

인쇄공정이 있는 Roll 기반 제조업에서의 실용적 Setup Time 적용 방안

배재호^{1*} · 왕지남²

¹혜천대학 물류유통정보과 / ²아주대학교 산업정보시스템공학과

Practical setup time implementation in the roll-based manufacturing practice having print operations

Jaeho Bae¹ · Gi-Nam Wang²

¹Department of Logistics and Distribution Information, Hyecheon University

²Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University

Nowadays, most of the major manufacturing companies prepare their manufacturing schedule using package based solutions. Even though the accuracy of the detail scheduling result is high at implementation, however, it is low during maintenance period. The main cause of low accuracy during maintenance period is due to difficulties in maintaining the accurate level of master data. In this paper, we propose to easily maintain setup time, which is one of the most important factors required in master data to achieve good scheduling result, after changing job. This paper is mainly focused on how to deduce the factors that influence the setup time in a roll-based manufacturing field with print operations. For this purpose, we employed rule based algorithm and applied for deciding setup time for the existing product items. Likewise, it can be applied to new items without any complex setup procedures, and, finally, it displays the result of the real setup-time and calculated setup-time.

Keyword: setup time, scheduling, rule based algorithm, roll based manufacturing

1. 서론

고객의 요구가 다양해짐에 따라 이를 충족시키고자 제조업체의 제품 종류가 다양해지는 것은 당연한 변화라고 할 수 있다. 최적의 생산계획 수립은 기업의 자원 최적화 및 재고 감소, 생산성 향상 및 납기 충족을 위해 매우 중요한 과정이며, 제품의 종류가 다양해질수록 이러한 과정이 더욱 복잡해져 수작업으로는 한계에 이르기 쉽다(Rho and Cho, 1999; Song, 1995). 이에 따라 보다 최적화된 생산계획 결과를 얻기 위하여, 검증된 알고리즘의 적용을 통하여 최적의 생산계획 결과를 제공한다는

Package 형태로 제공되는 APS 솔루션을 도입하여 적용하는 사례가 점차 증가하고 있다(Kim, 1991; Rho and Cho, 1999; Shin, 2000). 그러나 대부분의 패키지화된 사용 솔루션의 경우 최적의 생산계획 결과 도출을 위한 알고리즘의 성능과 수행 속도는 많이 강조되어 왔지만, 최적의 생산계획 도출을 위해 사용되는 기준 정보들의 유지/보수의 편이성 제고에 대한 방안은 시스템의 성능에 비하여 등한시 되어 온 것이 사실이다(Sim, 1988). 시스템을 통한 생산계획의 정확도 향상을 위해 사용자가 정의하고 유지/보수해야 할 정보들은 종류는 매우 많다. 그 중에서 도 기존 데이터의 유지/보수에 가장 많은 시간과 정확성을 요

*연락처 : 배재호 전임강사, 302-715 대전광역시 서구 복수동 한밭도서관길 721번지 혜천대학 물류유통정보과, Fax : 042-580-6415, E-mail : chillangri@gmail.com

투고일(2008년 05월 30일), 심사일(1차 : 2008년 07월 28일, 2차 : 2008년 10월 08일), 게재확정일(2009년 01월 23일).

구하며, 신규 제품이 추가되었을 때 가장 많은 노력을 필요로 하는 것이 작업 변경에 소요되는 Setup time의 관리이다(Ahn, 1995; Kenneth, 2000; Sim, 1988; Yoo, Kim, and Kim, 1991). <Table 1>은 사용자가 정의하고 유지/보수해야할 대표적인 기준 정보와 신규 제품 추가 시 소요되는 정보의 개수이다. 이는 1000개의 완제품을 대상으로 각 완제품은 2개의 반제품을 거쳐 생산된다고 가정 할 때, 생산계획 수립을 위한 기준 정보의 사례를 보인 것이다.

Table 1. The master data quantity

항목	관리 수	항목 1개 추가 시
Item Master	1000	1
BOM	3*1000	3*1
Routing	3*1000	3*1
Setup time	3*1000*999 = 2,997,000	3*999*998 = 5,994

<Table 1>에서와 같이 제품 종류가 증가할 때마다 관리되어야 하는 기준정보의 수의 변화는 많은 차이가 있으며, Setup time의 경우 그 증가 폭이 가장 크다. 그러나 대부분의 패키지 기반의 솔루션은 작업 변경 시간의 결과 값만을 등록하도록 구성되어 있으며, 합리적인 Setup time의 산정을 위한 방안은 강구되고 있지 않다(Ahn, 1995; Jeon, Hong, and Park, 1996). 대부분의 패키지화된 솔루션들의 Setup time 입력 방식은 공정별 품목의 선-후 관계에 따라 Matrix 형태로 작업 변경 시간을 등록하도록 구성되어 있는데, 이러한 경우 하나의 공정에서 생산하는 제품의 종류가 1,000개이면 999,000건(1,000² - 1,000)의 Setup Time을 관리해야한다. 사용자가 유지/보수해야 할 데이터의 수를 줄이기 위하여 품목 군 단위로 Setup Time을 관리하는 방법을 제공하고는 있으나, 품목 단위로 정확한 Setup Time의 관리가 불가능하다는 단점과 여전히 관리해야 할 데이터의 수가 많다는 문제점이 존재하게 된다(Bengu, 1994; Reeves, 2003). 실제로 많은 패키지 기반 APS 솔루션의 적용 결과를 살펴보면 프로젝트 종료 시의 생산계획 정확도를 종료 후 자체 운영 단계에 이르러 유지하지 못하는 경우가 빈번한데, 이는 대부분의 경우 상세 생산 계획의 정확도 유지를 위한 기준정보의 관리가 원활하지 못한데서 기인한다고 해도 과언이 아니다. 본 논문에서는 인쇄공정이 포함된 Roll 기반의 연포장(Flexible Packaging) 제품의 생산 라인에서 공정별로 Setup time에 영향을 미치는 요소를 도출하고, 이를 기반으로 유연하게 적용될 수 있는 Setup time 규칙을 반영한 시스템을 개발하고 이를 실제 현장에 적용한 사례를 제시한다.

