

장비가용능력에 의존적인 공정시간을 가지는 조립주문생산에서의 우선순위 규칙

Dispatching rules for assembly job shops with process times relying on machine capacity

김봉현*, 나동길**, 길국호**, 김동원**

* 전북대학교 메카트로닉스 연구센터

** 전북대학교 산업정보시스템공학과

Abstract

This paper addresses scheduling heuristics for an assembly job-shop that includes at least an assembly process throughout its processes. The assembly job shop has certain characteristics not only considering the precedence relationship between the processes but also considering the processing progress between the parts. In addition, it probably presents a different processing time for the same product according to the order of processes and the point of workable time, due to the difference in the availability of equipments. The paper proposes several priority-based dispatching rules that consider these characteristics of the assembly job-shop, aiming to minimize the total tardiness of products in the shop floor. Computational tests showed that job due date based priority rules significantly outperform existing priority rules in terms of total tardiness.

Key word: Assembly job shop, Scheduling, Dispatching rule

1. 서론

제조 시스템에서의 생산관리 활동은 일정 계획을 중심으로 진행되며 일정계획 시스템의 성능에 따라 시스템의 생산효율이 크게 좌우된다. 일정계획의 중요성 때문에 제조 시스템에서의 일정계획에 대한 연구는 이론적 측면과 응용 측면에서 지속적으로 연구되어 왔다.

현실적으로 제조시스템에서의 대부분 제품은 조립구조를 갖고 있으며 생산과정에 가공공정과 조립공정이 병존함에도 불구하고, 조립공정을 갖는 Job shop의 일정계획에 관한 연구는 전통적인 Job shop에 비하여 적은 편이다.

전통적인 Job shop 일정계획과 관련하여, 대부분의 선행 연구는 스트링 타입의 작업(Job)을 다루어 왔다. 즉 각 작업을 수행하기 위한 공정(Operation)들은 직렬(serial) 형식의 가공순서를 가지며, 작업간에는 상호 관련이 존재하지 않는다. 하지만 현실생활의 많은 제조공정에서 조립구조 제품의 존재로 인하여 각 작업은 Item들로 구성되어 있으며 각 Item은 병렬(Parallel) 형식으로 생산 라인을 통과하며 제조과정에서 가공과 조립공정이 병행된다. 따라서 조립공정을 갖는 Job shop 환경에서는 Item의 가공공정 간 선행관계 제약(Precedence constraints)이 존재할 뿐만 아니라 Item들의 조립순서로 인한 조립 제약관계도 존재한다. 즉 다층 조립구조를 갖는 작업의 경우, 상위 레벨에 있는 Item은 하위 레벨의 모든 Item들이 처리되어야만 해당 조립공정이 진행될 수 있다는 제약이 존재한다. 또한 조립공정에서 임의의 Item은 이와 병행관계를 이루는 기타 모든 Item들이 도착 되어야만 조립공정이 시작되며, Item가 조립공정에서의 대기시간은 기타 Item들의 도착을 기다리는 부분 즉 Staging delay와 기계의 점유를 위한 대기시간(Queuing delay)을 포함한다. Assembly Job-shop에서의 작업의 이런 조립특성은 일정계획 과정에서 Item간의 가공진도를 조율하여야 하는 어려움을 추가함으로

일정계획의 수립은 전통적인 Job shop 에 비하여 많이 복잡하다.

Assembly job shop 을 대상으로 한 연구로서 Conway *et al.* (1967), Maxwell and Mehra (1968), Maxwell (1969), Siegel (1971), Huang (1984), Russell and Taylor (1985), Adam *et al.* (1987), Philipoom (1991), Adam *et al.* (1993) 등의 연구를 찾아 볼 수 있다. 위의 연구들은 다양한 성능 평가기준에서 Assembly job shop 의 일정계획을 위한 우선순위 규칙들을 제시하였다.

