

주문형 생산에서의 납기 및 원가 예측 연동에 관한 연구

김인준*(성균관대 대학원), 강무진(성균관대 기계공학부)

A Study on the Integrated Estimation of Delivery and Manufacturing Cost for Build-to-Order Manufacturing

I. J. Kim(Graduated School, SKKU), M. Kang(School of Mechanical Eng. Dept., SKKU)

ABSTRACT

Companies of Build-to-Order(BTO) strive to achieve customer responsiveness and cost efficiency simultaneously. The success of BTO depends upon the high volume production based on product plat form and delayed differentiation principle on the one hand, and upon the rapid estimation of delivery and cost for the customer orders on the other hand. Expeditious processing of a specific order requires the rearrangement of production resources and the schedule, which results in increased cost. This paper describes a cost estimation method using activity-based costing depending on the schedule change caused by urgent customer orders.

Key Words : : Build-to-order(주문형 생산), Activity-based costing(활동기준 원가계산), Block-time schedule construction approach, Delivery estimation(납기 예측), Cost estimation(원가 산정).

1. 서론

오늘날 기업들은 예측이 어렵고 순식간에 바뀌는 시장 환경에서 살아남기 위해서 변화에 유연하게 대응할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 주문형 생산(Build-to-order)은 개별 고객의 주문에 대해 특화된 제품을 적절한 가격으로 신속하게 제공하는 생산 전략이다. 주문형 생산의 구현을 위해서는 제품의 모듈화, 프로세스의 모듈화, 전자 카탈로그를 이용한 주문 외에도 능동적인 실시간 납기 산정 및 원가 예측이 필요하다.¹ 주문형 생산 환경은 고객에게 실현 가능한 납기와 가격을 실시간으로 제시하는데, 고객에 따라서는 제시된 납기일보다 더 빠른 납기일을 요구할 수도 있다. 고객이 요구하는 더 빠른 납기일을 만족시키기 위해 일정조정을 시도할 수 있지만, 이것은 추가비용을 발생시켜 원가상승을 유발한다. 본 논문에서는 기존의 납기예측과 원가산정 방법에 대해 고찰해보고, 혼류 조립생산 형태의 주문형 생산 환경에서 일정조정전략을 적용할 때 발생하는 원가의 변동을 활동기준 원가계산 방법을 이용하여 규명하고자 한다.

2. 관련 연구

납기예측 방법에는 ATP(Available to Promise) Rule, CPM(Critical Path Method), APS(Advanced Planning & Scheduling), FCS(Finite Capacity Scheduling) 등이 보편적으로 쓰이고 있다.² ATP Rule 은 수요예측을 통한 MPS(Master Production Schedule) 정보를 이용하여 현재 주문은 몇 개를 받았으며 다음 MPS 기간까지 주문을 몇 개 더 받을 수 있는가를 계산하여 생산시기와 재고정보를 통해 고객의 주문에 대한 납기를 예측한다. 하지만 이 방법은 생산능력과 자재조달상황 등의 제약 등을 고려하지 않으므로 실현 가능한 납기예측이 어렵다는 단점이 있다. CPM 은 프로젝트를 완성하는데 필요한 Job 또는 활동들의 순서를 단순히 선후관계(precedence)만을 고려하여, 주 경로(Critical Path)를 설정, 주 경로상의 마지막 공정이 언제쯤 끝나는지를 계산하여 납기를 예측하는 것이다. 이 방법은 주로 프로젝트의 활동을 계획하고 통제하는 데 사용되며 ATP rule 과 마찬가지로 생산능력이나 자재조달상황 등의 제약들을 고려하지 않은 단점이 있다. APS 는 유한 능력 스케줄링 시스템으로서 CSP(Constraint Satisfaction Problem), Genetic Algorithm, TOC(Theory of constraint)등 세가지 방법을 기반으로 하고 있다. CSP 기법은 납기를 예측하기 위한 제약들을 설정

