

LSB 스케줄링기법의 소개

박창규 · 김현준

울산대학교 경영대학 경영학부

Abstract

In industrial production setting scheduling problems of detailed day-to-day operations are often ordeals to production practitioners. For those who have scheduling experience 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. This paper introduces a new LSB (load smoothing backward) scheduling algorithm for the job oriented heuristic scheduling. Through the computer simulation in a hypothetical setting, this paper provides a comparison of LSB scheduling with existing algorithms and a guideline for selecting the suitable algorithm for certain industrial setting.

1. 서론

현실적인 산업현장 규모의 일정계획문제를 풀기 위한 접근방법으로는 탐색적 기법(heuristic approach)이 유일한 해결책을 많은 일정계획 연구들이 제시하고 있다. 이들 탐색적 기법은 일정계획이 수립되는 방향에 따라 공정지향 탐색적 일정계획(operation oriented heuristic scheduling; OOHS)과 작업지향 탐색적 일정계획(job oriented heuristic scheduling; JOHS) 기법으로 분류할 수 있다[3,8].

OOHS는 작업배정규칙(dispatching rule)에 따라 개별 공정단위로 일정계획을 수립하고, JOHS는 한번에 하나의 작업을 선택하여 그 작업에 속한 전체 공정의 일정계획을 수립한다. 실제 산업현장의 일정계획 수립자는 하루 단위의 상세한 일정계획을 수립할 때, Gantt Chart를 이용하여 JOHS 기법을 사용함에 익숙해져 있으며, 이는 JOHS가 현실적인 산업현장 규모의 일정계획문제를 푸는데 적합함을 입증하는 것이다.

문헌적으로 살펴보면, OOHS가 탐색적 일정계획 기법에 관한 연구들의 대부분을 차지하고 있다. 본 논문은 산업현장 규모의 일정계획 문제를 푸는데 적합한 JOHS에 초점을 맞추어 기존의 JOHS 기법들을 살펴보고, 새로운 JOHS 기법인 LSB(load smoothing backward) 스케줄링

을 소개하고자 한다. 우선, 다음 장에서는 작업지향 탐색적 일정계획에 대한 구체적인 내용을 살펴보고, 본 논문에서 소개하고자 하는 LSB 스케줄링은 제 3장에서 설명한다. 제 4장에서는 가상의 작업장을 설정, 컴퓨터 모의실험을 실시하여 LSB 스케줄링을 기존의 JOHS 기법들과 납기준수율 및 재고관점에서 성능을 비교하고, 끝으로 결론을 제 5장에 제시한다.

2. 작업지향 탐색적 일정계획

한번에 하나의 작업을 선택하여 그 작업에 속한 전체 공정의 일정계획을 수립하는 JOHS는 보통 두 단계로 이루어진다[3]. 첫 단계에서는 일정계획을 수립할 작업들을 특정한 기준에 따라 정렬한다. 이때 사용되는 기준으로는 작업장의 관리목표에 맞추어 작업배정규칙을 이용한다. 첫 단계의 결과로 일정계획을 수립할 작업들의 우선순서가 결정된다. 다음 단계에서는 첫 단계에서 결정된 작업들의 일정계획 순서에 맞추어 한번에 한 작업씩, 그 작업에 속한 전체 공정을 해당 작업장에 할당한다. 즉, 첫번째 작업에 속한 전체 공정에 대한 일정계획이 완전히 수립된 후에 다음 작업에 대한 일정계획이 수립되는 것이다.

OOHS에 관한 연구결과는 많이 발표된 반면, JOHS에 관한 연구는 그렇게 많지가 않다. 초기 연구로 Magee와 Boodman[4]이 기계에 작업을 할당할 때 JOHS 기법을 쓸 것을 제안하였으며, Conway 등[1]은 Cornell University에 있는 Crabbill이 발표한 job-at-a-time adjusting procedure를 소개하였다. Job-at-a-time adjusting procedure는 flow-time을 최소화하기 위해 작업의 각 공정을 기존의 일정계획에서 가장 좋은 위치에 삽입하였다.