2. 패키지 기반 솔루션의 Setup Time 관리

앞에서 언급한 바와 같이 기 출시되어 많은 적용 사례를 가지는 패키지 기반의 APS 솔루션은 품목단위의 변경 시간을 공정

단위로 지정하는 방식으로 구성되어 있다.

본 논문에서는 Global Solution이면서 국내/외에 비교적 폭넓은 사용자를 확보하고 있는 솔루션을 대상으로 작업 변경 시간의 관리 방법을 살펴본다.

2.1 i2의 FP(Factory Planning) 사례

i2는 대표적인 APS (Advanced Planning and Scheduling) 솔루션 가운데 하나이며, 국제적으로 가장 많은 적용 사례를 보유하고 있는 업체 중 하나이다(Gartner Research, 2002). i2의 APS 제품군 가운데, 상세 일정 계획 기능을 제공하는 모듈인 FP(Factory Planner)는 <Figure 1>과 같은 형태의 Setup Matrix를 작성하여, Plain Text 파일로 공정의 선후 관계에 따른 Setup Time을 정의하여 시스템에 반영하게 된다.

1:setup_matrix_id	2:sequence_dependent setup_type from	3:sequence_dependent t setup_type to	4:setup_time	5:setup_time_uom
#Pre Process Setup Matrix				
PB_GR	W3QF	W3RD	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3RF	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3QF	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3RD	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3RF	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3QF	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3RD	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3RF	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3QF	0	HOURS
PB_GR	W3QF	W3RD	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3RF	1.17	HOURS
PB_GR	W3QF	W3QF	0	HOURS

Figure 1. Example of Setup Matrix with i2

i2사의 FP는 앞에서 언급한 바와 같이 품목 별로 작업 변경이 발생하게 될 때 소요되는 시간을 일일이 개별적으로 등록하도록 구성되어 있다. <Table 2>는 <Figure 1>의 구성 항목을 설명한 것이다.

Table 2. List of Setup Matrix With i2

순서	Field 명	Field 설명
1	setup_matrix_id	Setup Time의 Category 예 : 제품군, 공정
2	sequence_dependent _setup_type_from	이전 작업품목(군)
3	sequence_dependent _setup_type_to	변경 작업품목(군)
4	setup_time	소요 시간
5	setup_time_uom	소요 시간의 단위 예 : 시간, 분

2.2 Oracle 사의 MS 사례

Oracle사의 APS를 지원하는 제품군 중 상세일정 계획을 수용하는 모듈인 MS (Manufacturing Scheduling)는 공정별로 제품군 단위의 Setup time을 지정하고, 이를 다시 개별 품목 단위로 조정하는 형태로 화면이 구성되어 있다. 다음의 <Figure 2>는

Oracle 사의 Setup Matrix를 정의하는 화면이며, <Table 3>은 해당 화면의 구성화면이다.

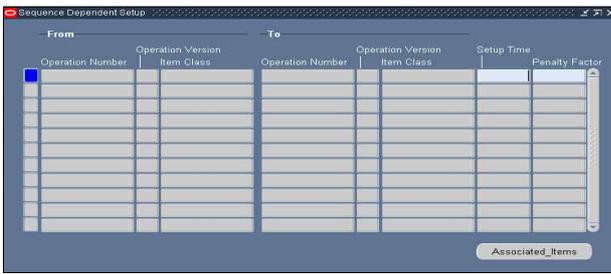


Figure 2. Example of Setup Matrix with Oracle

Table 3. List of Setup Matrix With Oracle

순서	Field 명	Field 설명
1	Operation Number	이전 공정
2	Operation Version	이전 공정의 버전
3	Item Class	이전작업 품목(군)
4	Operation Number	변경 대상 공정
5	Operation Version	변경 대상 공정의 버전
6	Item Class	변경대상 품목(군)
7	Setup Time	소요시간
8	Associated Item	Item Class의 해당 품목

일반적으로 적용되고 있는 상용 솔루션들의 Setup time 정의는 대체로 <Figure 3>과 같은 절차를 따라 정의되고 운영된다. 각 단계들은 반드시 계획 수립 담당자나 기준정보 관리자가 관여하여, 모든 공정별 품목에 대한 Setup Time을 개별적으로 관리해야 하므로 실제 운영 단계에서 품목이 변화될 경우 지속적인 데이터의 유지/보수가 어려운 것이 현실이다.

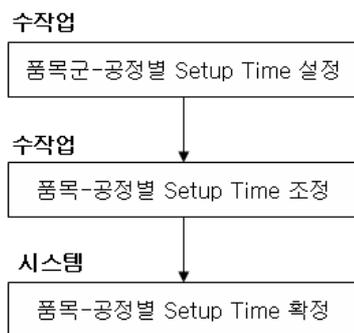


Figure 3. General flow of APS Solution for Definition of Setup time

3. 적용 대상 공장

3.1 적용 공장 및 공정

대상 업체는 9개의 공장으로 구성되어 있으며, 연포장 2개

공장과 연포장 제품의 원단 필름을 생산하는 필름 2개 공장, 기타 제품을 생산하는 공장들로 구성되어 있다. 본 논문의 대상이 되는 연포장류의 제품은 2개의 공장에서 5,000여 종 이상의 완제품을 생산하고 있으며, 각 완제품은 3개의 반제품 형태를 거쳐 주요한 4개의 공정을 거쳐 생산되고 있다. 공장별로 생산되고 있는 품목은 대체로 정해져 있으며, 짧은 납기 여유로 정밀한 생산 계획의 수립이 요구되고 있었다. 또한 1공장의 경우는 완제품 기준으로 3,500여 종 이상의 제품이 생산되고 있어 잦은 작업 변경이 이루어지고 있었으며, 작업 변경 시간이 생산성에 매우 큰 영향을 미치고 있었다.