하고 고객의 주문을 변수로 하여 각 변수가 주어진 모든 제약 조건을 만족하는 해를 찾아 납기일을 예측하는 기법이다. Genetic Algorithm 기법은 요구 사항을 설정하고 초기해를 구성하여 genetic operator 를 통해 해를 변환시켜가며 최적해를 찾아 납기일을 예측하는 기법이다. TOC 기반방법은 납기에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 병목과 전체의 시스템을 동기화하는 방법으로 병목에 관한 스케줄을 작성하여 납기를 예측한다. 이 APS 를 이용한 납기예측 방법들은 자원의 생산능력을 고려함으로써 보다 정확한 납기를 예측할 수 있지만,³ 납기예측시에 매우 많은 데이터와 제약들을 처리해야 하고 계산 시간이 매우 오래 걸리기 때문에 Web 을 이용하여 실시간으로 납기와 가격을 제시하는 주문형 생산환경에서 적용하기에는 무리가 있다. FCS 는 생산 중에 실제로 생길 수 있는 제약 요소들 즉, 생산 능력의 유한함, 생산 우선순위 등을 고려하여 스케줄을 작성하여 납기를 예측한다. FCS 방법 중에서 가장 많이 쓰이는 방법은 event-driven schedule construction approach 와 block-time schedule construction approach 이다.⁴ Event-driven construction approach 는 작업이 각 자원으로 도착하는 시점에 자원의 이용가능성 여부를 확인하고 작업을 바로 시작하거나 대기함으로써 자원의 능력을 최대한 활용하는 스케줄을 작성하고 납기를 예측한다. 하지만 이 방법은 자원의 능력을 최대한 이용하기 위해서 스케줄이 작성되므로 주문의 납기가 임의로 달라질 수 있다는 단점이 있다. Block-time schedule construction approach 는 FIFO(First in First out), EDD(Earliest Due Date), MST(Minimum Slack Time), SCR(Smallest Critical Ratio)와 같은 dispatching rule 을 기준으로 주문의 우선순위를 정하고 가장 우선순위가 높은 주문부터 자원의 스케줄을 작성하여 납기를 예측한다. 이 방법 역시 혼류 조립생산 형태의 주문형 생산 환경에서는 고객의 주문을 연속적으로 처리함으로써 자원의 생산능력을 최대한 사용할 수 있기 때문에 주문의 우선순위에 따라 스케줄을 작성하여도 주문의 납기가 임의로 달라지지 않으면서 자원의 능력을 최대한 이용하는 스케줄 작성이 가능하다. 따라서 납기 및 원가 예측 연동에 관한 알고리즘에 기반하여 주문의 우선순위를 선착순(FIFO)으로 부여하는 block-time schedule construction approach 의 장점은 다음과 같다. 첫째, 고객의 주문에 신속하게 대처할 수 있다. 둘째, 기업이 제시한 납기가 임의로 달라지지 않으면서, 실제 작업이 예측된 스케줄에 따라 이루어질 수 있는 합리적인 스케줄을 작성할 수 있다. 따라서 이러한 장점을 가진 block-time schedule construction approach 는 주문형 생산환경에서 실현 가능하고 합리적인 스케줄을 작성하여 납기를 예측

하는 것이 가능하다.

