

시뮬레이션과 순차 패턴을 이용한 FMC 로봇의 효율적 작업 순서 설계 및 분석

김선길¹, 김연진¹, 이흥철^{1*}
¹고려대학교 정보경영공학전문대학원 정보경영공학과

Design and Analysis of Efficient Operation Sequencing in FMC Robot Using Simulation and Sequential Patterns

Sun-Gil Kim¹, Youn-Jin Kim¹ and Hong-Chul Lee^{1*}

¹Department of Information Management Engineering, Korea University

요약 본 논문에서는 FMC 로봇의 생산성 향상을 위해 시뮬레이션과 순차 패턴 기법을 이용해 로봇의 패턴을 분석하고 최적의 로봇 작업 우선순위규칙(Dispatching Rule)을 설계하는 방법을 제시하였다. 이를 위해, 먼저 FMC를 시뮬레이션으로 설계하고 각 설비가 로봇에게 요청하는 신호를 추출해 이를 로그(Log) 형태로 생성, 저장하였다. 그 후, 이 로그를 데이터 마이닝 기법 중 하나인 순차 패턴 분석을 이용해 설비의 신호와 로봇간의 연관된 순서를 분석하여 로봇의 최적 이동 경로를 도출하는 방법을 제시하였다. 또한, 사례연구를 통하여 FMC의 적용성에 대한 효율성을 입증하였다. 도출된 최적의 패턴을 국내 A사 생산라인에 적용한 결과 작업물 대기시간(Loss Time)의 감소와 로봇 이용률의 향상, 작업물의 총 처리량의 증가와 평균 처리시간 감소를 가져왔다. 또한, 이러한 신호의 패턴을 이용한 분석 방법은 신호와 동작간의 로그를 저장, 데이터베이스화하여 시스템 상에서 로봇의 작업 우선순위규칙을 도출할 수 있게 하므로, 작업자의 오랜 노하우(Know-How) 없이도 로봇 운영의 문제점을 파악하고 그 개선안을 제시할 수 있다. 이러한 방법을 통해 FMC 뿐만이 아닌 로봇을 사용하는 모든 분야에 설비의 신호와 로봇 동작간의 그 연관관계를 분석하고 최적의 운영법칙을 설계, 운영하여 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

Abstract This paper suggested the method to design and analyze FMC robot's dispatching rule using the Simulation and Sequential Patterns. To do this, first of all, we built FMC using simulation and then, extracted signals that facilities call a robot, saved it as the log type. Secondly, we built robot's optimal path using the Sequential Pattern Mining with the results of analyzing the log and relationship between machine and robot actions. Lastly, we adapted it to the A corp.'s manufacturing line for verifying its performance. As a result of applying the new dispatching rule in FMC, total throughput and total flow time decrease because of decreasing material loss time and increasing robot utility. Furthermore, because this method can be applied for every manufacturing plant using simulation, it can contribute to advance total FMC efficiency as well.

Key Words : Dispatching Rule, Sequential Patterns, Flexible Manufacturing Cell, Simulation

1. 서론

초기 공장 자동화는 생산자 중심으로 고객은 대량생산된 제품 가운데 물품을 선택할 수 밖에 없는 소품종 대량생산 체제였다. 그러나 생산 업체의 경쟁이 치열해지고

고객의 요구가 다양해지면서 최소한의 시스템 변경만으로 다양한 제품을 빠르게 생산하고 또한 생산 원가를 낮추는 방식이 필요하게 되었다. 이에 다품종 소(중)량 생산에서 비교적 높은 생산성을 유지할 수 있는 자동생산 시스템으로서 등장한 것이 유연 제조시스템(FMS :

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 '2단계BK21사업'의 지원비를 받았다.

*교신저자 : 이흥철(hclee@korea.ac.kr)

접수일 10년 05월 13일

수정일 (1차 10년 06월 07일, 10년 06월 10일)

계화확정일 10년 06월 18일

Flexible Manufacturing System)이다[1]. FMS는 부품가공 시스템을 가리키는 경우가 많은데, 부품가공 FMS는 머시닝 센터 등의 설비(Machine), 가공 대상물의 상차(Loader), 하차(Unloader), AGV(Automated Guided Vehicle), 자동창고(AS/RS), 제어용 컴퓨터 등의 하드웨어로 구성된다. 이러한 하드웨어는 생산계획 프로그램, 기계제어 프로그램 등에 의해 관리된다[2]. FMS의 구성요소 중 공정기계의 대수와 배치에 따라서 여러 가지 형식으로 분류 될 수 있는데 그 중 유연 생산 셀(FMC : Flexible Manufacturing Cell)은 작업물의 상차, 하차를 위한 한 대의 로봇과 자재 운반 작업을 위한 팔레트(Pallet) 혹은 컨베이어(Conveyor)와 하나 혹은 그 이상의 공정기계들로 구성되어 있는 소규모 작업센터를 말한다. FMC는 한 대의 로봇을 중심(Robot-Centered Cells)으로 시스템이 제어되기 때문에 대부분 원형, 직선형, U형 등의 기계 배치 구조를 가지고 이에 따라 공정기계간 작업물의 운반 방법이 결정 된다[1]. FMC는 그룹 테크놀로지(Group Technology)를 적용하여 구성된 부품 패밀리(Part Family)에 속하는 부품들을 가공하는 기계 셀의 기능을 가지기도 한다. 따라서 FMC는 때때로 GT 기계 셀 이라고도 불리 운다[1]. 로봇 중심으로 시스템이 제어되기 때문에 로봇의 이동 패턴과 완료된 작업물의 우선 선택 여부가 시스템의 성능에 상당히 중요한 요소로 작용한다. 이러한 시스템을 평가하는 척도로 작업물의 평균 처리시간, 작업물의 총 처리량, 작업이 완료되고 난 후 로봇에 의해 이동되기 전까지의 대기 시간, 로봇의 가동률, 단위 시간당 생산량 등을 고려할 수 있고, 이러한 척도에 영향을 주는 요인으로는 로봇의 완료된 작업물 처리 순서, 작업 완료 후 로봇의 대기 위치 등이 있다.

