

로봇 중심 FMC에서 최적 로봇 서비스 이동정책을 위한 연구*

Optimizing Robot's Service Movement in a Robot-Centered FMC

박 양 병**

Yang-Byung Park

Abstract

This paper presents a simulation based analysis of a service robot operating in a robot-centered FMC, in which the robot is located at the approximate center of the cell and the machines are arranged in a partial circle around it. The robot's function is to locate and service the parts which require a series of unloading, moving, and loading operations. The main purpose of the analysis is to determine the best movement decision for the robot's arm in each instance. The results from the study, based on both statistical and nonstatistical analyses, suggest the best policy for the robot arm's movement that holds promise for application to the robot-centered FMC.

1. 서론

다품종 소(중)량생산에서 비교적 높은 생산성을 유지할 수 있는 자동생산시스템으로서 등장한 것이 유연제조시스템(Flexible Manufacturing System:FMS)이다. FMS는 "자동물자 취급시스템과 중앙 컴퓨터 제어를 이용하여 서로 상이한 공정순서와 가공시간을 가진 작업물을 랜덤하게 가공할 수 있는 NC공작기계(주로 머시닝 센터)의 집단으로서, 제품의 설계 및 생산량의 변화에도 자동적으로 유연하게 대처

할 수 있는 생산시스템[1]"이라고 정의된다.

FMS는 NC공작기계의 댓수와 그 배치에 따라서 여러 형식으로 분류될 수 있는데, 그 중 유연제조셀(Flexible Manufacturing Cell:FMC)은 여러대의 NC공작기계와 작업물의 준비(상차 및 탈차:loading and unloading) 및 운반 작업을 수행하는 1-2대의 로봇이나 기계적 팔 또는 자동유도 운반차(AGV)로써 구성된 소규모 작업센터 형식으로 정의된다. FMC에서 NC기계들의 배치는 작업물들의 공정순서와 기계 및 작업물의 크기에 좌우되어 원형, 직

* 본 논문은 경희대학교에서 지급한 학술 연구조성비에 의하여 수행되었음.

** 경희대학교 산업공학과

선형, U형 등을 따르는 데, 이에 따라 작업물의 준비방법 및 기계간 작업물의 운반방법이 결정된다. FMC는 그물테 크놀로지(GT)를 적용하여 구성된 부품케빌리에 속하는 부품들을 가공하는 기계셀의 기능을 갖기도 한다. 따라서 FMC는 때때로 GT 기계셀이라고도 불리운다.

셀의 중앙에 고정위치한 로봇트를 중심으로 여러 NC기계들이 개략적인 원형으로 배열되어 있는 FMC를 로봇트 중심 FMC(a robot-centered FMC)[2]라 부른다. 로봇트의 기능은 긴 팔을 이용하여 장·탈착과 운반작업을 필요로 하는 작업물을 서비스하는 것이다. 다이 캐스팅, 금속물 기계가공, 플라스틱 몰딩을 수행하는 FMC가 흔히 이에 속한다.

공정이 다른 여러 종류의 작업물을 동시에 가공하는 로봇트 중심 FMC의 운영에서 로봇트 팔의 최적 이동을 위한 정책수립은 중요한 문제로서 인식된다. 로봇트의 팔이 운반한 작업물을 기계에 놓은 직후 또는 셀에서 가공이 완료된 작업물을 외부로 내보낸 직후, 즉 로봇트가 현재의 작업수행으로부터 자유롭게 된 순간 로봇트의 운반작업이 가능한 작업물이 2개이상 기다리고 있는 경우, 그중 어떤 작업물에 대해 우선적으로 서비스를 수행하는가는 FMC의 수행도에 영향을 미칠 수 있다. 또한 로봇트가 현재의 작업수행으로부터 자유롭게 된 순간 로봇트의 서비스가 가능한 작업물이 하나도 없는 경우, 로봇트의 팔을 어느 지점으로 이동하여 위치할 것인가도 FMC의 수행도에 영향을 미칠 수 있다. 수행도 적도로는 작업물의 총처리 시간, 작업물의 평균체류시간, 단위시간당 생산량, 작업물의 평균대기시간, 기계의 이용도 등을 고려할 수 있다.

