

효율적 제조자원의 활용을 고려한 생산일정 및 납기일 결정기법*

박 창 규**

Simulation-based Delivery Date Determination Algorithm

ChangKyu Park**

■ Abstract ■

Keeping the promised delivery date for a customer order is crucial for a company to promote customer satisfaction and generate further businesses. For this, a company should be able to quote the delivery date that can be achieved with the capacity available on the shop floor. In a dynamic make-to-order manufacturing environment, the problem of determining a delivery date for an incoming order with consideration of resource capacity, workload, and finished-product inventory can hardly be solved by an analytical solution procedure. This paper considers a situation in which a delivery date for a customer order is determined based on a job schedule, and presents the SimTriD algorithm that provides the best scheduling for determining a delivery date of customer order through the job schedule that efficiently utilizes manufacturing resources with consideration of interacting factors such as resource utilization, finished-product inventory, and due date.

1. 서 론

동적인 수주생산 환경하에 있는 업체는 도착하는 주문에 대한 납기일을 결정하기 위하여 고객과 상담을 하게 된다. 고객과의 주문상담 시, 업체는

작업장에 걸린 현 작업부하의 수준을 고려하여 여유 있게 달성할 수 있는 날로 납기일을 정하는 것이 바람직하다. 그러나 고객에 대한 봉사수준을 높이기 위하여 납기는 가능한 한 짧아야 하고, 약속한 납기일은 반드시 지켜져야 한다.

* 이 논문은 2000년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

** 울산대학교 경영대학 경영학부

일반적으로 경쟁시장에서 고객의 주문에 대한 빠른 대처가 큰 경쟁력으로 여겨지므로, 업체는 가능하면 짧은 납기를 고객에게 약속하려고 한다. 그러나 납기가 너무나 짧게 잡히면, 이는 납기일을 준수하지 못할 확률을 증가시키며, 납기일을 준수하지 못함에 의한 유형 및 무형의 비용을 발생시킨다. 반면에, 고객의 주문에 대한 작업이 납기일 이전에 완료되어도 재고비와 같은 비용이 발생한다[1]. 따라서 고객의 주문에 대하여 적절한 납기일을 결정해야 하는 문제가 대두되는데, 이 문제는 생산일정과 연결되어 풀어져야 하며 그 결과는 수주생산 업체의 생산성에 큰 영향을 미친다.

고객의 주문에 대한 납기일을 결정하는 문제는 문헌적으로 많은 관심을 받아 왔으나, 대부분의 연구가 다양한 납기일 할당 방법이 작업배정규칙(dispatching rule)의 성능에 미치는 효과에 대하여 이루어졌다[6, 8, 17]. Ragatz와 Mabert[15]는 납기일 할당 방법을 기초 모형, 고객주문에 대한 정보를 이용하는 모형, 접수된 고객주문에 대한 정보를 이용하는 모형 및 미래의 고객주문에 대한 정보를 이용하는 모형으로 분류한 반면, 다른 여러 연구들[4, 6, 7, 10, 12, 14, 16]은 납기일 할당 방법을 두 가지 형태, 즉 외부적인 모형(고객이 납기일을 결정)과 내부적인 모형(업체가 납기일을 결정)으로 분류하였다.

작업배정규칙의 성능을 평가하는 기준으로는(평균, 표준편차, 절대평균 등의) lateness, earliness, (퍼센트 및 최대의) tardiness, 평균 대기열의 길이, 대기시간, throughput 시간, earliness와 tardiness의 총합, 총합계비용함수 등을 사용하였다. 작업배정규칙에 대해서는 Blackstone 등[3]이 이들 규칙들을 네 가지 형태, 즉 공정시간을 고려하는 규칙, 납기일을 고려하는 규칙, 작업장의 특성이나 작업의 특성을 고려하는 규칙 및 위의 사항을 조합하는 규칙으로 분류하였다.

비록 다양한 납기일 할당 방법이 제안되었으나, 이들은 정확도와 단순도에서 차이가 있을 뿐, 근본적으로는 서로 비슷하다. Raghu와 Rajendran[16]

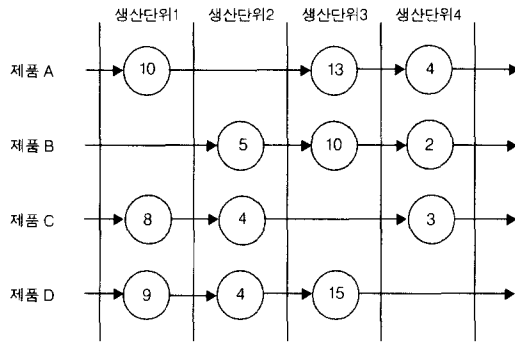
이 지적하였듯이, 납기일 결정에 대한 대부분의 연구가 작업배정규칙과 납기일 할당 방법의 상호작용과 같은 협의의 문제에 주력하였고, 제조자원의 용량은 주어진 것으로 가정하였을 뿐, 현실적이고 경쟁력 있는 납기일을 결정하기 위해서 제조자원의 용량을 조정하려는 노력은 없었다. Hendry와 Kingsman[9]은 업체가 고객의 주문을 순조롭게 수행하기 위해서는 고객과의 주문상담 시, 업체의 제조자원의 용량을 조정할 수 있는 능력이 필수적이라고 주장하였다. Ragatz와 Mabert[15] 역시 제조의 다양한 단계와 다양한 부분에서 일어나는 의사 결정간의 상호작용을 볼 수 있는 보다 넓은 시각의 연구가 필요함을 지적하였다.