로봇이 다음 작업물을 선택하는 과정에서 완료된 작업물이 2개 이상 있을 경우 어떤 작업물을 우선 선택하여 서비스 하느냐에 따라 FMC 수행도에 큰 영향을 미친다. 또한 로봇이 작업을 완료한 후 다음 작업물을 선택하는데 있어 완료된 작업물이 없는 경우 다음에 발생될 작업물을 미리 예측하여 다음 공정과정에 로봇 팔을 어느 지점으로 위치 시키느냐에 따라 FMC 수행도에 큰 영향을 미친다. 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 유효한 패턴을 추출 할 수 있고 또한 시간의 연관성을 고려 할 수 있어 시계열적으로 움직이는 로봇의 패턴을 추출할 수 있다. 이렇게 로봇의 패턴을 추출하면 로봇의 동작 분석이 가능하여 작업자의 오랜 노하우 없이도 로봇운영의 문제점을 파악하고 그 개선안을 제시할 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 발생되어 있는 경우도 패턴 인식을 통해 우선순위를 결정하여 작업하는 방법에 대하여 논한다. 그리고 제시한 방법을 시뮬레이션을 통하여 신호가 발생 하였을 때 반응하는 방법 등의 다른 대안들과 비교 검토하고 효과를 검증한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 효율적인 작업 순서설계에 관한 기존 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 순차 패턴을 이용한 로봇 동작 분석에 대해 알아본다. 이후 4장에서는 국내 A사의 생산라인을 시뮬레이션으로 모델링 한 후, 순차패턴으로 그 로봇의 패턴을 추출하고 패턴 분석 결과를 다양한 작업 우선순위규칙에 따라 실험, 비교하여 그 유효성을 검토한 후 5장에서 결론을 맺는다.

2. 국내외 최근 연구 동향

작업순서의 효율적 설계에 관한 기존의 많은 연구가 이루어 졌고, 현재까지도 활발한 연구가 진행 중에 있다. 특히 FMC내에는 다른 여러 종류의 작업물들이 동시에 가공되기 때문에 작업물의 스케줄링(Scheduling), 로봇, 설비의 특성에 따라 시스템의 성능이 결정된다. 그렇기 때문에 로봇의 작업물 선택과 대기위치는 시스템 성능에 상당히 중요한 요소로 작용한다[2]. 따라서 시스템의 성능 향상을 위해 다음 작업물을 선택하는 방법에 대한 연구는 현재까지도 활발히 진행 중에 있다. 현재까지 연구 되어진 방법들은 크게 두 가지로 나누어 설명할 수 있다. 첫 번째는 기존에 나와 있는 많은 작업 우선순위규칙에 대한 각각의 작업장 상황에 대해 설명하고 평가척도를 정의하여 가장 우월한 방법을 찾는 것이다. 박양병[1]은 5가지 작업 우선순위규칙을 비교하여 작업물의 공정 순서가 가장 큰 번호로써 표현되는 작업물을 우선적으로 운반하는 최대 공정 순서 우선규칙을 최적의 대안으로 결정하였고, F.T.S. Chan[3]등은 FMS 시스템에서 완료된 작업물이 두 개 이상일 경우 전체 프로세스 시간이 가장 적게 남은 것을 우선 선택하는 SRPT 규칙이 체류 시간(Flow Time)을 줄이는 방법에 가장 효과적임을 제시하였다. 또한 ShopSape[4]등은 총 6개의 작업 우선순위규칙을 조합하여 30개의 규칙을 적용하였을 때, MDD-SPTL이 성능 향상에 가장 효과적이고, 또한 2번째 버퍼 용량에 제한을 두고 실험을 하여 기존 시뮬레이션 모델과의

차이점을 보여주었다. Stecke[5]등은 9의 공정기계와 하나의 검사장 그리고 1개의 대기 공간(Queue)로 이루어진 FMS의 성능 측정을 위해 16개의 작업 우선순위규칙을 적용하여 전체 프로세스 시간 중 다음 프로세스 시간이 가장 짧은 것을 선택하는 규칙(SPT/TOT)이 가장 좋은 성과를 보여줬다. Slalani[6]등은 총 10가지 작업 우선순위규칙을 적용하여 각각의 부품에 대한 최적의 작업 우선순위규칙을 선정하였다.

