

# 시뮬레이션과 순차 패턴을 이용한 FMC의 로봇 경로 분석 및 설계

김선길\*, 이홍철\*

\*고려대학교 산업공학과

e-mail : sungil\_kim@korea.ac.kr

## FMC's Robot Path Analysis and Design Using Simulation and Sequential patterns

Sun-Gil Kim\*, Hong Chul Lee\*\*

\*Departments of Information Management Engineering, Korea University

### 요 약

본 논문에서는 FMC의 로봇 경로 분석 및 설계를 하기 위해 시뮬레이션을 이용해 FMC의 로봇 패턴을 분석하고 그 결과를 이용해 최적의 로봇 경로를 설계하는 방법을 제시하였다. 전형적인 FMC를 시뮬레이션으로 설계하고 설비에서 신호를 추출 해 순차 패턴 마이닝을 이용해 로봇의 최적 이동 경로를 도출하는 방법을 제시하였다. 이러한 신호의 패턴을 이용한 분석 방법은 로봇의 경로 설계를 도출하기가 용이하여 최적의 경로를 설계하여 FMC에 적용한 결과 기존보다 총 처리량의 증가와 총 처리시간 감소를 가져왔다. 또한 이 방법은 FMC 뿐만 아니라 로봇이 있는 모든 생산라인에 시뮬레이션을 통해 분석이 가능하기 때문에 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 1. 서론

초기 공장자동화는 소품종 대량생산 체제였으나 현재는 고객의 요구가 다양해서 다양한 제품을 소량 생산하는 제조 시스템이 필요하게 되었다. 이에 다 품종 소(중)량 생산에서 비교적 높은 생산성을 유지할 수 있는 자동생산시스템으로서 등장한 것이 유연 제조시스템(Flexible Manufacturing System : FMS)이다[1]. FMS의 구성요소 중 공정기계(Machine)의 대수와 배치에 따라서 여러 가지 형식으로 분류될 수 있는데 그 중 유연 생산 셀(Flexible Manufacturing Cell : FMC)은 작업물의 상차(Loading), 하차(Unloading)를 위한 한 대의 로봇과 자재 운반 작업을 위한 팔레트(Pallet) 혹은 컨베이어(Conveyor)와 하나 혹은 그 이상의 공정기계들로 구성되어 있는 소규모 작업센터를 말한다[2]. FMC에서 여러 종류의 작업물들이 동시에 가공되기 때문에 로봇의 성능이 시스템 성취에 매우 중요하게 작용한다. 로봇이 작업을 수행한 후로부터 다음 작업물을 선택하는 과정에서 2개 이상의 처리할 수 있는 작업물이 기다리고 있는 경우와 서비스가 가능한 작업물이 하나도 없을 경우로 나누어 로봇의 이동경로를 어떻게 설정하느냐에 따라 FMC의 수행도에 크

게 영향을 미칠 수 있다. 따라서 다음 작업물을 선택하는 방법에 대한 연구는 현재까지 계속 연구되고 있다. 로봇 중심 FMC를 분석한 연구에서 Park(1992)[1]은 선입 선출 규칙, 최소 이동시간 우선 규칙, 최대 잔여 가공시간 우선규칙, 최소 공정 순서 우선 규칙, 최대 공정 순서 우선규칙 등 5가지 대안을 비교하여 작업물의 공정 순서가 가장 큰 번 호로써 표현되는 작업물을 우선적으로 운반하는 최대 공정 순서 우선규칙을 최적의 대안으로 결정하였고, Yoon(2008)[2]은 Q-learning 알고리즘을 이용해 과거 행위에 대한 보상의 개념을 이용해 정보를 갱신하고 그 정보를 통해 로봇의 목표물 탐색을 결정하는 방법을 제안하였고, Savsare등(2008)[8]은 두 공정기계간의 상황을 고려하여 수학적으로 확률적 모형(Stochastic model)을 개발하였다. 그러나 위의 연구들은 복잡한 시스템의 경우에는 수리적 모형으로 최적 해를 구하는 것이 어렵고 로봇이 이전 작업 완료 후 다음 신호가 발생하지 않았을 때 로봇의 대기위치에 대한 연구가 필요한 상황이다. 또한 실제 작업장 로봇에 적용하기엔 큰 비용과 시간이 들기 때문에 현실에 적용하는데 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 대용량의 데이터에서 패턴을 빠른 시간에 추출 할 수 있는 데이터 마이닝 기법