본 논문은 제조자원의 용량과 작업부하 및 최종제품의 재고수준을 고려하면서, 생산일정에 기초하여 고객의 주문에 대한 납기일을 결정하는 상황을 연구대상으로 하며, 이때 필요한 도구인, 제조자원의 효율적 활용을 가능케 하는 생산일정 및 납기일을 결정하는 기법을 개발하고자 한다. 여기서 생산일정은 납기일을 넘기는 주문이 하나도 없고(즉, a zero tardiness), 주문들의 평균 earliness와 평균조달기간(leadtime, 주문이 접수되어 완료되기까지 걸린 시간)이 각각 주어진 상한을 만족하도록 수립된다.

고려하는 수주과정은 다음과 같다. 동적인 수주생산 환경에서 고객의 주문은 무작위로 업체에 도착하며, 각 주문은 제품의 종류와 수량 및 요구하는 납기일에 대한 정보를 포함하고 있다. 주문이 도착하면 빠른 시간 내에 주문에 대한 상담이 진행되고, 생산부서는 제품조합과 수량 및 이용 가능한 제조자원에 기초하여 실현 가능한 납기일을 제시한다.

고려하는 모형으로는 고객의 주문에 따라서 여러 종류의 제품을 생산하는 전형적인 수주생산 형태이며, 여러 개의 생산단위(production unit)로 구성된 생산시스템을 관심대상으로 한다. 각 생산단위는 할당된 제품의 일부분을 제작하는 책임이 있고, 제조자원의 효율적 활용을 위한 의사결정도 스

스로 내려야 한다[2]. 각종의 제품은 거의 비슷한 순서로 생산단위를 거치나, 어떤 생산단위는 생략할 수도 있다. <그림 1>은 4가지 종류의 제품을 생산하며, 4개의 생산단위로 구성된 생산시스템의 예를 보여준다. 제품A는 생산단위2를 생략하고, 제품B는 생산단위1을 생략하며, 제품C와 D는 각각 생산단위3과 4를 생략한다. (편의상, 각 생산단위에 있는 제조자원들의 생산능력은 동일하다고 가정한다.)



<그림 1> 예제 생산시스템

수주과정은 실제 생산을 집행하는 기능이기 보다는 계획하는 기능이다[11]. 계획을 수립하기 위하여 본 논문은 다음의 몇 가지 가정을 한다 :

- 1) 한 작업이 작업 도중에 다른 작업에 의해서 중단되어지는 일은 없다.
- 2) 한 제조자원은 한번에 하나의 작업만을 수행할 수 있다.
- 3) 납기일이 지정되면 변하지 않는다.
- 4) 각 작업의 공정시간은 사전에 알 수 있고, 서로 독립적이다.
- 5) 모든 작업이 완료된 주문만이 고객에게 인도된다.

동적인 수주생산 환경에서는 시간의 흐름에 따라 제품의 조합 및 수량이 동적으로 변하기 때문에, 제조자원도 각 생산단위에 적절히 할당되어야

한다. 따라서 고객과의 주문상담 시, 납기일은 새로운 주문이 생산시스템에 추가되었을 때 예상되는 새로운 작업부하 및 제조자원의 할당을 고려하여 결정되어야 한다. 본 논문은 이러한 상황에서 각 생산단위에 적정의 제조자원의 용량을 결정하고, 주문의 납기일을 결정하기 위하여 사용될 최선의 생산일정을 제공하는 모의실험에 기초한 납기일 결정기법(SimTriD algorithm : simulation-based delivery date determination algorithm)을 제시한다.

SimTriD기법은 두개의 모듈, 즉 탐색모듈과 모의실험모듈로 구성되어 있다. 모의실험모듈은 탐색모듈을 지원하는 모듈로서, 정전개 스케줄링(forward scheduling)과 역전개 수정 스케줄링(backward modification scheduling)을 이용, 생산시스템에 대한 모의실험을 실시하여 생산일정을 수립한다. 이 수립된 생산일정은 탐색모듈에서 이용된다. SimTriD기법의 주요모듈인 탐색모듈은 모의실험모듈을 통하여 수립된 생산일정 중에서 제조자원을 가장 효율적으로 사용하는 최선의 생산일정을 찾는다. 결과적으로 SimTriD기법은 제조자원의 용량과 작업부하 및 최종제품의 재고수준을 고려하면서, 생산시스템에 대한 모의실험을 실시하여 평가기준을 가장 잘 만족시키는 최선의 생산일정을 제공한다. 이 생산일정은 고객의 주문에 대한 납기일을 결정하는데 사용된다.

본 논문은 제 2장에서 SimTriD기법을 제시하고, 제 3장에서 SimTriD기법이 어떻게 사용되는지 보여주기 위하여 예제를 제시한다. 제 4장에서는 본 연구에서 얻은 결과에 대하여 논하고, 제 5장에서는 결론을 제시하면서 본 논문을 끝맺는다.