두 번째로는 새로운 작업 우선순위규칙을 만들어 기존의 작업 우선순위규칙과 비교를 하였다. Kizil[7]등은 부품이 거쳐야 할 작업장 수가 가장 적은 것을 우선 서비스하는 방식인 MNP방식을 개발하여 기존의 5가지 작업 우선순위규칙과 비교하여 AGV이용률을 향상시키고 대기 시간을 줄였다. 윤정익[2]등은 로봇의 대기위치 선정과 작업물 선택과정을 Q-learning 알고리즘을 적용하여 과거 행위에 대한 보상의 개념과 정보를 갱신, 그 정보를 통해 로봇의 목표물 탐색을 결정하는 방법을 제시하였다. 또한 Jayamohan[8]등은 각각의 작업물에 대한 지연시간이나 체류시간에 따라 페널티나 가중치를 부여하여 여러 작업 우선순위규칙 중 그 조건에 가장 부합하는 작업 우선순위규칙을 찾아 적용하는 방법을 제시하였다. Agnetis[9]는 로봇 중심 셀에서 총 생산량을 향상시키고 생산 주기(Cycle Time)를 감소시키기 위해 로봇의 동작을 수학적 으로 풀어 스케줄링 하였다. 그리고 Restrepo[10] 등은 Fuzzy 이론을 적용하여 새로운 작업 우선순위규칙인 fuzzy-job과 fuzzy-machine을 기존 작업 우선순위규칙인 SPT와 WEED와 비교하였다. 단일 목적을 갖는 경우에는 기존의 작업 우선순위규칙이 나은 결과를 가져왔지만 다 목적인(Multi Objective) 경우에는 fuzzy-job이 뛰어난 성능향상을 보여주었다.

그러나 수리적으로 최적 해를 구하는 Agnetis의 경우 복잡한 시스템에는 적용하기 어렵고, 작업 우선순위규칙을 비교해 그 중 우월한 규칙을 찾는 연구는 설비들의 배치에 따라 각각의 성과가 달라지고, 많은 가정을 두어 현실적으로 적용하는데 어렵다. 또한 새로운 작업 우선순위규칙들 중 Kizil의 경우 대기 공간을 무한대로 두어 현실성이 떨어지고, 윤정익은 Q-learning 알고리즘을 적용하였으나 과거 행위에 대한 보상의 개념을 배제시켜 시물레이션을 구현하였고 또한 알고리즘을 로봇에 적용하는데 많은 시간이 걸리는 단점이 있다. 또한 Jayamohan는 지연시간 및 체류시간에 가중치나 페널티를 부여하는 기준이 작업장의 환경에 따라 달라지고 상충관계(Trade-Off)가 발생해 적당한 방법을 찾기가 쉽지 않다.

따라서 본 논문에서는 수리적 기법이 아닌 시물레이션을 이용하여 복잡한 시스템을 쉽게 구현할 수 있고, 실제

사용되는 작업장을 모델로 사용하여 현실적으로 적용 가능한 방법을 제시하였다. 또한 많은 시간이 걸리는 기존 연구에 비해 단시간에 패턴을 추출하여 분석할 수 있고 작업자의 오랜 노하우가 없이도 작업장의 환경을 파악할 수 있다.

또한 빠른 시간에 패턴을 도출하기 위해서 Apriori 알고리즘을 사용하였다. Agrawal[11] 등은 기존의 AIS 알고리즘과 SETM 알고리즘은 빈도가 낮은 항목인 경우에도 후보 항목을 생성하여 카운트하고 검사를 하기 때문에 많은 시간이 소요된다. 하지만 신뢰도기반 Apriori 알고리즘은 신뢰도 임계값을 충족하는 항목에 대해서만 후보 항목을 생성하기 때문에 패턴을 도출하는데 시간을 줄일 수 있다.

로봇이 여러 장비를 담당하고 로봇의 수행능력이 중요한 FMC 내에서 장비에서 송출되는 신호에 따라 로봇의 작업물 선택에 대한 로그를 시물레이션을 이용하여 기록하고, 순차 패턴을 이용하여 패턴을 도출한 후 그 패턴을 로봇에 인식시켜 작업물이 두 개 이상 발생하였을 경우 작업물의 우선순위를 정하고 작업물이 발생하지 않았을 경우 패턴인식을 통해 로봇이 다음에 발생할 작업물을 미리 예측하여 이동할 수 있다. 이러한 방법을 적용하여 기존에 많이 발생하는 작업물 대기 시간을 줄일 수 있다. 시물레이션 tool로는 AutoMod 12.1을 사용하였다.

3. 순차 패턴을 이용한 로봇 동작 분석

3.1 순차 패턴

본 연구에서는 데이터 마이닝 기법 중 하나인 순차 패턴 마이닝을 이용하여 로봇 이동에 대한 패턴을 도출하였다. 데이터 마이닝은 방대한 양의 데이터 속에서 직접, 혹은 간접적인 방법으로 정제과정(Mining)을 통하여 의미 있는 패턴이나 규칙을 탐색하고 분석하는 방법이다[12]. 그 중 순차 패턴 마이닝은 패턴을 찾는 방법 중의 하나로 연관 규칙에 시간의 개념을 첨가하여 시간의 흐름에 따른 항목들의 상호 연관성을 탐색하는 것이다[12]. 순차 패턴 마이닝은 사용자가 정의한 최소지지도 및 최소신뢰도를 갖는 시퀀스인 빈도가 높은 시퀀스(Large Sequence)를 추출하고 이들 가운데 최대 빈발 시퀀스(Maximal Sequence)를 찾는 것이다[13]. 기존의 연관 규칙은 $X \rightarrow Y$, $Y \rightarrow X$ 가 성립하지만 순차 패턴은 $X \rightarrow Y$ 만 성립한다. 즉, 연관 규칙의 경우 동시-발생관계를 강조하고 데이터의 순차 정보를 무시하지만 순차 패턴 마이닝의 경우 트랜잭션(Transaction)의 발생 횟수만이 아닌 발생