원가계산 방법에는 TCA(Traditional Cost Accounting), ABC(Activity-based costing)등이 있다.⁵ TCA 는 전통적인 원가계산 방법으로서 노무 시간 등의 단일한 배분기준을 적용하여 간접비를 배분함으로써 제품의 원가를 계산한다. 따라서 전통적인 원가계산 방법은 단일한 배분기준으로 간접비를 배분함으로써 원가의 왜곡을 초래한다. 하지만 아직도 많은 기업들이 원가관리 정보의 미흡, 원가대상의 제한, 단순한 원가계산이라는 문제점에도 불구하고 전통적인 원가계산을 고수하고 있다. ABC 는 활동기준 원가계산 방법으로서 기업에서 수행되고 있는 활동을 기준으로 자원, 활동, 제품/서비스의 소모관계를 자원과 활동, 활동과 원가대상간의 상호 인과 관계를 분석하여 간접비를 배분함으로써 원가를 계산하는 방법이다. 따라서 소비자의 다양한 요구를 만족시켜야 하고 공장 자동화 및 아웃싱의 증가로 인해 직접 노무비의 비중은 감소하는 반면, 간접비가 원가에 미치는 영향이 확대되고 있는 주문형 생산 환경에서는 활동기준 원가계산 방법을 이용하여 정확한 원가를 산정할 수 있다. 많은 납기예측 방법과 원가계산 방법에 관한 연구에도 불구하고, 주문 시점에 납기와 원가의 상호 종속성을 고려한 연구는 아직 미미하다. 본 연구에서는, 주문의 우선순위대로 스케줄을 작성하는 block-time schedule construction approach 와 활동기준 원가계산 방법을 이용한 납기 및 원가 예측 연동 방안을 제시하고자 한다.

3. 납기 및 원가 예측 연동 방안

3.1 납기 및 원가 예측 통합 시스템

Fig. 1 은 주문형 생산환경에서 납기 및 원가 예측 통합 시스템에 대한 DFD(Data Flow Diagram)을 보여준다. 시스템은 고객의 주문정보로부터 주문받은 제품에 대한 반제품 및 부품들의 재고정보와 재고가 부족한 반제품 및 부품들의 조달정보를 이용하여 자재조달시점을 구한 후, 공정계획을 이용하여 기존의 실제부하와 잠재부하의 예상 작업완료시점을 구한다. 자재조달시점과 기존 부하의 예상 작업완료 시점 중에서 더 늦은 시점을 선택한다. 현재 주문의 스케줄은 선택된 시점 이후에 작성된다. 그리고 표준가격 정보로부터 가격을 산정하여 고객에게 예상납기일과 가격을 제시한다. 고객이 더 빠른 납기일을 요구할 경우 일정조정전략에 따라 스케줄을 재작성하고 각각의 일정조정전략에 따른 추가비용을 산정한다. 추가비용이 가장 적게 발생하는 일정조정을 선택하고 일정조정에 따른 추가비용을 표준가격에 합한 조정가격과 가능한 납기일

을 제시한다.

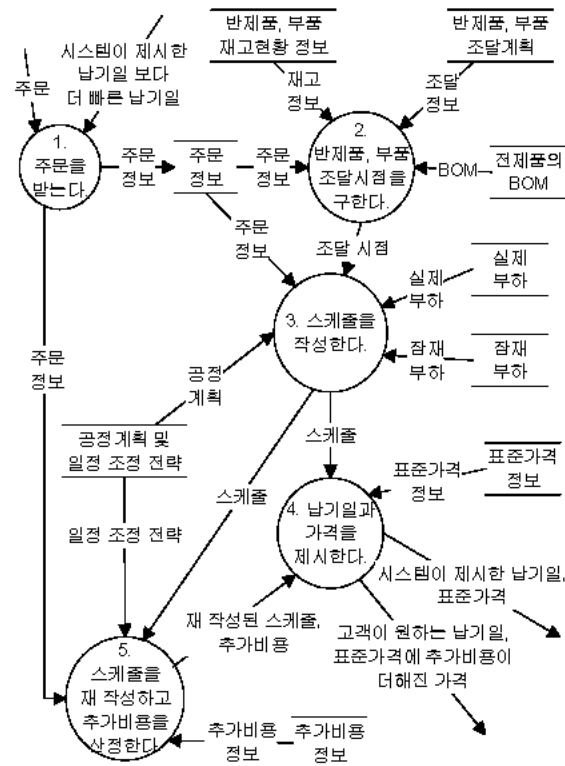


Fig. 1 Data flow diagram for integrated estimation of delivery and manufacturing cost

3.2 납기에 연동된 원가 예측

주문의 우선순위규칙을 FIFO 로 하는 block-time schedule approach 를 이용한 혼류 조립생산 라인의 스케줄은 Fig. 2 와 같다. 여기서 각 주문은 A, B, C, D 의 순으로 도착하였고, 주문시점에 부품과 반제품들의 재고는 충분하다고 가정한다.

