

유연생산시스템의 기계와 AGV의 동적 작업배정규칙 비교연구 A Comparative Study of Dynamic Dispatching Rule for Machine and AGV of Flexible Manufacturing System

이성우*
Sung-Woo Lee*

<Abstract>

We suggest and evaluate a dynamic scheduling rule of machines and material handling systems for on-line operation in job shop type Flexible Manufacturing System. Alternating status should be able to take operation scheduling procedures and without delay in dynamic industrial environments effectively.

The interaction(SPT-NS, SPT-QSNS, SPT-NUJ, EDD-NS, EDD-QSNS, EDD-NUJ, CR-NS, CR-QSNS, CR-NUJ) between machine operation scheduling and AGV dispatching rule were also studied in this research. The performance evaluation which was obtained from DSS compares the performance of Flow time, and Empty to loaded travel ratio. It is Compared with the best rules & two system.

Keywords : Air impingement jet, Heat transfer, Pedestal heat source, Numerical model

1. 서 론

정보화된 산업의 동적인 환경에서 국내 각 제조업체의 생산성 향상과 작업 효율성을 높이기 위하여 효율적인 일정계획 수립에 대한 필요성이 증대되고 있다. 일정계획문제는 지정된 제품을 최소의 비용으로 가공·처리될 수 있도록 작업·작업순서를 결정하는 문제이다. 이것은 공정계획 정보와 생산현장의 생산 설비의 가용정보로부터 최적의 작업순서를 제시하는 것이며, 이는 가공·처리시간이 최소가 되도록 작업순서를 결정하는 문제와 별다른 의미 구분 없이 사용하고 있다. 유연생산시스템을 운영하는 데에 있어서의 스케줄링에 관한 의사결정 문제는 결국 각 entity에서의 sequencing 문제라고 할 수 있다. 오늘날 산업현장의 작업장들

도 최적화 방향을 가공시간의 향상보다 이동이나 보관과 같은 물류 시간에 중점을 두고 있어 이동시간을 고려한 일정계획 모형의 개발이 절실히 요구되고 있다. 다음의 조사는 AGV (Automated Guided Vehicle)를 기반으로 한 물자처리시스템의 운영 통제를 다룬다. Klein & Kim에 따르면, AGV 작업배정규칙(dispatching rule)은 의사결정 과정에 포함된 속성의 수에 따라 단일속성 작업배정과 다중속성 작업배정으로 분류할 수 있다. 가능한 속성은 AGV 트랙 레이아웃, AGV의 위치, AGV의 상태, 적재와 도착 작업장의 대기열 크기와 같은 정보를 포함한다. 본 연구에서는 AGV 작업배정규칙은 단일 방향으로 하고 3대의 AGV를 가지고 동적인 유연생산시스템과 같은 제조환경 하에서 다양한 동적인 상황에서 시뮬레이션 결과를 통

* 교신저자, 정회원 김천대학 호텔·관광경영계열 부교수, 工博, E-mail: sungwlee@gimcheon.ac.kr

* Corresponding Author, Professor, Gimcheon College Division of Hotel & Tourism Management Associate, Ph. D.

해 얻은 가장 적합한 작업배정 규칙을 실시간으로 적용할 수 있는 의사결정의 틀을 제공해주지 못하고 있다.

Denzler 등은 16개의 CNC기계로 구성된 유연생산시스템을 대상으로 기계 이용률을 수행도로 하여 부품 투입 문제를 분석하였는데, SPJL(Smallest Proportion of Jobs Launched), NEP(Next Empty Pallet)이 좋은 결과를 나타내었으며, 공정 선택 규칙으로는 LWL(Least Workload)을 사용하였다.

Choi 등은 우선순위 규칙과 기계 선택 규칙에 대하여 유연생산시스템을 분석하였다. 이 연구 결과, 산출 시간(throughput time)과 생산량 측면에서는 SPT/WINQ가 우수하였으며, WIP측면에서는 LSLACK/WINQ가 우수하였다. 또한, 대체기계가 존재하는 경우 예견능력(look-ahead) 형태의 운영 전략을 활용한다면 온라인 일정계획의 수행도가 향상될 수 있음을 보였다. Melynk 등은 반도체 제조 공정의 일정계획에서 부품 투입 정책과 작업배정 규칙간의 상호작용에 관하여 언급하였다.