2. SimTriD기법

고객의 만족도를 증진시키고 미래의 고객을 창출하기 위하여 고객에게 약속한 주문에 대한 납기일의 엄수는 대단히 중요한 일이다. 따라서 업체는 가용한 제조자원의 용량으로 달성할 수 있는 납기일을 결정할 수 있는 능력을 필수적으로 갖추어야

한다. 이러한 상황에서 SimTriD기법은 모든 납기가 특정한 기간 내에 이루어지고(즉, 평균조달기간의 상한), 고객에게 약속한 모든 납기일은 반드시 준수되어야 한다(즉, a zero tardiness)는 조건에 근거하여, 서로 영향을 주는 요소인 제조자원의 이용률과 최종제품의 재고수준을 고려하면서, 제조자원을 효율적으로 이용하는 생산일정을 제공한다.

SimTriD기법은 탐색모듈과 모의실험모듈로 구성되어 있고, 두 가지의 문제상황, 즉 제조자원의 용량이 고정된 경우와 제조자원의 용량이 조정 가능한 경우에 적용할 수 있다.

2.1 탐색 모듈

탐색모듈은 모의실험모듈을 통하여 수립된 생산 일정 중에서 탐색모듈의 평가기준을 최선으로 만족시키는 생산일정을 찾는다. 평가기준은 상충하는 요소인 제조자원의 이용률과 최종제품의 재고수준(평균earliness로 표현)의 함수로 표현되어 있다. 탐색모듈은 앞에서 언급한 두 가지의 문제상황에 대하여 각기 다른 평가기준을 사용한다.

2.1.1 제조자원의 용량이 고정된 경우

이 경우의 주요 관심사는 제조자원이 비활용 상태로 있을 때와 작업이 납기일 이전에 완료될 때에 발생할 수 있는 비용(즉, 제조자원의 낭비비용과 최종제품의 재고비용)을 최소화 하는 것이다. 따라서 평가기준은 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i(1 - u_i)R_i + \beta^*ME^*AVEJ$$

여기서

- n = 생산단위의 수
- α_i = 이용률에 따른 생산단위 i 에 있는 각 제조자원의 낭비비용
- u_i = 생산단위 i 에 있는 제조자원의 이용률
- R_i = 생산단위 i 에 있는 제조자원의 수
- β = 최종제품의 단위 기간 및 단위 당 재고비용
- ME = 평균 earliness
- $AVEJ$ = 주문 당 제품의 평균수

제조자원의 용량이 고정되었을 때, 탐색모듈은 목표평균 earliness을 0으로부터 적절한 간격으로 증가시키면서(결과적으로 평균 earliness을 증가시킴) 모의실험모듈을 이용하여 생산일정의 집합을 우선적으로 생성한다. 그리고 이 생산일정의 집합에서 평균조달기간이 주어진 상한치를 넘지 않으면서 평가기준의 값을 최소로 하는 최선의 생산일정을 선택한다.

2.2.2 제조자원의 용량이 조정 가능한 경우

이 경우의 목표는 제조자원의 수와 각각의 비활용 제조자원 및 최종제품의 재고수준에 의해서 발생하는 비용을 최소화 하는 것이다. 따라서 이 경우는 앞의 경우 1)에 경제적인 제조자원의 수를 결정하는 문제를 추가한 복합적인 형태가 된다. 이 경우의 평가기준은 다음과 같이 표현된다.

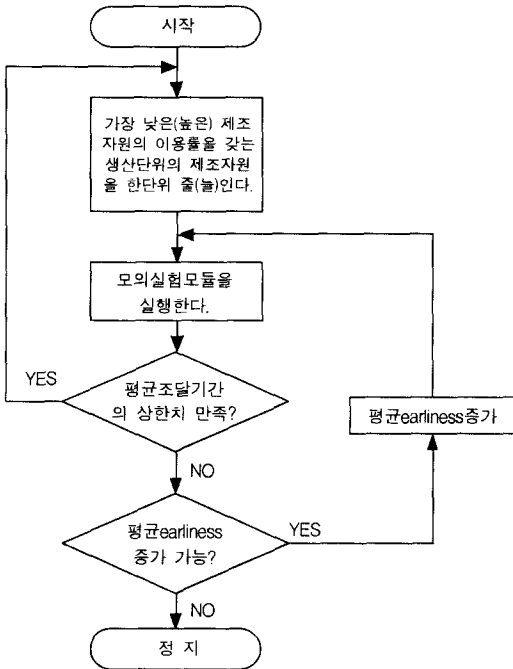
$$\sum_{i=1}^n \gamma_i R_i + \sum_{i=1}^n \alpha_i(1 - u_i)R_i + \beta^*ME^*AVEJ$$

