스템을 제안하였다

[11,12]. 하나의 자율제어 시스템이 전체 공장을 관리할 수 있지만, 공장 내 제조설비마다 자율제어 시스템이 존재해 각 설비를 모니터링 할 수 있다. 본 논문에서는 제조설비 내에 자율제어 시스템이 존재했을 때 제조설비를 쉽게 감시하기 위한 상태를 정의하고 각 상태를 진단하는 알고리즘을 소개한다.

### III. 설비 상태 및 통합 공정 맵 정의

본 장에서는 상태기반으로 제조설비를 감시하기 위한 상태를 정의하고, 정의된 상태 기반의 공장 감시를 위한 공정 맵을 구축한다.

#### 1. 제조설비 상태 정의

제조 공정은 여러 설비들의 협업으로 이루어지기 때문에, 하나의 설비의 고장 및 오류는 전체 공정에 영향을 미친다. 그러나 전체 공정 오류에서 어떠한 설비가 원인이 되는지 추론하는 과정은 공장 규모에 클수록 어려워진다. 따라서 본 논문에서는 공장 전체의 모니터링과 자율제어를 위해 제조설비 각각의 공통된 상태를 정의함으로써 문제를 해결한다. 공통된 상태 기반으로 공장을 모니터링 한다면 설비 오류 상황이 발생했을 때 발단이 되는 장비를 쉽게 추론할 수 있다.

본 장에서는 설비 하나의 상태를 1)Ready(대기), 2)Working(작업 중), 3)Finish(작업완료), 4)Failure(오류발생)의 4가지 상태로 정의한다. 그림1은 이러한 4가지 상태를 보여준다.

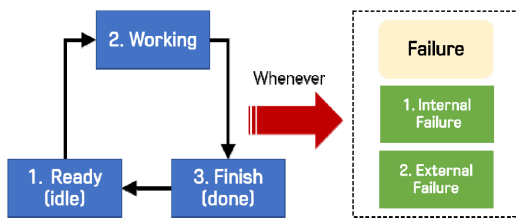


그림 1. 설비의 4가지 상태  
 Fig. 1. Four status of manufacturing facility

#### • Ready

설비가 대기 중임을 나타내는 상태다. 이 상태에서는 설비가 공정을 시작하기 위한 부품 및 재료의 입력을 기다린다. 만약 재료 및 부품이 설비로 입력이 완료되었을

경우 설비 상태는 Working 상태로 변화하게 된다.

#### • Working

설비가 공정을 진행하는 과정을 나타낸다. 공정이 완료되면 Finish 상태로 변화하게 된다.

#### • Finish

설비가 공정을 완료할 때 Finish 상태가 된다. Finish 상태에서는 자신 또는 협업을 위한 설비의 이상 상태를 점검하고 작업 완료된 부품을 다음 공정을 위한 설비로 이동시킨다. 이동이 완료되면 설비 상태는 다시 Ready 상태로 돌아간다. 그림 X는 Ready, Working, Finish 상태의 단계적 프로세스를 나타낸다.

#### • Failure

설비에 오류 또는 이상 발생시 Failure 상태가 된다. Failure 상태는 앞서 설명한 Ready, Working, Finish 상태 중 어느 상태에서도 발생할 수 있다. 제조공장에서 설비에 오류가 생기는 경우는 크게 2가지 경우로 볼 수 있다. 1) 설비 자신에 오류가 발생했을 경우, 2) 설비에 부품을 전달해주거나 설비가 공정을 마치고 전달해주어야 할 설비, 즉 자신과 공정상 인접한 설비에 오류가 발생했을 경우.

본 논문에서는 1)의 상태를 Internal Failure, 2)의 상태를 External Failure라고 정의한다. 상태를 2가지로 구분함으로써 좀 더 유연한 공장 운영을 할 수 있다. 예를 들어, 하나의 설비 고장(Internal Failure)으로 인해 전체 공정이 정지했을 경우 오류가 발생한 설비로 인해 작업을 진행하지 못하는 설비(External Failure)를 대기 상태로 전환하여 전력을 감소시키거나, 가능한 다른 작업을 우선 진행함으로써 생산선 효율 증가를 도모할 수 있다.