FMC의 동적환경에 비추어, 수리적 접근방법을 이용하여 최적의 로봇트 팔이동을 위한 폐쇄형 분석식을 유도한다는 것은 매우 어렵다. 이것은 동적환경의 개별공정(job shop)에서 작업순서 결정문제가 NP-complete인 것과 같다.[3] Dror와 Stulman[4]은 여러대의 방직기들이 일렬로 배치되어 있는 작업장에서 고장난 기계들을 수리하는 로봇트의 최적 이동을 결정하는 시물레이션 분석을 소개하였다. 그들은 이 논문에서 Schweitzer[5]가 개발한 수리적 접근방법의 이용도 함께 제안하였다. 그러나 이 방법은 비현실적 가정과 복잡성에 기인하여 실제 사용상 여러 제약이 따른다. 로봇트 중심 FMC를 분석한 연구는 최근에 Asfahl[6]에 의해 소개되었다. 그는 저서에서 단일 그리퍼와 쌍 그리퍼 로봇트의 수행도 비교를 다루었으나, 공정

순서가 일정한 단일품목만을 취급하는 FMC를 가정하였다.

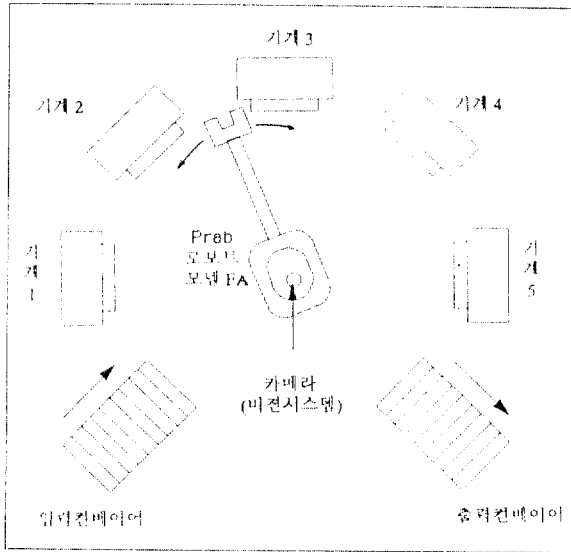
본 논문에서는 여러 종류의 작업물을 동시에 가공하는 로봇트 중심 FMC에서 사용할 수 있는 로봇트 서비스 이동 규칙들을 제안하며, 이들의 적용에 따른 셀의 수행도를 컴퓨터 시물레이션 기법을 이용하여 분석한다. 또한 FMC 환경의 주요 매개변수인 기계가공시간과 로봇트 팔의 거주 위치(dwelling point)를 변화하여 로봇트 서비스 이동 규칙들의 수행도에 대한 민감도 분석을 수행한다. 이에 따라 로봇트 중심 FMC에서 적용할 수 있는 최적의 로봇트 팔 이동정책이 제안된다. 시물레이션 언어로는 SLAM II[7]가 사용된다.

2. 연구대상 FMC

본 연구를 위해 여러 모델의 트럭 디퍼렌셜 조립품에 사용되는 주물들의 기계작업을 수행하는 FMC를 선정하였으며, 셀의 배치는 <그림 1>과 같다. 입·출력 컨베이어와 5대의 NC기계들은 고정위치한 로봇트 몸체를 중심으로 원주를 따라 모두 일정한 간격으로 배치되어 있으며, 몸체로부터 각 장비들의 작업대까지의 거리는 모두 일정하다. 각 기계들은 가공 중에 앞 공정으로부터 도착된 작업물을 일시 저장할 수 있는 일정크기의 공간을 확보하고 있다. 필요에 따라 로터리 회전 제네바 기구를 이용하여 2개의 작업물을 동시에 보유할 수 있는 회전작업대를 설치할 수 있다. 로봇트는 긴 팔을 가진 3축 원통형 Prub 로봇트 모델 FA이다. 로봇트의 팔은 현위치에서 좌·우 양방향 이동이 모두 가능하나, 입력컨베이어로부터 시계바늘 반대방향으로 그리고 출력컨베이어로부터 시계바늘방향으로의 이동은 허용되지 않는다.