순서(Sequence)를 고려한다는 점에서 시계열 데이터에 적용하여 시간에 따른 분석이 용이하다. 방대한 양의 데이터베이스에서 각각의 정보가 시간에 의해 시퀀스를 형성하고 이 정보들을 기반으로 순차 패턴 마이닝 알고리즘을 적용하여 그 정보에 대한 패턴을 도출 할 수 있다 [11]. 트랜잭션 데이터 베이스에서 지지도는 식(1)과 같고 신뢰도는 식(2)와 같다.

$$\text{지지도}, s(X \rightarrow Y) = \frac{\sigma(X \cap Y)}{N} \quad (1)$$

$$\text{신뢰도}, c(X \rightarrow Y) = \frac{\sigma(X \cap Y)}{\sigma(X)} \quad (2)$$

❖ X, Y는 서로 상의한 항목집합

이러한 순차 패턴 마이닝을 이용해 FMC 내 로봇의 이동 경로를 통해 순차 패턴 마이닝 알고리즘을 적용하여 패턴을 도출하였다.

3.2 순차 패턴을 이용한 로봇 이동 패턴 분석 및 설계

FMC에서 요청하는 신호는 시간의 흐름에 따라 달라지기 때문에 연관규칙보다는 순차 패턴 마이닝을 적용하여 패턴을 도출하였다. 우선 순차 패턴 마이닝 알고리즘은 정렬(Sort), 빈발항목발견(Litemset), 변형(Transformation), 빈발 시퀀스, 최대 빈발 시퀀스로 구성된다[13]. 본 논문에서는 시뮬레이션을 이용해 로봇 패턴을 도출하여 새로운 작업 우선순위를 적용하였다. 시간의 변화에 따른 로봇 이동을 기록하여 순차 패턴 도출 순서에 따라 순차 패턴을 도출 하였다. 로봇이 반송 작업을 마치고 난 후 다음에 발생하는 신호에 따라 이동하는 것을 표 1과 같이 정의하였다.

[표 1] 로봇 로그 추출

Signal	Robot Action	Log
Inconveyor Unload Request	Inconv_ULD	1
Machine1 Unload Request	MC1_ULD	2
Machine1 Load Request	MC1_LD	3
Machine2 Unload Request	MC2_ULD	4
Machine2 Load Request	MC2_LD	5
Machine3 Unload Request	MC3_ULD	6
Machine3 Load Request	MC3_LD	7
Machine4 Unload Request	MC4_ULD	8
Machine4 Load Request	MC4_LD	9
Machine5 Unload Request	MC5_ULD	10
Machine5 Load Request	MC5_LD	11
Outconveyor Load Request	Outconv_LD	12

신호(Signal)는 각각의 설비에서 나오는 신호를 기록한 것이고 입구 컨베이어 하차요구(Inconveyor Unload Request)는 작업물이 입구 컨베이어에 도착하였을 때 로봇에게 도착신호를 보내는 것이고 설비1의 하차요구(Machine1 Unload Request)는 작업물이 설비1에서 작업이 완료 되었을 때 로봇에게 송출하는 신호를 의미한다.

또한 설비1의 상차요구(Machine1 Load Request)는 현재 설비1의 상태가 다음 작업이 가능하다는 신호를 의미하고 각각의 설비를 거쳐 마지막 출구 컨베이어 상차요구(Outconveyor Load Request) 신호를 통해 작업물이 이 시스템을 나간다. 이러한 신호를 바탕으로 로봇 동작(Robot Action)이 이루어지고 로그는 각각의 액션을 숫자로 기록한 것이다.

시뮬레이션을 통해 추출된 데이터(Data)를 바탕으로 위의 다섯 단계를 통해 패턴을 추출하였다. 처음 정렬 단계에서는 시간에 의해 정렬된 데이터를 ID별로 구분하여 로봇의 이동 경로를 아래 표 2와 같이 정렬하였다. ID는 입구 컨베이어에 작업물이 도착하면 로봇에 의해 이동되고 로봇은 각각의 작업을 수행한 후 다시 입구 컨베이어로 돌아오는 것을 한 주기(Cycle), 즉 ID로 정의하였다. Time은 ID별로 소요된 시간을 나타내고 로봇 동작은 시간 순서로 정렬하여 실질적으로 필요한 데이터, 즉 로봇이 작업물을 운반한 후 어떤 작업물을 선택하였는가를 알 수 있는 데이터를 묶어서 그룹화 하였다. 이렇게 정렬된 데이터를 바탕으로 각각의 로봇 액션을 표 3과 같이 숫자로 대응시켰다.

변환 단계에서는 빈도가 높지 않은 항목집합을 제거시키고 빈도가 높은 항목을 연속된 정수로 변환함으로써 후에 빈발 시퀀스와 최대 빈발 시퀀스를 발견하는 단계에서 시간을 줄이는데 효과적이다[13].