여기서

- γ_i = 생산단위 i 에서 사용하는 제조자원의 단위 기간 및 단위 당 비용

제조자원의 용량이 고정된 경우에서는 모의실험모듈을 이용하여 생산일정의 집합을 먼저 생성하고, 이 생산일정의 집합에서 평가기준의 값을 최소로 하는 최선의 생산일정을 선택하였다. 그러나 이 경우에서는 제조자원의 용량 역시 변하므로, 탐색모듈은 모의실험모듈과 반복적으로 상호작용하면서 수행된다. <그림 2>는 이 경우의 탐색절차를 보여준다. 각 생산단위가 낮은 제조자원의 이용률을 갖고, 평균조달기간의 상한이 만족될 때, 가장 낮은 제조자원의 이용률을 갖는 생산단위의 제조자원을 한 단위씩 줄여가면서 평가기준의 값을 최소로 하는 최선의 생산일정을 찾아간다. 반대의 경우는, 가장 높은 제조자원의 이용률을 갖는 생산단위의 제조자원을 한 단위씩 늘려가면서 평가기준

의 값을 최소로 하는 최선의 생산일정을 찾아간다.



〈그림 2〉 제조자원의 용량이 조정 가능한 경우의 탐색절차

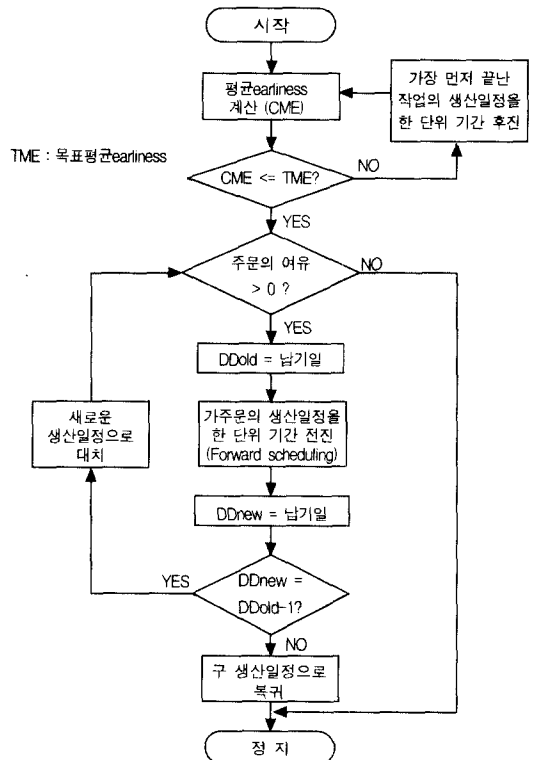
2.2 모의실험모듈

모의실험모듈은 탐색모듈에 의해 주어진 입력자료(즉, 주문의 집합과 제조자원의 용량 및 목표평균earliness)를 갖고 생산시스템에 대한 모의실험을 수행한다. 이 모의실험동안 각 주문에 대하여 정전개 스케줄링과 역전개 수정 스케줄링을 반복하며, 결과적으로 모의실험모듈은 평균 earliness가 목표평균 earliness보다 작거나 근사한 값을 갖고, tardiness가 0인 생산일정을 수립한다.

정전개 스케줄링동안 작업은 먼저 이용 가능한 제조자원에 할당되어지며, 주문 내에서는 makespan을 최소화 하기 위하여 긴 공정시간을 갖는 작업부터 우선적으로 제조자원에 할당한다[13]. 정전개 스케줄링에 의해 수립된 생산일정은 목표평균earliness보다 큰 평균earliness를 갖을 수도 있다. 따라서

역전개 수정 스케줄링은 평균earliness가 목표평균earliness보다 작거나 같아 질 때까지 가장 먼저 끝난 작업의 생산일정을 한 단위 기간씩(예를 들어, 1일) 증가시키면서(즉, 생산일정을 한 단위 기간씩 늦게 재설정) 평균earliness를 줄여 나간다. 그리고 평균조달기간을 줄이기 위하여, 가능하면(즉, 주문의 생산일정을 앞으로 당길 수 있는 여유가 있을 경우), 주문의 모든 생산일정을 동시에 앞으로 당긴다(즉, 생산일정을 앞으로 재설정). <그림 3>은 이 역전개 수정 스케줄링을 보여준다. 여기서 DD_{old} 는 주문의 생산일정을 한 단위 기간 앞으로 재설정하기 전의 납기일이고, DD_{new} 는 재설정 후의 납기일이다.

마지막으로, 모의실험모듈은 각 생산단위의 제조자원의 이용률, 평균earliness 및 평균조달기간과 같은 통계치를 수집하고 끝을 낸다.



〈그림 3〉 역전개 수정 스케줄링

3. 예 제

이 장은 SimTriD기법의 이해를 돕기 위해 한 예제를 제시한다. 예제로서 다음의 상황을 고려한다. 생산시스템은 <그림 1>과 같이 구성되어 있으며, 원안에 있는 숫자는 특정 제품이 특정 생산단위에서 소요하는 공정시간을 나타낸다. 이 경우, 원안에 있는 숫자가 나타내는 양만큼의 시간동안 한 제조자원이 그 작업에 할당된다. 여기서 특정 생산단위에 있는 제조자원은 동일하다. 주문의 도착간격시간은 평균이 10.0인 지수분포를 따르고, 주문 당 각종 제품의 수는 [0,5]의 간격을 갖는 이산형 균등분포를 따른다. 이럴 때, SimTriD기법은 다음의 두 가지의 경우에 대하여 적용할 수 있다.

