

작업지향 탐색적 일정계획을 위한 LSB 기법*

김현준** · 박창규**

LSB Algorithm for the Job Oriented Heuristic Scheduling*

Hyun-joon Kim** · Changkyu Park**

■ Abstract ■

In industrial production settings, scheduling problems for detailed day-to-day operations are often ordeals to production practitioners. For those who have scheduling experiences with the Gantt Chart, the job oriented heuristic scheduling has illustrated its merits in solving practically large scale scheduling problems. It schedules all operations of a job within a finite capacity before considering the next job. In this paper, we introduce the LSB (load smoothing backward) scheduling algorithm for the job oriented heuristic scheduling. Through a computer experiment in a hypothetical setting, we make a performance comparison of LSB scheduling algorithm with existing algorithms and also suggest a guideline for selecting the suitable algorithm for certain industrial settings.

Keyword : Scheduling, Job Oriented Heuristic, Load Smoothing

1. 서 론

일반적으로 현실적인 산업현장 규모의 일정계획 문제를 풀기 위한 접근방법으로 탐색적 기법(heuristic approach)이 적절한 해결책임을 많은 일정계획 연구들이 지적하고 있다. 이들 탐색적 기법은

일정계획이 수립되는 방향에 따라 공정지향 탐색적 일정계획(operation oriented heuristic scheduling ; OOHS)기법과 작업지향 탐색적 일정계획(job oriented heuristic scheduling ; JOHS)기법으로 분류할 수 있다[4, 11].

문헌적으로 살펴보면, OOHS기법이 탐색적 일정

논문접수일 : 2002년 12월 19일 논문게재확정일 : 2004년 8월 24일

* 이 논문은 2002학년도 울산대학교 교내연구비에 의해 연구되었음.

** 울산대학교 경영학부

계획에 관한 연구들의 대부분을 차지하고 있으며, OOHS기법에서 일정계획 의사결정은 다음과 같이 이루어진다. 어떤 공정에서 기계가 이용 가능할 때, 일정계획 의사결정은 그 기계에서 처리되기 위해 기다리고 있는 작업들의 대기행렬에서 다음 작업을 선택하는 것이다. 이때, 작업배정규칙(dispatching rule)에 따라 대기행렬에 있는 각 작업에게 우선순위가 부여되고, 그 우선순위에 따라 대기행렬에 있는 작업들의 작업순서가 결정된다.

작업배정규칙에 관한 연구는 많이 발표되었으며, Blackstone 등[1]은 이들 작업배정규칙을 다음과 같이 네 가지로 분류하였다.

- (1) 공정시간을 고려한 작업배정규칙(예, shortest processing time ; SPT)
- (2) 납기일을 고려한 작업배정규칙(예, earliest due date ; EDD)
- (3) 작업장의 특성이나 작업의 특성을 고려한 작업배정규칙(예, first come first serve)
- (4) 위의 사항을 조합한 작업배정규칙(예, weighted sum of slack per operation and processing time)

한편, 작업배정결과를 평가하는 성과적도로는 (평균, 표준편차, 절대평균의) Lateness, (평균, 퍼센트, 최대치의) Earliness와 Tardiness, 평균 대기행렬의 길이, 대기시간, Throughput Time, 총 Earliness와 Tardiness의 합, 총 합계 비용함수 등이 많이 사용되고 있다.

작업배정규칙에 따라 개별의 공정을 취급하는 OOHS 기법과는 달리 JOHS기법은 한번에 하나의 작업을 선택하여 그 작업에 속한 전체 공정의 일정계획을 수립한다. 실제 산업현장의 일정계획 수립자는 하루 단위의 상세한 일정계획을 수립할 때, Gantt Chart를 이용하여 JOHS기법을 사용함에 익숙해져 있으며, 이는 JOHS기법이 현실적인 산업현장 규모의 일정계획 문제를 푸는데 적합함을 간접적으로 입증하는 것이라고 볼 수 있다. 그러나 문헌적으로 OOHS기법에 관한 연구와 비교할 때,

JOHS기법에 관한 연구는 그렇게 많지 않다.

한번에 하나의 작업을 선택하여 그 작업에 속한 전체 공정의 일정계획을 수립하는 JOHS기법은 보통 두 단계로 이루어진다[4]. 첫 단계에서는 일정계획을 수립할 작업들을 특정한 기준에 따라 정렬(sorting)한다. 이때 사용되는 기준으로 OOHS기법에서 활용하는 작업배정규칙을 이용할 수 있다. 첫 단계의 결과로 일정계획을 수립할 작업들의 순서가 결정된다. 다음 단계에서는 첫 단계에서 결정된 작업들의 일정계획 순서에 맞추어 한번에 한 작업씩, 그 작업에 속한 전체 공정을 해당 작업장에 할당한다. 즉, 첫 번째 작업에 속한 전체 공정에 대한 일정계획이 완전히 수립된 후에 다음 작업에 속한 전체 공정에 대한 일정계획이 수립되는 것이다.

JOHS기법에 관한 초기 연구로 Magee와 Boodman[6]이 기계에 작업을 할당할 때 JOHS기법을 쓸 것을 제안하였으며, Conway 등[2]은 Cornell University의 Crabill이 발표한 Job-at-a-time adjusting procedure를 소개하였다. 이 절차는 새로운 작업을 기존의 일정계획에 추가할 때, 전체 작업에 소요되는 시간을 최소화하기 위해서 새로운 작업의 각 공정을 기존 일정계획의 어느 위치에 삽입하는 것이 좋은지를 찾는 탐색적 기법이다.

그 후 발표된 JOHS기법에 관한 연구들은 일정계획의 시간이 결정되는 방법에 따라 전방전개스케줄링(forward scheduling)과 후방전개스케줄링(backward scheduling) 및 혼합전개스케줄링(hybrid scheduling)으로 분류할 수 있다. 전방전개스케줄링은 한번에 한 작업씩 작업이 가능한 시작시각부터 일정을 수립한다. 작업의 모든 공정들은 해당되는 기계에 첫 공정부터 연속적으로, 그리고 가능한 한 가장 빠른 시각에 할당된다. 따라서 전방전개스케줄링은 작업이 가능한 한 빨리 끝날 수 있도록 일정을 수립하게 된다. 전방전개스케줄링에 관한 연구로서는 Hastings 등[3], Hastings와 Yeh[4] 및 McCarthy와 Barber[7] 등이 있다.