[표 2] 추출된 로봇 원본 데이터

ID	Time(sec)	Robot Action
1	3092~3850	{{(Inconv_ULD) (MC1_LD MC4_ULD) (MC3_LD MC5_ULD) (MC2_LD)}}
2	3850~4696	{{(Inconv_ULD) (MC5_LD MC1_ULD) (MC3_LD MC5_ULD) (MC1_LD)}}
3	4696~5230	{{(Inconv_ULD) (MC1_LD MC4_ULD) (Outconv_LD)}}
4	5230~6130	{{(Inconv_ULD) (MC5_LD MC4_ULD) (MC1_LD MC5_ULD)}}
5	6130~6890	{{(Inconv_ULD) (MC2_LD MC3_ULD) (MC3_LD MC5_ULD) (Outconv_LD)}}
6	6890~7504	{{(Inconv_ULD) (MC3_LD MC5_ULD) (MC1_LD MC4_ULD)}}
7	7504~8348	{{(Inconv_ULD) (MC2_LD MC5_ULD) (MC4_LD MC1_ULD) (Outconv_LD)}}

[표 3] 변환 단계

ID	Transformed Robot Sequence	After Mapping
1	< {(Inconv_ULD) (MC1_LD MC4_ULD) (MC3_LD MC5_ULD) (MC2_LD)} >	<{1}{3 8}{7 10}{5}>
2	< {(Inconv_ULD) (MC5_LD MC1_ULD) (MC3_LD MC5_ULD) (MC1_LD)} >	<{1}{11 2}{7 10}{3}>
3	< {(Inconv_ULD) (MC1_LD MC4_ULD) (Outconv_LD)} >	<{1}{3 8}{12}>
4	< {(Inconv_ULD) (MC5_LD MC4_ULD) (MC1_LD MC5_ULD)} >	<{1}{11 8}{3 10}>
5	< {(Inconv_ULD) (MC2_LD MC5_ULD) (MC3_LD MC4_ULD) (Outconv_LD)} >	<{1}{5 10}{7 8}{12}>
6	< {(Inconv_ULD) (MC3_LD MC5_ULD) (MC1_LD MC4_ULD)} >	<{1}{7 10}{3 8}>
7	< {(Inconv_ULD) (MC2_LD MC3_ULD) (MC4_LD MC1_ULD) (Outconv_LD)} >	<{1}{5 6}{9 2}{12}>

하지만, 실제 FMC에서는 다양한 작업물과 복잡한 공정으로 인해 무수한 형태의 패턴이 도출되므로, 아무리 중요한 공정패턴이라도 전체공정에서 차지하는 그 빈도는 매우 미미하다. 그리하여 본 논문에서는 지지도를 기반으로 패턴을 추출하는 것이 아닌 신뢰도를 기반으로 추출된 패턴을 가지고 로봇의 작업 우선순위규칙을 정하였다.

변환 단계 후 효율적으로 패턴을 도출하기 위하여 Apriori 알고리즘을 이용하였다. 후보 항목집합을 생성할 때 최소 신뢰도를 만족하지 않은 후보 항목집합을 카운트 하지 않고 제거함으로써 더 빠르게 최대 시퀀스를 발견하여 로봇의 이동 패턴을 도출하였다.

식(3)은 신뢰도 기반 Apriori 알고리즘을 설명하고 식(4)는 빈발 항목집합들을 찾기 위하여 생성-검사(generate-and-test)전략을 나타낸다.

```

1. for 각 빈발 k - 항목집합  $f_k, k \geq 2$ 에 대해 do
2.  $H_1 = \{i | i \in f_k\}$  {규칙의 1 - 항목 후건}
3. call ap - genrules( $f_k, H_1$ )
4. end for
    
```

(3)

```

ap - genrules( $f_k, H_m$ )
1.  $k = |f_k|$  {빈발 항목집합 크기}
2.  $m = |H_m|$  {규칙 후건 크기}
3. if  $k > m + 1$  then
4.  $H_{m+1} = \text{apriori - gen}(H_m)$ 
5. for each  $h_{m+1} \in H_{m+1}$  do
6.  $\text{conf} = \sigma(f_k) / \sigma(f_k - h_{m+1})$ 
7. if  $\text{conf} \geq \text{min conf}$  then
8. output the rule( $f_k - h_{m+1}$ )
9. else
10. delete  $h_{m+1}$  from  $H_{m+1}$ 
11. end if
12. end for
13. call ap - genrules( $f_k, H_{m+1}$ )
14. end if
    
```

(4)

Apriori 알고리즘을 이용하여 표 4와 같은 로봇 이동의 최대 시퀀스를 발견하여 패턴을 도출하였다.

[표 4] 최대 시퀀스

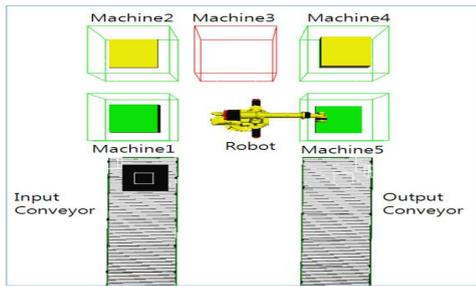
Sequence	Confidence(%)
<7 10>	75
<3 8>	60

4. 사례연구(Case Study)

4.1 A사 생산라인의 구성

본 논문에서 구성한 모델은 국내 A사의 생산라인의 일부인 FMC를 대상으로 패턴을 분석하였다. FMC의 배치는 그림 1과 같고 입출력 컨베이어와 총 5대의 기계들이 로봇 몸체를 중심으로 일정한 간격으로 배치되어 있고 몸체로부터 작업대까지의 거리는 모두 일정하다. 각 기계들의 앞 공간에는 버퍼를 두어 작업물을 일시 저장할 수 있고 로봇의 팔은 현 위치에서 좌우 양방향 이동이 모두 가능하나, 입구 컨베이어로부터 시계바늘 반대방향으로 그리고 출구 컨베이어로부터 시계바늘 방향으로