설비의 자체 진단을 통해 Failure 상태로 전이시키기 위해 본 논문에서는 설비 내부에 자율제어 모듈이 존재하여 자체 모니터링 및 진단이 가능하다고 가정한다. 자율제어 모듈에서는 1)모니터링, 2)분석, 3)계획, 4)실행의 4단계 프로세스를 따르며 오류가 생겼을 때 자가치유가 불가능하다면 Internal Failure 상태로 전이된다. 또한 주위 설비에 오류가 생겼을 시 External Failure 상태로 전환시킨다. 그림 2는 이러한 자율제어 모듈과 설비 상태가 연계된 진단 과정을 보여준다.

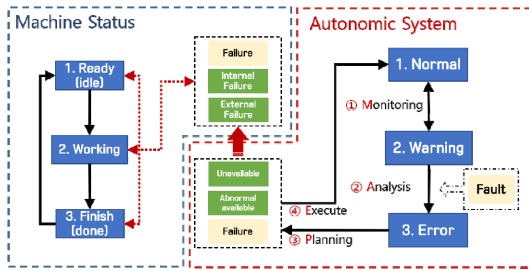


그림 2. 자율제어 시스템과 설비 상태의 연계  
Fig. 2. Connection of autonomic control system and facility status

2. 통합 공정 맵 구축

본 논문에서는 공장의 전체 공정 감시를 위해 공정 시나리오 기반의 통합 공정 맵을 구축한다. 통합 공정 맵은 2차원 비트맵 기반으로 공장 내부의 개별 설비의 상태를 파악할 수 있다. 본 항에서는 모터 공장을 기반으로 1)공정 분석, 2)공정별 이동 경로 추출, 3)통합 공정 Map 구현의 3단계 프로세스를 통해 통합 공정 맵을 구축한다.

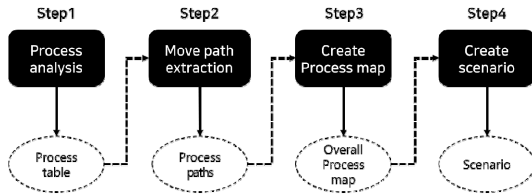
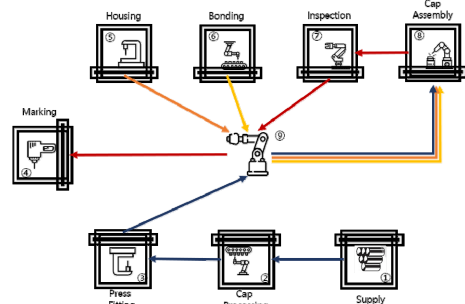


그림 3. 부품·공정별 시나리오 정의 및 공정 맵 조직  
Fig. 3. Scenario definition and process map organization by parts and process

• 1단계: 공정 분석

먼저 공정·부품 별 시나리오 분석을 실시한다. 모터 공장에서는 9개의 설비(셀)가 있으며 3개의 부품을 조립하여 완제품이 완성된다. 모터공장을 공정·부품별로 경로를 분석했을 때 총 6가지의 경로가 분석되었다. 부품의 경로와 각 셀의 위치는 그림 4와 같다. 인접하지 않은 셀로 부품을 옮겨야 할 경우 중간에 위치한 로봇 팔이 셀과 셀 사이에 부품 운반을 지원한다.