3.2 적용 공장의 특성 및 Setup Time 관리 실태

본 연구의 대상이 되는 공장에서 생산되는 제품은 <그림 4>와 같이 4개의 공정을 거쳐 완성되는데, 해당 공정은 생산 제품에 따라 생략될 수는 있으나 공정을 경유할 경우에는 반드시 순차적으로 수행되어야 한다는 특성이 있다. 또한 생산 제품의 종류와는 비교적 무관하게 Setup Time 이외의 생산 시간 및 설비 가동 속도는 대체로 설비별로 고정되어 있어, 시간당 처리량(길이 기준)은 일정하게 운영되어 생산 계획의 정확도는 Setup Time의 정확한 관리에 좌우되는 특성이 있었다. 그러나 대상 공장에서 생산되는 품목은 완제품 기준으로 3,500여 종 이상이었으며, 반제품까지 감안하면 Setup Time을 관리해야 할 품목의 수가 매우 많아 제대로 관리되지 못하고 있었다. 대상 공장은 앞에서 언급한 패키지 솔루션을 적용하고 있었는데, 대상 공장에서 작성되는 생산계획은 Setup Time의 관리가 미흡하여 시스템을 통한 가용한 생산 시점의 계획을 제시하지 못하였으며, 수작업을 거쳐 작업 순서를 제시하는 목적으로 사용하고 있었다.

3.3 대상 공정 및 설비 특성

2개의 연포장 공장의 주요 공정은 다음 그림과 같이 동일한 순서로 진행된다. 대상 공장에서 생산하는 품목은 경우에 따라 반복 가공되거나 생략되는 경우는 있으나, 해당 공정을 경우하게 되면 반드시 <Figure 4>와 같이 GR-DL-EC-SL 공정의 순서로 진행되어야 한다. DL 공정과 EC 공정 사이에는 실제로는 접착한 다층의 필름을 경화시키기 위한 숙성(Aging) 공정이 있으나, 처리 용량이 크고 Setup time에 영향을 미치지 않으므로 본 논문에서는 고려의 대상에서 제외하였다. 또한 SL(Slitting) 공정 또한 그 처리 용량이 매우 크고, Setup Time이 중요한 변수가 되지 않아 제외하였다.

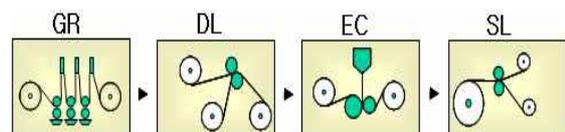


Figure 4. Flow of the progress of work

(1) GR (Gravure) 공정

GR 공정은 <Figure 5>와 같이 인쇄 도수에 따라 구비된 유니트에 인쇄하고자 하는 색상의 잉크를 충전한 후 Roll 형태의 필름을 통과시켜 오목판에 담겨있는 잉크를 압통을 이용하여 전이시키는 음각 인쇄 공정으로 운전기를 사용하여 짧은 시간에 대량의 제품을 인쇄할 때 효과적인 방식이다. GR 공정은 대상 공장의 작업 공정 중 가장 긴 Setup Time이 소요되며, 인쇄되는 색상의 수, 작업의 숙련도 및 설비 제약 등의 조건에 따라 실제 적용되는 Setup Time이 결정된다.

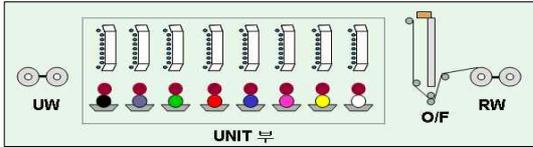


Figure 5. GR process

(2) DL (Dry Lamination) 공정

DL 공정은 <Figure 6>과 같이 복수의 박층을 접착제로 일체화시켜 단층을 형성하는 공정으로 사용되는 접착주체에 따라 Solvent(SD)와 Non Solvent(ND)공정으로 구분되며, 이어지는 EC 공정과 연속 처리가 가능한 SE 공정으로 구분된다. 각각은 각각 별도의 설비로 구성되어 있으며 DL 공정은 전 공정에서 완료된 인쇄물을 제조 사양에 따라 통과시키거나, 필요한 재질의 2차 필름(2급지)을 접착한 후 접착된 부분의 경화를 위하여 숙성(Aging) 과정을 거치게 된다.

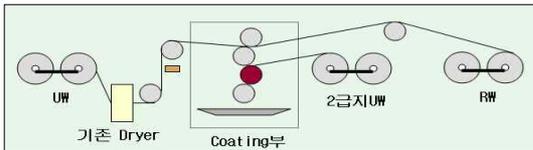


Figure 6. DL process

(3) EC (Extrusions Coating) 공정

EC 공정은 <Figure 7>과 같이 복수의 박층을 레진(수지)으로 코팅하여 일체화된 단층을 형성하는 작업으로 PE(Polyethylene) 레진이나 PP(Polypropylene) 레진을 고온에서 용융시켜 얇은 필름 형태로 코팅 및 접착하는 공정이다. 대개의 설비는 DL 과정과 EC 처리를 위한 전용의 설비로서 별도의 공정을 구성하고 있으나, 일부 설비의 경우 DL과 EC를 동시에 처리할 수도 있었다. 이로 인해 EC 공정의 경우 호기별 특성이 Setup Time의 결정에 큰 영향을 미치고 있었다.

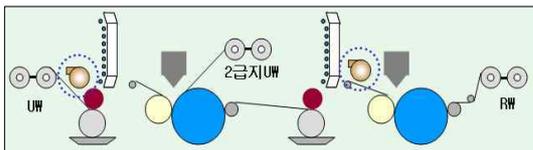


Figure 7. EC process

(4) SL (Slitting) 공정

SL 공정은 제조 사양에 의해 완성된 큰 단위의 Roll 제품을 고객이 원하는 길이 및 폭으로 절단하여 완제품을 생산하는 공정으로 품목에 관계없이 원단 폭의 크기에 따라 Setup Time이 결정된다.