후방전개스케줄링은 한번에 한 작업씩 납기일로부터 시간이 흘러가는 반대방향으로 일정을 수립

한다. 작업의 모든 공정들은 해당되는 기계에 마지막 공정부터 연속적으로, 그리고 가능한 한 가장 늦은 시각에 할당된다. 이 과정에서 첫 번째 공정의 작업시작시각이 작업 가능한 시작시각보다 일찍 계획되어야 한다면 그 작업에 대해서는 전방전개스케줄링으로 일정을 재수립한다. 이럴 경우, 작업이 납기일보다 늦게 완료됨은 불가피하다. 후방전개스케줄링은 작업들이 가능하면 납기일에 또는 납기일에 근접한 날에 완료될 수 있도록 한다. 후방전개스케줄링에 관한 연구로서는 White와 Hastings[10], Hastings와 Yeh[4] 등이 있다.

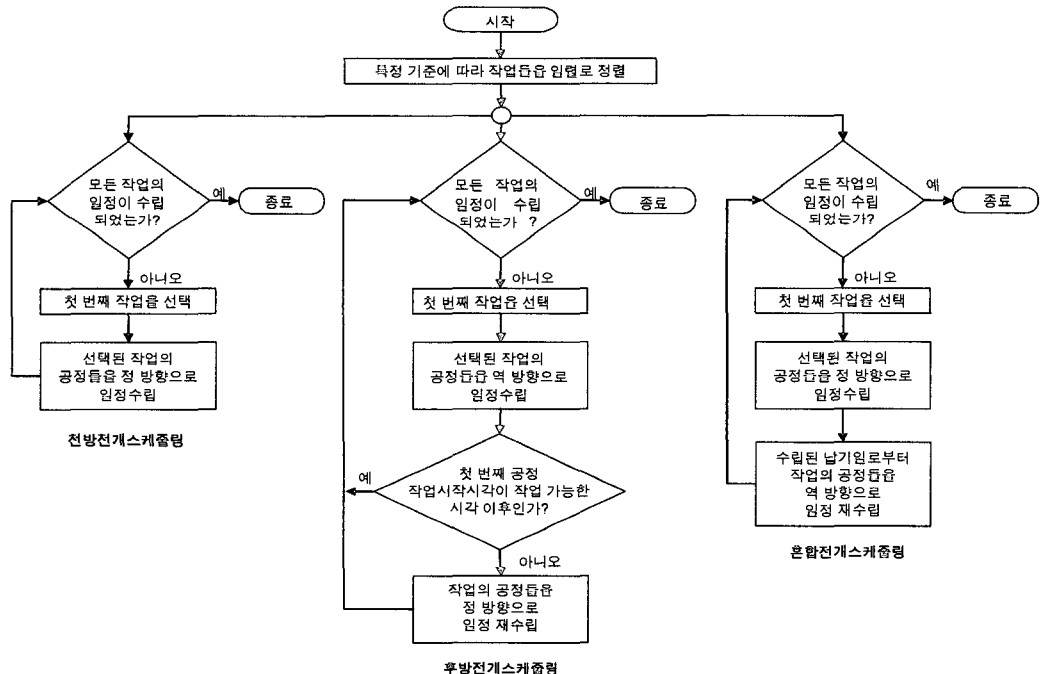
혼합전개스케줄링은 Hastings와 Yeh[4]이 제안하였으며 전방전개스케줄링과 후방전개스케줄링을 혼합한 형태이다. 혼합전개스케줄링은 작업의 중간공정이 불필요하게 일찍 완료되는 것을 피하면서 전체 공정이 가능한 한 빨리 완료될 수 있도록 일정계획을 수립한다. 따라서 처음에는 작업의 모든 공정을 전방전개스케줄링으로 일정계획을 수립한 후, 전방전개스케줄링 결과로 얻어진 가능한 납기

일로부터 후방전개스케줄링을 사용하여 일정계획을 재수립한다.

<그림 1>은 JOHS기법의 각 전개방식을 요약하여 보여준다.

위와 같이 살펴본 기존의 JOHS기법들은 현실적인 산업현장 규모의 일정계획 문제를 풀기 위해 고민하는 산업현장의 일정계획 수립자에게 적절한 탐색적 기법을 제공한 점에서 그 의의가 크다. 그러나 알고리즘 측면에서 살펴보면 기존의 JOHS기법들은 각 작업의 공정들에 대한 일정을 수립할 때 이미 수립된 작업의 일정계획은 고정된 것으로 간주하고, 그 조건하에서 새로이 추가되는 작업에 대한 일정을 수립하는 단순함을 보이고 있다. 다시 말하면, 보다 바람직한 일정계획을 수립하기 위해서 이미 수립된 일정계획을 수정하려는 시도는 보이고 있지 않다(OOHS기법에서는 이런 시도를 Kim[5]과 Sun 등[9]에서 찾아 볼 수 있다).

본 연구는 이미 수립된 일정계획의 수정 통하여 보다 좋은 일정계획의 수립을 시도하는 LSB(load



<그림 1> 기존의 JOHS기법들

smoothing backward) 스케줄링기법을 체계화하고 그 효율을 검증하는 데에 목적을 두고 있다. LSB 기법은 산업체 프로젝트[8]에서 그 개념이 처음 제시되었으며, 본 연구에서는 LSB기법의 특성을 분석하고, 이를 감안한 코드를 작성하여 시험적용을 실행함으로써 실제적 효과 및 효율 성능을 검토하고자 한다. 또한 기존의 JOHS기법들과의 성능비교를 통하여 각 기법들의 실제적 장단점을 분석하여, LSB기법이 효과적으로 사용되어질 수 있는 적용상의 지침을 제시하고자 한다.

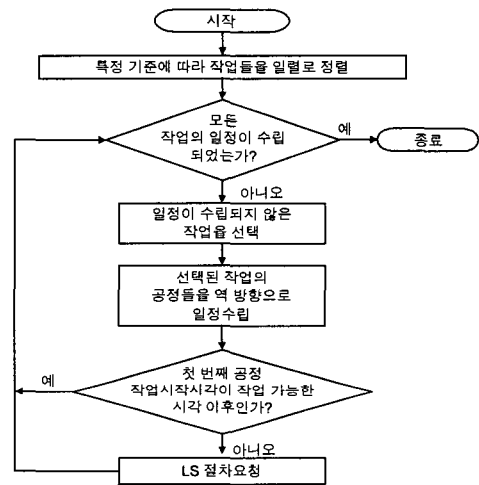
본 연구의 구성은 다음과 같다. 우선, 2장에서는 LSB스케줄링기법의 절차와 개념에 대해서 설명하고, 스케줄링기법으로서의 특성을 분석한다. 제3장에서는 가상의 생산시스템을 설정, 컴퓨터 실험을 실시하여 LSB스케줄링기법과 기존의 JOHS기법들을 납기준수율 및 재고관점에서 성능을 비교하고, 끝으로 4장에서 결론을 제시한다.