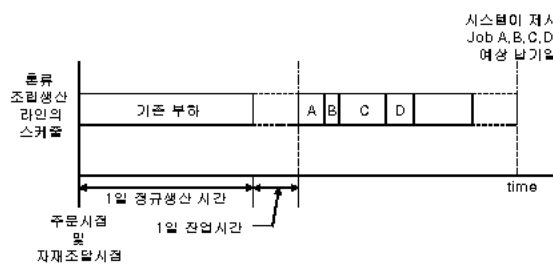


Fig. 2 Block-time schedule in a mixed-model assembly line after FIFO rule

Fig. 2 에서 주문 A, B, C 의 고객들은 예상 납기일에 만족하지만 주문 D 의 고객은 더 빠른 납기일을 원하는 경우에 대하여 고찰해보자. 주문 D 의 납기를 단축하기 위하여는 Fig. 3 에서처럼 주문 A, B, C 의 예상 납기일 변경 없이, 주문 D 의 일정을

조정할 수 있어야 한다.

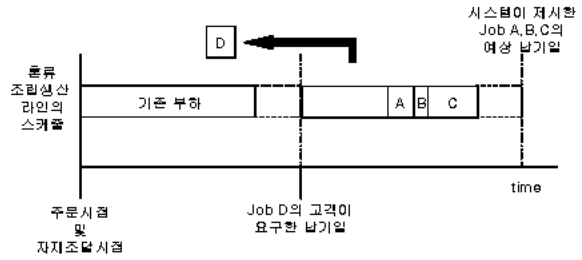


Fig. 3 Order schedule before rearrangement

일정조정전략으로는 schedule shifting, 잔업, 추가인력 사용, 대체라인으로의 부하 이동, 외주 사용 등이 있다. 따라서 일정조정전략들을 활용으로 규정하고 추가로 발생하는 비용을 규명하면 다음과 같다. schedule shifting 은 기존부하와 주문 D 의 스케줄을 바꾸는 것이다. 이 경우 발생하는 추가비용 (schedule shifting cost)은 D 만큼의 기존부하의 납기가 늦어짐으로써 발생하는 penalty cost, 기존부하의 생산을 위해서 holding 해놓았던 반제품 및 부품재고 유지비를 포함한다.(Fig.4.)

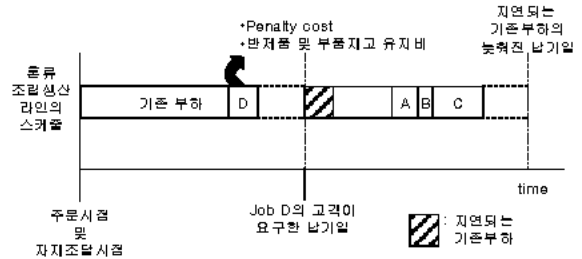


Fig. 4 Additional cost due to schedule shifting

잔업은 정규인력이 잔업시간에 주문 D 를 생산하는 것이다. 이때 기존잔업부하는 단축된 납기일을 맞추기 위해 스케줄 되었으므로 schedule shifting 이 될 수 없다. 이 경우 발생하는 추가비용(잔업 cost)은 잔업시간 동안 정규인력의 총 노무비, 잔업시간 동안의 간접비를 포함한다.(Fig.5.)