Garetti 등은 다양한 부품 투입 규칙이 언급되었는데, 대표적인 것으로는 이용률이 가장 적은 기계에 작업 부하가 가장 큰 부품을 투입하는 MUE(Machine Utilization Equalizer) 규칙, 생산율이 목표에서 가장 뒤떨어진 부품을 투입하는 LPR(Longest Processing time Remaining)규칙, 그리고 방금 가공이 끝난 것과 같은 종류의 부품을 투입하는 ST(Same Type)규칙을 들 수 있다.

본 연구에서는 효율적인 동적 일정계획 시스템을 구축하기 위해, 먼저 이전 연구들에서 가장 좋게 평가된 작업배정 규칙들을 동적인 상황에 따라 제한된 버퍼의 크기와 이전의 연구에서 부분적으로만 고려된 AGV와 확률적으로 서로 다른 도착시간, 가공시간, 기계 집중률과 특별한 셋업을 요구하는 공정, 그리고 가공 시스템과 조립 시스템의 환경을 고려하여 각 job들의 납기를 기계 작업배정 규칙과 같이 적용하여 시뮬레이션 한다.

4대 CNC와 3대의 AGV를 가진 유연생산시스템(Sys I)의 환경과 6대 CNC와 3대의 AGV를 가진 유연생산시스템(Sys II)의 환경에서 기계 일정계획을 위한 작업배정 규칙은 동적인 환경에서 시간성을 잘 나타내고 있는 작업배정

규칙, SPT(Shortest Processing Time), EDD(Earliest Due Date), CR(Critical Ratio)을 사용하고, AGV의 3가지 배정규칙은 NS(Nearest Station), QSNS(Queue Size and Nearest Station), NUJ (Nearest Unassigned Job)을 사용한다.

그리고 기계-AGV 규칙의 조합은 SPT-NS, SPT-QSNQ, SPT-NUJ, EDD-NS, EDD-QSNS, EDD-NUJ, CR-NS, CR-QSNS, CR-NUJ 규칙에 따라 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과를 평균 흐름시간(flow time), 빈 이동과 적재 이동 비율 평균(empty to loaded travel ratio)으로 수행도를 비교하고, 이 결과들을 가지고 동적인 환경에서의 가장 적합한 작업배정 규칙으로의 스위칭을 위한 작업배정 규칙 매트릭스를 개발하여 수행도를 비교한다. 이러한 실험은 C++언어로 개발된 프로그램을 통해 시뮬레이션하여 평가한다.

2. 유연생산시스템의 동적 일정계획

2.1 유연생산시스템 일정계획 규칙

유연생산시스템에서의 각 entity입장에서의 의사결정은 다음과 같이 네 가지로 분류할 수 있다. 첫째 부품이 다음 단위공정을 수행할 기계를 선택하는 문제. 둘째 기계가 대기 부품들 중에서 다음에 가공을 수행할 부품을 선택하는 문제. 셋째 부품이 운반할 AGV를 선택하는 문제. 넷째 AGV가 대기 부품들 중에서 운반할 부품을 선택하는 문제.

유연생산시스템에서 운영 통제의 가장 중요한 부분 중 하나는 대기 중인 job의 한정된 자원에 할당하는 것이다. 이러한 관점에서의 논의는 다음과 같이 분류 될 수 있다.

① AGV 작업배정

제조 시스템에서 한 장소에서 다른 장소로 부품을 이동시키기 위해 유희한 운송 수단에 할당한다. AGV job의 서비스 요구는 이용 가능한 운송 수단의 집합 중에 선택될 것이고, job을 놓은 AGV는 작업장들 중에 한곳에서 할당을 받기 위해 고려되는 것과 같은 것을 논의할 수 있다.