3.1 제조자원의 용량이 고정된 경우

생산단위1, 2, 3 및 4에 있는 제조자원의 용량(즉, 제조자원의 수)이 각각 10, 5, 15 및 5이고, 모든 i 에 대하여 α_i 는 1.0, β 는 0.1 (α_i 와 β 는 급진적인 단위를 갖는다), 그리고 평균조달기간의 상한치는 50.0인 경우를 고려한다.

SimTriD기법은 목표평균earliness를 증가시키면

<표 1> 제조자원의 용량이 고정된 경우에서의 SimTriD기법 결과

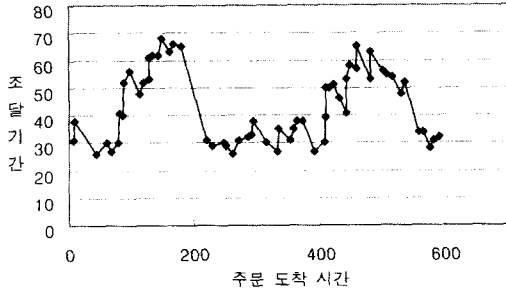
이 용 률				목표평균 earliness	평균 earliness	평균 조달 기간	평가 기준
생산 단위1	생산 단위2	생산 단위3	생산 단위4				
0.53	0.40	0.66	0.24	0.00	0.00	74.78*	16.60
0.55	0.40	0.68	0.28	1.00	1.00	67.66*	16.90
0.55	0.41	0.69	0.30	2.00	1.98	60.98*	17.58
0.60	0.44	0.69	0.32	3.00	2.91	52.96*	17.76
0.64	0.57	0.70	0.41	4.00	3.52	46.98	16.72
0.65	0.63	0.71	0.45	5.00	4.01	44.40	16.46
0.64	0.62	0.70	0.45	6.00	4.45	43.72	17.20
0.65	0.61	0.67	0.43	7.00	4.37	39.92	17.62
0.65	0.64	0.67	0.44	8.00	4.50	40.04	17.55
0.65	0.68	0.68	0.46	9.00	4.46	38.60	17.06
0.65	0.69	0.67	0.47	10.00	4.52	38.58	17.17
0.65	0.69	0.68	0.47	11.00	4.53	38.58	17.03

* 평균조달기간이 상한치를 초과.

서 모의실험모형을 이용하여 생산일정의 집합을 SimTriD기법은 목표평균earliness를 증가시키면 우선적으로 생성한다. 그리고 탐색모들은 평가기준을 계산한다. <표 1>은 이 결과를 보여준다. 최선의 생산일정은 4.01의 평균earliness와 44.40의 평균조달기간을 갖는다. 따라서 고객의 주문에 대한 납기일은 정전개 스케줄링과 5의 목표 earliness를 갖고 역전개 수정 스케줄링한 생산일정에 의하여 결정된다. <표 2>는 5의 목표평균earliness를 갖는 생산일정을 이용한 한 모의실험의 결과를 보여주고, 각 주문에 대한 조달기간을 그래프로 나타내면 <그림 4>와 같다.

<표 2> 목표평균earliness가 5인 생산일정을 이용한 모의실험 결과

도착 시간	제품요구량				납 기 일	조달 기간	도착 시간	제품요구량				납 기 일	조달 기간
	A	B	C	D				A	B	C	D		
8	5	2	5	1	39	31	333	2	4	0	4	360	27
10	4	2	4	2	48	38	334	3	2	1	3	369	35
44	3	2	1	0	70	26	353	2	5	4	5	384	31
60	0	3	2	4	90	30	358	0	4	4	3	393	35
68	4	1	0	2	95	27	363	3	2	1	4	401	38
78	2	4	4	4	108	30	372	4	4	4	1	410	38
81	1	3	5	4	122	41	391	2	3	1	2	418	27
86	1	0	0	1	126	40	407	2	2	3	4	437	30
87	4	3	4	5	139	52	410	3	2	5	3	449	39
97	4	4	5	2	153	56	410	3	3	1	4	460	50
113	0	1	2	3	161	48	414	4	5	2	0	464	50
118	3	5	4	1	170	52	422	3	3	3	1	473	51
128	1	4	2	5	181	53	431	2	1	0	2	477	46
128	1	4	1	4	189	61	442	2	3	3	2	483	41
134	2	2	3	1	196	62	443	5	1	4	3	496	53
143	1	4	4	3	205	62	448	2	3	5	3	506	58
148	3	5	1	3	216	68	459	2	4	3	5	516	57
160	3	4	2	1	223	63	459	4	3	0	2	524	65
166	3	5	1	4	232	66	480	4	0	2	3	533	53
180	4	2	4	3	245	65	481	0	5	4	4	544	63
219	1	4	5	1	250	31	500	2	4	5	2	556	56
228	3	5	2	1	257	29	506	2	2	1	4	561	55
246	2	3	5	3	279	30	516	1	4	1	2	570	54
251	2	5	0	0	280	29	530	4	0	2	4	578	48
261	1	4	1	0	287	26	535	2	1	1	5	587	52
270	5	4	3	4	301	31	558	1	4	2	3	592	34
285	1	2	4	5	317	32	565	1	1	0	3	599	34
291	4	1	2	1	324	33	576	2	0	1	4	604	28
294	3	4	1	2	332	38	581	3	0	1	3	612	31
315	4	3	3	4	345	30	590	4	2	3	3	622	32