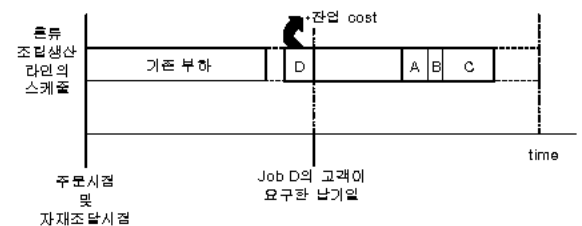


Fig. 5 Additional cost due to overtime

추가인력 사용은 추가인력이 정규인력을 대신하여 잔업시간 동안 주문 D 를 생산하는 것이다. 이때 역시 기존잔업부하는 단축된 납기일을 맞추기

위해 스케줄 되었으므로 schedule shifting 이 될 수 없다. 이 경우 발생하는 추가비용(추가인력 cost)은 잔업시간 동안 추가인력의 총 노무비, 추가인력을 사용한 잔업시간 동안의 간접비를 포함한다.(Fig.6.)

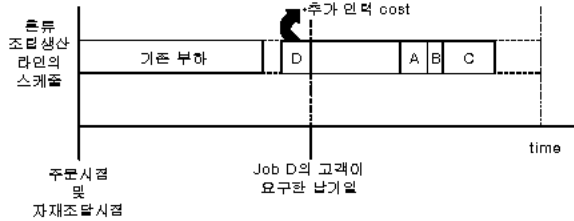


Fig. 6 Additional cost due to hiring

대체라인은 다른 제품군을 생산하는 라인으로서 대체라인으로의 부하 이동은 주문 D 를 대체라인의 스케줄로 이동하는 것이다. 이때 대체라인에서 주문 D 를 생산하기 위하여 대체라인의 기존인력뿐만 아니라 추가인력 사용이 필요할 수도 있다. 또한 수시간의 셋업, 재 셋업시간이 요구된다. 이때 역시 대체라인의 기존잔업부하는 단축된 납기일을 맞추기 위해 스케줄 되었으므로 schedule shifting 이 될 수 없다. 따라서 주문 D 는 대체라인의 정규생산 시간에 생산되어야 한다. 이 경우 발생하는 추가비용(대체라인으로의 부하 이동 cost)은 대체라인의 기존부하의 납기가 늦어짐으로써 발생하는 penalty cost, 기존부하의 생산을 위해서 holding 해 놓았던 반제품 및 부품재고 유지비, 셋업시간 동안의 총 노무비, 정규생산시간 동안 추가인력의 총 노무비, 재 셋업시간 동안의 총 노무비, 대체라인 셋업시간 동안의 간접비, 재 셋업시간 동안의 간접비, 주문 D 를 생산하기 위해 정규생산시간 동안의 간접비를 포함한다.(Fig.7.)

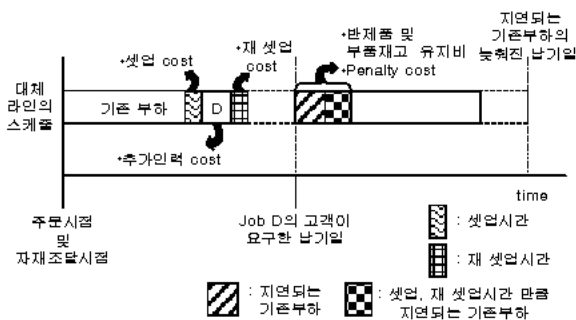


Fig. 7 Additional cost due to load shifting onto alternative line

외주 사용은 제품을 생산하는데 있어서 기존부하의 납기일을 늦출 수 없어 schedule shifting 과 대체라인으로의 부하 이동을 할 수 없고, 자체적인 생산능력으로는 고객이 원하는 납기 내에 주문을

해결하지 못할 때 외주 업체에게 외주를 주어 제품을 생산하는 것이다. 이 경우 발생하는 추가비용은 외주 cost 이다.(Fig.8.)