4. Modeling

4.1 접근 방법

대상 공장의 생산 계획은 생산 시간은 비교적 정확히 반영되고 있었으나, 작업 교체에 따른 Setup Time의 관리 수준이 미흡하여 전반적으로 생산 시작 시간을 예측하기 어려운 현실이었다. 이에 본 연구는 생산계획 품질 향상을 위한 방안이 아닌 생산 계획 수립의 중요 변수인 Setup Time의 효과적 관리를 위한 방안을 제시하고자 한다. 본 논문에서는 Setup Time을 효율적으로 관리할 수 있는 시스템을 개발하고 이를 상용Package 기반 솔루션에 결합하여 사용할 수 있도록 결과 값을 기존 솔루션에서 사용하는 방식과 동일한 품목-공정별 Setup Time의 형태로 도출하여 데이터베이스나 텍스트 파일로 저장하도록 하였다. 따라서 본 논문은 품목별, 공정별로 Setup Time에 영향을 미치는 요소를 도출하고 이를 정형화하여 계획 수립자나 기준정보 관리자가 관리해야 할 데이터의 수량을 대폭 절감하는 방법을 제시하고 있다.

본 논문에서 제시하는 방법은 <Figure 8>과 같은 과정을 통하여 Package 기반 시스템에 입력될 수 있는 형태의 품목-공정별 Setup Time을 계산해 내는 것이다. 계획 수립 담당자나 기준정보 관리자는 품목별 특성이나 공정별 특성을 추출하여 이를 정형화하여 시스템을 통해 관리하고, 계산된 초기해를 기반으로 최종적으로 계획 수립 담당자나 기준정보 관리자가 이를 조정하여 실제 적용되는 방식을 적용하고 있다. 그러나 본 논문의 대상이 되는 공장의 경우는 계획 수립 담당자나 기준정보 관리자가 최종 수정하지 않더라도 충분히 사용할 수 있는 수준의 결과를 확인할 수 있었다.

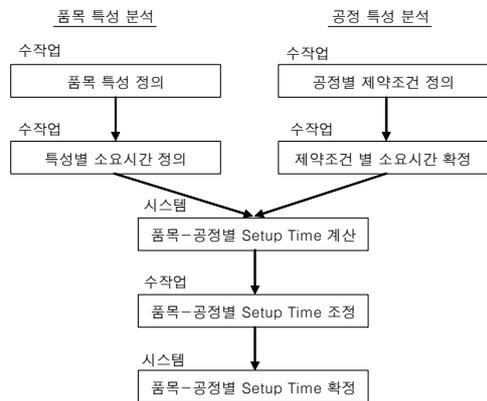


Figure 8. Flow for definition of Setup Time

본 논문에서는 대상 공장의 Setup Time 결정 요소를 품목별 특성 <Table 4>와 공정별 제약 조건 <Table 5>로 구분하였다. 대상 공장의 특성 상 신규 제품이 생성되더라도 기존의 결정 요소를 벗어나지 않기 때문에, 신규 생성되는 품목의 경우에도 새로운 품목 특성이나 공정별 제약 조건을 정의할 필요가 없었으며, 단순히 시스템으로 재계산 처리만 하면 해당 품목의 Setup Time을 갱신할 수 있다. 그러나 신규 설비가 도입될 경우는 해당 설비의 특성을 다시 정형화해야 하는 단점이 있으나, 신규 특성치의 추가 없이 <Table 4>와 <Table 5>에서 언급된 항목의 값을 조정하는 수준으로 반영할 수 있으므로 품목-공정별 Setup Time을 개별적으로 관리하는 것보다는 훨씬 용이하다. 공정 개선이나 작업 방법의 개선 등으로 공정 특성이 변화될 경우는 기존에 입력한 Setup Time을 일괄적으로 수정해야 하는데, 이러한 경우에도 단순히 시스템을 통한 재계산 절차만 거치게 되면 Setup Time이 갱신되어 기준정보 관리 시간 및 정확도 향상에 큰 효용을 기대할 수 있다. 실제 대상 공장의 경우 Setup Time을 설정해야 하는 항목의 수가 3,500개의 완제품 별 2개의 반제품이 발생될 경우 36,739,500개의 항목을 등록해야 하므로, 대상 공장의 경우는 정확한 Setup Time을 등록하지 못하고 Item Group 수준에서 일괄 관리하고 있었다. 본 논문에서 예로 든 Package 기반 시스템의 경우 Setup Time은 공정별로 등록되고 있었는데, 실제 보다 정확한 계산을 위하여 공정의 설비별로 관리하고자 할 경우 그 항목의 수는 수작업으로는 관리할 수 있는 수준을 벗어난다고 할 수 있다.

4.2 품목별 특성 정의

품목별 특성은 주로 품목에 따라 특정 설비-동일 기능을 수행하는 공정이라 하더라도, 설비에 따라 처리 가능한 설비와 그렇지 못한 설비를 나눌 수 있으며, 본 논문에서는 설비의 특성을 반영한 Setup Time을 관리할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 작업이 한정되거나, 특정 설비에서 Setup time이 변화하는 현상을 발견할 수 있으며, 품목에 따라 제품군 별로 동일한 Setup Time 특성을 보이는 것과 선후 관계에 따라 Setup Time이 변화되는 경향도 있었다. 대상 공장에서 생산되는 품목은 투입되는 원단의 폭이 Setup Time 결정에 중요한 영향을 끼치

Table 4. Property of Setup Time definition

제약조건	의 미
설비 제약	품목별로 특정 설비 작업만 허용되는 경우
품목군	품목군별로 동일한 Setup Time 특성을 보이는 경우와 그렇지 않은 경우
선후관계	품목의 특성에 따라 이전/이후 작업 여부에 따라 Setup Time이 변화하는 경우
DL Type	DL 공정에서 ND 형태와 SD, SE 형태에 따라 품목이 구분되며, 사용 설비가 달라짐

는데, 후속 작업의 원단 폭이 증가하게 되면 원단 폭이 감소하는 경우 보다 긴 Setup time을 가지게 된다. <Table 4>는 이러한 품목별 특성을 나열한 것이다.