Huang 은 부분 작업이 Item 으로 구성되는 Job shop 시스템을 연구대상으로 하여, 전체 Job 을 단일 Item 으로 구성된 작업 그룹과 복수 개의 Item 으로 구성된 작업 그룹으로 나누고 복수 개의 Item 을 갖는 작업에 대하여 높은 우선순위를 부여하였다. 실험은 조립제약을 고려한 우선순위규칙이 이를 고려하지 않은 것보다 우수함을 보여 주었다.

Siegel 은 TWKR(Total Work Content Remaining) 우선순위 규칙이 평균 흐름시간 (Mean Flow Time) 성능평가기준에서 매우 우수함을 발견하였다. TWKR 우선순위 규칙은 총 잔여 가공시간 합이 가장 작은 작업에 속하는 Item 에 대하여 높은 우선순위를 부여한다. Adam *et al.* (1987) 은 Item 들이 조립공정에서 발생하는 Staging delay 를 줄이는 것을 목표로 여러 우선 순위 규칙을 제시하였다. Staging delay 은 같은 조립공정에 속하는 Item 들이 조립공정에 진입하는 시간 차이로 인해 발생한다. 이들은 연구에서 긴급한 Item 에 우선순위를 부여하여 작업 내부 Item 들의 가공진도를 조율함으로써 Staging delay 를 감소 가능성을 발견하였다. 이를 위하여 작업 내부의 Item 간의 가공진도 조율을 위한 룰로써, 잔여 공정개수가 많은 Item 에 우선순위를 부여하는 RRO (Relative Number of Remaining Operations)와 잔여 공정 가공시간 합이 큰 Item 에 우선순위를 부여하는 RRP(Relative Remaining Process Time) 우선순위 규칙들을 제시하였다. 작업의 내부 Item 간의 가공진도 조율을 위한 위의 두 규칙은 TWKR 우선순위 규칙과 결합되어 TWKR-RRO, TWKR-RRP 의 2 단계(Two Stage) 우선순위 규칙으로 사용되었다. 위의 두 규칙은 평균흐름시간과 Staging delay 성능평가기준에서 기존의 우선순위 규칙에 비하여 많이 우수하였다.

Philipoom *et al.* 은 IR(Important Ratio) 규칙을 이용한 여러 우선순위 규칙을 제시하였다. IR 우선순위 규칙은 Item 의

공정경로에서의 잔여 공정개수와 제인 긴 공정경로에서의 공정개수의 비율 값으로 Item 의 우선순위를 정한다. IR 규칙은 RRO, RRP 규칙과 같이 작업의 내부 Item 의 가공진도 조율의 효과를 가져 올 수 있으며 또한 비율 값을 사용함으로써 서로 다른 작업에 소속되어 있는 Item 간에도 순위 비교가 가능하다. 특히 IR-TWKR 규칙이 평균 흐름 시간과 평균 납기 지연 개수 비율의 성능평가 기준에서 우수하였으며 Assembly job shop 의 일정계획에 비교적 적합함을 논문에서 주장하고 있다.

Adam *et al.* (1993) 은 Assembly job shop 을 연구 대상으로 하여, 작업이 다층 조립구조를 가질 경우 JDD (Job Due Date) 우선순위 규칙이 납기 관련 성능평가기준에서 OPNDD(Operation Due Date) 규칙에 비하여 우수함을 실험을 통하여 보여 주었다. 특히 납기 지연 합의 성능평가 에서 JDD 가 많이 우수하였다. 단순 규칙인 OPNDD 가 JDD 에 비하여 차이를 보이는 주요 원인은 제품이 복잡한 조립구조를 가질수록 공정의 공정납기 설정이 효과적으로 이루어 지지 못하기 때문이라고 분석 되었다. 연구에서 JDD 은 작업의 내부 Item 간 Tie breaking 을 고려하지 않았으며 랜덤 방식을 채택하였다.