그 후 발표된 JOHS에 관한 연구들은 일정계획의 시간이 결정되는 방법에 따라 전방전개 스케줄링(forward scheduling)과 후방전개 스케줄링(backward scheduling) 및 혼합전개 스케줄링(hybrid scheduling)으로 분류할 수 있다. 전방전개 스케줄링은 한번에 한 작업씩 작업이 가능한 시작시간부터 일정을 수립한다. 작업의

모든 공정들은 해당되는 기계에 첫 공정부터 연속적으로, 그리고 가능한 한 가장 빠른 시간에 할당된다. 따라서 전방전개 스케줄링은 작업이 가능한 한 빨리 끝날 수 있도록 일정을 수립하게 된다. 전방전개 스케줄링에 관한 연구로서는 Hastings 등[2], Hastings과 Yeh[3] 및 McCarthy와 Barber[5] 등이 있다.

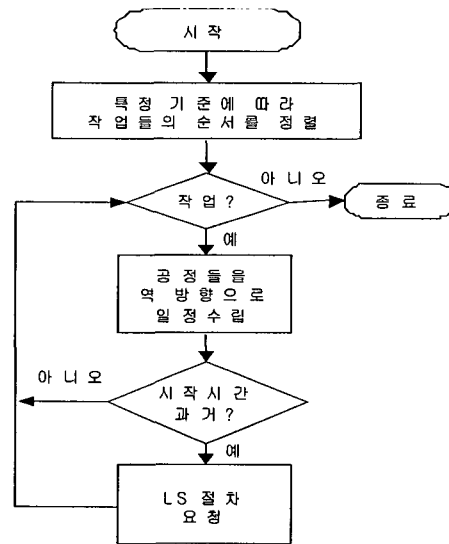
후방전개 스케줄링은 한번에 한 작업씩 납기일로부터 시간이 흘러가는 반대방향으로 일정을 수립한다. 작업의 모든 공정들은 해당되는 기계에 마지막 공정부터 연속적으로, 그리고 가능한 한 가장 늦은 시간에 할당된다. 이 과정에서 일정 수립된 작업시작시간이 작업 가능한 시작시간보다 일찍 계획되면 그 작업은 전방전개 스케줄링으로 일정을 재 수립한다. 이럴 경우, 작업이 납기일보다 늦게 완료됨은 불가피하다. 후방전개 스케줄링은 작업들이 가능하면 납기일에 또는 납기일에 근접한 날에 완료할 수 있도록 한다. 후방전개 스케줄링에 관한 연구로서는 White와 Hastings[7], Hastings와 Yeh[3] 등이 있다.

혼합전개 스케줄링은 Hastings와 Yeh[3]이 제안하였으며 전방전개 스케줄링과 후방전개 스케줄링을 혼합한 형태이다. 혼합전개 스케줄링은 작업의 중간공정이 불필요하게 일찍 완료되는 것을 피하면서 전체 공정이 가능한 한 빨리 완료될 수 있도록 일정계획을 수립한다. 따라서 처음에는 작업의 모든 공정을 전방전개 스케줄링으로 일정계획을 수립한 후, 전방전개 스케줄링 결과로 얻어진 가능한 납기일로부터 후방전개 스케줄링을 사용하여 일정계획을 재 수립한다.

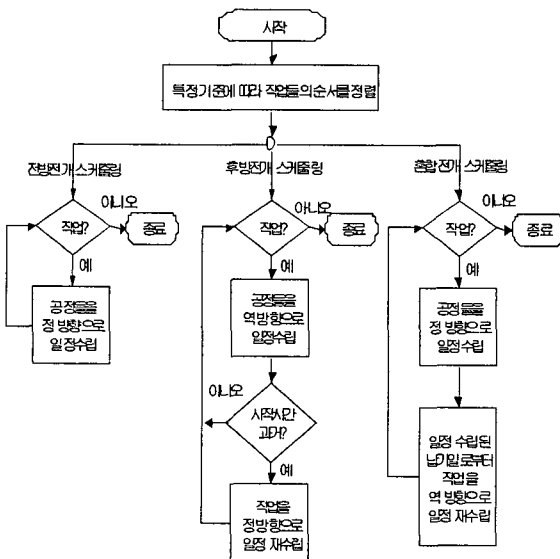
<그림 1>은 JOHS의 각 전개방식을 요약하여 보여준다.