② 유연생산시스템에서 job의 일정계획과 작업배정 요구된 추가 자원의 이용 가능성과 함께 대기 중인 복수 job을 위한 주요 자원을 할당한다.

2.2 동적 일정계획

일정계획 알고리즘은 정적(static)이거나 동적(dynamic)인 상태에 있을 때 특성화되어질 수 있다. 정적인 접근법은 미리 공정의 일정계획을 결정한다. 공정의 특성에 따른 사전지식을 필요로 한다. 그러나 운영되기 전에 완벽한 스케줄이 알려져야 되기 때문에 실행시간이 조금 필요하다. 이에 반하여 동적인 방법은 실행시간에

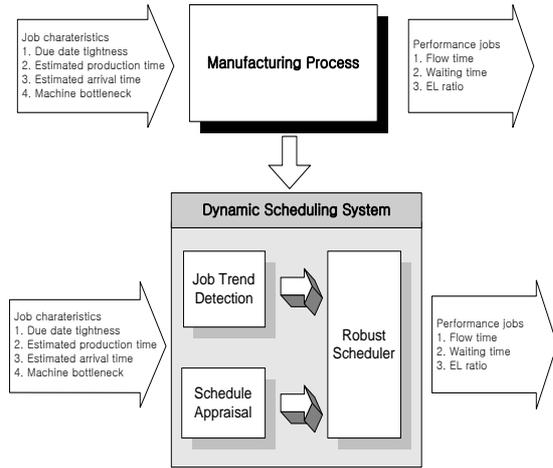


Fig. 1. Principle of dynamic scheduling system.

스케줄을 결정한다. 그러므로, 탄력적인 시스템을 설치하는 것이 예상되는 상황을 극복하고 적극적으로 변화에 대응할 수 있다. 제조 활동에서 변화는 일상생활의 필연적인 요소이다. 작업의 효율을 위해 빈번한 스케줄링의 변화가 필요하다. 작업의 일정계획에 영향을 미치는 중요한 요인은 공장 상태의 동적인 변화이다. Buxey는 다음 요인들의 목록이 일반적으로 생산 공정에서 일어난다는 것과, 생산 스케줄의 평가에 영향을 미칠 것이라고 제안했다. 이러한 요인들은 다음과 같다.

- ① 예측할 수 없는 단계의 결근
- ② 고장이나 수리 설비
- ③ 조정되는 정보의 크기는 요구용량이 총합되어지는 시점에서 계산되어지는 것을 허락한다.
- ④ 공정 단계에서 대기 시간과 교환시간은 크게 변한다.
- ⑤ 목적을 달성하기 위한 계획 운영시간은 대략의 추정치이다.
- ⑥ 고객은 주문 작업이 시작된 후에도, 짧은 순간에 주문을 취소할 수도 있고, 주문량, 납기날짜 등을 바꿀 수도 있다.

⑦ 품질 검사로 제품의 품질은 떨어지고, 제품들이 파기되고, 재작업을 위한 일정계획이 수립되어질 수 있다.

3. 실험설계

본 연구의 실험환경인 가상의 유연생산시스템은 첫 번째 시스템은 네 대의 CNC 기계 M1, M2, M3, M4,와 3대의 AGV를 보유하고 검사소 I, 적재/하역(loading/unloading)지점으로 구성되고(Sys I) 두 번째 시스템은 6대의 CNC 기계 M1, M2, M3, M4, M5, M6, 3대의 AGV를 보유하고 검사소 I, 적재/하역지점으로 구성(Sys II)된다. job은 적재/하역지점(loading/unloading station)을 통해 시스템에 투입되고 산출된다. 각 기계의 입력버퍼 부분은 높게 “9”의 용량을, 출력버퍼 부분은 낮게 “4”로 제한된 크기의 버퍼공간을 가지는 모형으로 가정한다. 버퍼 크기의 결정은 예비 시뮬레이션을 통해 결정되었다

3.1 시뮬레이션 가정

다음의 가정이 시뮬레이션의 실행을 위해 만들어진다.