2. LSB스케줄링기법

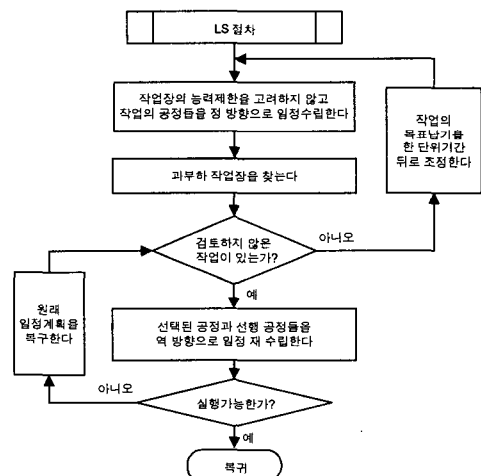
일반적으로 산업현장의 일정계획 수립자가 가장 중요시하는 성과척도 중의 하나는 작업의 납기준수율이다. LSB스케줄링은 작업의 납기일 준수를 중요시하면서 작업의 중간 공정이 불필요하게 일찍 완료되어 중간 재공품으로 쌓이는 것을 최소화하도록 일정을 수립하는 절차를 제공한다. 이렇게 하기 위하여 LSB스케줄링은 전방과 후방 및 혼합전개스케줄링의 개념을 활용하면서 전방과 후방 및 혼합전개스케줄링의 한계(즉, 이미 수립된 작업의 일정계획을 제약조건으로 받아들임)를 초월하여 보다 바람직한 작업의 일정계획을 수립하기 위해 반복적으로 기 수립된 일정계획의 수정까지 검토한다.

<그림 2>는 LSB스케줄링의 기본절차를 보여주고 있다. <그림 2>에서 보여주는 바와 같이, LSB스케줄링의 첫 단계는 후방전개스케줄링과 비슷하게 한번에 한 작업씩 납기일로부터 시간이 흘러가는 반대방향으로 일정을 수립한다. 작업의 모든 공

정들은 해당되는 기계에 마지막 공정부부터 연속적으로, 그리고 가능한 한 가장 늦은 시각에 할당된다. 이 과정에서 일정 수립된 첫 번째 공정의 작업 시작시각이 작업 가능한 시작시각보다 일찍 계획되어야 한다면(즉, 이는 현실적으로 작업이 가능하지 않음을 의미함), LSB스케줄링은 후방전개스케줄링과는 달리, 전방전개스케줄링을 활용하지 않고 <그림 3>의 LS(load smoothing)절차를 수행하게 된다.



<그림 2> LSB 스케줄링의 절차



<그림 3> LS(Load Smoothing) 절차

현재 고려 중인 작업에 대하여 단순히 후방전개 스케줄링으로 작업의 공정일정을 수립해서는 그 작업의 납기일을 준수할 수 없을 때, LS절차는 이미 일정계획이 수립된 작업들의 납기일을 준수하면서 동시에 현재 고려 중인 작업의 납기일도 준수할 수 있도록 기존의 작업 공정일정을 수정하여 작업장의 여력을 찾아내는 방법을 모색하게 된다. 이러한 LS절차를 단계별로 예제를 통하여 설명하면 다음과 같다.

단계 1 : (작업장의 능력제한 완화 후 일정수립)

단순히 후방전개스케줄링으로 작업의 공정일정을 수립해서는 작업의 납기일을 준수할 수 없으므로, 작업의 공정들을 정 방향으로 일정을 재수립한다. 이때, 작업장의 공정능력을 고려하면 작업의 납기일이 준수될 수 없으므로 작업장의 공정능력은 무한대로 가정하고 작업일정을 수립한다.

단계 2 : (과부하 작업장의 확인)

단계 1에서 작업장의 공정능력을 무한대로 가정하였으므로 과부하가 걸린 작업장이 발생한다. 예로써 <그림 4>는 작업의 어떤 공정을 처리하는 작업장에 최대공정능력(5대의 기계)을 초과하는 새로운 작업이 할당되어 기간 5와 기간 6(새로운 작업의 검은 부분)에서 과부하가 걸려 있음을 보여준다.

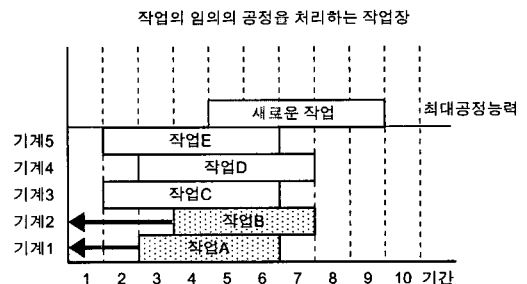
단계 3 : (기 수립된 작업일정 변경을 통한 과부하 조정)

과부하 작업장에 대해서 기 수립된 작업 일정을 조정하여 과부하를 해소한다. <그림 4>에서 보여주는 바와 같이 임의의 기간동안 작업장의 작업부하가 최대작업능력에 도달하여 더 이상 새로운 작업을 받아들일 수 없을 때, 이 단계에서는 이미 일정계획이 수립된 작업들 중에서 작업일정을 앞으로 당길 수 있는 작업이 있는지를 조사한다. 즉, 새로운 작업을 수행할

수 있을 여력만큼 이미 할당된 작업의 일정을 앞으로 당겨 일정을 재수립하여도 (이 경우 역방향으로 일정을 수립하게 된다) 실행 가능한 작업일정을 가질 수 있는 작업을 찾는 것이다. 조정대상이 되는 작업과 그 선행공정의 작업일정을 앞당겨 역 방향으로 일정을 재수립함으로써 실행 가능성을 확인할 수 있다. 예로써 <그림 4>에서 작업 A를 2기간 앞으로 일정을 당기거나 작업 B를 3기간 앞으로 일정을 당길 수 있으면 새로운 작업을 받아들일 수 있다. 이 과정에서 작업일정을 조정할 수 있는 작업이 여러 개 있을 경우에는 납기일이 빠른 작업에게 우선순위를 부여한다.