3. LSB 스케줄링 기법

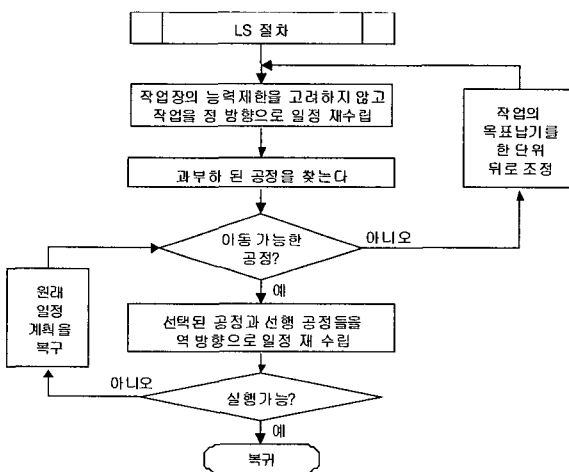
일반적으로 산업현장의 일정계획 수립자가 가장 중요시하는 성과척도 중에 하나는 작업의 납기준수율이다. LSB 스케줄링은 작업의 납기일 준수를 중요시하면서 작업의 중간공정이 불필요하게 일찍 완료되는 것을 피하도록 일정을 계획한다. 따라서 후방전개 스케줄링과 혼합전개 스케줄링 개념을 확장시킨 기법이다.



<그림 2> LSB 스케줄링 기법



<그림 1> 기존 JOHS 기법들



<그림 3> LS 절차

<그림 2>와 <그림 3>은 LSB 스케줄링의 절차를 보여주고 있다. <그림 2>의 첫 단계 LSB 스케줄링은 후방전개 스케줄링과 같이 한번에 한 작업씩 납기일로부터 시간이 흘러가는 반대 방향으로 일정을 수립한다. 작업의 모든 공정들은 해당되는 기계에 마지막 공정부부터 연속적으로, 그리고 가능한 한 가장 늦은 시간에 할당된다. 이 과정에서 일정 수립된 작업시작시간이 작업 가능한 시작시간보다 일찍 계획되면 LSB 스케줄링은 <그림 3>의 LS(load smoothing) 절차를 수행하게 된다.

현재 고려중인 작업을 단순히 후방전개 스케줄링기법으로 일정계획을 수립해서는 작업의 납기일을 준수할 수 없을 때, LS 절차는 이미 일정계획이 수립된 작업들의 납기일을 준수하면서 현재 고려중인 작업도 납기일을 준수할 수 있는 작업장의 여력을 찾아 낼 수 있는 방법을 모색하게 된다. LS 절차의 기본개념은 다음과 같다. 임의의 기간동안 작업장의 작업부하가 최대작업능력에 도달하여 더 이상 새로운 작업을 받아 들일 수 없을 때, LS 절차는 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 재 수립하여도 재 수립된 작업시작시간이 작업 가능한 시작시간보다 늦게 계획되어 실행 가능한 작업일정을 찾는 것이다. 이 과정에서 작업일정을 앞으로 당길 수 있는 작업이 여러 개 있을 경우, 납기일이 빠른 작업에게 우선순위를 부여한다.

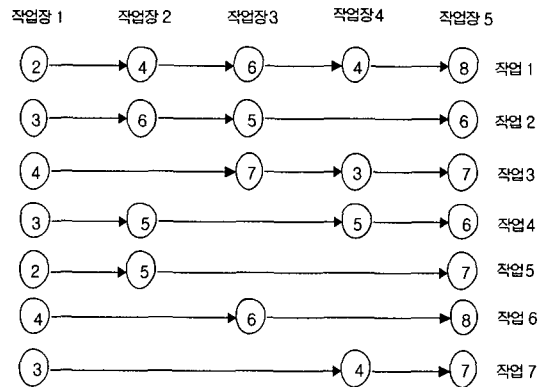
만일 기존의 작업일정에 너무 여유가 없어서 현재 고려중인 작업을 수용할 만큼의 여력을 만들 수 없을 경우, LS 절차는 고려중인 작업의 납기를 한 단위씩 뒤로 조정하면서 앞의 과정을 반복하게 된다. 이 경우 고려중인 작업이 납기를 준수할 수 없음은 작업장 여건상 불가피하나, 납기 지연일이 최소화 되도록 일정을 수립한다.

4. 컴퓨터 모의실험

본 장에서는 될 수 있으면 일반적인 산업현장의 특성을 갖는 가상의 생산시스템을 설정하고, 가상의 생산시스템에 대한 컴퓨터 모의실험을 실시하여 본 논문에서 소개하는 LSB 스케줄링과 기존의 JOHS 기법들을 비교하고자 한다.