4.3 공정별 제약조건 정의

공정별로 적용되는 제약조건의 경우, 동일 공정에 배치되어 동일 역할을 수행하는 설비라고 하더라도 제조사나 도입 시기에 따라 Setup Time에는 많은 차이가 있었다.

Table 5. Restrictions by process

공정	제약조건	의 미
GR	인쇄도수	인쇄의 색상 수
	원단재질	인쇄 대상 필름의 재질
	잉크 타입	인쇄에 사용되는 잉크의 종류
	원단 폭	인쇄 대상 필름의 폭
	호기제약	특정 호기의 경우 Setup Time이 추가로 필요함
	신제품 여부	신제품의 경우 추가 Setup time이 필요함
DL	원단 폭	투입되는 원단의 폭
	접착(주)제	사용되는 접착제
EC	호기제약	특정 호기의 경우 Setup time 요소 상이
	원단 폭	투입되는 원단의 폭
	수지	레진 수지의 유형
	접착제	사용되는 접착제의 종류
SL	절단 폭	품목에 관계없이 절단하는 원단 폭의 크기에 따라 Setup Time 변경

이러한 차이는 <Table 5>의 호기 제약 항목으로 반영되었다. 실제 적용 대상 사업자의 2개 공장에서 공정에 따라 <Table 5>와 같은 제약조건을 찾아낼 수 있었다.

4.4 모델링

앞에서 언급한 제약사항을 감안할 경우, 공정별로 발생하는 모든 품목의 선/후 관계에 따라 Setup Time을 정의해야 하며, 이 경우 사용자가 직접 Setup Time을 정의하게 되면 다음과 같은 경우의 수를 예상할 수 있다. 다음의 식 (1)과 식 (2)는 공정별로 Setup Time을 지정하는 경우이며, 해당 공정의 설비별로 Setup Time을 별도 관리하고자 한다면 설비 수에 따라 관리 대상 데이터의 수가 더욱 증가하게 된다.

$S_{i,k}$: numbers of total Setup data

k : numbers of items

i : numbers of semi-manufactured and finished goods for each k

$$S_{i,k} = i \cdot k \cdot P_2 = i \cdot k(k-1) \quad (1)$$

이는 반제품이 생성되는 공정별로 자기 자신을 제외한 모든 생산 품목 단위로 경우의 수를 계산해야 하며, 선/후 관계에 따라 Setup Time이 달라지므로 식 (1)과 같은 경우의 수를 도출해 낼 수 있다.

초기 설정 시의 건수가 식 (1)과 같다면, 향후 운영 시 1개의 신규 품목이 생성된다면, 다음의 식 (2)와 같이 입력 건수를 산출할 수 있다.

$$\Delta S = S_{i,k+1} - S_{i,k} = ik(k+1) - ik(k-1) = 2ik \quad (2)$$

이는 Setup Time을 제외한 대부분의 정적 데이터가 1개의 품목이 증가할 때, 1건의 데이터 입력 혹은 반제품 건수만큼의 데이터 입력 건수를 요구하는데 비하면, 그 수량이 매우 크다고 할 수 있다. 이에, 본 논문에서는 앞에서 언급한 품목별 제약 조건과 공정별 제약 조건을 통하여 다음과 같은 모델링 결과를 얻을 수 있었다.

<Table 6>에서 제약 조건은 <Table 4>와 <Table 5>에서 도출한 품목별 Setup Time 확정 특성과 공정별 제약 조건을 의미한다. 또한 선후 관계는 품목 교체 시에 작업의 선/후 관계에 따라 Setup time에 영향을 미치는 지에 대한 정의이며, Y인 경우는 선후 관계에 영향을 받으며 N인 경우는 선후 관계에 영향을 받지 않는 항목을 의미한다. 데이터 유형 항목은 실제 적용 시 필요한 항목을 얻게 되는 항목의 유형을 의미하는 것으로, 활용되는 데이터의 실제 유형과는 관계가 없다. 마지막으로 산정 방법은 Setup Time 산정을 위하여 작업 변경의 대상이 되는 두 개의 품목을 비교하여, 해당되는 제약조건이 같은지(E; Equal), 다른지(NE; Not Equal)의 여부나 데이터의 값이 큰지(GT; Greater Than), 작은지(LT; Less Than)를 의미한다. 일부 항목들은 이와 같은 규정 외에 실제 적용되는 데이터를 기준으로 정의되어 있는데, DL 공정의 접착제(ND 타입)의 경우는 사용되는 접착제가 1형에서 2형으로의 변환 혹은 그 반대의 경우를 의미하며, EC 공정의 수지(1공장)의 경우 사용되는 레진의 물성이 PE 타입인지 혹은 다른 타입인지에 따라 Setup time이 결정되는 예를 표시하고 있다.

즉, 본 논문에서는 품목별로 독립된 Setup Time을 기지의 항목을 통한 함수로 모델링하고, 이를 통하여 신규 생성되는 품목의 Setup Time을 유추할 수 있도록 지정하여 실제 운용 시의 Setup Time 관리를 용이하도록 하고자 한다.

본 논문에서 제안한 바에 따르면, 해당 품목의 Setup Time을 산정하기 위해서는 생산 공장, 공정별 특정 호기 사용여부, 인쇄 도수, 원단 재질, 사용 잉크 type, 원단 폭, 신제품 여부, DL 타입(ND, SD, SE), 사용 접착제, EC에서 사용하게 될 수지의 종류만 알게 되면 Setup Time을 산정할 수 있다. 이를 시스템으로 구현함에 있어, 상기의 항목들은 대체로 Item Master의 속성이거나 별도의 특성을 통하여 관리되는 항목이므로, 사용자는 신

규 품목이 생성될 때 별도의 조치를 취하지 않더라도 시스템에서 Setup Time을 산정할 수 있게 된다.