의 이동은 되지 않는다. 여러 종류의 작업물이 입구 컨베이어에 랜덤하게 계속 도착하고 컨베이어의 센서를 통해 작업물의 도착이 인식된다. 로봇 팔은 셀 컨트롤러(Controller)의 지시에 따라 입구 컨베이어나 작업대까지 이동하여 작업물을 상차 한 후 다음 가공을 위한 기계 또는 출구 컨베이어의 지정된 위치로 이동하여 작업물을 놓는다. 완료된 작업물은 다음 공정을 위한 설비의 저장공간이 있을 때 이동이 가능하다. 그리고 완료된 작업물이 하나라면 즉시 로봇에 의해 서비스 되고 완료된 작업물이 두 개 이상이면 사전에 입력 저장되어 있는 작업 우선순위규칙에 의해 로봇의 팔의 이동을 지시한다.



[그림 1] A사 FMC 생산 라인

4.2 작업물별 공정 및 설비분석

본 논문에서는 제안한 방법론의 유효성을 검토하기 위하여 A사의 생산라인을 시뮬레이션으로 설계하였다. 이를 위하여 추가적으로 FMC에서 생산되는 작업물과 설비, 로봇 등에 관한 추가적인 분석이 요구된다.

모든 설비의 작업 용량은 1이고 각 설비(MC)에는 버퍼가 있어 작업이 끝나면 버퍼에서 대기하고 있는 다음 작업물의 공정이 시작된다. 각 설비의 버퍼의 용량은 10이다. 작업물은 총 5 종류이고 FMC에 지수분포 5분에 따라 입구 컨베이어를 통하여 시스템에 들어오게 되고 표 5와 같이 서로 다른 공정 순서를 거쳐 작업이 이루어진다.

[표 5] 작업물의 공정 순서

작업물 순서 \ 작업물	A	B	C	D	E
1	MC1	MC4	MC2	MC1	MC2
2	MC3	MC5	MC4	MC4	MC4
3	MC4	MC1	MC1		MC3
4	MC2		MC5		MC5

로봇을 통해 운반된 작업물은 각각의 설비에서 표 6과 같이 특정 작업시간을 가지게 되는데 기계와 로봇의 작업은 프로그램에 의해 자동으로 반복 수행되기 때문에

이들의 작업소요 시간은 모두 확정적이다.

로봇의 이동시간은 구성 된 설비들의 배치에 따라 표 7과 같이 구성되고 한 번에 하나의 작업물만 운반 할 수 있고 작업물의 상차, 하차시간은 모두 18초이다.

[표 6] 설비별 작업시간

작업 시간(단위 : 분)					
작업물 번호 \ 작업물	A	B	C	D	E
MC1	12	5	4	8	
MC2	4		6		6
MC3	5				7
MC4	6	7	7	6	4
MC5		9	12		10

[표 7] 로봇의 이동시간

FMC 로봇 이동 시간(단위 : 초)							
	Inconv	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	Outconv
Inconv	-	30	40	50	60	70	80
MC1	30	-	30	40	50	60	70
MC2	40	30	-	30	40	50	60
MC3	50	40	30	-	30	40	50
MC4	60	50	40	30	-	30	40
MC5	70	60	50	40	30	-	30
Outconv	80	70	60	50	40	30	-

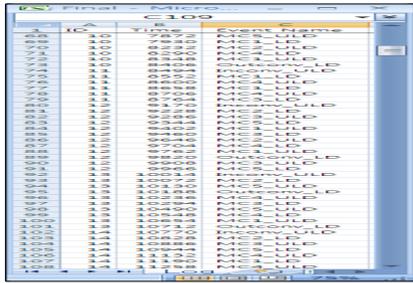
모든 공정을 거쳐 작업이 완료된 작업물은 출구 컨베이어를 마지막으로 시스템을 떠나게 된다. 로봇은 작업을 마친 후 다음 서비스가 없으면 지시가 있을 때 까지 그 위치에서 대기한다.

4.3 순차 패턴을 적용한 로봇의 작업 우선순위 결정

로봇은 현재 작업을 완료한 후 대기상태가 되었을 때 각 기계에서 작업 완료 신호가 발생했는지 파악한다. 하나의 신호가 발생하였을 경우는 해당 작업을 수행하고 두 개 이상의 신호가 발생하였을 경우에는 어떤 작업을 우선 처리해야 하는지 결정해야 한다. 또한 신호가 없는 경우에는 어떤 작업물을 우선적으로 수행해야 할지를 결정해야 한다. 예를 들어 로봇은 입구 컨베이어와 출구 컨베이어를 포함하여 총 7개의 작업장을 관할하고 있다. 로봇의 작업물 선택 패턴을 도출하기 위해 기존 작업 우선순위규칙에 따라 작업물을 선택하고 운반하는 로봇의 이

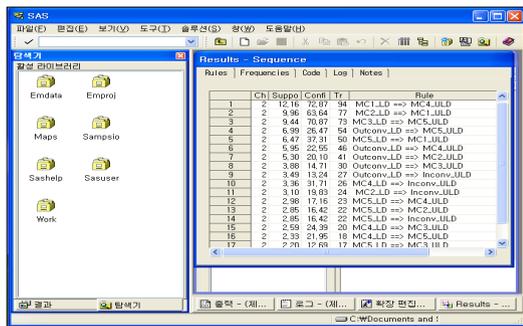
동 로그를 추출하고 순차 패턴 마이닝을 이용해 로봇의 이동 패턴을 도출하였다. 3장에서 언급한 순차 패턴 도출 알고리즘을 이용하였다. 추출된 로그를 ID와 시간, 그리고 로봇 동작으로 분리하여 최소신뢰도를 만족하는 로봇의 동작을 추출할 수 있다. 순차 패턴을 도출하기 위해 SAS 9.2를 이용하였다.