단계 4 : (목표납기의 조정을 통한 일정계획 수립)

기존의 작업일정에도 너무 여유가 없어서 현재 고려 중인 작업을 수용할 만큼의 여력을 작업장에서 찾아낼 수 없을 경우에는 고려 중인 작업의 납기를 준수할 수 없으므로 목표납기를 한 단위기간 뒤로 조정 후 단계 1의 과정을 반복한다. 이 경우 고려 중인 작업의 납기를 준수할 수 없음은 작업장 여건상 불가피하나, 납기 지연이 최소화되도록 목표납기를 한 단위기간씩 조정하게 된다.



<그림 4> LS절차의 예

이러한 절차를 통하여 LSB스케줄링기법은 장비의 이용률을 높이고, 이에 따라 작업장의 기존 작업능력으로 작업들의 납기준수율을 높일 수 있다.

또한 LSB스케줄링기법은 시간 축에 따른 작업의 부하를 고르게 분산시키는 효과도 얻고 있다. 결과적으로 전방전개, 후방전개 및 혼합전개스케줄링이 가지는 단점을 LSB스케줄링기법이 보완하게 되는 것이다.

3. 컴퓨터 실험

본 장에서는 Tandem형태의 작업을 수행하는 가상의 생산시스템과 Assembly형태의 작업을 수행하는 가상의 생산시스템을 설정하고, 이들 가상의 생산시스템들에 대한 컴퓨터 실험을 실시하여 LSB스케줄링기법과 기존의 JOHS기법들의 성능을 비교분석한다.

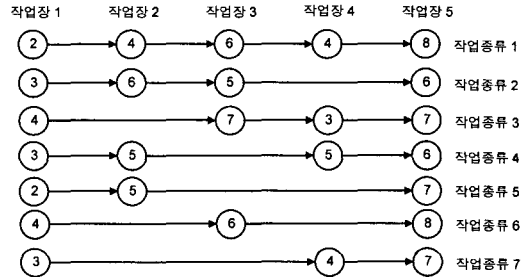
컴퓨터 실험을 실시하기 위하여 설정한 생산시스템은 5개의 작업장으로 구성하였으며, 각 작업장은 여러 대의 동일한 기계를 보유할 수 있도록 하였다. Tandem형태의 작업을 수행하는 가상의 생산시스템은 7가지 종류의 작업을 수행할 수 있고, Assembly형태의 작업을 수행하는 가상의 생산시스템은 4가지 종류의 작업을 수행할 수 있도록 설정하였다. 각 작업이 경유하는 작업장과 각 작업장에서의 공정기간은 <그림 5>와 같다. <그림 5>에서 원은 어떤 작업이 어떤 작업장을 경유하는지를 나타내고 원안에 있는 숫자는 특정 작업이 특정 작업장에서 소요하는 공정기간을 나타낸다.

이러한 가상의 생산시스템이 현실의 복잡한 특성을 그대로 반영한다고 할 수는 없지만 Tandem형태의 작업과 Assembly형태의 작업을 수행하는 생산시스템에 대하여 컴퓨터 실험을 실시하기 위한 모형으로서는 충분하다고 볼 수 있다.

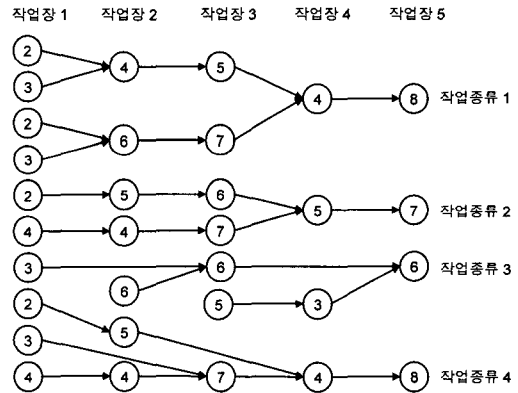
또한 컴퓨터 실험을 보다 용이하게 하기 위해 일반적인 산업현장 상황과 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 한 작업장의 기계에서 어떤 작업이 일단 공정 작업을 시작하면 그 작업은 작업 도중에 다른 작업에 의해서 중단되어지는 않는다.

- (2) 한 기계는 한번에 하나의 작업만을 수행한다.
- (3) 각 작업에 대한 납기일이 지정되면 변하지 않는다.
- (4) 각 작업장에서의 공정기간은 사전에 알려져 있고, 서로 독립적이다.



(a) Tandem형태의 작업을 수행하는 생산시스템



(b) Assembly형태의 작업을 수행하는 생산시스템

<그림 5> 가상의 생산시스템

가상의 생산시스템을 대상으로 하는 일정계획기법들은 C언어를 이용한 프로그램으로 구현하였고, 컴퓨터 실험은 일정한 기간동안의 작업을 모아서 한꺼번에 일정계획을 수립하는 정적인 일정계획과 작업이 들어올 때마다 그 작업에 대한 일정계획을 수립하는 동적인 일정계획의 두 가지 상황에 대하여 실시하였다. JOHS기법들을 비교하는 기준으로 본 논문은 작업들의 납기준수율과 시스템내의 재고상황을 고려하였다. 그리고 재고상황은 완료된