Table 6. Result for modeling of system

공정	제약 조건	선후 관계	데이터 유형	산정 방법	
GR	도수	N	숫자		* 4.5
	원단재질	Y	문자	E	+ 0
				NE	+ 5
	잉크type	Y	문자	E	+ 0
				NE	+ 10
	원단 폭	Y	문자	GT	+ 4
				LT	+ 2
				E	+ 0
	호기제약 (특정호기 작업여부)	N	문자	Y	+ 80
				N	+ 0
신제품 여부	N	문자	Y	+ 20	
			N	+ 0	
DL	기초 Setup 시간	N			+ 10
	원단폭 (ND 타입)	Y	문자	GT	+ 15
				E	+ 0
				LT	+ 25
	접착제 (ND 타입, 특정품목 군)	Y	문자	E	+ 0
				NE	+ 60
	접착제 (ND 타입)	Y	문자	1-2	+ 110
				2-1	+ 50
				E	+ 0
	접착제 (SD, SE 타입)	Y	문자	E	+ 0
NE				+ 45	
원단폭 (특정호기)	Y	문자	E	+ 0	
			NE	+ 30	
원단 폭 (1공장)	Y	문자	GT	+ 30	
			E	+ 0	
			LT	+ 10	
원단 폭 (2공장)	Y	문자	GT	+ 25	
			E	+ 0	
			LT	+ 10	
수지 (1공장)	Y	문자	PE-기타	+ 60	
			기타-PE	+ 120	
			E	+ 0	
수지 (2공장)	Y	문자	PE-기타	+ 120	
			기타-PE	+ 180	
			E	0	
접착제 (1공장)	Y	문자	1-2	+ 60	
			2-1	+ 90	
			E	+ 0	

5. 적용

5.1 Sample Data의 계산

본 논문에서 제안한 Setup Time 계산을 위한 항목들은 대상 공장에서 활용하고 있는 시스템의 Item Master에 등록되도록 설계되어 있었다. 따라서 신규 품목을 위한 Setup Time을 정의하는 요소들은 Item이 추가 등록될 때 고려 항목들이 함께 등록되며, 시스템을 통하여 Setup Time이 자동 계산되어 품목-공정별 Setup Time 데이터에 등록될 수 있다. 기존 생산 품목의 Setup Time 데이터와 신규 등록 품목의 Setup Time 데이터는 동일한 절차를 거쳐 계산되므로, 본 논문에서는 시존 생산 품목의 사례를 근거로 본 논문에서 제시한 모델링 결과가 적절히 적용되는지를 검토하고자 한다. 다음의 사례는 실제 적용 사업장의 실제 데이터를 근거로 Setup Time을 산정한 것이다.

(1) GR 공정

Table 7. Item of GR

기준품목	특 성	특성 값
62436	공정	GR
	인쇄도수	4
	원단재질	OPP20+MHCP20
	잉크 타입	1302
	원단 폭	700.00000000
	호기제약	N
	신제품 여부	N

Table 8. Item of exchangeable GR

변경품목	특 성	특성 값
72404	공정	GR
	인쇄도수	2
	원단재질	PET12+PE15+ALG7+PE20
	잉크 타입	1302
	원단 폭	940.00000000
	호기제약	N
	신제품 여부	N

이 경우 Setup time은 상기 특성 치로부터 다음과 같이 18(분)으로 계산된다.

Table 9. Result of Setup time in GR

특성치	특성치 값	소요 시간(분)
인쇄도수	2	9(= 2*4.5)
원단재질	NE	5
잉크 타입	E	0
원단 폭	GT	4
특정 호기	N	0
신제품 여부	N	0
Setup Time		18

(2) DL 공정

Table 10. Item of DL

기준 품목	특 성	특성 값
75089	공정	DL
	접착제 액형	2액형
	원단 폭	670.00000000
	접착주제	UR-7732

Table 11. Item of exchangeable DL

변경 품목	특 성	특성 값
45981	공정	DL
	접착제 액형	1액형
	원단 폭	740.00000000
	접착주제	L3050SS

이 경우 Setup time은 상기 특성 치로부터 다음과 같이 75(분)으로 계산된다.

Table 12. Result of Setup time in DL

특성치	특성치 값	소요 시간(분)
기초 Setup 시간		10
원단 폭	GT	15
접착제 액형	2-1	50
Setup Time		75

(3) EC 공정

Table 13. Item of EC

기준 품목	특 성	특성 값
39735	공정	EC
	특정호기여부	Y
	공장	1
	원단 폭	960.00000000
	수지	PE
	접착제	2액형

Table 14. Item of exchangeable EC

변경 품목	특 성	특성 값
42238	공정	EC
	특정호기여부	Y
	공장	1
	원단 폭	940.00000000
	수지	PE
	접착제	1액형

이 경우 Setup time은 상기 특성 치로부터 다음과 같이 120(분)으로 계산된다.

Table 15. Result of Setup time in EC

특성치	특성치 값	소요 시간(분)
특정호기 여부	Y	
원단 폭	NE	30
수지	E	0
접착제 액형	2-1	90
Setup Time		120

5.2 실제 데이터와의 비교

실제 데이터와의 비교를 위하여 작업 현장의 작업 변경이 발생할 때, 기존 작업의 해체에서 새로운 작업의 투입이 개시 되는 시간을 6개월간 30회 측정된 결과를 실제 데이터로 간주 하였다. 다만 실제 측정된 데이터에서 현장의 문제 등으로 이상 시간이 발생한 경우는 제외하였다. <Table 16>의 실측치는 이와 같이 측정된 결과 값을 의미한다. 본 논문에서 사용된 데이터의 경우 실제 생산되고 있는 데이터이므로 품목의 실제 명칭은 사용하지 않았으며, 제품의 일련번호로 나열하였다.