〈그림 4〉 제조자원의 용량이 고정된 경우에 주문의 조달기간

3.2 제조자원의 용량이 조정 가능한 경우

다음으로 제조자원의 용량을 조정할 수 있는 경우를 고려한다. 앞의 1)의 경우에서 얻은 해를 이번 예제에서 사용하고, 모든 i 에 대하여 γ_i 는 10.0 (γ_i 는 금전적인 단위를 갖는다)이고 다른 조건들은 앞의 1)의 경우와 동일하다고 가정한다.

SimTriD기법은 탐색모듈과 모의실험모듈을 유기적으로 이용하면서 최선의 생산일정을 찾는다. 탐색절차는 제조자원의 용량과 목표평균earliness를 상호적으로 변화시키면서 수행된다. 〈표 3〉은 이 결과를 보여준다. 최선의 생산일정은 생산단위 1, 2, 3 및 4가 각각 9, 5, 15 및 3의 제조자원 용량

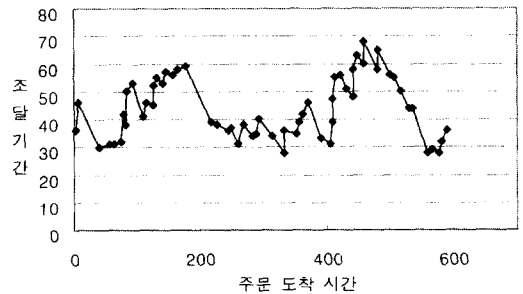
〈표 3〉 제조자원의 용량이 조정 가능한 경우에서의 SimTriD기법 결과

제조자원	이용률				목표평균 earliness	평균 earliness	평균 조달 기간	평가 기준
	1	2	3	4				
10	5	15	5	0.65 0.63 0.71 0.45	5.00	4.01	44.40	336.46
10	5	15	4	0.65 0.66 0.71 0.57	5.00	3.64	44.65	354.91
10	5	15	3	0.64 0.71 0.72 0.78	5.00	3.83	45.27	343.74
9	5	15	3	0.68 0.61 0.71 0.73	5.00	3.78	55.78*	333.77
9	5	15	3	0.72 0.64 0.67 0.71	6.00	3.69	43.96	333.83
9	4	15	3	0.70 0.83 0.72 0.69	6.00	4.20	62.14*	322.71
9	4	15	3	0.72 0.85 0.71 0.74	7.00	4.56	59.94*	322.81
9	4	15	3	0.71 0.87 0.70 0.74	8.00	4.50	51.27*	322.91
9	4	15	3	0.74 0.91 0.70 0.79	9.00	4.49	50.53*	322.32
9	4	15	3	0.74 0.91 0.70 0.79	10.00	4.49	50.42*	322.32
...								
9	4	15	3	0.74 0.91 0.70 0.79	20.00	4.49	50.42*	322.32

* 평균조달기간이 상한치를 초과

〈표 4〉 목표평균earliness가 6인 생산일정을 이용한 모의실험 결과

도착 시간	제품요구량				납기 일	조달도착 기간	도착 시간	제품요구량				납기 일	조달 기간
	A	B	C	D				A	B	C	D		
8	5	2	5	1	43	35	333	2	4	0	4	360	27
10	4	2	4	2	55	45	334	3	2	1	3	369	35
44	3	2	1	0	73	29	353	2	5	4	5	387	34
60	0	3	2	4	90	30	358	0	4	4	3	396	38
68	4	1	0	2	98	30	363	3	2	1	4	404	41
78	2	4	4	4	109	31	372	4	4	4	1	417	45
81	1	3	5	4	122	41	391	2	3	1	2	423	30
86	1	0	0	1	123	37	407	2	2	3	4	437	32
87	4	3	4	5	136	49	410	3	2	5	3	448	38
97	4	4	5	2	149	52	410	3	3	1	4	456	46
113	0	1	2	3	153	40	414	4	5	2	0	468	54
118	3	5	4	1	163	45	422	3	3	3	1	477	55
128	1	4	2	5	172	44	431	2	1	0	2	481	50
128	1	4	1	4	179	51	442	2	3	3	3	489	47
134	2	2	3	1	188	54	443	5	1	4	3	500	57
143	1	4	4	3	195	52	448	2	3	5	3	510	62
148	3	5	1	3	204	56	459	2	4	3	5	518	59
160	3	4	2	1	215	55	459	4	3	0	2	526	67
166	3	5	1	4	223	57	480	4	0	2	3	537	57
180	4	2	4	3	238	58	481	0	5	4	4	545	64
219	1	4	5	1	257	38	500	2	4	5	2	555	55
228	3	5	2	1	265	37	506	2	2	1	4	560	54
246	2	3	5	3	281	35	516	1	4	1	2	565	49
251	2	5	0	0	287	36	530	4	0	2	4	573	43
261	1	4	1	0	291	30	535	2	1	1	5	578	43
270	5	4	3	4	307	37	558	1	4	2	3	585	27
285	1	2	4	5	318	33	565	1	1	0	3	593	28
291	4	1	2	1	325	34	576	2	0	1	4	603	27
294	3	4	1	2	333	39	581	3	0	1	3	612	31
315	4	3	3	4	348	33	590	4	2	3	3	625	35