- 부품1 (모터 캡) ①→②, ②→③, ③→⑨, ⑨→⑧
- 부품2 (모터 케이스) ⑤→⑨, ⑨→⑧
- 부품3 (모터 코일) ⑥→⑨, ⑨→⑧
- 부품 조립 ⑧→⑦
- 완제품 검사 ⑦→⑨, ⑨→④
- 부품 마킹 ④→AGV

그림 4. 모터공장의 설비 위치 및 부품·공정별 이동경로  
Fig. 4. Facility location and movement route by part process

• 2단계: 공정별 이동 경로 추출

1단계에서 정의된 6가지 경로를 통해 개별적인 공정 맵을 추출한다. 공정 맵은 N\*N형태의 정방 2차원 행렬로 표현된다. 이러한 정방행렬에 1단계에서 도출한 경로를 비트맵 형식으로 표기한다. 예를 들어 부품 1 경로의 ① → ②번 셀로의 이동은 정방 행렬의 1행 2열에 '1'을 표기한다. 그림5는 부품 1, 2의 부품 경로를 비트맵 형식으로 표현한 것이다.

부품1(모터 캡) ①→②, ②→③, ③→⑨, ⑨→⑧									부품2(모터 케이스) ⑤→⑨, ⑨→⑧								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								1								
2		1							2								
3							1		3								
4									4								
5									5								1
6									6								
7									7								
8									8								
9							1		9								1

그림 5. 부품1,2의 경로에 대한 공정 Map  
Fig. 5. Process map for parts of 1 and 2

그림6은 위의 정방행렬을 구하는 과정을 알고리즘화 시킨 것이다. 입력값인 I는 이동에 관한 출발 및 목적지 셀 번호가 저장된 2차원 행렬이 된다.

**Algorithm 1** Convert to Bitmap

**Input:**  
 $I[N][2]$  : Input Matrix ▷ N is number of paths  
 1:  $O[M][M]$  ▷ M is number of machines  
 2: for  $i=0$  to  $N-1$  do  
 3:  $O[I[i][0]][I[i][1]] = 1$   
 4: return  $O$

그림 6. 설비 공정 Map 생성 알고리즘  
 Fig. 6. Algorithm of creating process map

• 3단계: 통합 공정 Map 구현

3단계에서는 통합 공정 맵을 구현하고 모니터링을 위한 상태 검사 알고리즘을 통해 전체 공정 모니터링을 실시한다. 2단계서 구한 공정·부품별 정방행렬들을 하나로 통합하는 과정을 수행한다. 통합 과정에서 중복되는 이동 경로 또한 '1'로 표기한다. 그림7은 모터공장의 6가지 공정 맵을 하나로 통합한 통합 공정 맵을 나타내며 이를 구현하기 위한 알고리즘은 그림8과 같다. 이러한 통합 공정 맵을 통해 제품 생산을 위해 부품이 셀에서 셀로 이동하는 전체 과정을 한 눈에 볼 수 있다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		1							
2			1						
3									1
4									1
5									1
6									1
7									1
8							1		
9			1						1

그림 7. 통합된 공정 Map  
 Fig. 7. Integrated process map.

**Algorithm 2** Bitmap Integration

**Input:**  
 $I[N][M][M]$  : Input Matrix ▷ N : number of Bitmap  
 1:  $O[M][M]$  ▷ M : number of machines  
 2: for  $i=0$  to  $N-1$  do  
 3: for  $j=0$  to  $M-1$  do  
 4: for  $k=0$  to  $M-1$  do  
 5: if  $O[j][k] == 1$  then  
 6: continue  
 7: else if  $I[i][j][k] == 1$  then  
 8:  $O[j][k] ← 1$   
 9: return  $O$

그림 8. 공정 Map 통합 알고리즘  
 Fig. 8. Process map integration algorithm

## IV. 제조설비 상태 진단 알고리즘

본 장에서는 정의된 상태 및 공정 맵을 기반으로 실시간 설비의 상태를 모니터링 할 수 있는 알고리즘을 소개하고, 시나리오를 통해 전체 설비의 상태 변화를 제시한 알고리즘을 통해 설명한다.