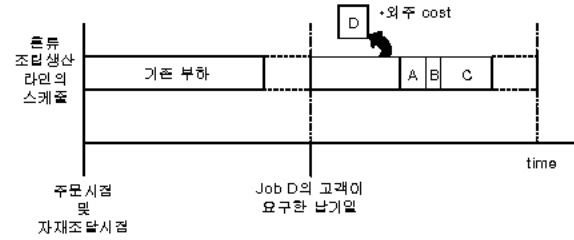


Fig. 8 Additional cost due to external contract

따라서 활동으로 규정된 일정조정전략들과 이에 규명된 추가비용을 정리하면 Table 1 과 같다.

Table 1 Cost rates for schedule change activities

활동	활동기준 비용 및 원가비분기준	단위당 원가 배분율	일정조정전략에 따른 추가비용
Schedule Shifting	기존부하의 늦춰진 납기일에 대한 penalty 비용 늦춰진 납기일	₩/day	Schedule Shifting cost
	기존부하의 반제품, 부품 재고 유지비 늦춰진 납기일	₩/day	
잔업	잔업시간 동안 정규인력의 총 노무비 잔업시간 동안 정규인력의 총 노무시간	₩/hour	잔업 Cost
	잔업시간 동안 발생한 간접비 잔업시간 동안 라인가동시간	₩/hour	
추가인력	잔업시간 동안 추가인력의 총 노무비 잔업시간 동안 추가인력의 총 노무시간	₩/hour	추가인력 cost
	추가인력을 사용한 잔업시간 동안 발생한 간접비 추가인력을 사용한 잔업시간 동안 라인가동시간	₩/hour	
대체라인으로의 부하 이동	기존부하의 늦춰진 납기일에 대한 penalty 비용 늦춰진 납기일	₩/day	대체라인으로의 부하 이동 Cost
	기존부하의 반제품, 부품 재고 유지비 늦춰진 납기일	₩/day	
	셋업에 소요된 총 노무비 셋업에 소요된 총 노무시간	₩/hour	
	추가인력의 총 노무비 추가인력의 총 노무시간	₩/hour	
	재 셋업에 소요된 총 노무비 재 셋업에 소요된 총 노무시간	₩/hour	
	셋업시간 동안 발생한 간접비 셋업시간	₩/hour	
	재 셋업시간 동안 발생한 간접비 재 셋업시간	₩/hour	
	대체라인의 가동시간에 발생한 간접비 대체라인의 가동시간	₩/hour	
외주	외주 비용 외주 수량	₩/unit	외주 cost

Table 1 에서 각 활동에 대한 단위당 원가 배분율은 활동기준 비용을 원가 배분기준으로 나누어 구할 수 있다. 각 활동에 대한 단위당 원가 배분율은 Fig. 9 에 있는 전월의 활동기준 원가 pool 에 저장된다. Fig. 9 에서 주문시점에 제품의 원가를 예측하는 과정은 다음과 같다. 첫째, 전월의 활동기준 원가 pool 로부터 추가비용정보 즉, 각 활동에 대한 원가 배분율을 이용하여 선택된 일정조정전략에 따

른 추가비용을 산정하고 이를 주문수량으로 나누어 unit 당 추가비용을 산정한다. 둘째, 표준원가 즉, unit 당 직접재료비, 직접노무비, 기타간접비를 합하여 제품의 unit 당 표준원가를 산정한다. 셋째, unit 당 추가비용과 표준원가를 합하여 제품의 unit 당 원가를 예측한다.