〈그림 5〉 제조자원의 용량이 조정 가능한 경우에 주문의 조달기간

을 찾을 때, 3.69의 평균earliness와 43.96의 평균조달기간을 갖는다. 따라서 고객의 주문에 대한 납기

일은 생산단위 1, 2, 3 과 4에 각각 9, 5, 15 및 3의 제조자원 용량을 갖고, 정전개 스케줄링과 목표평균earliness가 6인 역전개 수정 스케줄링을 이용한 생산일정에 의하여 결정된다. <표 4>는 <표 6>의 목표평균earliness를 갖는 생산일정을 이용한 한 모의실험의 결과를 보여주고, 각 주문에 대한 조달기간의 그래프는 <그림 5>에서 보여준다.

4. 토 론

동적인 수주생산 환경에서 SimTriD기법은 제조자원의 효율적 이용과 최종제품의 재고수준(즉, 평균earliness) 및 평균조달기간을 고려한 생산일정에 기초하여 주문에 대한 납기일을 결정한다. 그리고 생산일정 수립동안 SimTriD기법은 정전개 스케줄링과 역전개 수정 스케줄링을 사용한다. <표 5>은 SimTriD기법과 순수 정전개 스케줄링 및 순수 역전개 스케줄링을 비교한 결과를 보여준다. 여기서 순수 정전개 스케줄링은 작업을 먼저 이용 가능한 제조자원에 할당하는 방법을 말하고 (한 주문 내에서는 makespan을 최소화 하기 위하여 긴 공정시간을 갖는 작업부터 우선적으로 제조자원에 할당), 순수 역전개 스케줄링은 순수 정전개 스케줄링에 의해서 결정된 납기일에 맞추어 작업을 역으로 재스케줄링 하는 것을 의미한다.

SimTriD기법은 제조자원의 이용률과 최종제품의 재고수준(즉, 평균earliness)을 절충(trade-off) 하면서 역전개 수정 스케줄링을 이용하여 평균조달기간을 줄인다. 따라서 SimTriD기법에 의한 생산일정은 순수 정전개 스케줄링과 순수 역전개 스케줄링에 의한 생산일정의 사이에 놓이게 된다. <표 5>로부터 이러한 사실을 알 수 있다. 즉, 주문이 충분하여 제조자원에 작업부하가 걸리면 SimTriD기법에 의한 생산일정은 순수 정전개 스케줄링과 순수 역전개 스케줄링에 의한 생산일정의 사이에 있게 되고, 주문의 도착간격시간이 증가함에 따라 SimTriD기법에 의한 생산일정은 순수 역전개 스케줄링에 의한 생산일정으로 접근함을

알 수 있다. 그 이유는 주문의 도착간격시간이 증가함(즉, 제조자원에 걸리는 작업부하가 줄어짐)에 따라 제조자원 이용률의 변화는 작아지고, 최종제품 재고수준이 평가기준에서 중요한 요소가 되기 때문이다.

<표 5> SimTriD기법과 다른 방법과의 비교

도착 간격 시간	방 법	이 용 률				평 균 earliness	평 균 조 달 기 간
		1	2	3	4		
5	정전개	1.00	0.99	0.91	0.64	3.48	계속증가
	SimTriD	*	*	*	*	*	계속증가
10	정전개	0.66	0.70	0.68	0.48	4.56	38.63
	SimTriD	0.65	0.63	0.71	0.42	4.01	44.40
15	정전개	0.41	0.42	0.40	0.28	5.78	32.55
	SimTriD	0.40	0.31	0.40	0.16	0.00	40.88
20	정전개	0.39	0.37	0.36	0.28	5.77	32.18
	SimTriD	0.35	0.24	0.36	0.14	0.00	35.75
	역전개	0.35	0.24	0.36	0.14	0.00	35.75

제3장의 1)의 경우에서 비교 수행.
* 정전개와 역전개 스케줄링의 평균조달기간이 계속 증가하므로 SimTriD를 수행할 수 없음

또한, <표 1>과 <표 3> 및 <표 5>로부터 주문의 평균조달기간은 주문의 도착간격시간과 평균earliness(즉, 최종제품의 재고수준) 및 제조자원의 용량과 각각 역관계가 있음을 추론할 수 있다. 제조자원의 용량과 생산일정(즉, 평균earliness 또는 최종제품의 재고수준)이 주어진 상황에서는 주문의 도착간격시간이 증가할수록 평균조달기간은 짧아지고, 입력량(즉, 주문의 도착간격시간)과 제조자원의 용량이 주어진 상황에서는 평균earliness(즉, 최종제품의 재고수준)가 감소할수록 평균조달기간은 길어진다. 그리고 입력량과 생산일정이 주어진 상황에서는 제조자원의 용량이 감소할수록 평균조달기간은 길어진다.