중 하나인 순차 패턴 마이닝을 이용하였다. 순차 패턴 마이닝은 빠른 시간 내 패턴을 추출 할 수 있고 또한 시간의 연관성을 고려 할 수 있어 시계열적으로 움직이는 로봇의 패턴을 추출할 수 있다. 순차 패턴을 이용하여 완료된 작업물이 없을 때 그 위치에서 다음 작업 완료 신호가 발생할 때까지 대기하지 않고 순차 패턴으로 도출 해낸 방식으로 로봇의 다음 위치를 결정하여 먼저 행동할 수 있는 방법에 대해 논하고 작업을 완료한 후 두 개 이상의 신호가 발생된 있는 경우는 최대 시퀀스(sequence)를 우선 순위로 결정하여 작업하는 방법에 대하여 논한다. 그리고 제시한 방법을 시뮬레이션을 통하여 신호가 발생 하였을 때 반응하는 방법 등의 다른 대안들과 비교 검토하고 효과를 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 순차패턴 분석 방법에 대해 알아보고 3장에서는 사례연구(Case Study)로서 전형적인 FMC 로봇의 패턴을 추출하고 제시한 방법의 모의실험 모델링에 적용하여 실험 및 분석을 하여 유효성을 검토한다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구과제에 대해 설명한다.

## 2. 순차 패턴(Sequential Patterns)

본 연구에서는 데이터 마이닝 기법 중 하나인 순차 패턴 마이닝을 이용하여 로봇 이동에 대한 패턴을 도출하기 위해 사용하였다. 순차 패턴 마이닝은 패턴을 찾는 방법중의 하나로 연관 규칙에 시간의 개념을 첨가하여 시간의 흐름에 따른 항목들의 상호 연관성을 탐색하는 것이다[7]. 순차 패턴 마이닝은 사용자가 정의한 최소지지도를 갖는 시퀀스인 빈도가 높은 시퀀스(large sequence)를 추출하고 이들 가운데 최대 시퀀스(maximal sequence)를 찾는 것이다[4]. 이러한 순차 패턴 마이닝을 이용해 FMC 로봇이동에 대한 패턴을 도출하여 적용할 수 있다. 기존의 연관 규칙은 X->Y, Y->X가 성립하지만 순차 패턴은 X->Y만 성립한다. FMC 로봇의 이동은 시간의 흐름에 따라 이루어지기 때문에 연관 규칙을 적용할 수 없고 순차 패턴을 적용하여 도출 할 수 있다. 즉 로봇이 각각의 설비로의 이동을 하나의 데이터로 변환하여 이동 패턴을 추출하는 것이다. 이렇게 추출된 데이터 베이스를 토대로 순차패턴 다섯 단계로 구분된 알고리즘을 적용하여 패턴을 추출하는 것이다. 첫 번째로 정렬 단계(Sort Pahse)를 통

해 원본 데이터를 시퀀스 데이터베이스로 변환시키고 발생 시간을 주키(Primary Key)로 하여 정렬한다. 두 번째로 빈도가 높은 항목집합 발견 단계(Litemset Phase)을 통해 빈도가 많은 항목 집합 L의 집합을 발견한다. 즉, 최소 지지도를 만족하는 빈도가 높은 항목집합을 찾는 단계이다. 세 번째로 거래 데이터베이스 변환 단계를 통해 빈도가 높은 항목집합의 리스트만을 추출하여 네 번째 빈도가 높은 시퀀스 발견단계에서 로봇의 이동 패턴들을 다시 초기 입력값으로 바꾼다. 마지막으로 이러한 로봇 패턴에서 추출된 집합 중에서 최대 시퀀스를 발견하여 적용한다[7].

식(1) 트랜잭션 데이터베이스에서의 지지도[7]

$$\text{Support} = \frac{\# \text{ of transaction all the } em \in X \cup Y}{\text{total } \# \text{ of transaction } \# \text{ the database}}$$

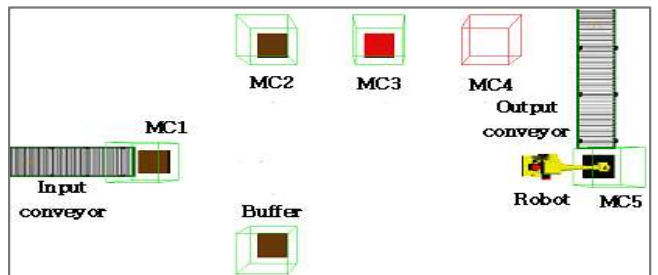
❖ X , Y는 서로 상의한 항목집합

위의 다섯 가지 방법을 토대로 로봇의 패턴을 도출하였다.