- ① job의 선점은 허락되지 않는다. 그러므로, 앞서 시작된 작업은 다음 작업이 시작되기 전에 완료되어야 한다.
- ② 가공할 기계뿐만 아니라 각 job의 경로는 가공시작 전에 미리 결정되어있다고 가정한다.(본 실험에서는 유연생산시스템 일정계획 문제에서 상위단계의 부하할당 문제에서 결정된 고정경로를 이용한다.)
- ③ 기계는 job이 도착하는 즉시 이용 가능하다. 즉, 작업준비시간은 기계 공정시간에 포함된 것으로 가정한다. (특별한 셋업을 요구하는 작업은 공정시간이 큰 평균을 사용하여 고려되어 있다.)
- ④ 작업장의 주요 장애는 없다. 예를 들어, 기계고장 또는 공구파손, 중요하지 않은 장애들은 job 기계가공시간에 고려된 것으로 가정한다.
- ⑤ 버퍼는 입력“9”, 출력“4”로 고정되어 있고, 여유 공간은 없다.
- ⑥ job은 특정한 평균을 가지는 지수분포의 형태로 개별적으로 도착하고, 배척 단위

로는 도착하지 않는다.

- ⑦ 모든 job은 3개의 작업을 가지게 된다.
- ⑧ 실험을 위한 Job들의 4가지 특성 도착시간 간격, 납기의 정도, 셋업 공정비율, 특정기계집중 비율은 고정되지 않고 난수를 발생시켜 확률적으로 할당된다.

Table 1. Levels of experimental factors

| Experimental Factors | Levels | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| Interval of average arrival time | High [5.0, 5.35] | Medium [5.36, 5.65] | Low [5.66, 6.0] |
| Level of due date | High [80, 93] | Medium [94, 106] | Low [107, 120] |
| Ratio of set-up process | Low [0, 0.1] | High [0.11, 0.2] | |
| Ratio of bottle neck machine | Low [0, 0.05] | High [0.06, 0.1] | |

3.2. 수행도 평가

생산일정을 결정하는 것과 관련된 성능 척도는 생산성, 서비스 충실도, AGV의 효율적인 운행의 영역이 수집된다. 성능척도의 일부는 중복되지만 그럼에도 불구하고 프로그램 확인을 위한 연구에 포함된다. 9개 규칙의 조합 각각에서 시뮬레이션 결과로서 job당 평균 흐름시간(Flow time), 평균 적재이동에서 빈 이동의 비율(E/L ratio) 등과 같은 성능척도가 수집된다. 이 척도는 다음과 같이 계산된다.

① 흐름시간(Flow time)

흐름시간은 시뮬레이션 실행 동안에 측정된 모든 job들의 흐름시간 평균이다. 이 연구에서, 흐름시간은 시스템이 최대 가능한 작업 처리량을 나타내기 때문에 더욱 의미가 있다.

② 빈 이동과 적재이동비율(Empty to loaded travel ratio)

E/L비율은 2000개 job들의 총 적재이동시간에서 총 공이동시간의 비율이다. 짐을 싣기 위한 빈 차량 이동시간은 차량의 원래 위치와 적재의 요구가 있는 목적지에 종속된다. 적재의 요구가 적어도 하나의 차량을 가진 지점에 도착하면 그때 빈 차량의 이동시간은 없을 것이다. 그러나 적재의 요구가 차량이 없는 지점에서

일어나면, 빈 이동시간의 크기는 빈 차량의 위치와 시스템에서 이용되는 AGV 작업배정 규칙에 종속될 것이다. 빈 차량의 총 이동시간을 최소화하는 것에 의해, 부품의 운송은 가속화 될 것이고 제조 프로세스의 효율은 증가될 것이다.