그림 2는 AutoMod와 Excel을 연동하여 로봇의 로그 파일을 기록한 것이며, 그림 3은 SAS 9.2를 이용해 순차 패턴을 도출한 실행화면이다. 신뢰도를 기반으로 도출된 패턴을 통해 기존 작업 우선순위규칙에 패턴을 적용하였다.



[그림 2] 로봇 동작 로그 파일

즉, 완료된 작업물이 2개 이상 있을 경우 로봇이 다음 작업물을 선택하는 의사결정 과정에서 패턴에 입력된 작업물을 우선 서비스 하고, 작업 완료 신호가 없는 경우 신뢰도가 높은 작업물을 미리 선택하여 그 위치로 이동하여 대기한 후 서비스하는 작업 우선순위규칙이다.



[그림 3] SAS9.2를 이용한 순차패턴 도출 결과

로봇이 작업을 마친 후 그 위치에서 도출된 패턴의 정보를 입력받고 설비에서 발생하는 정보를 바탕으로 다음 작업을 수행해야 할 곳으로 이동한다. 로봇은 자신이 의사결정을 해야 할 상태가 되었을 때 즉각적으로 정보를 사용할 수 있다.

4.4 실험 및 결과분석

본 실험의 주목적은 한 대의 로봇을 중심으로 운영되는 FMC에서 로봇의 작업 우선순위규칙에 따른 수행도를 비교 평가하여 제시한 방법의 유효성을 검증하기 위한 것이다. 본 논문에서는 제시한 방법의 유효성을 검증하기 위해서 A사의 작업 우선순위규칙과 비교 하였다. 현재 A사에 적용하고 있는 작업 우선순위규칙은 선입선출(FIFO)로 먼저 발생된 신호를 우선 처리하는 방법을 사용하고 있다. 본 논문에서는 제시한 방법의 유효성을 검증하기 위해 선입선출 뿐만 아니라 가장 많이 이용되는 두 가지 작업 우선순위규칙을 (최소이동시간우선, 최대잔여가공시간우선) 적용한 모델과 비교하였다. 최소 이동시간 우선(MITT)규칙은 현재 위치에서 다음 공정의 기계 또는 출력 컨베이어로 이동하는 시간이 가장 짧은 작업물을 우선 서비스하는 것이며, 최대 잔여가공시간 우선(MXRP)규칙은 잔여 공정에서 소요되는 가공시간의 합이 가장 긴 작업물을 우선 서비스하는 것을 말한다.

표 8은 세 가지 작업 우선순위규칙을 적용한 모델과 각각의 작업 우선순위규칙에 패턴을 적용시킨 모델과 비교 분석한 것이다.

[표 8] 대안비교 결과

Dispatching Rule	No.	평균 처리시간 (min)	입구 컨베이어 평균 대기 작업물 수(EA)	총처리량 (EA)	로봇 가동률 (%)
FIFO	1	55.06	5.6	109	56.3
MITT	2	53.43	4.5	112	58.7
MXRP	3	54.97	5.3	108	55.9
SP_FIFO	1-1	48.59	3.8	120	60.1
SP_MITT	2-1	45.30	3.5	135	62.7
SP_MXRP	3-1	51.46	3.9	115	59.6

비교결과 현재 A사에서 적용하고 있는 작업 우선순위규칙인 선입선출에 비해 순차 패턴을 적용한 순차패턴선입선출(SP_FIFO)규칙이 작업물의 평균 체류시간이 6.47분 줄었음을 확인 할 수 있다. 이는 작업물이 FMC에 투입되어 모든 공정을 마칠 때 까지 설비별 최대가공시간(29분)과 로봇에 의해 운반되는 시간(3.16분)을 제외하면 작업물이 완료된 후 로봇에 의해 운반되기 전까지 대기한 시간이 현저하게 줄었음을 확인할 수 있다. 또한 입구 컨베이어의 평균 대기 작업물의 수도 1.5배의 차이를 보였고 총 처리량도 11개 차이가 나는 것으로 확인 되었다. 로봇 가동률의 경우기존 규칙에 비해 늘어난 것을 확인

할 수 있는데 이는 선 작업을 수행한 후 작업 완료 신호가 발생하지 않은 경우 다음 작업물을 선택하여 미리 그 위치로 이동하여 대기함으로써 높은 결과가 나타난 것으로 사료된다.

또한 현재 A사가 적용하고 있는 선입선출 규칙에 비해 최소 이동시간 우선규칙을 적용하였을 때 작업물의 총 처리량이 증가하고 평균 체류시간이 감소하였다. 이는 A사의 FMC에 최소 이동시간 우선 규칙을 적용하는 것이 더 효율적인 것으로 입증되었고 본 논문에서 제시한 순차패턴 최소 이동시간 우선규칙(SP_MITT)규칙을 A사의 FMC에 적용하는 것이 가장 효율적인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 한 대의 로봇에 의해 제어되는 로봇 중심 FMC에서 로봇이 대기상태가 되었을 때 작업 우선순위규칙 방법으로 순차 패턴을 이용하여 로봇의 작업물 선택 방법을 제시하였다.