본 논문에서 컴퓨터 모의실험을 실시하기 위하여 설정한 생산시스템은 편의상 5개의 작업장으로 구성되었으며, 각 작업장은 여러 대

의 동일한 기계를 보유하고 있다. 생산시스템은 7가지 종류의 작업을 수행하고 있으며, 각 작업이 점유하는 작업장과 각 작업장에서의 공정시간은 <그림 4>와 같다. <그림 4>에서 원은 어떤 작업이 어떤 작업장을 점유하는지를 나타내고, 원안에 있는 숫자는 특정 작업이 특정 작업장에서 소요하는 공정시간을 나타낸다.



<그림 4> 가상의 생산시스템

컴퓨터 모의실험을 보다 용이하게 하기 위해 실제 산업현장 상황과 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 한 작업장의 기계에서 어떤 작업이 일단 공정작업을 시작하면 그 작업은 작업 도중에 다른 작업에 의해서 중단되어지는 일은 없다.
- (2) 한 기계는 한번에 하나의 작업만을 수행할 수 있다.
- (3) 각 작업에 대한 납기일이 지정되면 변하지 않는다.
- (4) 각 작업장에서의 공정시간은 사전에 알려져 있고, 서로 독립적이다.

컴퓨터 모의실험은 일정한 기간동안의 작업을 모아서 한꺼번에 일정계획을 수립하는 정적인 일정계획과 작업이 들어올 때마다 작업에 대한 일정계획을 수립하는 동적인 일정계획, 두 가지 상황에 대하여 실시하였다. 정적인 일정계획 상황에서는 한 기간을 50으로 설정하고 50개의 작업을 수행하였으며, 각 작업에 대한 납기일은 한 기간(50)에서 소요되는 총 공정시간을 제외한 범위 내에서 무작위로 할당되었다. 각 작업장의 기계 수는 작업부하가 변함에 따라 각 JOHS 기법들의 특성을 비교하기 위하여 작업부하에 맞게 조정되었다. JOHS 기법의 첫 단계인 일정계획을 수립할 작업들의 우선순서를 결정하기 위해서 EDD 규칙을 사용하였으며, 동일한 조건 하에서 10회의 반복 실험

험을 실시하였다. <표 1>은 정적인 일정계획 상황에서 동일한 조건 하에 10 회씩 반복한 컴퓨터 모의실험 결과의 평균치를 요약한 것이다.

<표 1> 정적인 일정계획 상황에서 EDD 규칙을 사용한 컴퓨터 모의실험 결과

작업부하(%)	기법	Earliness			Tardiness			On Due		WIP
		평균	최대	%	평균	최대	%	평균		
50	전방전개	3.22	6.60	19.20	10.64	20.20	78.00	2.80	3.85	
	후방전개	1.80	1.80	0.40	10.45	20.20	80.40	19.20	3.95	
	혼합전개	3.41	7.00	21.20	10.57	21.60	76.80	2.00	0.44	
	LSB	3.47	4.60	4.00	11.21	21.20	76.40	19.60	0.87	
80	전방전개	3.34	7.00	22.80	9.05	18.20	73.20	4.00	3.45	
	후방전개	3.40	3.40	0.80	8.32	17.40	76.80	22.40	3.43	
	혼합전개	3.73	8.40	25.60	9.21	18.60	72.80	1.60	0.55	
	LSB	4.03	5.80	4.00	9.12	18.00	71.20	24.80	0.79	
70	전방전개	3.72	7.80	27.20	6.55	13.40	68.40	4.40	3.16	
	후방전개	3.00	3.00	0.80	6.54	13.40	71.60	27.60	3.61	
	혼합전개	3.98	8.80	30.80	6.52	13.00	68.20	6.00	0.26	
	LSB	4.10	5.60	5.60	6.63	13.40	62.40	32.00	0.77	
60	전방전개	3.69	8.60	44.40	3.65	8.00	44.40	11.20	2.31	
	후방전개	1.60	1.60	0.80	3.97	9.20	52.40	46.80	3.47	
	혼합전개	4.32	13.00	50.80	3.80	8.20	40.80	8.40	0.23	
	LSB	3.52	6.40	6.00	3.72	8.40	38.00	56.00	1.05	
50	전방전개	4.72	10.40	74.00	2.40	4.60	16.80	9.20	1.99	
	후방전개	3.88	4.80	3.20	2.28	3.60	16.80	80.00	2.81	
	혼합전개	5.20	12.80	75.20	2.54	4.60	16.40	8.40	0.08	
	LSB	5.42	9.60	6.00	1.44	2.20	7.20	86.80	1.33	