위의 모든 연구에서, 작업의 내부 Item 간의 가공진도 조율을 고려한 우선순위 규칙들이 전통적인 Job shop 환경에서 개발된 우선순위 규칙에 비하여 많이 우수하였다. 하지만 위의 규칙들은 조립구조, 가공진도, 납기 등 작업의 특성만을 강조하고 자원의 특성에 대한 고려가 미흡하므로 현실적인 활용을 위하여서는 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구에서 고려되는 장비 가용능력에 의존적인 공정시간을 가지는 Assembly job shop 일정계획에 관한 연구는 국내 플라스틱 사출 금형업체의 일정계획 연구로부터 시작되었다. 금형 생산라인의 경우, 자원은 수동기계와 자동기계로 분류되며 공정의 가공 시간은 시간단위로써 상당히 길다. 이와 같은 생산환경에서 작업자를 항상 요구하는 수동기계의 경우 기계의 가용능력은 작업자의 근무시간에 한정되지만 자동기계의 경우에는 근무 외 시간에도 가공작업이 가능하다. 따라서 같은 부품일지라도 할당순위와 작업가능 시점에 따라 기계에서의 처리시간이 달라질 수 있다는 특성이 존재하며, 자동기계의 경우 야간 시간의 활용이 일정계획에 따라 변화 함으로 장비의 일 가동률도 크게 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수동/자동 기계가 혼재되어 있는 Assembly job shop 을 연구대상으로

납기지연의 최소화를 위한 우선순위규칙의 연구를 진행하려 한다.

2. 우선순위 규칙의 설계

2.1 우선순위 규칙의 설계에 영향을 주는 요소

Assembly job shop 에서 작업은 직렬(Serial)와 병렬(Parallel)의 관계로 구성되는 공정들의 집합으로 구성된다. 즉 각 Item 의 가공을 위한 공정들은 직렬관계를 가지며 연속된 공정간에는 선행관계 제약이 존재한다. 반면에 조립구조상의 서로 다른 Item 을 가공하기 위한 공정간에는 병렬관계를 가지며 조립관계를 갖는 모든 Item 의 가공공정이 완료되어야 해당 조립공정이 시작될 수 있다. 따라서 각 작업의 리드타임은 시작 시점부터 최종 완료시점까지의 임계경로(Critical path)로 구성되며 이는 기계의 점유시간, 대기행렬에서의 대기시간 및 조립공정을 위한 Staging delay 로 구성된다. Assembly job shop 에서 Item 의 기계 점유시간은 고정된 값을 가지며 대기행렬에서의 Staging delay 와 대기시간은 변화되는 값을 갖는다. 하지만 본 연구의 경우, 장비의 가용능력에 의존적인 공정시간 특성으로 인하여 각 공정의 기계 점유시간은 작업순서와 작업 가능시점에 따라 변화함으로 임계 경로에서의 기계 점유시간도 변화량으로 간주 된다. 따라서 효율적인 일정계획을 수립하기 위하여서는 위의 2 가지 형식의 대기시간을 줄여주어야 할 뿐만 아니라 자동기계의 야간 작업시간을 증가하여 자원의 가용능력의 활용을 모색하여야 한다. 따라서 장비의 가용능력에 의존적인 Assembly job shop 의 일정계획의 수립을 위하여 생산라인의 작업부하, 작업구조, 납기의 긴박성, 자원의 가용능력 활용, Job 의 가공진척 정도 등의 다양한 특성 또는 요소가 우선순위규칙의 설계에 고려 되어야 한다.

2.2 우선순위 규칙의 설계

본 연구에서는 대상 연구시스템의 일정 계획을 위하여 SPT, SHT(Shortest Holding time) 등 장비에서의 처리시간을 고려한 2 개의 규칙, JDD-RAN, JDD-RRO-SHT, JDD-RRP, JDD-S/OPN 등 4 개의 작업납기 기반의 우선순위규칙 및 선행연구에서의 S/OPN, FISFO-FIFO 와 IR-TWKR, FISFO-RRP 등 총 10 개의 우선순위 규칙들의 성능을 검증하려고 한다.