입력량과 제조자원의 용량이 주어진 동적인 수

주생산 환경에서, 평균조달기간과 평균earliness 및 제조자원의 용량간의 관계를 고려하여 생산일정을 수립하고 납기일을 결정하는 문제는 쉽게 풀리지 않는다. 이러한 문제는 NP-Complete로 알려져 있고, 소규모의 문제나 특수한 경우에 대해서만 최적해가 구해진다[5]. 따라서 수리적인 분석적 방법으로는 이러한 문제를 풀기가 힘들고, 컴퓨터에 의한 모의실험만이 유일한 분석방법이다[7]. 본 논문에서 제시하는 SimTriD기법은 이러한 문제에 대한 한 해결책을 제공한다.

5. 결 론

고객의 만족도를 증진시키고 미래의 고객을 창출하기 위하여 고객에게 약속한 납기일의 준수는 매우 중요하다. 그렇게 하기 위하여, 업체는 가능한 제조자원의 용량으로 달성할 수 있는 납기일을 결정할 수 있어야 한다. 동적인 주수생산 환경에서 제조자원의 용량, 현 작업부하 및 최종제품의 재고수준을 고려하여 주문에 대한 납기일을 결정하는 문제를 수리적인 분석방법에 의하여 풀다는 것은 매우 힘든 일이다. 본 논문은 위의 문제에 대하여, 제조자원의 용량과 현 작업부하 및 최종제품의 재고수준을 고려하면서 주문에 대한 납기일을 결정하는 발견적 기법(즉, SimTriD기법)을 제시하였다. SimTriD기법은 컴퓨터 모의실험에 기초한 발견적 기법으로써 실행 가능한 해를 제공하는 하지만 최적해임을 보장하지는 못한다. 앞으로 이 분야에 대한 연구가 계속 진행되어 수리적으로 분석 가능한 방법을 유도해 내는 것이 추후과제로 남는다.

참 고 문 헌

- [1] 박창규, 송정수, "주수생산업체를 위한 납기일 결정 시스템의 개발", 산업공학, 제11권, 제3호 (1998), pp.181-191.
- [2] Bertrand, J.W.M., J.C. Wortmann and J. Wijngaard, *A Structural and Design Oriented Approach*, Elsevier, New York, 1990.
- [3] 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, No.1(1982), pp.27-45.
- [4] Bookbinder, J.H. and A.I. Noor, "Setting Job-Shop Due-Dates with Service-Level Constraints," *Journal of Operational Research Society*, Vol.36, No.11(1985), pp.1017-1026.
- [5] Brah, S.A., "A Comparative Analysis of Due Date Based Job Sequencing Rules in a Flow Shop with Multiple Processors," *Production Planning and Control*, Vol.7, No.4(1996), pp. 362-373.
- [6] Cheng, T.C.E., "Optimal Due-Date Assignment in a Job Shop," *International Journal of Production Research*, Vol.24, No.3(1986), pp.503-515.
- [7] Cheng, T.C.E. and M.C. Gupta, "Survey of Scheduling Research Involving Due-Date Determination Decisions," *European Journal of Operational Research*, Vol.38, No.2(1989), pp.156-166.
- [8] Fry, T.D., P.R. Philipoom and R.E. Markland, "Due Date Assignment in a Multisatge Job Shop," *IIE Transactions*, Vol.21, No.2(1989), pp.153-161.
- [9] Hendry, L.C. and B.G. Kingsman, "Production Planning Systems and Their Applicability to Make-to-Order Companies," *European Journal of Operational Research*, Vol. 40, No.1(1989), pp.1-15.
- [10] Kaplan, A.C. and A.T. Unal, "A Probabilistic Cost-Based Due Date Assignment Model for Job Shops," *International Journal of Production Research*, Vol.31, No.12(1993), pp. 2817-2834.

- [11] Luss, H. and M.B. Rosenwein, "A Due Date Assignment Algorithm for Multiproduct Manufacturing Facilities," *European Journal of Operational Research*, Vol.65, No.2(1993), pp. 187-198.
- [12] Miyazaki, S., "Combined Scheduling System for Reducing Job Tardiness in a Job Shop," *International Journal of Production Research*, Vol.19, No.2(1981), pp.201-211.
- [13] Pinedo, M., *Scheduling: Theory, Algorithm, and Systems*, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [14] Quaddus, M.A., "On the Duality Approach to Optimal Due Date Determination and Sequencing in a Job Shop," *Engineering Optimization*, Vol.10 (1987), pp.271-278.
- [15] Ragatz, G.L. and V.A. Mabert, "A Framework for the Study of Due Date Management in Job Shops," *International Journal of Production Research*, Vol.22, No.4(1984), pp.685-695.
- [16] Raghu, T.S. and C. Rajendran, "Due-Date Setting Methodologies Based on Simulated Annealing-An Experimental Study in a Real-Life Job Shop," *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.9(1995), pp. 2535-2554.
- [17] Seidmann, A. and M.L. Smith, "Due Date Assignment for Production Systems," *Management Science*, Vol.27, No.5(1981), pp.571-581.