〈표 1〉 정적인 일정계획 상황에서 Tandem형태의 작업에 대한 컴퓨터 모의실험 결과

정렬방법	작업부하(%)	기 법	Earliness		Tardiness		On Due	WIP
			평 균	%	평 균	%	%	평 균
EDD	90	전방전개	3.22	19.20	10.64	78.00	2.80	3.85
		후방전개	1.80	0.40	10.45	80.40	19.20	3.95
		혼합전개	3.41	21.20	10.57	76.80	2.00	0.44
		LSB	3.47	4.00	11.21	76.40	19.60	0.87
	80	전방전개	3.34	22.80	9.05	73.20	4.00	3.45
		후방전개	3.40	0.80	8.32	76.80	22.40	3.43
		혼합전개	3.73	25.60	9.21	72.80	1.60	0.55
		LSB	4.03	4.00	9.12	71.20	24.80	0.79
	70	전방전개	3.72	27.20	6.55	68.40	4.40	3.16
		후방전개	3.00	0.80	6.54	71.60	27.60	3.61
		혼합전개	3.98	30.80	6.52	63.20	6.00	0.26
		LSB	4.10	5.60	6.63	62.40	32.00	0.77
60	전방전개	3.69	44.40	3.65	44.40	11.20	2.31	
	후방전개	1.60	0.80	3.97	52.40	46.80	3.47	
	혼합전개	4.32	50.80	3.80	40.80	8.40	0.23	
	LSB	3.52	6.00	3.72	38.00	56.00	1.05	
SPT	90	전방전개	10.17	48.80	23.99	50.80	0.40	2.85
		후방전개	8.05	7.60	24.39	43.60	48.80	4.22
		혼합전개	9.98	48.00	23.20	51.60	0.40	0.30
		LSB	7.98	16.00	24.30	41.20	42.80	0.82
	80	전방전개	11.00	48.80	22.05	50.40	0.80	2.77
		후방전개	7.05	6.40	24.44	39.60	54.00	4.38
		혼합전개	10.60	48.80	20.94	50.40	0.80	0.17
		LSB	6.09	14.40	20.79	39.20	46.40	1.05
	70	전방전개	11.92	49.60	18.18	49.60	0.80	2.25
		후방전개	4.43	4.80	20.82	36.40	58.80	4.64
		혼합전개	11.65	49.60	16.57	50.00	0.40	0.36
		LSB	5.98	12.00	17.59	34.80	53.20	1.51
60	전방전개	12.91	51.60	14.54	46.40	2.00	1.89	
	후방전개	3.40	2.80	12.73	25.60	71.60	3.44	
	혼합전개	12.89	51.20	14.09	45.20	3.60	0.04	
	LSB	7.16	8.00	13.05	20.00	72.00	1.77	
RAND	90	전방전개	10.61	29.20	15.11	68.80	2.00	3.66
		후방전개	3.20	1.60	20.50	54.80	43.60	5.25
		혼합전개	10.19	31.60	15.16	66.80	1.60	0.77
		LSB	4.31	12.40	18.37	52.40	35.20	1.69
	80	전방전개	10.51	32.00	13.58	65.60	2.40	3.40
		후방전개	3.20	1.60	18.30	48.00	50.40	4.54
		혼합전개	10.68	32.80	13.96	62.80	4.40	0.79
		LSB	5.09	8.00	17.36	43.60	48.40	1.42
	70	전방전개	10.69	36.40	11.69	60.40	3.20	2.95
		후방전개	4.90	2.00	16.93	39.60	58.40	4.25
		혼합전개	11.08	36.80	11.55	59.20	4.00	0.55
		LSB	4.24	12.00	15.54	36.00	52.00	1.47
60	전방전개	10.13	48.80	9.94	45.60	5.60	2.02	
	후방전개	5.60	3.20	12.56	28.00	68.80	3.45	
	혼합전개	10.51	48.00	9.78	46.80	5.20	0.22	
	LSB	4.24	12.00	12.10	26.00	62.00	1.95	

〈표 2〉 정적인 일정계획 상황에서 Assembly형태의 작업에 대한 컴퓨터 모의실험 결과

정렬방법	작업부하(%)	기 법	Earliness		Tardiness		On Due	WIP
			평 균	%	평 균	%	%	평 균
EDD	90	전방전개	22.99	49.60	25.18	48.80	1.60	8.23
		후방전개	11.71	15.60	37.28	45.20	39.20	15.55
		혼합전개	24.72	44.80	28.62	54.80	0.40	2.79
		LSB	12.76	21.60	34.07	43.60	34.80	6.58
	80	전방전개	23.41	57.20	20.81	41.20	1.60	10.31
		후방전개	14.70	15.60	32.56	30.80	53.60	14.55
		혼합전개	24.70	49.20	24.62	49.20	1.60	1.60
		LSB	13.77	17.60	31.60	30.00	52.40	5.90
	70	전방전개	23.14	68.80	17.31	30.80	0.40	9.83
		후방전개	16.49	22.00	25.74	22.80	55.20	11.44
		혼합전개	24.95	58.80	18.73	40.40	0.80	1.57
		LSB	16.94	26.80	21.44	21.60	51.60	5.31
	60	전방전개	25.57	74.40	13.33	24.00	1.60	10.66
		후방전개	18.14	20.40	16.26	8.40	71.20	7.60
		혼합전개	25.88	72.40	14.25	26.80	0.80	2.54
		LSB	18.27	25.60	6.37	3.20	71.20	5.02
SPT	90	전방전개	30.56	52.40	28.09	46.40	1.20	8.29
		후방전개	12.23	14.40	48.74	39.20	46.40	16.79
		혼합전개	29.94	48.00	31.72	51.20	0.80	3.99
		LSB	15.08	22.80	41.09	34.80	42.40	7.15
	80	전방전개	31.02	58.80	23.03	40.40	0.80	7.75
		후방전개	14.78	17.60	41.93	23.20	59.20	14.74
		혼합전개	31.10	52.00	28.88	47.20	0.80	2.78
		LSB	15.67	23.20	36.25	21.60	55.20	6.25
	70	전방전개	31.01	63.20	17.22	36.40	0.40	7.16
		후방전개	16.70	20.00	35.96	20.40	59.60	11.97
		혼합전개	29.46	59.20	22.82	39.60	1.20	2.65
		LSB	15.70	28.80	29.06	17.60	53.60	6.26
	60	전방전개	32.11	69.60	13.60	27.60	2.80	7.69
		후방전개	14.13	18.00	27.53	11.60	70.40	8.66
		혼합전개	31.39	65.60	16.02	34.40	0.00	2.62
		LSB	16.44	27.20	9.90	7.60	65.20	6.02
RAND	90	전방전개	26.73	46.40	29.56	52.80	0.80	9.69
		후방전개	15.26	18.40	45.90	38.00	43.60	16.27
		혼합전개	28.29	43.20	33.64	56.80	0.00	3.64
		LSB	14.86	24.40	43.40	34.00	41.60	6.84
	80	전방전개	27.20	52.00	26.79	46.00	2.00	12.36
		후방전개	13.53	20.00	40.35	24.40	55.60	14.68
		혼합전개	28.19	48.40	29.84	51.20	0.40	2.03
		LSB	13.64	23.60	38.12	24.40	52.00	6.91
	70	전방전개	26.83	59.20	23.21	39.60	1.20	11.41
		후방전개	18.31	26.40	38.00	16.00	57.60	11.93
		혼합전개	28.69	54.00	25.87	44.00	2.00	2.33
		LSB	18.54	31.20	38.46	14.40	54.40	5.63
	60	전방전개	28.58	65.60	17.92	33.20	1.20	12.46
		후방전개	17.28	27.20	4.60	1.60	71.20	4.38
		혼합전개	28.58	63.20	20.27	36.00	0.80	3.45
		LSB	17.60	27.20	3.73	1.60	71.20	4.27

작업에 의한 재고와 중간 가공 중인 작업에 의한 재고로 세분하였다.