### 1. 설비 상태 표현을 위한 단계 정의

이전 장에서 구현된 통합 공정 맵은 전체 공장에서 부품·공정별 설비들의 관계만을 나타내기 때문에 설비 하나의 상태를 모니터링하기에 적합하지 않다. 따라서 통합 공정 맵의 대각 성분에 해당 설비 자신의 상태를 나타내며 이를 'Status Level'로 정의한다. Status Level은 정상상태(Normal), 설비 내부오류(Internal Failure), 인접 설비 오류(External Failure)의 3가지로 표현된다. 각각의 Status Level은 1(Normal), 0(External Failure), -1(Internal Failure)로 표현된다. 표1은 정의된 Status Level을 보여준다.

표 1. 설비의 상태 정보  
 Table 1. Status Level for Manufacturing Facilities

Status Levels	Description
1	Normal
0	External Failure
-1	Internal Failure

통합 공정 맵의 대각 성분에 표1의 Status Level을 적용한 결과는 그림 9와 같다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1							
2		1	1						
3			1						1
4				1					
5					1				1
6						1			1
7							1		1
8								1	1
9			1					1	1

그림 9. 설비 상태가 추가된 통합 공정 Map  
 Fig. 9. Integrated process map with machine status added

본 연구에서는 자신의 현재 상태를 'Success Level'이라고 정의하며 Success Level은 자신의 Status Level과 협업 설비의 Status Level중 가장 작은 값을 취한다. 만약 협업 설비가 내부 오류(Internal Failure)로써 Status Level이 -1일 경우 자신의 Success Level은 0이 된다. 설비 번호가 N이며 Internal Failure가 발생하지 않았을 때, 협업 설비의 정보를 통해 N번 설비의 Success Level인  $S_N$ 을 구하는 식은 다음과 같다.

$$S_N = \max(0, \min(\text{coStatusLevel}(N), \text{myStatusLevel}(N))) \quad (1)$$

현재 N번 설비가 정상 상태일 때 주위 설비의 상태를 통해 자신의 상태를 업데이트하는 알고리즘은 그림 10과 같다.

```

Algorithm 3 Getting Collaboration Machine State Level:
Input:
  N                                     ▷ N : Machine number
  1: map[M][M]                         ▷ M : number of machines, map : Integrated Bitmap
  2: for i = 0 to M - 1 do
  3:   if map[N][i] == -1 or map[N][i] == 0 then
  4:     return 0
  5: for i = 0 to M - 1 do
  6:   if map[i][N] == -1 or map[i][N] == 0 then
  7:     return 0
  8: return 1
    
```

그림 10. Success Level 도출 알고리즘  
Fig. 10. Success Level Derivation algorithm



그림 11. 부분적인 모터공장의 설비  
Fig. 11. Facilities of partial motor plant

만약 그림11에서 1, 2, 3번 설비 중 2번 설비가 내부 오류로 인해 상태가 Normal에서 Internal Failure 상태로 전이되었을 경우 공정 맵에서는 2번 설비의 Status Level을 나타내는 (2,2)번째 요소를 Internal Failure의 Status Level인 -1로 수정한다. 또한 2번 설비의 내부 오류로 인해 2번 설비에서 부품이 다음 설비로 넘어가는 경로(2,3)와 2번 설비로 부품을 전달해주는 경로(1,2) 또한 Internal Failure 상태로 인해 사용할 수 없기 때문에 해당 경로 또한 -1로 수정한다(그림X). 결국 공정 맵 관점에서 N번 설비에 오류가 생겼다면 (N,N) 요소를 중심

으로 행과 열 요소를 모두 -1 또는 0으로 변화시킨다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	-1							
2	-1	-1							
3			1						1
4				1					
5					1				1
6						1			1
7							1		1
8								1	1
9				1					1

그림 12. 2번 설비의 Failure 발생 후 통합 공정 Map 변화  
Fig. 12. Integrated process map change after failure occurrence of facility no. 2.

## 2. 제조설비 상태 변화 시나리오

본 절에서는 공장 내 설비의 전체 상태가 정상인 경우와 하나의 설비가 내부 오류(Internal Failure)가 발생했을 때의 시나리오를 통한 상태 변화를 살펴본다.