동적인 일정계획 상황에서는 300 개의 작업이 200 기간동안 무작위로 도착하게 하였고, 각 작업에 대한 납기일은 도착한 시간으로부터 소요되는 총 공정시간에 무작위의 여유기간을 갖도록 할당되었다. 컴퓨터 모의실험은 200 기간동안 실시하였으나 필요한 통계량은 생산시스템이 안정적 상태를 유지하고 있는 50에서 150 기간 사이에서 수집한 데이터로부터 계산하였다. 각 작업장의 기계 수는 정적인 일정계획 상황과 같이 작업부하가 변함에 따라 각 JOHS 기법들의 특성을 비교하기 위하여 작업부하에 맞게 조정되었으며, 동일한 조건 하에서 10 회의 반복 실험을 실시하였다. <표 2>는 동적인 일정계획 상황에서 동일한 조건 하에 10 회씩 반복한 컴퓨터 모의실험 결과의 평균치를 요약한 것이다.

JOHS 기법들을 비교하는 기준으로 본 논문은 작업들의 납기준수율과 재고상황을 고려하였다. 그리고 재고상황은 완료된 작업에 의한 재고와 중간 가공 중인 작업에 의한 재고로 더욱 세분하였다. 우선, 정적인 일정계획 상황에 대한 컴퓨터 모의실험의 결과를 살펴보면, 본 논문에서 소개하는 LSB 스케줄링이 기존의 JOHS 기법들보다 다음과 같은 사실에서 우수함을 알 수 있다.

<표 2> 동적인 일정계획 상황에서의 컴퓨터 모의실험 결과

작업부하(%)	기법	Earliness			Tardiness			On Due		WIP
		평균	최대	%	평균	최대	%	평균		
90	전방전개	8.61	19.40	77.42	4.33	12.60	19.10	3.47	6.01	
	후방전개	1.60	1.60	0.26	8.97	24.60	67.45	32.29	12.95	
	혼합전개	7.38	18.40	61.23	5.67	16.60	34.26	4.51	0.34	
	LSB	2.19	4.20	4.42	8.44	23.00	55.59	39.99	2.14	
80	전방전개	9.75	21.00	88.99	3.60	8.80	8.66	2.34	3.65	
	후방전개	3.30	3.40	0.51	6.81	18.20	48.06	51.40	7.97	
	혼합전개	9.17	20.20	85.08	3.22	8.80	11.56	3.62	0.05	
	LSB	3.89	10.00	5.63	5.20	13.20	29.12	65.24	2.27	
70	전방전개	10.73	21.00	95.85	2.67	4.60	2.75	1.40	1.24	
	후방전개	1.60	1.60	0.26	4.97	14.60	21.80	77.95	2.96	
	혼합전개	10.65	21.00	95.20	3.10	5.40	3.14	1.66	0.00	
	LSB	4.53	7.80	3.61	2.83	6.60	6.18	90.21	1.71	
60	전방전개	11.05	21.00	98.43	1.95	2.60	1.19	0.38	0.45	
	후방전개	1.00	1.00	0.14	3.14	7.80	8.15	91.71	0.90	
	혼합전개	11.05	21.00	98.29	1.91	2.80	1.47	0.24	0.00	
	LSB	3.84	5.80	1.66	0.40	0.40	0.38	97.96	0.95	
50	전방전개	11.19	21.00	99.08	1.80	2.00	0.65	0.26	0.15	
	후방전개	0.00	0.00	0.00	2.30	3.20	1.83	98.17	0.29	
	혼합전개	11.19	21.00	99.08	1.80	2.00	0.65	0.26	0.00	
	LSB	0.20	0.20	0.13	0.00	0.00	0.00	99.87	0.30	

- (1) 일정계획을 수립할 때, 일반적으로 LSB 스케줄링이 다른 JOHS 기법들보다 작업의 납기 지연률(tardiness %)을 적게 함을 알 수 있다.
- (2) 재고상황을 살펴볼 경우, LSB 스케줄링이 후방전개 스케줄링보다 완료된 작업에 의한 재고량(Earliness %)을 많이 발생하는 것으로 나타나나, 중간 가공 중인 작업에 의한 재고량(WIP)은 현저히 적음을 알 수 있다. 반면에 혼합전개 스케줄링과 비교할 경우에는 LSB 스케줄링이 중간 가공 중인 작업에 의한 재고량(WIP)을 조금 많이 발생하나, 완료된 작업에 의한 재고량(Earliness %)은 현저히 적게 발생함을 알 수 있다.