정적인 일정계획 상황에서는 대상 기간을 50기간(Tandem 형태)과 100기간(Assembly 형태)으로 설정하고 50개의 작업을 수행하였으며, 각 작업에 대한 납기일은 대상 기간(50 또는 100)에서 소요되는 총 공정기간을 차감한 범위 내에서 랜덤하게 할당하였다. 각 작업장의 기계 수는 작업장의 작업부하가 변함에 따른 각 JOHS기법들의 특성을 비교하기 위하여 작업장의 작업부하에 맞게 조정하였으며, 여기서 작업장의 작업부하는 그 작업장에서 수행하는 작업량을 작업장의 최대공정능력으로 나눈 값이며 퍼센트로 나타내었다.

JOHS기법의 첫 단계에서 계획수립 대상작업들을 일렬로 정렬하기 위한 기준으로서는 납기, 총 공정기간, 무작위 등 세 가지 정렬기준을 적용하였다. 이 기준들은 현장에서 많이 활용되는 방법이며, 보편적인 실험상황을 설정하기 위하여 채택되었다. <표 1>과 <표 2>는 정적인 일정계획 상황에서 Tandem형태의 작업과 Assembly형태의 작업을 수행하는 생산시스템에 대하여 동일한 조건하에 10회씩 반복한 컴퓨터 실험 결과의 평균치를 요약한 값을 각각 보여준다. EDD, SPT, RAND는 초기작업정렬방법을 나타내며, 각각 납기가 가까운 순서, 총 공정기간이 짧은 순서, 무작위 순서로 작업들을 정렬한 경우를 나타낸다. Earliness와 Tardiness란에서는 납기일보다 일찍 또는 늦게 완료되는 작업들에 대하여, 각각의 평균기간과 전체 작업 수에 대한 퍼센트를 보여준다. On Due란에서는 정확하게 납기일에 완료된 작업이 전체작업 중에서 차지하는 퍼센트를, 마지막으로 WIP(work-in-process)란에서는 어떤 작업에 속하는 임의의 공정이 일찍 끝나서 다음의 공정으로 바로 연결되지 못하고 기다려야 하는 경우 평균적으로 몇 기간이나 기다렸는지를 보여준다.

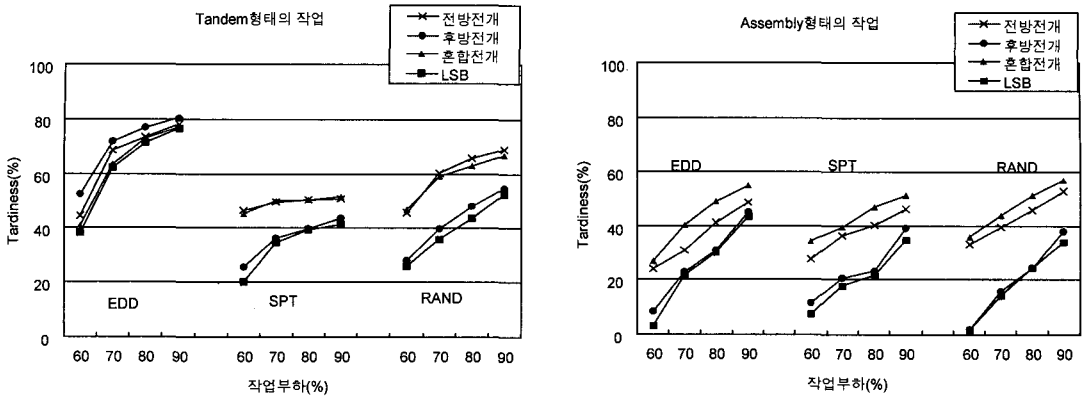
표에서 Earliness(평균)은 작업이 끝난 후의 완성품재고량을, WIP는 중간 가공중의 재고량을 나타내는 지표가 되며, Earliness(%)와 On Due(%)

를 합한 값이 납기준수율을 의미하게 된다. 물론 Tardiness(%)도 납기준수율을 간접적으로 표현한다. <표 1>과 <표 2>에 나타난 정적인 일정계획 상황에 대한 컴퓨터 실험의 결과를 살펴보면, 본 논문에서 소개하는 LSB스케줄링기법이 기존의 JOHS기법들보다 다음과 같은 사실에서 우수함을 알 수 있다.

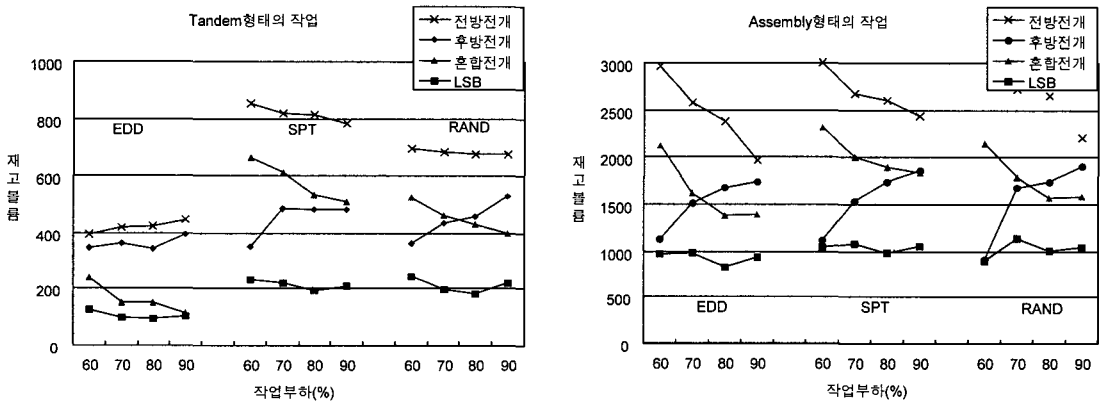
- (1) 일정계획을 수립할 때, LSB스케줄링기법이 다른 JOHS기법들보다 작업의 납기준수율면에서 우수한 결과를 보여준다. <그림 6>에 나타난 바와 같이, 초기 작업의 정렬 순서에 상관없이 LSB스케줄링기법이 낮은 Tardiness(높은 납기준수율)를 보여주며, 특히 전방진개스케줄링 및 혼합전개스케줄링에 비하여는 월등히 우수한 결과를 보여주고 있다.
- (2) 재고상황을 살펴볼 경우, LSB스케줄링기법이 후방진개스케줄링보다 완료된 작업에 의한 재고량(Earliness %)을 조금 더 발생시키는 것으로 나타나나, 중간 가공 중인 작업에 의한 재고량(WIP)은 현저히 줄이고 있음을 알 수 있다. 또한 혼합전개스케줄링과 비교할 경우에는 LSB스케줄링기법이 중간 가공 중인 작업에 의한 재고량(WIP)을 조금 더 발생시키나, 완료된 작업에 의한 재고량(Earliness %)은 현저히 줄이고 있음을 알 수 있다. <그림 7>은 스케줄링 기법에 따른 재고량의 변화를 보여주고 있다. 여기서 재고불륨은 모든 작업의 총 재고를 100으로 하였을 때, 작업중간의 재공재고(WIP)와 완제품 재고(Earliness 평균)의 가중평균값이다. 즉,

$$\text{재고불륨} = 100 \times (\text{WIP}) + (\text{Earliness 평균}) \times (\text{Earliness \%}).$$