### • 정상 동작 시나리오

모터공장을 이루는 각 설비는 Ready, Working, Finish 상태를 거치며 부품을 전달 받고 다음 설비로 부품을 전달한다. ①,②,③번 셀을 통해 나온 부품, ⑤, ⑥번에서 작업되는 부품 3개는 ⑨번 설비인 로봇 팔에 의해 ⑧번 셀로 옮겨진다. 옮겨진 부품은 조립되어 ⑦번 셀(검사), 다시 ⑨번 로봇 팔을 통해 ④번 셀에서 마킹되어 공정이 완료된다(그림 4).

### • 외부 오류(External Failure) 시나리오

만약 ⑨번 설비인 로봇 팔이 Internal Failure로 인해 작업을 하지 못하게 된다면 로봇 팔과 협업하는 모든 셀이 영향을 받게 된다. 먼저 로봇팔의 오류에 따라 ①, ②,③번 셀을 통해 나온 부품, ⑤, ⑥번에서 작업되는 부품 3개는 ⑧번 셀로 이동이 불가능하며 ⑧번 셀 또한 3가지의 부품을 받을 수 없으므로 더 이상 작업이 불가능하다. 그림14와 15는 번 설비가 로봇 팔로 부품을 전달할 수 없어 External Failure 상태로 전이되는 과정을 보여준다.

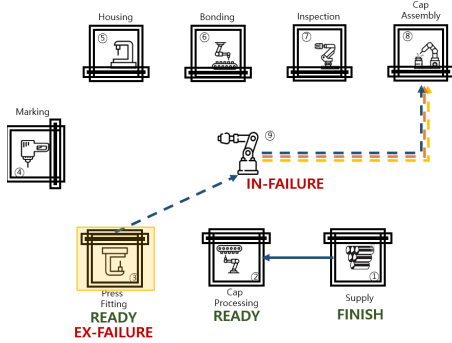


그림 13. 로봇 팔의 Internal Failure로 인한 3번 설비의 External Failure 상태 전이  
 Fig. 13. External failure state transition of facility no 3 due to internal failure of robot arm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1							
2		1	0						
3			0						-1
4				1					
5					1				-1
6						1			-1
7							1		-1
8								1	1
9									-1

그림 14. 그림 13 상태에 대한 공정 맵  
 Fig. 14. Process map for Figure 13.

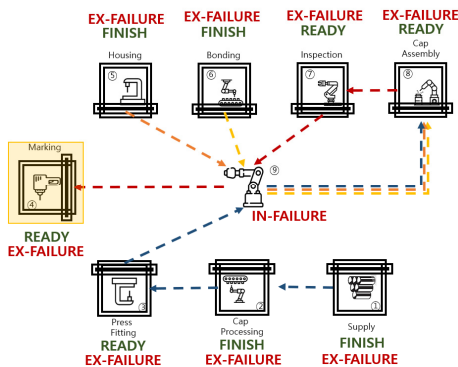


그림 15. 공장 전체 설비의 정지상태와 통합 공정 Map  
 Fig. 15. Process map when whole facilities stop.

결국 모든 설비가 External Failure 상태가 되며 공정 맵에서는 원인이 되는 로봇 팔에 대해서만 -1이 표기된 것을 볼 수 있다(그림 15,16). 이를 통해 전체 공정 오류 발생 시 원인이 되는 설비를 쉽게 추론할 수 있게 된다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0							
2		0	0						
3			0						-1
4				0					
5					0				-1
6						0			-1
7							0		-1
8								0	0
9									-1

그림 16. 공장 전체 설비의 정지상태와 통합 공정 Map  
 Fig. 16. Integrated process map of overall facilities shutdown .