각기 상이하나 유사한 공정을 갖는 여러 종류의 작업물들은 알류미늄 팔렛 위의 특수한 고정구에 장착된 채 외부로부터 입력컨베이어에 랜덤하게 계속 도착한다. 벨트 컨베이어 끝에 설치되어 있는 리미터 스위치에 의해 작업물의 도착은 인식된다. 로봇트의 몸체 위쪽에 설치되어 로봇트 팔의 이동과 병행하여 움직이는 카메라를 통하여 팔렛 전면에 부착되어 있는 바코드를 판독한다. 바코드는 팔렛에 고정되어 있는 작업물의 부품고유번호(작업물 종류)와 기계작업(공정)에 대한 정보를 내포하고 있다.

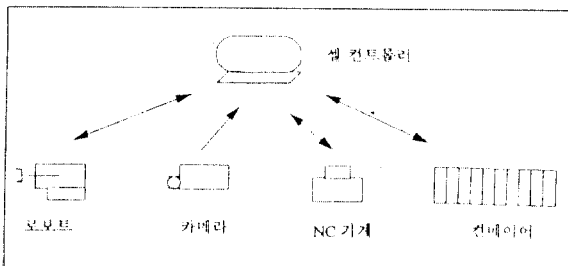
로봇트 팔은 셀 콘트롤러의 지시에 따라 입력컨베이어나 기계의 작업대까지 이동하여 그리퍼로써 작업물을 집



(그림 1) 연구대상 FMC의 구성

은 다음, 다음 가공을 위한 기계 또는 출력컨베이어의 지정된 위치로 이동하여 작업물을 놓게 된다. 모든 작업물은 팔렛 위에 고정된 채로 가공과 이동이 이루어진다. 입력컨베이어에 도착하거나 또는 한 기계에서 가공이 완료된 작업물은 로봇과 다음 공정을 위한 기계 또는 기계의 저장공간이 이용 가능할 때 이동이 가능하다.

(그림 2)는 FMC에서 셀 컨트롤러와 하드웨어들의 연결을 보여준다. 셀 컨트롤러는 입력컨베이어에 작업물의 도착과 기계에서의 가공완료, 바코드 해독기에 의한 작업물의 공정순서, 로봇 및 기계들의 현재상태(가공 또는 휴지), 각 기계의 작업대 및 저장공간내 대기 작업물수 등의 정보를 토대로 로봇의 서비스가 가능한 작업물들을 확인한다. 만일 로봇이 휴지상태일 때 서비스가 가능한



(그림 2) 컨트롤 네트워크

작업물이 단지 한개이면 즉시 로봇 팔의 이동을 지시하고, 만일 서비스가 가능한 작업물이 두개 이상이면 사전에 입력 저장되어 있는 로봇 서비스 이동규칙 프로그램을 실행한 결과를 토대로 로봇 팔의 이동을 지시한다. 이에 따라 로봇 팔은 일련의 이동, 작업물 탈착, 운반, 작업물 장착 또는 저장 서비스를 수행한다. 만일 서비스가 가능한 작업물이 한개도 없으면 사전에 결정되어 있는 거주정책에 따라 지정된 위치로 로봇 팔의 이동을 지시한다.

3. 로봇 서비스 이동규칙

본 논문에서는 모두 5가지의 로봇 서비스 이동규칙이 고려되며, 다음과 같이 정리된다.

(1) 선입선출(FIFO)규칙

가장 먼저 로봇의 서비스를 필요로 한(즉, 가장 오래 기다린) 작업물을 우선 서비스한다.

(2) 최소이동시간우선(MITT)규칙

로봇 팔이 현위치로부터 작업물 탈착을 위한 기계 또는 입력컨베이어를 거쳐 다음 공정의 기계 또는 출력컨베이어까지 이동하는데 소요되는 총시간이 가장 짧은 작업물을 우선 서비스한다. 로봇의 총이동시간(RTT)은 다음식에 의해 계산된다.

$$RTT = l_i \cdot v_i / s + l_{i+1} / s$$

여기서 l_i = 로봇 팔의 현 위치

i = 탈착될 작업물이 놓여 있는 기계 또는 입력컨베이어의 위치

j = 다음 공정의 기계 또는 출력컨베이어의 위치

s = 로봇의 이동속도

(3) 최대잔여가공시간우선(MXRP)규칙

잔여공정에서 소요되는 가공시간의 합이 가장 긴 작업물을 우선 서비스한다.

(4) 최소공정순서우선(MIRN)규칙

다음 공정의 순서가 가장 작은 번호로써 표현되는 작업을 우선 서비스한다. 예를 들어, 작업물 A와 B의 다음 공정이 각각 2번째와 5번째 순서의 작업이면 작업물 A를 우선 서비스한다.