<그림 7>에서 보는바와 같이 LSB스케줄링기법이 초기정렬방법이나 작업부하에 관계없이 가장 낮은 수준의 재고불륨을 나타내고 있다.



〈그림 6〉 정적인 일정계획 상황에서 납기 지연율의 비교



〈그림 7〉 정적인 일정계획 상황에서 재고볼륨의 비교

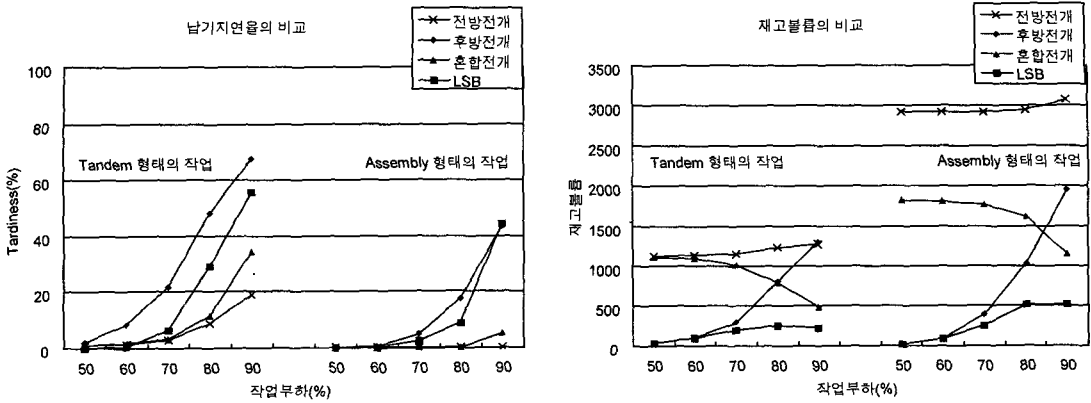
동적인 일정계획 상황에서는 300개의 작업이 200기간동안 무작위로 도착하게 하였고, 각 작업에 대한 납기일은 도착한 시각으로부터 소요되는 총 공정기간에 무작위의 여유기간을 갖도록 할당하였으며, 작업이 작업장에 도착하는 대로 그 작업에 대한 일정계획이 수립되는 것으로 하였다. 컴퓨터 실험은 200기간동안 실시하였으나 필요한 통계량은 생산시스템이 안정적 상태를 유지하고 있는 50에서 150기간 사이에서 수집한 데이터로부터 계산하였다. 각 작업장의 기계수는 정적인 일정계획 상황과 같이 작업부하가 변함에 따른 각 JOHS기법들의 특성을 비교하기 위하여 작업부하에 맞게 조정하였으며, 동일한 조건하에서 10회의 반복 실험

을 실시하였다. <표 3>은 동적인 일정계획 상황에서 동일한 조건하에 10회씩 반복한 컴퓨터 실험 결과의 평균치를 요약한 것이다.

<표 3>에서 보듯이 동적인 일정계획 상황에서는 작업부하에 따라 상이한 결과를 보여준다. 재고관점에서는 정적인 상황에서의와 같이 LSB스케줄링이 우수한 결과를 보여주고 있으나, 납기준수율 관점에서는 그렇지 않다. 특히 작업부하가 70%이상으로 증가할 경우, LSB스케줄링은 도착하는 작업을 지체 없이 수행하는 전방진개스케줄링에 비해 작업의 납기준수율이 상당히 떨어지는 것으로 나타났다. 작업부하가 큰 동적인 일정계획 상황에서는 새로운 작업에 대한 일정계획을 수립할 때 보다

〈표 3〉 동적인 일정계획 상황에서의 컴퓨터 모의실험 결과

형 태	작업부하(%)	기 법	Earliness		Tardiness		On Due	WIP
			평 균	%	평 균	%	%	평 균
Tandem	90	전방전개	8.61	77.42	4.33	19.10	3.47	6.01
		후방전개	1.60	0.26	8.97	67.45	32.29	12.96
		혼합전개	7.38	61.23	5.67	34.26	4.51	0.34
		LSB	2.19	4.42	8.44	55.59	39.99	2.14
	80	전방전개	9.75	88.99	3.60	8.66	2.34	3.65
		후방전개	3.30	0.51	6.81	48.08	51.40	7.97
		혼합전개	9.17	85.03	3.22	11.35	3.62	0.05
		LSB	3.89	5.63	5.20	29.12	65.24	2.27
	70	전방전개	10.73	95.85	2.87	2.75	1.40	1.24
		후방전개	1.60	0.26	4.97	21.80	77.95	2.96
		혼합전개	10.66	95.20	3.10	3.14	1.66	0.00
		LSB	4.53	3.61	2.83	6.18	90.21	1.71
	60	전방전개	11.06	98.43	1.95	1.19	0.38	0.45
		후방전개	1.00	0.14	3.14	8.15	91.71	0.90
		혼합전개	11.05	98.29	1.91	1.47	0.24	0.00
		LSB	3.84	1.66	0.40	0.38	97.96	0.95
	50	전방전개	11.19	99.08	1.80	0.66	0.26	0.15
		후방전개	0.00	0.00	2.30	1.83	98.17	0.29
		혼합전개	11.19	99.08	1.80	0.66	0.26	0.00
		LSB	0.20	0.13	0.00	0.00	99.87	0.30
Assembly	90	전방전개	15.72	100	0.00	0.00	0.00	14.95
		후방전개	7.05	2.24	5.24	43.57	54.18	19.39
		혼합전개	11.24	93.42	1.51	5.01	1.58	0.95
		LSB	6.78	6.01	5.97	44.12	49.88	4.77
	80	전방전개	17.20	100	0.00	0.00	0.00	12.32
		후방전개	6.15	3.35	3.49	17.25	79.40	10.01
		혼합전개	15.93	100	0.00	0.00	0.00	0.23
		LSB	5.58	8.88	2.81	8.61	82.51	4.64
	70	전방전개	17.90	100	0.00	0.00	0.00	11.31
		후방전개	6.09	2.66	1.64	4.65	92.68	3.78
		혼합전개	17.56	100	0.00	0.00	0.00	0.16
		LSB	5.49	4.58	0.85	2.28	93.14	2.30
	60	전방전개	18.19	100	0.00	0.00	0.00	10.95
		후방전개	2.94	0.66	0.25	0.23	99.11	0.77
		혼합전개	18.13	100	0.00	0.00	0.00	0.04
		LSB	2.52	0.78	0.00	0.00	99.22	0.75
	50	전방전개	18.30	100	0.00	0.00	0.00	10.83
		후방전개	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.09
		혼합전개	18.31	100	0.00	0.00	0.00	0.01
		LSB	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.09