## 3. 사례 연구(Case Study)

### 3.1 FMC 시뮬레이션 모형

로봇 중심 FMC로 한 대의 로봇이 여러 셀을 담당하여 작업을 수행한다. 여기서 구성한 설계도면(Layout)은 그림 1과 같다. 하나의 작업물이 컨베이어를 통해 들어오면 공정기계 1,2,3,4,5의 공정과정을 거쳐 마지막 컨베이어를 통해 출하되는 모형으로 로봇은 각각의 작업물을 공정 순서에 따라 이동시키고, 아래쪽에 Buffer를 두어 작업 유무에 따라 작업물을 대기시키는 공간을 두었다. 또한 이 Buffer로 인하여 전체 공정 과정의 Deadlock을 방지하였다. 시뮬레이션 설계를 위하여 본 논문에서는 AutoMod 12.1을 이용하여 설계하였다[5].



[그림 1] AutoMod12.1을 이용한 FMC 모형

### 3.1.1 FMC 모형의 시뮬레이션 가정

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 유효성을 검토하

기 위하여 시뮬레이션 분석을 한다. 시뮬레이션 분석을 위한 모델을 구성함에 있어 전제 조건이 필요하다. 다음은 시뮬레이션 모델의 전제 조건이다.

- Machine의 용량 : 1 capacity
- 제품의 종류 : 3 type
- 제품의 도착 시간 : Exponential 20 minutes
- Machine&로봇의 MTTR/MTBF 고려하지 않음
- Buffer 용량 : 10 EA
- 로봇 Hand의 용량 : 1 EA
- Conveyor 속도 : 9000 mm/min
- Warm-up time : 2 hour
- 시뮬레이션 수행 시간 : 24 hour
- 시뮬레이션 반복 횟수 : 20회

[표 1] 로봇의 이동시간

FMC (단위 : 초)						
	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	Buffer
MC1	-	25	30	33	36	20
MC2	25	-	25	30	33	25
MC3	30	25	-	25	30	31
MC4	33	30	25	-	25	33
MC5	36	33	30	25	-	36
Buffer	20	25	31	33	36	-

### 3.2 패턴 도출

#### 3.2.1 FMC 로봇 Log 추출

앞에 순차 패턴을 FMC에 적용하기 위해서 FMC 로봇 동작에 대해 번호를 부여해 패턴을 추출할 수 있게 변형시켰다. 표2과 같이 로봇의 작업물 이동 및 행동에 따라 번호를 부여한 것이다. 따라서 로봇의 동작에 대한 데이터 셋을 뽑아내 순차 패턴의 5가지 단계에 맞춰 패턴을 도출할 수 있다.

[표 2] 로봇 번호 분석 방법

Action	Log
Machine1 작업물 추출	1
Machine2 작업물 투입	2
Machine2 작업물 추출	3
Machine3 작업물 투입	4
Machine3 작업물 추출	5
Machine4 작업물 투입	6
Machine4 작업물 추출	7
Machine5 작업물 투입	8
Buffer 작업물 투입	9
Buffer 작업물 추출	10

#### 3.2.2 FMC 로봇 패턴 분석

로봇 동작에서 패턴을 추출하기 위해 각각의 단계

에서 후보 시퀀스를 생성시키고 데이터베이스로부터 각각의 후보 시퀀스에 대한 지지도를 구한다. 표3는 미리 정해놓은 최소 지지도 보다 작은 지지도를 갖는 후보 시퀀스들을 후보에서 제외시켜 빈도가 높은 시퀀스를 뽑아 순차 패턴을 도출한 것이다.

[표 3] 순차 패턴 분석을 통한 FMC 로봇의 패턴 도출

로봇 트랜잭션 시퀀스	빈발 3 항목 및 지지도		빈발 4 항목 및 지지도	
<{1 9} {5} {6} {3} {4} {10}>				
<{1 9} {7} {8} {5} {6}>	<6 3 4>	2		
<{3} {4} {10} {2}>	<7 8 5>	3		
<{7} {8} {5} {6} {3} {4}>	<8 5 6>	3	<7 8 5 6>	2
<{3} {9} {5} {6} {10} {2}>	<5 6 3>	2	<5 6 3 4>	2
<{10} {4} {7} {8} {3} {9}>	<9 5 6>	2	<9 10 2 7>	2
<{5} {6} {10} {4} {3} {9}>	<3 4 10>	2		
<{2} {7} {8} {5} {6}>	<9 10 2>	2		
<{3} {9} {10} {2} {7} {8}>				
<{1 9} {10} {2} {7} {8}>				

최소지지도의 임계값은 0 ~ 0.3 사이의 값을 임의로 설정한다. 최소지지도를 너무 작게 하거나 크게 하면 잘못된 트랜잭션을 도출할 수 있기 때문이다 [3]. 이렇게 도출된 패턴을 바탕으로 FMC 로봇에 적용 하였다.