수동/자동 장비의 시간 가용능력의 제약으로 인하여 Item 의 기계 점유시간은 순

가공시간과 작업자의 부재로 인한 장비에서의 대기시간의 합으로 표현되며 이는 작업순서와 가공 시작 시점에 따라 변하는 가변량이다. 대기행렬의 평균 대기시간을 줄여주는 SPT 의 장점으로부터 본 연구는 기계의 순 가공시간이 아니라, 대신 기계에서의 점유시간을 고려하는 SHT 규칙을 새로 제시한다. SHT 규칙은 기계에서의 점유 시간이 작은 Item 에 우선순위를 부여함으로써 SPT 의 장점을 충분히 이용할 수 있는 동시에 낮 시간대에 작업 완료가 가능한 Item 을 우선 처리 함으로써 자동기계의 야간시간 활용을 증가 하려는데 목적을 둔다.

선행연구에서 JDD 규칙이 납기지연 합의 성능평가기준에서 우수하다고 알려져 있으며, 이 규칙은 작업의 납기가 같을 경우 Item 을 랜덤으로 선택한다. 하지만, Item 을 랜덤으로 선택하기 보다는 Item 간 가공진도를 조율과 자원의 활용을 위한 Tie breaking 규칙이 필요하다. 따라서 본 연구는 JDD 를 기반으로 JDD-RRP, JDD-RRO-SHT, JDD-S/OPN 을 새로 제시하며 JDD 규칙과 함께 성능을 검증한다. RRO, RRP 은 작업의 내부 Item 간의 가공진도 조율을 위한 규칙으로써 잘 알려져 있으며 S/OPN 은 긴박한 Item 을 우선 처리하는 것을 원칙으로 Item 간의 가공진도의 제어를 가능하게 한다. RRO 우선 순위 규칙을 사용할 경우 Tie 가 많이 발생할 가능성이 발생하기에 SHT 을 추가로 고려하여 JDD-RRO-SHT 을 제시하였다.

비교대상 규칙으로 선행연구에서의 IR-TWKR, FISFS-FIFO, FIFS-RRP 및 S/OPN 을 규칙을 선정한다.

2.3 성능평가 기준

본 연구에서는 납기지연 합의 성능평가 기준을 주요 목적함수로 설정함과 동시에 기타 성능평가기준들에 대하여서도 제시된 우선순위 규칙의 성능을 검증하고자 한다. 이를 위하여 납기와 관련하여 납기지연의 합(Total tardiness, TT), 최대 납기지연(Maximum tardiness, T_{max}), 납기지연 개수의 비율(Percent tardy, $\%T$)을 평가기준으로 설정하였으며, 시스템 생산성과 관련하여 흐름시간의 합(Total flow time, F), 최종 종료시간(Makespan, C_{max})을 평가기준으로 설정하였다. 또한 자동기계로 구성된 작업장의 야간활용 정도를 알아보기 위하여 병목작업장의 야간 유휴시간을 측정하는 NNAT(Night Non Available Time)를 평가기준으로 설정하였으며,

작업의 내부 Item 간의 가공진도 조율의 효과가 일정계획에 미치는 영향을 검증하기 위하여 조립장에서의 Staging delay (ST)를 평가기준으로 선정하였다.

3. 실험

3.1 실험 가정

본 연구에서 고려되는 장비의 가용능력에 의존적인 공정시간을 갖는 Assembly Job shop 은 아래와 같은 가정하에서 실험이 진행된다.

1. 각 작업은 2 계층 조립구조를 갖고 있으며 서브 조립품에 포함되는 Item 의 개수는 변동 적이다.
2. 전체 생산라인은 병렬기계로 구성되는 복수개의 가공 작업장과 하나의 조립장으로 구성되어 있다.
3. 장비는 자동과 수동으로 분류되며 작업자의 휴지시간으로 인한 시간 가용성 제약이 존재한다..
4. 수동장비는 하루 9 시간 근무 가능하다.
5. 자동장비는 하루 24 시간 근무 가능하나 준비와 교체는 작업자의 근무에만 가능하다.
6. 각 Item 의 가공 공정간에는 지정된 선행관계가 존재한다.
7. 각 공정은 현대의 기계에서만 가공되며 Preemption 은 허용하지 않는다.
8. 준비시간은 가공시간에 포함시키며 이동 시간은 고려하지 않는다.