(5) 최대공정순서우선(MXRN)규칙

MIRN규칙의 반대로서, 다음 공정의 순서가 가장 큰 번호로써 표현되는 작업을 우선 서비스한다.

4. 시물레이션 모델

시물레이션을 위한 FMC의 주요 매개변수들의 값은 임의로 가정하였다. 셀에서 가공하는 작업물은 모두 5종류로서, 각 작업물들의 공정은 전체적으로 흐름생산형태를 따르나 서로 다르게 설정하였다. NC기계와 로봇의 작업은 프로그램에 의해 자동으로 반복 수행되기 때문에, 이들의 작업소요시간은 모두 확정적인 것으로 간주하였다. <표 1>은 작업물의 공정과 가공시간을 보여 준다. 표에서 괄호 왼쪽의 수치는 기계번호, 그리고 괄호속 수치는 가공시간을 나타낸다. 전체적으로 한 공정에서 작업물의 가공시간은 평균 12단위시간임을 알 수 있다.

<표 1> 작업물의 공정과 가공시간

작업물	공정순서			
	1	2	3	4
A	6(20)	3(4)	4(11)	
B	4(12)	5(14)	6(8)	
C	2(10)	4(13)	6(20)	
D	2(16)	6(12)		
E	2(11)	4(8)	3(6)	5(15)

셀내 인접기계간 로봇 팔의 이동시간과 로봇 팔의 작업물 장·탈착시간은 각각 0.5단위시간으로 설정하였다. 입력컨베이어를 통한 작업물의 도착시간 간격을 평균 4.0 단위시간의 지수분포를 따르며, 종류별 작업물의 도착확

률은 각각 20%로서 균일한 것으로 가정하였다. 서비스를 마친 로봇 팔은 다음 서비스가 지시될 때까지 그 위치에서 기다리는 것으로 가정하였다.

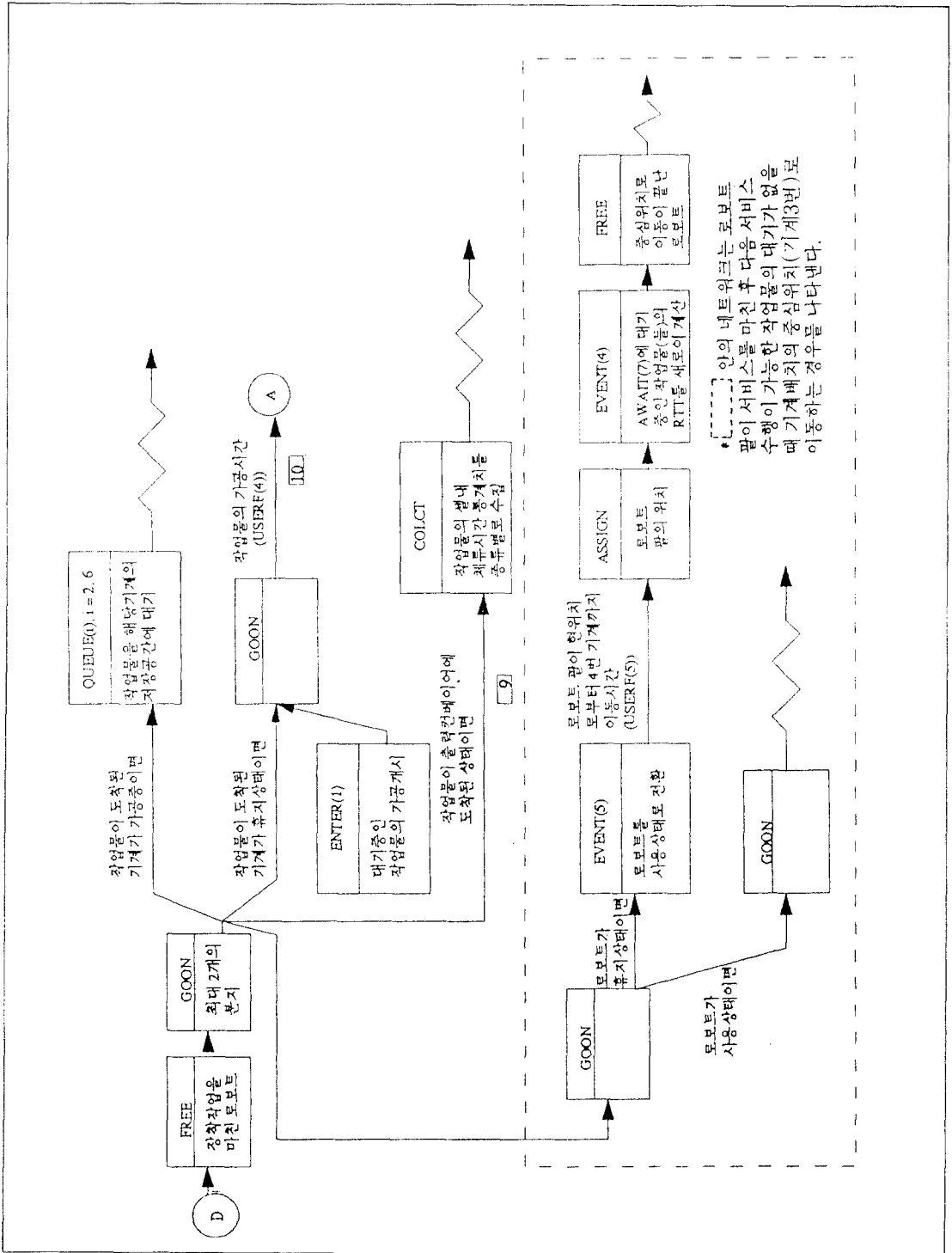
FMC는 SLAMII 시물레이션 언어[7]를 이용하여 모델링되었다. <그림 3>은 SLAMII 네트워크 모델을 흐름도형식으로 나타낸 것이다. 모델에서 INTLC, EVENT(i), ALLOC(1), USERF(i)는 FORTRAN 버전 4.1로써 프로그래밍하여 SLAMII 네트워크에 삽입한 서브프로그램들이다. 구축된 시물레이션 모델과 프로그램의 검증 및 확인 작업을 위해 SLAMII TRACE 과정을 100단위시간동안 실행 검토하였다. 프로그램은 SLAMII/PC 4.0 버전 소프트웨어를 이용하여 IBM/PC 386모델에서 실행하였다.