### 3.3 실험 및 결과 분석

본 실험의 주 목적은 한 대의 로봇을 중심으로 운영되는 영역의 FMC에서 로봇의 이동규칙과 로봇의 대기정책에 따른 수행도를 비교 평가하여 제시한 방법의 효과를 검증하기 위한 것이다. 본 논문에서 제시한 방법의 효과 검증하기 위해서 다른 모델과 비교 하였다. 비교 대상은 전형적인 FMC 모델로서 로봇은 먼저 완성된 작업물이 있는 공정기계로부터 나오는 신호에 따라 이동하여 작업을 완료하고 그 자리에서 다음 신호가 발생할 때까지 대기하는 로직을 반영한 모델(SPT)이다. 시뮬레이션 분석에 사용되는 중요 변수로는 작업물의 총 처리량, 로봇 이용률, 그리고 Buffer의 평균대기 작업물 수를 선정하여 비교 하였다.

#### 3.3.1 시뮬레이션 대안비교 결과

표 4은 SPT와 패턴을 적용하여 로봇의 이동 규칙을 새롭게 적용한 FMC의 결과를 비교 분석한 것이다.

[표 4] 대안비교 결과

	SPT	패턴 분석	단위
작업물의 총 처리 량	96	109	EA
Robot의 가동률	28.5	32.8	%
Buffer의 평균 대기 작업물의 수	8.45	6.43	EA

비교 결과를 살펴보면, 작업물의 총 처리량은 본 연구를 적용한 것이 SPT보다 13개의 차이가 남을 확인 할 수 있고 이용률 또한 4.3%가 향상된 것을 확인할 수 있다. 또한 Buffer의 평균대기 작업물 수 또한 30% 이상 줄어든 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 차이들은 로봇이 공정을 완료하고 나서 패턴을 인식하여 미리 다음공정으로 이동하여 대기함으로서 그 차이를 발생시켰고 또한 병목 과정을 없애기 위해 부하가 걸린 공정기계의 작업물을 먼저 처리하여 이러한 결과가 나온 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 한 대의 로봇이 여러대의 설비를 담당하는 로봇 중심 FMC에서 로봇의 이동 규칙에 순차 패턴을 적용하여 새로운 경로 설계 방법을 제시하였다. 현재까지 연구된 방법들은 단순한 모델링을 통해 여러 가지 로봇 이동 방법에 대한 비교를 하거나 몇 개의 요소만을 고려한 수학적 분석 방법을 통해 이루어져 왔다. 하지만 본 논문에서는 기존 설비에서 로봇의 패턴을 추출해 가장 효율적인 패턴을 로봇에 적용시켜 로봇이 작업을 완료했을 때 신호가 발생되지 않았다면 추출된 패턴을 적용시켜 미리 다음 작업물을 예측하여 이동 후 대기함으로써 총 처리량의 증가를 가져오는 방법을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 방법은 현재 산업 분야 중에서 LCD 생산 공정과 같이 거의 모든 로봇 중심 FMC 공정에 적용한다면 큰 효과를 얻을 것으로 기대된다.

향후 연구과제로는 FMC가 아닌 FMS에서 다른 설비를 담당하는 로봇과의 상호 연관성을 고려하여 패턴을 도출한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

[1] 박양병, “로봇 중심 FMC에서 최적 로봇 서비스 이동정책을 위한 연구”, 한국시물레이션학회

지, 제1권, 제1호, pp. 55-63, 12월, 1992.  
 [2] 윤정익, 엄인섭, 이흥철, “FMC반송용 로봇의 선견형 운영방법”, 한국시물레이션학회 논문지, 제17권, 제4호, pp. 249-257, 12월, 2008.  
 [3] 정소영, 권수태, “연관규칙과 순차패턴을 이용한 프로세스 마이닝”, Journal of society of Korea industrial and systems engineering, v.31, no.2, pp.104-111, June, 2008.  
 [4] 진종식, 박희준, 이정현, 김윤년, 윤경일, 엄홍섭, “순차패턴 마이닝을 이용한 상병의 연관성 분석”, 한국경영정보학회, 2007년도 International Conference, pp.614-618, June, 2007.  
 [5] Brooks Automation, Inc. AutoSimulation Division(2001), “AutoMod User’s Manual”, Brooks Automation, Inc.  
 [6] J.Han, M. Kamber, “Data Mining concepts and Techniques”, SIMON FRASER UNIVERSITY(2001).  
 [7] P.Tan, M. Steinbach, V. Kumar, “Introduction to Data Mining”, Addison Wesley(2005)  
 [8] Savsare, M. and Aldaihani, M, “Modeling of machine failures in a flexible manufacturing cell with two machines served by a robot”, Reliability engineering & system safety, Vol.93, No10, pp.1551-1562, 2008.