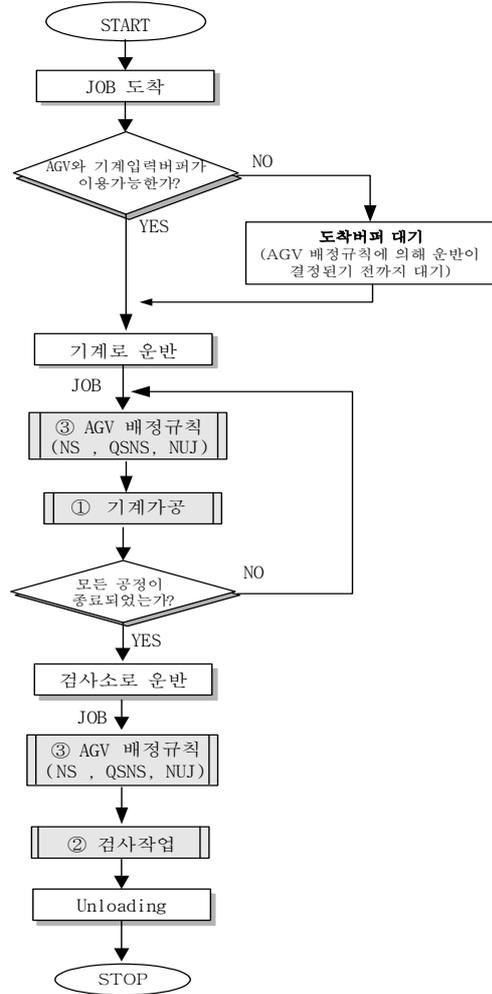


Fig. 2. Flowchart of system event.

4. 실험결과 및 분석

두 시스템을 시뮬레이션한 결과 뚜렷한 차이를 나타내지는 않았다. 전체적인 흐름에서 크게 주목할 만한 차이는 없었으며 무시해도 될만한 정도의 차이였다. 이것은 동적인 환경에서 작업을 배정하여 시뮬레이션한 결과 때문인 것으로 여겨진다. 두 시스템의 스위칭 수행도를 비교하기 위하여 시뮬레이션을 한 결과 두 시스템 모두 스위칭을 한 결과가 우수하게 나타났다.

Table 2. The best rules of flow time performance measure

| | | | | Arrival Time | | | | | |
|----------|---|--------------------|---|----------------------------|----------|----------------------------|---------|----------------------------|----------|
| | | | | High | | Medium | | Low | |
| | | | | Requirement of Set up Time | | Requirement of Set up Time | | Requirement of Set up Time | |
| | | | | Low | High | Low | High | Low | High |
| Due date | H | Machine Bottleneck | L | SPT-QSNS | SPT-QSNS | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-NS | SPT-NUJ |
| | | | H | SPT-QSNS | EDD-QSNS | SPT-NUJ | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-QSNS |
| | M | Machine Bottleneck | L | SPT-QSNS | SPT-QSNS | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-NS | SPT-NUJ |
| | | | H | SPT-QSNS | EDD-QSNS | SPT-NUJ | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-QSNS |
| | L | Machine Bottleneck | L | SPT-QSNS | EDD-QSNS | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-NS | SPT-NUJ |
| | | | H | SPT-QSNS | EDD-QSNS | SPT-NUJ | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-QSNS |

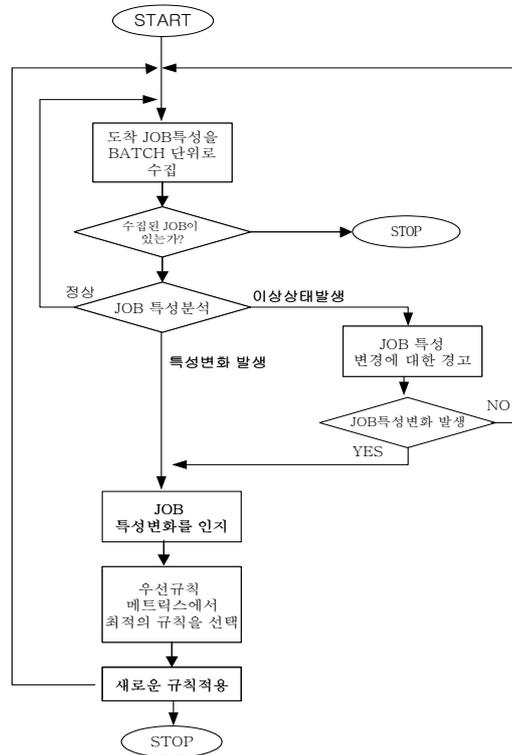


Fig. 3. Flowchart of switching mechanism.