3.2 시스템 구성과 실험 설계

앞서 제시된 우선순위 규칙을 검증하기 위하여 플라스틱 금형의 제작과정을 대상으로 금형의 구조, 부품의 타입, 부품의 타입에 따른 공정 경로, 및 각 공정의 가공시간 등의 데이터를 수집하여 정리하였다. 이로부터 얻은 데이터 로부터 작업의 조립구조 패턴을 6 가지로 정리하고 랜덤으로 선택 가능하게 하였으며, Item 의 타입 별 선택 가능한 여러 공정경로 패턴을 설정하였으며, Item 내부 각 공정의 가공시간 분포를 설정하여 유니폼 분포를 따르는 가공시간을 발생하도록 하였다. 작업의 생산라인 투입시점은 일정한 상수 간격으로 발생하였다.

생산라인은 작업장 단위로 구성되었으며 총 6 개의 가공 작업장과 1 개의 조립작업장으로 설정하였다. 모든 가공 작업장은 2 대의 장비로

구성되며 그 중 2 개의 작업장은 자동기계로, 4 대의 작업장은 수동기계로 구성된다고 가정하였다. 조립장의 생산능력은 1 로 설정 하였다.

현장 생산환경을 모델링한 본 연구대상 시스템은 자동기계로 구성되는 작업장에서 뚜렷한 병목현상을 갖고 있다. 병목공정의 각 가동률 레벨에서 예비실험을 진행하여 평균 흐름시간을 구하여 작업의 납기설정에 사용하였다.작업의 납기는 $U(a_i + (\alpha - \beta)f, a_i + (\alpha + \beta)f)$ 인 일양분포에 의하여 생성하였다. 여기서 f 는 평균 흐름 시간이며, a_i 는 작업의 생산투입 가능 시점이며, α 와 β 는 납기 설정을 위한 파라 미터 로서 촉박한 납기 설정에는 $\alpha = 0.95$, $\beta = 0.15$ 로 하였으며 여유 납기 설정에는 $\alpha = 1.1$, $\beta = 0.2$ 로 하였다.

다양한 공정상황에서의 변화를 살펴보기 위하여 병목공정 가동률, 납기의 긴급도, 작업 개수 등의 요인을 설정하고 각 요인에서 2~3수준의 실험을 설계하였다. 납기 긴급도는 (Tight, Loose), 작업 개수는 (10, 20), 병목공정 가동률은 (80%, 85%, 90%)로 각각 설정하였다. 병목공정 가동률이 서로 다른 데이터 그룹을 생성하기 위하여 예비실험을 진행하는 방법을 사용하였다. 즉 FISFS-FIFO 우선순위 분배규칙을 이용한 예비실험에서 주문 발생간격을 조정하는 방식을 사용하여 조건 별 병목공정 가동률이 80%, 85%, 90% 인 각각의 데이터 그룹을 발생하였으며 각 데이터 그룹은 30개의 문제를 생성하여 반복 하였다.

3.3 실험결과

실험은 CPU 가 2.8GHZ 인 펜티엄 4 에서 진행되었고 프로그램 개발 환경은 C++ 를 사용 하였다. 작업이 20 개, 공정개수가 약 2400 일 경우, 단일 단계 휴리스틱을 이용한 일정계획은 약 1 초 정도의 수행시간을 나타 내었다.

표 1 은 성능평가기준 별 각 우선순위 규칙의 상대적 결과 값을 나타낸다. 즉 생산현장에 많이 사용되고 있는 FISFO -FIFO 를 기준 값으로 설정하고 각 우선순위규칙의 결과 값을 FISFO-FIFO 의 값으로 나누어 상대적 값을 구하였다.