## V. 결론

본 논문에서는 추상화된 설비 상태를 정의하고 정의된 상태를 통해 설비를 모니터링 할 수 있도록 1)공정 분석, 2)공정별 이동 경로 추출, 3)통합 공정 맵 구현의 순서를 따르는 공정 모니터링 프로세스를 정의하였다. 공장을 구성하는 개별 설비의 상태를 나타내는 Success Level은 통합 공정 맵에 실시간으로 기록되며, 이를 모니터링 함으로써 공장에 오류가 생겼을 때 오류의 원인이 되는 설비를 쉽게 파악할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 과정을 2가지의 시나리오를 통해 검증했다. 그러나 공장의 크기가 커질수록 통합 공정맵 또한 급속도로 커지기 때문에 모니터링 속도에 악영향을 미쳐 자율제어 시스템의 신뢰성이 떨어질 가능성이 있다. 또한 시뮬레이션을 통해 해당 알고리즘을 검증할 필요가 있다. 따라서 효율적인 통합 공정 맵의 구성 방법 및 시뮬레이션을 통한 알고리즘의 검증을 향후 연구에서 다룰 예정이다.

## References

- [1] I. W. Group et al., "Securing the future of german manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0", Federal Ministry of Education and Research of German, 2013.
- [2] J. Sztipanovits et al., "Toward a science of cyber-physical system integration", Proc. IEEE, Vol. 100, No. 1, pp. 29-44, Jan 2012. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2161529>
- [3] Sergii laroyvi et al., "Cyber-Physical Systems for Open-Knowledge-Driven Manufacturing Execution

Systems”, Proc. IEEE, Vol. 104, No. 5, pp. 1142-1154, May 2016.

DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2509498>

- [4] E. Arica and D.J. Powell, “Status and Future of Manufacturing Execution Systems”, Industrial Engineering and Management, Conf. of IEEE International, Singapore, pp. 2000-2004, 10-13 Dec 2017.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290242>
- [5] Fei Tao et al., “Digital Twin in Industry: State-of-the-Art”, IEEE Transactions on Industrial Informatics(Early Access), pp. 1-11, Oct 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- [6] Greyce Schroeder et al., “Visualising the digital twin using web services and augmented reality”, IEEE 14<sup>th</sup> International Conf. on Industrial Informatics, 19-21 July 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/INDIN.2016.7819217>
- [7] Qinglin Qi et al., “Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360Degree Comparison”, IEEE Access, Vol. 6, pp. 3585-3593, Feb 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>
- [8] I.-Y. Kim, H.-T. Lim, D.-B. Ji, and J.-P. Park. “A Efficient Network Security Management Model in Industrial Control System Environments,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 19, no. 4, pp. 664-673, Apr. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.4.664>
- [9] Zhenxing Zhao et al., “A Survey on Autonomic Computing Research”, 2009 Second Asia-Pacific Conference on Computational intelligence and Industrial Applications, 28-29 Nov 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/PACIIA.2009.5406605>
- [10] S. Hong, T. Park, B. Junil, and H. Kim, “A Study on the Prediction Model for Tomato Production and Growth Using ConvLSTM,” The Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 18, no. 1, pp. 1-10, Jan. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.1.1>
- [11] D.B Ko et al., “A Research on Sensor Data Collection and Processing System for Manufacturing Equipment Autonomic Control based Cyber Physical System”, Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 13, No. 3, pp. 643-649, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.3293/jeasci.2018.643.649>
- [12] D.B Ko et al., “A Study on the Visualization of Facility Data Using Manufacturing Data Collection Standard”, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 18, No. 3, pp. 159-166, Jun 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.3.159>

### 저 자 소 개

#### 고 동 범(준회원)



- 2018년 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 스마트팩토리융합학과 박사과정
- 2018년 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2016년 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 학사
- 주관심분야 : CPS, Autonomic Computing, Artificial Intelligence

#### 박 정 민(정회원)



- 2014년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 2012년 7월 ~ 2014년 2월 : 한국전자동신연구원 선임연구원
- 2008년 ~ 2011년 : 동양미래대 조교수
- 2009년 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2005년 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2003년 : 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 학사
- 주관심분야 : CPS, Autonomic Computing, Software Engineering

※ 이 성과는 2018년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017R1A2B4011243).  
 ※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음  
 (IITP-2019-2018-0-01426)