5. 실험 및 결과분석

본 실험의 주목적은 한 대의 로봇트가 물자취급 관련 서비스를 수행하는 로봇트중심 FMC에서 여러 로봇트서비스 이동규칙과 로봇트 팔 거주정책에 따른 셀의 수행도를 비교 평가하여 최적의 로봇트 팔 이동정책을 결정하는 것이다. 이를 위해 우선 각각의 로봇트 서비스 이동규칙으로써 5종류의 총 100개의 작업물을 가공하는 FMC를 시물레이션하였다. 수행도 평가척도로서, 작업물의 셀내 평균체류시간, 작업물 총처리시간, 입력컨베이어상 평균 대기작업물수, 그리고 로봇트 이용도의 통계자료를 수집하였다. 특히 작업물의 평균체류시간은 재공품의 최소화 및 생산소요시간의 최소화 관점에서, 그리고 작업물 총처리시간은 셀 운영시간의 최소화 관점에서 중요한 수행도 평가척도로서 인식된다. <표 2>는 FMC모델에 5가지 로봇트서비스 이동규칙을 적용하여 각각 10회씩 반복 시물레이션하여 얻어진 결과의 평균치를 정리한 것이다.

Steel's rank sum test[8]를 적용한 결과, 작업물 평균체류시간과 총처리시간은 서비스 이동규칙 요인에 기인하여 5% 에러율($\alpha=5\%$)로써 매우 유의적으로 차이가 나는 것으로 나타났다. Steel's test를 적용하기 위해 측정치의 정규분포 가정에 대한 χ^2 적합도 검정을 $\alpha=5\%$ 로써 수행했다. <표 2>에서 MXRN규칙이 작업물 평균체류시간과 총처리시간에 대해 모두 가장 뛰어난 결과를 보여 준다.