표 1. 성능평가기준 별 우선순위 규칙간의 상대적 비교의 평균 값

우선순위	FISFO	FISFO	IR-	JDD	JDD	JDD-	JDD-	SH	S/OP	SPT
------	-------	-------	-----	-----	-----	------	------	----	------	-----

규칙	- FIFO	- MRT	TWK R	- MRT	- RAN	RRO - SHT	S/OP N	T	N	
평가기준										
Mean TT	1.00	0.79	1.15	0.83	1.26	0.73	0.83	1.53	1.37	2.66
Mean TMAX	1.00	0.91	2.01	0.86	1.11	0.81	0.88	2.41	1.02	3.83
Mean %T	1.00	0.86	0.68	0.90	1.15	0.85	0.90	0.86	1.21	1.02
Mean Cmax	1.00	0.98	1.01	0.99	1.01	0.98	0.99	0.97	0.99	1.03
Mean F	1.00	0.94	0.93	0.97	1.06	0.95	0.96	1.04	1.10	1.23
Mean NNAT	1.00	1.02	1.02	1.03	1.02	0.89	1.03	0.59	1.03	1.16
Mean ST	1.00	0.44	0.87	0.61	1.23	0.74	0.63	2.81	2.16	3.63

납기 관련 성능평가 기준 즉 T_{MAX} , TT , $\%T$ 에 대한 상대적 결과로부터 아래와 같은 내용들을 정리된다.

1. TT 성능평가 기준에서는 JDD-RAN을 제외한 기타 JDD 기반의 우선순위 규칙들이 상대적으로 우수한 결과를 보인다. FISFO-RRP도 좋은 결과를 보이는데 이는 앞서 투입되는 작업들이 비교적 낮은 납기를 갖고 있다는 점에서 JDD 기반의 규칙과 유사한 결과를 가져온다고 볼 수 있다.

2. JDD-RAN 우선순위 규칙은 납기 관련 모든 성능평가 기준에서 기타 JDD 기반의 우선순위 규칙에 비하여 많은 차이를 보이는데 이는 작업 내부의 Item의 진도조율을 고려하지 않기 때문이라고 볼 수 있다.

3. 납기지연 합과 최대 납기지연 성능평가 기준에서 JDD-RRO-SHT 우선 순위 규칙이 가장 우수한 결과를 보이고 있다.

4. 납기지연개수 비율의 성능평가 기준에서는 IR-TWRK 우선순위 규칙이 가장 좋은 결과를 보이는데 이는 Philipoom *et al.* 의 결과와 일치하다.

5. 단순 규칙인 SHT, SPT, S/OPN은 모든 납기 관련 성능평가 기준에서 비교적 좋은 않은 결과를 보이고 있다.

시스템 생산성 관련 성능평가 기준인 즉 C_{max} , F , $NNAT$ 로부터 아래와 같은 내용들이 정리 된다.

1. 병목 작업장에서 발생하는 기계의 야간

유휴시간($NNAT$) 합은 SHT 우선순위 규칙이 가장 작은 값을 보인다. 다음으로 JDD-RRO-SHT 우선순위 규칙이 우수함을 보이는데 SHT의 영향을 많이 받음을 볼 수 있다.

2. 최종 종료시간의 평가 기준에서는 SHT와 JDD-RRO-SHT 우선순위 규칙이 우수한 결과를 보인다. 이는 위의 두 우선순위 규칙의 $NNAT$ 이 값이 작으므로 그만큼 병목자원을 잘 활용하였기 때문이라고 볼 수 있다. 기타 우선순위 규칙은 거의 유사한 결과를 보인다.

3. 흐름시간 합 평가 기준에서는 IR-TWKR 와 JDD-RRO-SHT 우선순위 규칙이 비교적 우수한 결과를 보인다. 단순규칙인 SHT, S/OPN, SPT 우선순위 규칙은 역시 좋지 않은 결과를 보이고 있다.

Staging delay (ST) 평가 기준에 대한 상대적 결과로부터 아래와 같은 내용들이 정리된다.