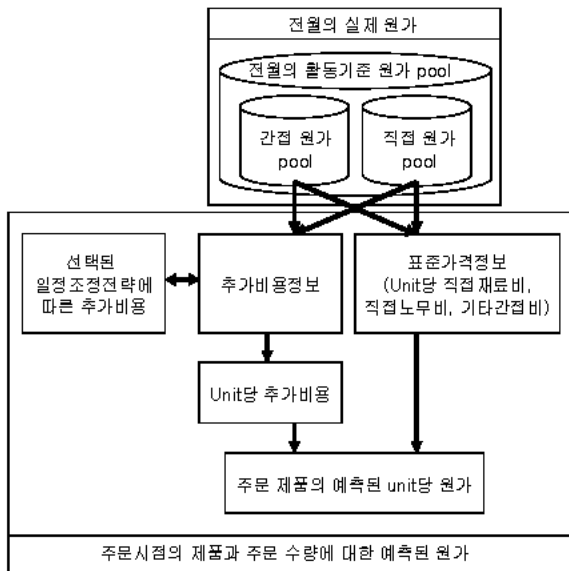


Fig. 9 Cost estimation procedure for customer inquiry

3.3 납기 및 원가 예측을 위한 알고리즘

주문형 생산환경에서 납기 및 원가 예측 연동에 관한 알고리즘은 다음과 같다.

- Step 1. 주문정보를 입력한다.
- Step 2. 주문된 제품의 BOM을 확인한다.
- Step 3. BOM의 마지막 material까지 반제품, 부품의 재고를 확인한다.
- Step 4. BOM의 마지막 material까지 반제품, 부품조달 정보로부터 재고의 부족분이 보충되는데 걸리는 시점을 계산한다.
- Step 5. 실제부하와 잠재부하의 예상 작업완료 시점을 계산한다.
- Step 6. 실제부하와 잠재부하의 예상 작업완료 시점과 재고가 가장 늦게 보충되는 시점 중 더 늦은 시점을 선택한다.
- Step 7. 선택된 시점부터 공정계획을 이용하여 현재 주문의 스케줄을 작성한다.
- Step 8. 현재 주문을 생산하는데 걸리는 시간과 예상 작업완료 시점을 계산한다.
- Step 9. 표준가격정보로부터 표준가격을 산정한다.
- Step 10. 예상 납기일과 표준가격을 고객에게 제시한다.
- Step 11. 예상 납기일을 만족하지 않는 고객으로부터 원하는 납기일을 제시 받는다.

- Step 12. 각각의 일정조정전략을 사용하여 고객이 원하는 납기일을 만족시킨다.
- Step 13. 추가비용정보로부터 각각의 일정조정전략에 따른 추가비용을 산정한다.
- Step 14. 추가비용이 가장 적게 발생하고 실행 가능한 일정조정전략을 선택하고 스케줄을 재작성한다.
- Step 15. 고객에게 고객이 원하는 납기일과 표준가격에 추가비용을 포함한 가격을 제시한다.

4. 적용 사례

Table 2는 주문형 생산환경 기업에서의 전월에 발생한 활동기준 원가 pool을 보여준다.

Table 2 Example of cost pool from previous month

전월의 활동기준 원가 pool (단위: 천원)					
제품 군		K			
제품명		K1	K2	K3	
표준 가격 정보	직접 재료비	200	250	300	
	직접 노무비	500	500	500	
	기타 간접비	150	150	150	
추가 비용 정보	Schedule shifting cost	Penalty 비용	100	100	100
		유지비	10	10	10
	잔업 Cost	노무비	5	5	5
		간접비	10	10	10
	추가인력 Cost	노무비	3	3	3
		간접비	10	10	10
	대체라인으로의 부하 이동 cost	Penalty 비용	200	200	200
		유지비	10	10	10
		셋업 노무비	3	3	3
		추가인력 노무비	3	3	3
재 셋업 노무비		3	3	3	
셋업 간접비		10	10	10	
재 셋업 간접비	15	15	15		
가동시간 간접비	8	8	8		
외주 Cost		10	12	14	

제품 K1을 30개 주문한 고객은 시스템이 제시한 납기일에 만족하지 않고 2일 빠른 납품을 원한다고 가정한다. 이 경우에 원가예측을 해보자. 이 기업에서 K 제품 군의 cycle time은 2분이며 assembly lead time은 20분이다. 따라서 주문한 제품의 makespan은 78분이다. 현재 주문에 대한 반제품 및 부품의 재고는 충분하며 잔업이나 추가인력