동적인 일정계획 상황에 대한 컴퓨터 모의실험의 결과를 살펴보면, 일반적으로 작업의 납기준수율 관점에서는 도착하는 작업을 지체 없이 수행하는 전방전개 스케줄링이 다른 JOHS 기법보다 우수해 보인다. 하지만 재고관점에서는 과도한 완료된 작업에 의한 재고량과 중간 가공 중인 작업에 의한 재고량을 발생시키는 단점이 있다. LSB 스케줄링이 작업의 납기일을 정확히 준수하는 비율(On due %)은 기존의 JOHS 기법들보다 우수하나, Earliness 도 납기준수율에 포함시킬 경우 LSB 스케줄링이 전방전개 스케줄링과 혼합전개 스케줄링보다 무조건 우수하다고는 할 수 없다. 따라서 동적인 일정계획 상황에서는 납기준수율과 재고량에 따른 절충관계를 고려하여 판단해야 할 것이다.

5. 결론

본 논문은 실제 산업현장 규모의 일정계획 문제를 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[3]가 지적하였듯이, JOHS는 여러 가지의 장점이 있다. 즉, (1) JOHS는 실제 산업현장 규모의 큰 일정계획 문제에 좋은 일정계획을 제시한다. (2) JOHS는 논리가 간단하여 개별작업을 통제하는 산업현장 일정계획 수립자가 쉽게 이해할 수 있다. (3) JOHS는 복잡하게 여러 공정을 거치는 현장 상황도 쉽게 소화한다. 그리고, (4) JOHS는 계산과정이 쉽다.

본 논문은 새로운 LSB 스케줄링기법을 소개하고 납기준수율과 재고관점에서 기존의 JOHS 기법들과 성능을 비교하기 위해 컴퓨터 모의실험을 실시하였다. 컴퓨터 모의실험은 정적인 일정계획 상황과 동적인 일정계획 상황으로 분리하여 실시하였다. 비교실험 결과, 정적인 일정계획 상황에서는 새로운 LSB 스케줄링기법이 기존의 JOHS 기법들보다 우수함을 알 수 있었고, 동적인 일정계획 상황에서는 현장 상황에 따라 JOHS 기법들을 선택적으로 사용해야 함을 알 수 있었다.

LSB 스케줄링기법은 산업체 프로젝트[6]에서 쓰여졌으며, 본 논문에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 성과를 검증하였다. 추후 본 논문에서 설정한 생산시스템보다 더 복잡한 상황에 대해 컴퓨터 모의실험을 실시하여 LSB 스케줄링기법이 어떻게 작동하는 지에 대한 연구가

계속적으로 이루어져야겠다.

참고문헌

- [1] Conway, R.W., Maxwell, W.L. and Miller, L.W., *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley, 1967.
- [2] Hastings, N.A.J., Marshall, P.H. and Willis, R.J., "Scheduled Based MRP: An Integrated Approach to Production Scheduling and Material Requirement Planning," *Journal of Operational Research Society*, Vol.33(1982), pp.1021-1029.
- [3] Hastings, N.A.J. and Yeh, C.H., "Job Oriented Production Scheduling," *European Journal of Operational Research*, Vol.47(1990), pp.35-48.
- [4] Magee, J.F. and Boodman, D.M., *Production Planning and Inventory Control*, McGraw-Hill, 1967.
- [5] McCarthy, S.W. and Barber, K.D., "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.
- [6] Park, C., Song, J., Kim, J. and Kim, I., "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.
- [7] White, C. and Hastings, N.A.J., "Scheduling Techniques for Medium Scale Industry," *Australian Society for Operations Research Bulletin*, Vol.3(1983), pp.1-4.
- [8] Yeh, C.H., "A Fast Finite Loading Algorithm for Job Oriented Scheduling," *Computers & Operations Research*, Vol.24(1997), pp.193-198.