〈그림 8〉 동적인 일정계획 상황에서 납기지연율 및 재고불량의 비교

바람직한 일정계획을 세우기 위하여 이미 수립된 작업일정에 대한 수정이 요구되지만, 이미 착수된 작업 때문에 일정 수정이 불가능한 경우가 자주 발생하기 때문이라고 판단된다. 다만 전방전개스케줄링은 과다한 재고량(완료된 작업에 의한 재고와 중간 가공 중인 작업에 의한 재고)을 발생시키는 것으로 나타났다.

재고량의 측면에서는 LSB스케줄링기법이 우수하며, 이는 작업의 납기일을 정확히 준수하는 비율(On Due%)에서 LSB스케줄링기법이 기존의 JOHS 기법들보다 우수하기 때문이라 판단된다. <그림 8>은 동적인 일정계획 상황에서 일정계획 기법에 따른 납기지연율과 재고불량의 변화를 보여주고 있다.

종합적으로 동적인 일정계획 상황에서는 LSB스케줄링기법이 재고량의 관점에서 기존의 방법들을 보완할 수 있으며, 작업장에 걸리는 작업부하의 정도에 따라 사용되어야 할 스케줄링기법들이 결정되어야 할 것으로 판단된다. 특히 납기준수율과 재고량의 절충관계를 고려하여야 하는 경우에는 LSB스케줄링기법이 효과적으로 사용될 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 실제 산업현장 규모의 일정계획 문제

를 해결하기 위한 탐색적 기법에 초점을 맞추고 있다. 대부분의 일정계획에 관한 연구들이 공정지향 일정계획에 기초하고 있으나, 본 논문은 관점을 달리하여 작업지향 일정계획에 기초하고 있다. Hastings와 Yeh[4]가 지적하였듯이, JOHS기법은 여러 가지의 장점이 있다. 즉, (1) JOHS기법은 실제 산업현장 규모의 큰 일정계획 문제에 좋은 일정계획을 제시한다. (2) JOHS기법은 논리가 간단하여 개별작업을 통제하는 산업현장 일정계획 수립자가 쉽게 이해할 수 있다. (3) JOHS기법은 복잡하게 여러 공정을 거치는 현장상황도 쉽게 소화한다. 그리고 (4) JOHS기법은 계산과정이 쉽다.

본 연구에서는 JOHS기법의 하나로 한 산업체에서 수행한 프로젝트를 통하여 얻은 경험을 토대로 개발한 LSB스케줄링기법을 코드로 구현하여 체계화하고, 납기준수율과 재고관점에서 기존의 JOHS 기법들과 성능을 비교하기 위해 컴퓨터 실험을 실시하였다. 컴퓨터 실험은 Tandem형태의 작업을 수행하는 생산시스템과 Assembly형태의 작업을 수행하는 생산시스템에 대해서 정적인 일정계획 상황과 동적인 일정계획 상황으로 분리하여 실시하였다. 비교실험 결과, 정적인 일정계획 상황에서는 LSB스케줄링기법이 기존 JOHS기법들과 비교하여 납기준수율 및 재고량의 관점에서 우수함을 알 수 있었고, 동적인 상황에서는 작업부하의 정도에 따라 기존의 JOHS기법들을 보완함을 알 수 있

었다.

향후 Tandem형태나 Assembly형태 외의 보다 일반적인 공정형태를 가지는 생산시스템까지를 포괄하는 기법상의 보완이 이루어지면 LSB스케줄링은 보다 다양한 분야의 효과적인 일정계획 수립에 활용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Blackstone, J.H., D.T. Phillips and G.L. Hogg, "A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations," *International Journal of Production Research*, Vol.20(1982), pp.27-45.
- [2] Conway, R.W., W.L. Maxwell and L.W. Miller, *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley, 1967.
- [3] Hastings, N.A.J., P.H. Marshall and R.J. Willis, "Scheduled Based MRP : An Integrated Approach to Production Scheduling and Material Requirement Planning," *Journal of Operational Research Society*, Vol. 33(1982), pp.1021-1029.
- [4] Hastings, N.A.J. and C.H. Yeh, "Job Oriented Production Scheduling," *European Journal of Operational Research*, Vol.47 (1990), pp.35-48.
- [5] Kim, Y.D., "A Backward Approach in List Scheduling Algorithms for Multi-Machine Tardiness Problems," *Computers and Operations Research*, Vol.22(1995), pp.307-319.
- [6] Magee, J.F. and D.M. Boodman, *Production Planning and Inventory Control*, McGraw-Hill, 1967.
- [7] McCarthy, S.W. and K.D. Barber, "Medium to Short Term Finite Capacity Scheduling : A Planning Methodology for Capacity Constrained Workshops," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol.19(1990), pp.189-199.
- [8] Park, C., J. Song, J. Kim and I. Kim, "Delivery Date Decision Support System for the Large Scale Make-to-Order Manufacturing Companies : A Korean Electric Motor Company Case," *Production Planning & Control*, Vol.10(1999), pp.585-597.
- [9] Sun, D., R. Batta and L. Lin, "Effective Job Shop Scheduling Through Active Chain Manipulation," *Computers and Operations Research*, Vol.22(1995), pp.159-172.
- [10] White, C. and N.A.J. Hastings, "Scheduling Techniques for Medium Scale Industry," *Australian Society for Operations Research Bulletin*, Vol.3(1983), pp.1-4.
- [11] Yeh, C.H., "A Fast Finite Loading Algorithm for Job Oriented Scheduling," *Computers & Operations Research*, Vol.24(1997), pp.193-198.