대상 공장의 경우 생산 계획 수립자가 제출하는 Setup Time 과 비슷한 수준의 결과에 동의하고 만족하였으며 이를 활용한 생산 계획의 작업 시작 시간의 정확도가 크게 향상되었다. 보다 객관적인 검증을 위하여 본 논문에서 제안된 Rule로 산정한 Setup Time과 실제 현장에서 측정된 Setup Time의 유의성을 검토하기로 한다. 유의성 검토를 위한 표본의 수가 n = 30이므로 대표본으로 간주하고 z-test를 통하여 검증을 수행하였다. 90% 신뢰 수준으로 검정할 때 양측검정이 되므로, 유의수준 $\alpha = 0.1$ 로 검증을 하면 다음과 같다.

$$n = 30 = \text{관측 값의 Sample 수}$$

$$\hat{p}_{obj} = \text{관측 값의 평균}$$

$$p_{cal} = \text{계산 값}$$

$$s_{obj} = \text{관측 값의 표준편차}$$

$$SE_{obj} = \frac{s_{obj}}{\sqrt{(n)}} = \text{관측 값의 표준오차}$$

1단계 : 가설의 수립

$$\text{귀무가설 } H_0 : \hat{p}_{obj} = p_{cal}$$

$$\text{대립가설 } H_1 : \hat{p}_{obj} \neq p_{cal}$$

2단계 : 검정통계량의 계산

검정 통계량인 Z는 다음과 같으므로,

$$Z = \frac{\hat{p}_{obj} - p_{cal}}{SE_{obj}}$$

GR 공정의 46061 품목에서 49977 품목으로 전환하는 경우는,

$$Z = \frac{68.6 - 70}{5.76/30} = -1.33$$

으로 계산된다.

$Z_{0.05} = 1.645$ 이므로, $Z_{-0.05} < Z < Z_{0.05}$ 가 성립되어 통계량 Z가 기각역에 포함되지 않음을 알 수 있다. 이를 통해 귀무가설 H_0 는 기각할 수 없으므로, 본 논문에서 제안한 Rule 기반으로 계산된 p_{cal} 는 적절하다 할 수 있다.

5.3 시스템 적용 예

본 논문에서 제시한 Setup Matrix는 <Table 5>의 정의에 따라 품목 특성과 공정 특성을 반영하여 규칙을 정의할 수 있도록 형상화하였으며, 데이터베이스의 칼럼명을 사용하여 직접 계산할 수 있도록 구성하였다. <Table 6>에서 정의한 Setup Time 계산 규칙은 <Figure 8>과 같은 과정을 통하여 품목-공정별 Setup Time의 계산 과정을 거치게 되면, 그 결과는 다음의 <Figure

Table 16. Result of Setup Time when product is changed.

공정	기준 품목	변경 품목	실측치		계산값	검정 통계량	검정결과
			평균	표준 편차			
GR	46061	49977	68.6	5.76	70	-1.33	not reject
GR	49163	59925	72.5	9.29	75	-1.47	not reject
GR	46061	75909	29.5	4.76	30	-0.58	not reject
GR	46763	43015	36.18	6.21	37.5	-1.16	not reject
EC	75962	75833	26.23	4.37	25	1.53	not reject
EC	76644	63237	122.4	9.30	120	1.41	not reject
EC	76661	38956	24.7	3.68	25	-0.45	not reject
DL	36415	49219	10.37	4.04	10	0.50	not reject
DL	36415	51480	118.7	6.43	120	-1.11	not reject
DL	42223	52391	49.93	6.22	50	-0.06	not reject

9>과 같이 공정별, 설비에 따른 선-후 품목과 그에 소요되는 Setup Time이 계산된다. 이와 같이 계산된 Setup Time은 <Table 2>의 i2의 Setup Matrix 구성항목이나 <Table 3>의 Oracle의 Setup Matrix 항목과 호환될 수 있도록 구성되어 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 <Figure 9>의 계산결과는 기존 시스템과 쉽게 호환될 수 있음을 알 수 있다. <Figure 8>를 통하여 최종 계산된 Setup Time의 결과는 다음의 <Figure 9>과 같이 정의된다.

6. 결론

본 논문에서는 프로젝트 진행 단계에서 초기에 생성되는 기준 정보가 운영 단계로 접어들면서 정확도가 떨어지고, 이에 따

라 수립된 (상세) 일정 계획의 정확도가 떨어지면서 시스템의 활용도가 낮아지는 경우를 방지하기 위하여 비교적 자주 변경 되면서도 유지/보수해야 하는 데이터의 건수가 가장 많은 경우인 Setup Time을 손쉽게 관리하기 위한 방법론을 제시하고, 이를 실제 현장에 적용하여 적용 가능성을 보였다.

실제 적용된 공장에서는 Setup Time을 위해 관리하고 있는 데이터의 건수가 10만여 건을 훨씬 상회하고 있었는데, 이를 일일이 수작업으로 정확성을 검토하고 확인하는 것은 실제로는 불가능하고 하겠다. 또한 Setup Time은 실제 공장의 작업자나 작업 조건에 따라 산포가 발생하므로, 정확한 값이 존재한다고 볼 수 없다. 이에 본 논문에서 제기한 방법론에 따라 적용된 Setup Time은 현장에 적용할 때 매우 유용하였으며, 프로젝트 종료 후에도 비교적 손쉽게 Setup Time을 생산계획 담당자가 유지/보수 할 수 있었다.

조작코드	공정	설비	필터링	도수	필터링	연속관계	상수비교	이전상수	이후상수	데이터타입	관계	값(식)	
Y10	GR		Attribute1	도수	N	N				Num		Attribute1 * 4.5	
			Attribute12	원단재질	Y	N	Y	N			Text	=	0
			Attribute22	잉크타입	Y	N	Y	N			Text	<=	5
			Attribute5	원단폭	Y	N	Y	N			Text	<=	0
			Attribute5	원단폭	Y	N	Y	N			Text	<	10
			Attribute5	원단폭	Y	N	Y	N			Text	<	2
Y20	GR	Y20-GR14	Attribute16	신재종류유무	N	Y	NEP	NEP			Text	=	20
			Attribute16	신재종류유무	N	Y	NEP	NEP			Text	<=	0
			Attribute16	신재종류유무	N	Y	NEP	NEP			Text	<=	0
			Attribute16	신재종류유무	N	Y	NEP	NEP			Text	<=	0
			Attribute16	신재종류유무	N	Y	NEP	NEP			Text	<=	0
			Attribute16	신재종류유무	N	Y	NEP	NEP			Text	<=	0
Y10	GR		기본		N	N			Num	<=	10		