MXRN 규칙에 따른 작업물 평균체류시간 178단위시간



(그림 3) SLAMII 네트워크 모델의 흐름도

〈표 2〉 로봇 서비스 이동규칙에 따른 셀 수행도 비교

규칙	FIFO	MITT	MXP	MIRN	MXRN
수행도평가척도					
평균체류시간 (단위시간)	223	216	238	230	178
총처리시간 (단위시간)	1,619	1,609	1,647	1,621	1,572
입력컨베이어상 평균대기물수 (개)	0.1	0.1	0.1	0.1	1.8
로봇 이용도	0.78	0.77	0.76	0.78	0.81

은 한 작업물이 전체 공정에서 장·탈착과 가공을 위해 필요로 하는 총기대시간 40단위시간(=12단위시간×3공정+1단위시간×4회)에 비교하여 매우 길다는 것을 알 수 있다. 즉, 작업물의 셀내 체류시간 중 약 78%는 기계가공 및 로봇 서비스 기다리는 시간과 로봇 팔에 의한 이동시간으로 소요된다고 볼 수 있다. 이러한 사실은 기계의 평균이용도(기계 1: 48%, 기계 2: 15%, 기계 3: 53%, 기계 4: 39%, 기계 5: 72%)와 로봇의 평균이용도(81%)에 비추어 이해될 수 있다. 특히 기계 5의 생산능력과 로봇의 서비스 능력을 증가시킴으로써 작업물의 대기시간과 이동시간을 줄일 수 있을 것이다. 로봇의 서비스 능력을 높이기 위해 쌍 그리퍼의 착용 또는 팔의 이동속도 증가를 고려할 수 있다.

공정에서 작업물 가공시간의 변화에 따른 로봇 서비스 이동규칙 수행도의 민감성을 분석하기 위해서 동일한 작업물의 동일한 공정에서 가공시간을 일정한 비율로써 변화시킨 7가지 모델에 대해 새로이 시뮬레이션을 수행하였다. 〈표 3〉은 7가지 모델에 각각 5가지 로봇 서비스 이동규칙을 적용하여 각 경우에 대해 10회씩 반복 시뮬레이션하여 얻어진 결과의 평균치로써 구해진 에러율과 MRP 순위를 정리한 것이다. 에러율(R)은 가장 뛰어난 규칙의 수행도 측정치에 대한 상대적인 오차를 나타내며, $R = (X_i - X^*)/X^*$ 로 계산된다. 여기서 X^* 는 가장 뛰어난 규칙의 수행도 측정치이고 X_i 는 i 규칙의 수행도 측정치이다. MRP는 7가지 모델의 시뮬레이션 결과에 Bechhofer et al.'s two-stage multiple ranking procedure[9]를 각각 적용하여 얻어진 순위의 평균치를 나타낸다. 모델의 평균 단위시간 값

은 각 모델에서 사용된 작업물의 가공시간 평균을 의미한다. 표에서 괄호 위쪽의 수치는 작업물 평균체류시간 그리고 괄호속의 수치는 작업물 총처리시간에 대한 것이다. 로봇 서비스 이동규칙 비교를 위한 수행도 평가 척도로서 로봇 이용도는 적합하지 않기 때문에 분석에서 제외하였다.

Steel's rank sum test를 수행한 결과, 모든 모델에서 작업물 평균체류시간과 총처리시간은 $\alpha=5\%$ 로써 유의적으로 차이가 나는 것으로 판명되었다. 특히, 작업물 평균체류시간은 모든 모델에서 $\alpha=1\%$ 로써 매우 유의적으로 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러나 가공시간 평균치를 36 단위시간 이상으로 증가함에 따라 최대 rank sum 통계치가 점차 감소되면서 이들 수행도 척도들은 서비스 이동규칙에 기인하여 거의 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 이것은 기계가공시간이 로봇 팔의 이동시간에 비교하여 상대적으로 점점 커져서 로봇이 작업중에 로봇의 서비스를 필요로 하는 작업물이 발생할 확률은 점점 낮아지기 때문에, 셀에서 생산기간동안 로봇 서비스 이동규칙이 적용되는 빈도수가 점점 작아지는 결과라고 이해될 수 있다. 가공시간의 평균치가 커질수록 로봇 이용도가 낮아지는 현상이 이 사실을 뒷받침해 준다.