Table 3. The best rules of E/L ratio performance measure

| | | | | Arrival Time | | | | | |
|----------|---|--------------------|---|----------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|
| | | | | High | | Medium | | Low | |
| | | | | Requirement of Set up Time | | Requirement of Set up Time | | Requirement of Set up Time | |
| | | | | Low | High | Low | High | Low | High |
| Due date | H | Machine Bottleneck | L | SPT-QSNS | SPT-QSNS | SPT-QSNS | SPT-QSNS | SPT-NUJ | SPT-QSNS |
| | | | H | EDD-QSNS | EDD-QSNS | SPT-QSNS | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-NUJ |
| | M | Machine Bottleneck | L | SPT-QSNS | EDD-QSNS | SPT-QSNS | SPT-QSNS | SPT-NUJ | SPT-QSNS |
| | | | H | SPT-QSNS | EDD-QSNS | SPT-QSNS | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-NUJ |
| | L | Machine Bottleneck | L | SPT-QSNS | EDD-QSNS | SPT-QSNS | SPT-QSNS | SPT-NUJ | SPT-QSNS |
| | | | H | SPT-QSNS | EDD-QSNS | SPT-QSNS | EDD-NS | SPT-NUJ | SPT-NUJ |

Table 4. Results of simulation

| | Flow time (Sys I) | Flow time (Sys II) |
|------------|---------------------|----------------------|
| ① SPT_NS | 51.6999 | 45.3784 |
| ② SPT_QSNS | 51.7001 | 45.6535 |
| ③ SPT_NUJ | 52.3183 | 46.4562 |
| ④ EDD_NS | 52.2032 | 46.5487 |
| ⑤ EDD_QSNS | 52.2024 | 47.5862 |
| ⑥ EDD_NUJ | 52.1472 | 47.8745 |
| ⑦ CR_NS | 53.6639 | 48.0547 |
| ⑧ CR_QSNS | 53.6598 | 48.2563 |
| ⑨ CR_NUJ | 53.7671 | 48.8791 |
| ⑩ Switch | 45.9322 | 36.5467 |

Table 5. Results of simulation

| | E / L ratio (Sys I) | E / L ratio (Sys II) |
|------------|-----------------------|------------------------|
| ① SPT_NS | 0.6875 | 0.4182 |
| ② SPT_QSNS | 0.6869 | 0.4156 |
| ③ SPT_NUJ | 0.6845 | 0.4378 |
| ④ EDD_NS | 0.6923 | 0.4465 |
| ⑤ EDD_QSNS | 0.6912 | 0.4546 |
| ⑥ EDD_NUJ | 0.6853 | 0.4523 |
| ⑦ CR_NS | 0.693 | 0.4764 |
| ⑧ CR_QSNS | 0.6909 | 0.4954 |
| ⑨ CR_NUJ | 0.6907 | 0.4921 |
| ⑩ Switch | 0.6355 | 0.3527 |