Figure 8. Setup Time based on Rule

공정	Plant	설비	From Item No	From Item Description	To Item No	To Item Description	시간(분)
1	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YAA0002801GR1	도분500g삼복후지 GR1차	40
2	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YAA0007801GR1	도분700g삼복후지 GR1차	44
3	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YAA0010901GR1	도분 삼복 후지 GR1차	53
4	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YAA0010101GR1	도분삼복후지 GR1차	53
5	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000909GR1	생상우동봉지파우치 GR1차	17
6	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1001007GR1	생상우동봉지면 GR1차	38
7	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1001303GR1	농심가죽냉동우동(업소용) GR1차	34
8	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1001409GR1	농심가죽냉동우동(업소용) GR1차	38
9	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1001904GR1	농심가죽우동면(가정용) GR1차	38
10	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1001906GR1	농심가죽우동면(가정용) GR1차	38
11	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1001607GR1	농심가죽냉동면(가정용) GR1차	38
12	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1001702GR1	농심가죽냉동면(업소용) GR1차	38
13	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1002102GR1	농심가죽냉동면(업소용) GR1차	34
14	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000201GR1	안성판면 필터 GR1차	38
15	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000206GR1	안성판면 필터 GR1차	38
16	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000310GR1	농심가죽냉동우동(업소용) GR1차	34
17	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000304GR1	농심가죽우동(2인분) GR1차	38
18	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000305GR1	농심가죽우동(2인분) GR1차	38
19	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000306GR1	농심가죽냉동우동(업소용) GR1차	38
20	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000304GR1	생상칼국수(해물탕) GR1차	38
21	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000305GR1	생상칼국수(해물탕) GR1차	2
22	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000902GR1	생상칼국수파우치 GR1차	22
23	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000404GR1	농심가죽냉동면 GR1차	38
24	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000405GR1	농심가죽냉동면(가정용) GR1차	38
25	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000404GR1	비탈소파면 GR1차	2
26	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000503GR1	생상우동사발파우치 GR1차	26
27	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000510GR1	감자면 필터 GR1차	38
28	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000503GR1	농심가죽냉동우동(업소용) GR1차	48
29	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000505GR1	농심가죽냉동면 GR1차	38
30	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000507GR1	농심가죽냉동면(가정용) GR1차	38
31	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000602GR1	해물칼국수 필터 GR1차	38
32	GR	Y10	YD1004909GR1	신라면 필터(고속) GR1차	YD1000610GR1	복합면 필터 GR1차	43

Figure 9. Computed Setup Time

따라서 본 논문에서 제기한 Rule 기반의 Setup Time 산정 방법론은 생산 계획 시스템의 지속적 운영 가능성을 높이고, 생산계획 수립 담당자가 기준정보를 충분히 유지/보수 할 수 있는 방안을 제시하였다는데 큰 의미가 있다. 또한 Rule 기반으로 산정한 Setup Time이 실제 현장에서도 충분히 사용할 수 있음을 보인 것 또한 중요한 의미가 있다.

대부분의 경우 제조 현장에서의 Setup Time은 품목 및 공정에 특성에 따르고 있으며, 이를 기반으로 Setup Time을 계산해 낼 수 있다. 그러나 본 논문에서는 인쇄공정이 있는 Roll 기반 연포장 공장의 특정 사례를 기준으로 적용하였다는 한계가 있다. 모든 생산 현장에 적용될 수 있는 방법론을 개발하는 것이 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

- Ahn, S. H. (1995), A Study on Algorithms to minimize Makespan of Sequence-dependent Jobs, *KORMS*, **12**(2), 13-35.
- Bengu, G. (1994), A simulation based scheduler for flexible flow lines, *International Journal of Production Research*, 159-171.
- Gartner Research (2002), Gartner Says Worldwide SCM New License Software Revenue Declined 21 Percent in 2002, http://www.gartner.com/press_rel
- Jeon, T. J. Hong, N. P., and Park, S. H. (1996), Branch Method in the Job Shop Scheduling using discovery allocation rules, *KORMS*, **12**(2).
- Kenneth, R. Baker (2000), Introduction to sequencing ad scheduling, *Dartmouth College*, 41-156.
- Kim, D. W. (1991), Development of A Cement Raw Mix Automatic Control System Using A Rule Based Algorithm, *Master's degree thesis* 3-48, Myungji university, Yongin.
- Lee, S. G. and Lee, Y. H. (1999), Production Scheduling employing ERP in the make-to-order manufacturing system, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **12**(3), 424-426.
- Reeves, C. R. (2003), A Genetic Algorithm for Flowshop Sequencing, *Computers and Operations Research*, 1995. eases/pr2003.html, 23 June.
- Rho, I. K. and Cho, C. H. (1999), A Real-time Mixed Scheduling Algorithm in Flexible Manufacturing System, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **25**, 369-381.
- Shin, I. H. (2000), A Process Improvement and Software Development Using Time Study, *Master's degree thesis* 3-48, Ajou University, Suwon.
- Sim, J. H. (1988), Production schedule with depleted stock research, *Master's degree thesis*, 16-44, Inha University, Incheon.
- Song, H. S. (1995), Manufacturing system analysis using simulation methods, *Industrial Engineering Magazine*, **2**(2), 44-48.
- Yoo, H. G. Kim, M. S., and Kim, J. S. (1991), A Study on the Production Planning and Scheduling Problems in FMS, *Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers*.



배재호

아주대학교 산업공학과 학사
아주대학교 산업공학과 석사
아주대학교 산업공학과 박사
현재: 혜천대학 물류유통정보과 전임강사
관심분야: 공정계획, 물류혁신, 성과평가,
MES/ERP, PI/BPR



왕지남

아주대학교 산업공학과 학사
KAIST 산업공학과 석사
미 Texas A&M 대학 산업공학과 박사
현재: 아주대학교 산업공학과 교수
관심분야: CAD/CAM, 공정 계획, 이산사건
시스템, 시뮬레이션