의 사용이 가능하다. 또한 이 기업에서 라인의 정규인력은 5 명이며 잔업을 사용할 경우 정규인력 모두가 작업을 하거나 추가인력은 5 명이 정규인력을 교대하여 작업한다. 대체라인에서 K 군 제품을 생산할 때 셋업시간은 1 시간이며, 재 셋업시간 역시 1 시간이다. 대체라인의 셋업, 재 셋업은 정규인력을 사용하며, 생산시에는 정규인력 외에 추가인력을 2 명을 더 사용한다. 대체라인에서 K 군의 제품을 생산할 때 cycle time 은 3 분이며 assembly lead time 은 25 분이다. 따라서 makespan 은 112 분이다. 일정조정전략에 따른 추가비용의 내역은 Table 3 과 같다. 이 경우 모든 일정조정전략이 실행 가능하다. 이 중에서 가장 적게 발생하는 추가비용을 선택하면 추가인력 cost 로서 32,500 원 이다. 이를 주문수량 30 으로 나누면 unit 당 추가비용은 1,083 원이다. 표준가격정보로부터 unit 당 직접재료비는 200,000 원, unit 당 직접노무비는 500,000 원, unit 당 기타간접비는 150,000 원이다. 따라서 이 비용들의 합은 851,083 원이고 이는 현재 주문된 제품의 예측된 unit 당 원가이다.

Table 3 Example of cost calculation using ABC

일정조정전략에 따른 추가비용 (단위:천원)		추가비용 계산과정	추가비용
Schedule shifting cost	Penalty 비용	2*100	200
	유지비	2*10	20
잔업 Cost	노무비	5*5*78/60	32.5
	간접비	10*78/60	13
추가인력 Cost	노무비	3*78/60*5	19.5
	간접비	10*78/60	13
대체라인으로의 부하 이동 cost	Penalty 비용	200*2	400
	유지비	10*2	20
	셋업 노무비	5*1*3	15
	추가인력 노무비	2*112/60*3	11.2
	재 셋업 노무비	5*1*3	15
	셋업 간접비	10*112/60	18.7
	재 셋업 간접비	15*112/60	28
	가동시간 간접비	8*112/60	14.9
외주 Cost		10*30	300

5. 결론

본 논문에서는 주문형 생산에서 실시간으로 납기 및 원가 예측할 수 있는 통합 시스템을 제시하였다. 납기에 연동된 원가는 ABC 를 이용하여 제시하고 적용사례를 보였다. 실제 주문형 생산환경에서는 실시간으로 고객에게 납기와 가격을 제시하여야 하는데 전체 생산환경의 모든 정보를 이용하기에는 시간과 비용이 많이 든다. 따라서 자재조달시점과 기존부하의 예상 작업완료 시점을 고려한 합리적인 알고리즘으로 작성된 스케줄은 납기예측을 가능하게 한다. 또한 고객의 더 빠른 납기를 만족시키기 위해 일정조정을 시도함으로써 발생하는 추가비용을 전월의 원가 pool 로부터 산정하여 제품의 원가를 신속하게 예측하고 이를 가격에 반영함으로써 고객에게 추가비용 부담을 요구하는 것이 가능하다.

참고문헌

1. 홍태영 외, “주문맞춤형 생산시스템에의 접근 방법,” 한국 정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 587-590, 2002.
2. 홍태영 외, “주문형 생산에서의 실시간 납기 산정,” 한국 정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 101-104, 2002.
3. Meyr, H., Wagner, M., Rohde, J., “Structure of advanced planning systems,” Supply Chain Management and Advanced Planning, Springer, Berlin, 2001.
4. Enns, S. T., “Finite capacity scheduling systems: performance issues and comparison,” Computers & Industrial Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 727-739, 1996.
5. Boyd, L. H., Cox III, J. F., “Optimal decision making using cost accounting information,” International Journal of Production Research, Vol. 40, No. 8, pp. 1879-1898, 2001.