〈표 3〉에 나타난 결과로부터 MXRN규칙이 두 수행도 척도에 대해서 모두 가장 뛰어난다는 결론을 내릴 수 있다. 수행도 척도에 대한 서비스 이동규칙의 순위는 모델에 따라 약간씩 다르기도 하나, 모든 모델에서 거의 일치하는 것으로 나타났다. 이것은 흐름공정(flow shop)의 스케줄링 문제에서 작업물 총처리시간과 평균체류시간은 수행도 평가척도로서 서로 전혀 관계가 없다는 사실[10]과 상반되는 결과이다. MXRN규칙의 수행도가 가장 뛰어난 이유는 FMC에서 공정이 끝나가는 작업물을 우선적으로 선택 가공하여 셀 외부로 출력시킴으로써 작업물들의 셀내 기계간의 흐름을 원활하게 해주기 때문이라고 생각된다. 기대했던 MITT규칙은 두 평가척도에서 모두 두번째로 높은 수행도를 보였다.

다음에는 로봇이 작업을 마친 직후 로봇의 서비스를 기다리는 작업물의 대기가 없을 때 로봇 팔을 기계배치의 중심위치인 3번 기계로 이동하여 기다리게 하는 로봇 팔 거주정책에 따른 로봇 서비스 이동규칙 수행도의 민감성을 분석하여 보았다. 한 공정에서 작업물의 가공시간 평균으로는 12단위시간과 30단위시간의 두가지 모델만

(표 3) 7가지 모델에 대한 로봇 서비스 이동규칙의 비교

규칙		FIFO	MITT	MXRP	MIRN	MXRN
비교척도						
예 리 도 (R)	(1) 평균 3 단위시간모델	0.13 (0.03)	0.08 (0.03)	0.65 (0.05)	0.43 (0.04)	0.00 (0.00)
	(2) 평균 6 단위시간모델	0.62 (0.04)	0.37 (0.0)	0.92 (0.06)	0.73 (0.03)	0.00 (0.02)
	(3) 평균 12 단위시간모델	0.25 (0.03)	0.21 (0.02)	0.34 (0.05)	0.29 (0.03)	0.00 (0.00)
	(4) 평균 18 단위시간모델	0.12 (0.02)	0.15 (0.06)	0.21 (0.05)	0.17 (0.03)	0.00 (0.00)
	(5) 평균 24 단위시간모델	0.06 (0.0)	0.04 (0.03)	0.1 (0.04)	0.1 (0.03)	0.00 (0.02)
	(6) 평균 30 단위시간모델	0.1 (0.07)	0.06 (0.05)	0.18 (0.07)	0.19 (0.09)	0.00 (0.00)
	(7) 평균 36 단위시간모델	0.05 (0.02)	0.04 (0.04)	0.04 (0.02)	0.05 (0.02)	0.00 (0.00)
평 균	0.19 (0.03)	0.14 (0.03)	0.35 (0.05)	0.28 (0.04)	0.00 (0.01)	
순 위	3 (2)	2 (2)	5 (5)	4 (4)	1 (1)	
MRP	3.0 (2.43)	2.14 (2.86)	4.29 (4.14)	4.14 (3.29)	1.0 (1.29)	

을 고려하였다.

<표 4>는 로봇 팔을 작업을 마친 위치에서 기다리게 하는 정책에 비교한 새로운 로봇 팔 거주정책의 에러율을 보여준다. 에러율은 2가지 모델에 각각 5가지 로봇 서비스 이동규칙을 적용하여 각 경우에 대해 10회씩 반복 시물레이션하여 얻어진 평균치로써 구해졌다. 괄호 위쪽의 수치는 작업물의 평균체류시간, 그리고 괄호속의 수치는 작업물 총처리시간에 대한 에러율을 나타낸다. 표에서 에러율이 0인 네 경우는 시물레이션 결과 두 거주정책에 따른 수행도 측정치가 모두 동일한 값으로 얻어진 경우이다. 분석결과, 로봇 팔을 3번 기계위치로 이동하여 기다리게 하는 정책은 로봇 팔을 작업을 마친 위치에서 기다리게 하는 정책에 비교하여 모든 경우에서 두 수행도 평가척도 어느 것에 대해서도 더 뛰어나지 않는 것으로 나타났다.

(표 4) 3번기계에 위치하는 로봇 팔 거주정책에 따른 로봇 서비스 이동규칙의 비교

규칙		FIFO	MITT	MXRP	MIRN	MXRN
비교척도						
예 리 도 (R)	(1) 평균 12 단위시간모델	0.31 (0.08)	0.00 (0.04)	0.29 (0.06)	0.35 (0.07)	0.00 (0.01)
	(2) 평균 30 단위시간모델	0.07 (0.02)	0.03 (0.00)	0.07 (0.02)	0.05 (0.00)	0.04 (0.01)

6. 결론

본 논문에서는 SLAMII를 이용한 컴퓨터 시물레이션 분석을 통하여 여러 종류의 작업물을 동시에 가공하는 로봇 중심 FMC에서 최적의 로봇 팔 이동정책을 결정하는 내용을 소개하였다. 다음과 같은 결론이 연구로부터 도출되었다.