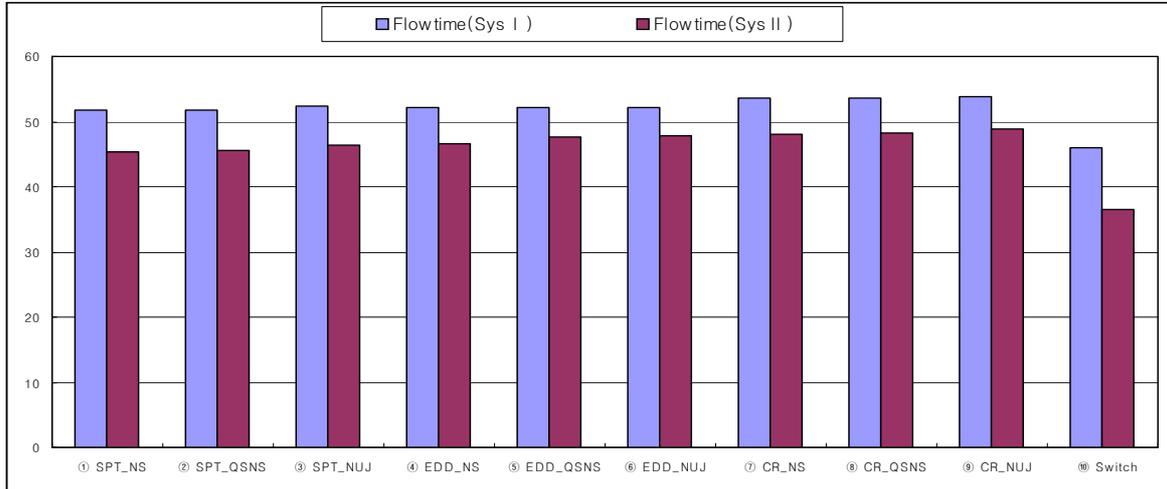


Fig. 4. Flow time result of simulation.

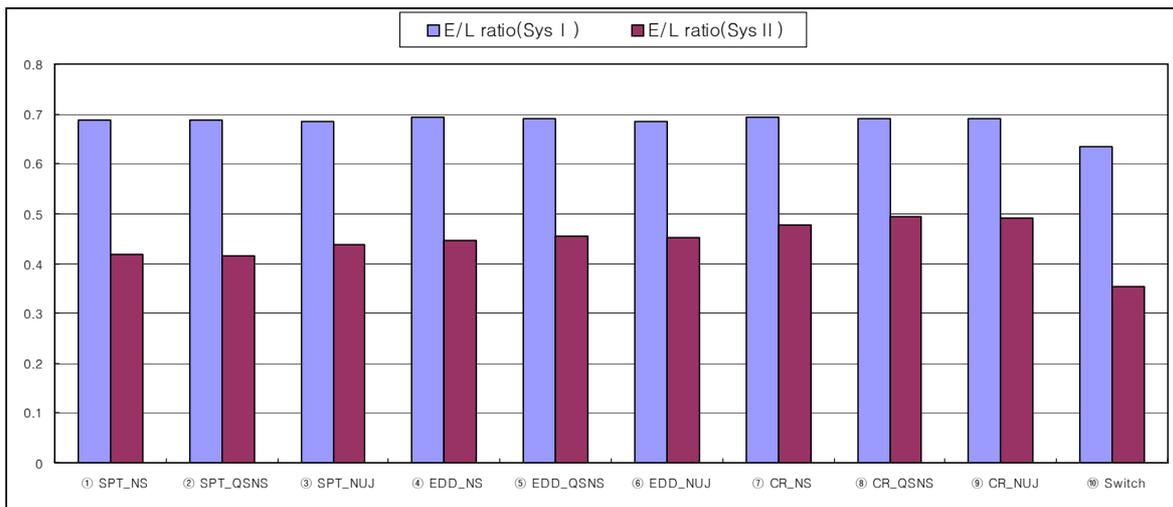


Fig. 5. E/L Ratio result of simulation.