1. 작업의 진척상황과 Item의 가공진도를 같이 고려한 2단계 우선순위 규칙들이 ST 값을 많이 줄여주고 있다.

2. JDD-RAN은 작업의 진척상황을 고려하였지만 Item간의 진도조율을 고려하지 않으므로 ST 값이 상대적으로 크게 나타난다.

3. 단순 규칙인 SPT, SHT, S/OPN은 ST 값이 확연하게 큼을 볼 수 있다. 이는 단순규칙이 작업의 내부 Item의 가공진도 조율에 대한 고려가 아주 부족함을 보여 준다.

실험에서는 또 병목공정 가동률, 작업의 개수,

납기 여유 등 3개 요인의 인자 별로 각각 제시된 우선순위 규칙의 성능을 검증하였다. 실험 결과 특정 성능평가기준에서 일부 우선순위 규칙은 일부 요인의 각 인자 수준에서 해의 성능이 약간의 차이를 보이거나 우선순위 규칙간의 성능 비교에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 장비의 가용능력에 의존적인 공정시간을 갖는 조립작업의 일정계획을 위한 우선순위 분배규칙에 관한 연구를 진행하였다. 납기지연의 최소화를 목적으로 작업의 조립특성과 수동/자동 장비의 가용능력 제약을 고려한 JDD 기반의 우선순위 규칙들을 새로 제시 하였다. 제시된 우선순위 규칙들은 작업의 납기를 이용하여 작업 간의 우선순위 비교를 진행하며 내부에서는 RRO, RRP 등의 규칙을 사용하여 가공진도를 조율하여 준다. 또한 자동 장비의 활용을 위하여 SHT 우선순위 규칙을 새로 제시하였다. 실험으로부터 SHT는 자동장비의 야간 활용에 아주 효율적인 것으로 검증되었다. 제시된 JDD 기반의 우선순위 규칙들은 납기 관련 성능평가기준에서 기존의 우선순위 규칙에 비하여 상대적으로 우수하였다. 특히 제안된 JDD-RRO-SHT 규칙은 내부 Item의 가공진도 조율과 자원의 활용을 동시에 고려함으로써 납기지연 합과 최대납기지연 기준에서 가장 우수한 결과를 보였으며, 기타 성능평가 기준에서도 상대적으로 좋은 성능을 보여주었다.

참조문헌

[1] Conway, R. W., Maxwell, W. L. and Miller, L. W. (1967) Theory of Scheduling, Addison-Wesley, Reading Massachusetts.

- [2] Maxwell, W. L., Mehra, M., (1968), Multiple-factor Rules for Sequencing with Assembly Constrains, Naval Research Logistics Quality, 15, 241
- [3] Maxwell, W.L., (1969), Priority Dispatching and assembly operation in a Job Shop, RM-5370-PR, RAND Corporation Santa Monica, Cal.
- [4] Siegel G.B., (1971) An Investigation of Jobshop Scheduling for Jobs with Assembly Constrains". Unpublished PhD dissertation, ornell University
- [5] Huang, P.Y., "A Comparative Study of Priority Dispatching Rules in a Hybrid Assembly Job Shop", International Journal of Production Research, 1984, 22, 375-387
- [6] Russell R.S. and Taylor III, B.W., (1985) An Evaluation of Sequencing Rules for an Assembly Shop, Decision Science, 16, 196-212..
- [7] Adam N.R., Bertrand J.W.M., and Surkis, J.,(1987) Priority Assignment Procedures in Multi-level Assembly Job Shops, IIE Transactions, 19, 317-328.
- [8] Adam N.R., Bertrand J.W.M., Morehead D.C. and Surkis J.,(1993) Date Assignment Procedure with Dynamically Updated Coefficients for Multi-level Assembly Job-shops, European Journal of Operational Research, 68, 212-227.
- [9] Philipoom P.R., Russell, R.S. and Fry T.D.,(1991) A Preliminary Investigation of Multi-attribute Based Sequencing Rules for Assembly Shops, International Journal of Production Research ,29, 739-753.