(1) 작업물의 평균체류시간은 로봇 서비스 이동규칙에 기인하여 $\alpha=1\%$ 로써 매우 유의적으로 차이가 났다.

(2) 작업물의 총처리시간은 로봇 서비스 이동규칙 요인에 기인하여 $\alpha=5\%$ 로써 매우 유의적으로 차이가 났다.

(3) 로봇의 인접기계간 이동시간에 비교하여 작업물의 한 기계에서 가공시간의 길이가 크게 증가함에 따라서, (1)과 (2)의 결론과 반대로 수행도 평가척도의 차이는 점점 줄어들었다.

(4) 작업물의 평균체류시간과 총처리시간은 로봇 서비스 이동규칙에 따른 수행도 평가척도로서 매우 밀접한 관계가 있다. 즉, 두 평가척도에 대한 로봇 서비스 이동규칙의 순위는 실험의 모든 경우에서 거의 일치하였다.

(5) MXRN규칙이 작업물 평균체류시간과 총처리시간 척도에 대해 실험의 모든 경우에서 5가지 규칙 중 그 수행도가 가장 뛰어났다. 그 다음으로 MITT 규칙이다.

(6) 로봇이 작업후 로봇의 서비스를 기다리는 작업물의 대기가 없을 때 로봇 팔을 작업을 마친 위치에서 다음 작업물을 기다리게 하는 정책은 로봇 팔을 기계배치의 중심위치로 이동시키는 정책에 비교하여 작업물 평균체류시간과 총처리시간 모두에 대해 그 수행도가 더 뛰어났다.

본 연구를 통하여 제안된 최적의 로봇 팔 이동정책은

실제 로봇 중심 FMC 운영에 효과적으로 적용될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

- [1] Talavage, J. and R. G. Hannam, *Flexible Manufacturing Systems in Practice*, Marcel Dekker Inc., 1988.
- [2] Groover, M. P., Weiss, M., Nagel, R. and N. G. Odrey, *Industrial Robots*, McGraw-Hill, 1986.
- [3] Su, Z. S. and K. C. Sevcik, "A Combinatorial Approach to Dynamic Scheduling Problems," *Operations Research*, Vol. 26, No. 5, 1978.
- [4] Dror, M. and A. Stulman, "Optimizing Robot's Service Movements : A One Dimensional Case," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 39~46, 1987.
- [5] Schweitzer, P. J., "Iterative Solution of the Functional Equations for Undiscounted Markov Renewal Problem," *J. Math. Anal. Appl.* Vol. 34, pp. 495~501, 1971.
- [6] Asfahl, C. R., *Robots and Manufacturing Automation*, 2nd ed., John Wiley and Sons Inc., 1992.
- [7] Pritsker, A. A. B., *Simulation and SLAMII*, 3rd ed., Halsted Press, New York, 1986.
- [8] Kleijnen, J. P. C., *Statistical Techniques in Simulation : Part II*, Marcel Deckker Inc., New York, 1975.
- [9] Bechhafer, R. E., Dunnett, C. W. and M. Sobel, "A Two-Sample Multiple Decision Procedure for Ranking Means of Normal Populations with a Common Unknown Variance," *Biometrika*, Vol. 41, pp. 190~196.
- [10] Park, Y.B., Pegden, C. D. and E. E. Enscore, "A Survey and Evaluation of Static Flowshop Scheduling Heuristics", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 22, No. 1, pp. 127~141, 1984.

● 저자소개 ●

*

박양병

저자(박양병)는 현재 경희대학교 산업공학과 부교수로 재직중이다. 한양대학교 산업공학과에서 학사, Pennsylvania State University에서 석사, Oklahoma State University에서 박사학위를 취득하였으며, Northeastern University 산업공학과 조교수, 그리고 Virginia Tech. 객원교수로 근무하였다. 주요 관심분야로는 컴퓨터총생산(CIM)시스템의 설계와 분석이다.