작업배정 규칙 매트릭스를 수행한 실험의 여러 조건에서 흐름시간의 경우에는 기계-AGV 작업선택 규칙으로 여러 작업환경에서 SPT-NS를 사용한 경우의 수행평균값이 각각의 작업환경에서 좋은 결과를 나타내고 있으며, 그리고 E/L ratio의 경우는 SPT-NUJ조합 규칙이 여러 작업환경에서 우수함을 나타내었다. 작업배정 규칙 매트릭스를 수행한 경우는 대부분 이보다 향상된 효율성과 비슷한 수행 결과를 나타내고 있다. Fig.4 와 Fig.5는 두 시스템의 수행도를 평가 한 것이다. 동적인 환경에서 실시간으로 작업배정 규칙 매트릭스를 수행한 경우에서 모든 평가척도에서 우수한 결과를 나타내었다. 유연한 생산 환경에서 작업시스템을 운영하는데 있어서 한 가지 규칙

을 계속하여 사용할 때 보다 작업의 특성에 따라서 실 시간으로 작업배정 규칙 매트릭스에 따라 작업배정 규칙을 스위칭 하는 것이 하는 것이 작업의 수행도 평가에서 평균흐름 시간과 E/L ratio에서 더 좋은 결과를 나타내었다.

5. 결 론

유연생산시스템의 동적인 환경에서 두 시스템을 시뮬레이션 하여 비교하였다. 동적인 환경에서의 두 시스템의 결과는 무시할 정도의 차이만 있을 뿐 배정규칙의 효율성은 동일하다고 할 수 있다. 동적 일정계획 문제에서 범용성을 가진 작업배정 규칙 매트릭스라고 할

수 있다. 이에 따라 작업상황에 가장 효율적인 규칙으로 스위칭 할 수 있는 방법을 제안하였다. 대부분 유연생산시스템의 운영에서 기계와 AGV는 일정계획은 시스템 수행도에 중요한 영향을 미치고, 사용한 작업배정 규칙에 따라 매우 높은 이용률을 나타내고 있다. 그러므로 기계뿐만 아니라 AGV의 일정계획도 중요하다. 또한 규칙의 선택은 유연생산시스템의 운영조건 뿐만 아니라 수행도 기준에 종속되는 알 수 있다. 본 연구의 내용을 요약하면, 동적인 환경의 작업특성에 따라 스위칭 작업을 한 경우가 두 시스템에서 일반적으로 동적인 작업배정규칙을 수행한 경우보다 대부분 우수한 수행 결과를 나타내고 있다.

향후 연구에서는 본 연구에서 고려하지 않은 공구문제와 기계고장 문제 등을 포함하여 대체경로를 가지는 조건하에서 분석하는 것이 필요할 것으로 사료 된다.

후 기

* 본 연구는 2008년 김천대학 우수인력양성교육 역량강화사업 지원에 의하여 수행되었음

참 고 문 헌

- 1) Stecke, K. E. and J. J. Solberg, *International Journal of Production Research*, **19**, 5, 481, (1981)
- 2) Shanker, K. and Y. J. J., Tzen, *International Journal of Production Research*, **23**, 3, 579, (1985)
- 3) Hutchison, J. and B. Khumawala, *Journals of Operations Management*, **9**, 3, 335, (1990)
- 4) Solot, P., *European Journal of Operational Research*, **45**, 85, (1990)
- 5) Sang-wan Lee, Sung-woo Lee, "A Study on Dynamic Dispatching Rule for Machine and AGV of Flexible Manufacturing System", *The International Conference of SKISE*, pp. 235-245, Fall (2002)
- 6) Denzler, D. R. and W. J. Boe, *International Journal of Production Research*, **25**, 7, 979, (1987)
- 7) Choi, R. H. and E. M. Malstrom, *Journal of Manufacturing Systems*, **17**, 1, 33, (1998)
- 8) Melynk, S. and G. L. Ragatz, *International Journal of Production Research*, **27**, 7, 1081, (1989)
- 9) Garetti, M. A. Pozzetti and A. Bareggi, *International Journal of Production Research*, **28**, 7, 1271, (1990)
- 10) C.M. Klein and J. Kim, *International Journal of Production Research*, **34**, 1, 95, (1996)
- 11) D. J. Hoitomt and P. B. Luh, "Scheduling the Dynamic Job shop", *IEEE*, pp. 71-76, (1993)
- 12) G. Buxey, *European Journal of operational Research*, **39**, 17, (1989).

(2008년 11월 18일 접수, 2009년 2월 13일 채택)