이를 위해 국내 A사의 생산라인을 시뮬레이션으로 모델링하여, 로봇의 패턴을 로그형태로 추출한 후 순차패턴 마이닝 방법을 이용하여 그 로봇의 패턴을 추출하였다. 이후 효율적인 로봇의 작업순서를 설계하기 위해 도출된 패턴을 로봇의 작업 우선순위를 결정하는데 사용하였고, 실험결과 기존 설비에서 주로 사용하는 작업 우선순위 규칙(선입선출, 최소이동시간우선, 최대잔여가공시간우선)보다 전체적으로 향상된 결과를 가져왔다. 이 방법을 제조 부분에 적용한다면 생산성 향상을 가져올 것이다.

현재까지 연구된 로봇의 의사결정 방법은 간단한 시스템의 몇 개의 요소만을 고려한 수학적 기법을 사용하였거나 많은 가정을 두어 현실적으로 적용하기 어려웠다. 하지만 본 논문에서는 다양한 작업환경에서도 실제 FMC를 시뮬레이션을 통해 구현한 후 순차 패턴 마이닝을 이용하여 패턴을 도출하여 설비의 신호와 로봇 동작간의 그 연관관계를 분석하고 최적의 운영법칙을 설계, 적용할 수 있기 때문에 라인 균형화(Line Balancing)를 할 수 있는 효율적인 작업 우선순위규칙 방법을 제시하여 기존 방법과 차별화 하였다. 또한 FMC내 새로운 장비가 추가되거나 설비의 향상이 이루어졌을 경우 로봇의 패턴의 변화를 통해 새로운 작업 환경을 구현하는데 용이할 것이다.

본 논문에서 제시한 방법은 현재 산업 분야 중에서 LCD생산 공정과 같이 거의 모든 공정이 반송용 로봇에 의해 구성되어 있는 장치 산업분야에서 사용한다면 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 박양병. "로봇 중심 FMC에서 최적 로봇 서비스 이동정책을 위한 연구.", 한국시뮬레이션학회 논문지, 제1권, 제1호, pp. 55~63, 1992.
- [2] 윤정의. "FMC반송용 로봇의 선전형 운영방법.", 한국시뮬레이션학회 논문지, 제17권, 제4호, pp. 249~257, 2008.
- [3] F.T.S.Chan. "Effects of Dispatching and routing Decisions on the Performance of a Flexible Manufacturing System.", International journal of advanced manufacturing technology ,v.21 no.5 ,pp.328-338 ,2003.
- [4] ShopSarper, H. Henry, M. "Combinatorial Evaluation of Six Dispatching Rules in A Dynamic Two-machine Flow Shop.", Omega, v.24, no.1, pp.73-81, 1996.
- [5] Stecke K. E, Solberg J. J. "Loading and control policies for a flexible manufacturing system.", International Journal of Production Research, Vol19, pp. 481-90, Sept.-Oct, 1981.
- [6] Slalanil m, sarker bhaba r and waikaravinash m. "Comparative study of some priority dispatching rules under different shop load.", Production planning & control, v.6, no.4, ,pp.301-310, 1995.
- [7] M. Kizil, M. Ozbayrak, T.C. Papadopoulou. "Evaluation of dispatching rules for cellular manufacturing.", International journal of advanced manufacturing technology, v.28, no.9, pp.985-992, 2006.
- [8] Jayamohan M.S, Rajendran C. "Development and analysis of cost-based dispatching rules for job shop scheduling.", European journal of operational research , v.157, no.2, pp.307-321, 2004.
- [9] Agnetis A. "Scheduling no-wait robotic cells with two and three machines.", European journal of operational research, v.123, no.2, pp.303-314, 2000.
- [10] Restrepo, Indira Molina and Balakrishnan S. "Fuzzy-based methodology for multi-objective scheduling in a robot-centered flexible manufacturing cell.", Journal of intelligent manufacturing, v.19, no.4, pp.421-432, 2008.
- [11] AgrawalR, SrikantR. "Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases.", Very large data bases, pp.487-499, 1994.
- [12] P.Tan, M. Steinbach and V. Kumar. "Introduction to Data Mining.", Addison Wesley(2005)
- [13] AgrawalR, SrikantR. "Mining Sequential Patterns.",

Data Engineering, Proceedings of the Eleventh International Conference on, pp.3-14, 1995.

김 선 길(Sun-GIL Kim)

[준회원]



- 2008년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학과 석사과정

<관심분야>

Discrete Event Simulation, DEA, SCM, Meta-Heuristic

김 연 진(Youn-Jin Kim)

[정회원]



- 2008 3월 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학과 박사과정

<관심분야>

Discrete Event Simulation, MCDM, DEA, SCM, Meta-Heuristic

이 흥 철(Hong-Chul Lee)

[정회원]



- 1983년 2월 : 고려대학교 산업공학 학사
- 1988년 2월 : Univ. of Texas 산업공학과 석사
- 1993년 2월 : Texas A&M Univ. 산업공학박사
- 1996년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학과 교수

<관심분야>

SCM, 생산 및 물류 정보시스템, PLM