

생산공정 개선을 위한 성능평가 시뮬레이션

고종영, 조대호

성균관대학교, 전기전자 및 컴퓨터공학부

컴퓨터 시뮬레이션 연구실

URL: <http://peter.skku.ac.kr>

E-mail: jykoh@peter.skku.ac.kr taecho@simsan.skku.ac.kr

< 개 요 >

현재 S 회사의 생산공정은 전 과정에 걸쳐 통합된 정보처리 체계가 없고, 생산계획 및 통제 과정에서의 복잡한 계산 및 중요한 의사결정이 담당자의 경험적 지식에 의존하고 있다. 이러한 상황의 한계로, 현재의 생산공정계획 및 생산실행계획은 시간적 제약이 크고, 유연적인 수정이 어려울 뿐 아니라, 통계적 분석의 자료체계가 부실하다. 그러나, S 회사는 보다 개선된 공정관리를 위해 새로운 생산계획전략의 필요성을 느끼고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 접근방법으로써 DEVS 형식론을 바탕으로 공정을 효과적으로 모델링 및 시뮬레이션 하였다. 생산계획의 핵심부분인 전문담당자의 경험적 지식을 체계적 규칙으로 정리하여 모델에 반영하였고 이를 통해 습득된 시뮬레이션 결과를 분석하여 생산계획전략의 신뢰할만한 평가기준을 마련하였다.

1. 서론

S 회사의 그레이팅 생산공정은 공정의 단계는 비교적 단순하고, 전통적이지만, 입력이 되는 수주의 발생시점이나 크기가 불규칙하고, 공정의 요소요소(특히, 계획 및 통제 부분)에 상당히 복잡한 의사결정요인이 존재함에도, 그러한 계획 및 통제 기능을 담당자의 경험적 지식에만 의존하는 비과학적 체계를 갖는다. 이러한 공정에 대한 컴퓨터 모델링 및 시뮬레이션이 성공적으로 구현되면, 과학적, 합리적인 공정분석 결과를 바탕으로 여러가지 효과를 기대할 수 있다. 자재, 인원, 설비기계 등의 효율적 이용, 중간생산물 적재를 위한 준비공간 예측 등으로 생산비용 절감, 수주량 변화에 따른 적정 인원 유지, 기계의 기능 변경 등이 가능하다. 또한, 지연 공정 파악, 생산의 진척도 관리와 납기예측 등으로 신용 향상을 도모할 수 있다. 일례로, 현재 자재의 낭비율

은 약 10%로 이중 5%만 줄여도 연간 12억원의 비용절감을 가져온다.

2. DEVS 방법론

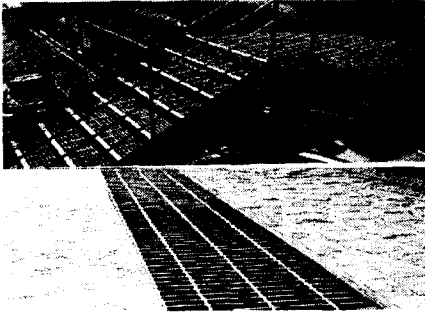
본 논문에서의 시뮬레이션 모델링은 Zeigler에 의해 개발되어 이산사건 모델들의 계층구조적 모듈화 방법을 제공하는 형식론인 DEVS(Discrete Event System Specification)에 따른다. 모델의 구현은 DEVS의 C++ 언어 구현버전인 DEVS-C++ 라이브러리를 바탕으로 이루어졌다.

3. 그레이팅 생산공정 설명

그레이팅(grating)은 산업시설(발전소, 공장 등), 도로, 주택, 선박, 교량 등 각종 분야에서 바닥, 계단, 배수로 덮개 등으로 사용되는 격자모양의 건축 및 토목용 철재 구조물이다.(그림 1)

그레이팅을 생산하는 S 회사는 예측생산보다는 주문, 수요자의 주문에 의해서 제품을 생산한다. 수주

로부터 최종생산품이 나오기까지의 단계별 과정은
수주영업→제품설계→공정계획→일정계획→생산실시
→생산통제 의 전통적인 체계를 갖고, 공장의 생산형
태는 공정중심으로 작업장이 나뉜다.



(그림 1) 그레이팅이 사용되는 분야

■ **수주영업 (Business functions) :**

수주통보서에는 납기, 제품목록(품명, 사양, 수량, 중량 등) 등의 내용이 기록된다.

■ **제품설계 (Product design) :**

최종생산품의 정확한 외형과 사양을 결정.

■ **생산공정계획 (process planning)**

필요한 공정순서, 설계된 제품의 사양, 품질조건, 설비(equipment) 조건, 자재의 절단계획(cutting plan), 등을 명시한 작업지시서를 작성하여 각 생산공정에 분배한다. 절단계획이란, 정해진 사각의 바탕(자재 단위)에 크기가 다른 여러가지 사각 단편(설계된 제품)들을 끼워 맞추는 것이다. 자재 단위별로 쓸모없게 되는 손실량을 효과적으로 줄이도록 배치하는 것이 절단계획의 주목표이다.

■ **생산일정계획 (process Scheduling) :**

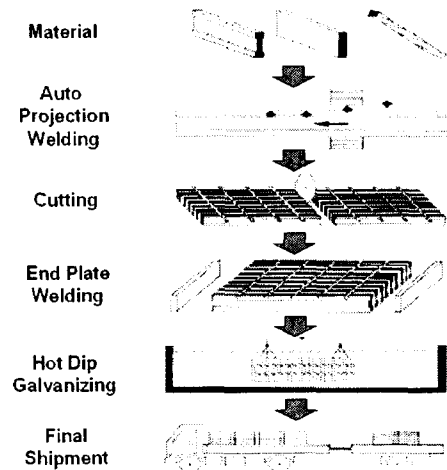
현재 S회사에서는 체계적인 일정계획없이, 몇몇의 분배규칙(dispatching rule)에 따라 생산을 실행한다.

■ **생산실시 (Production)**

- 1) 머신분배 : 전문 담당자가 일정 생산량을 여러 대의 그레이팅 머신에 적절히 분배
- 2) 머신공정 (Auto Projection-Welding & Cutting) : NC 공작기계인 그레이팅 머신에 의해 원자재를 압착하고 절단한다.
- 3) 가공분배 : 여러 대의 그레이팅 머신으로부터 나오는 중간생산물을 일정시간 모아두었다가, 여러 가

공팀들에게 골고루 분배.

- 4) 가공공정 (End Plate Welding) : 투입인원들이 소형 절단기, 용접기 등을 이용하여 중간 제품에 대한 용접, 사상 등의 수작업.
- 5) 검사 : 제품의 수량, 규격, 외형 등의 검사 과정으로 검사일지를 작성한다.
- 6) 도금공정 : 여러 가공팀으로부터 생산되는 제품들 중 도금이 필요한 제품만을 모아서 아연도금하는데 도금 작업장은 한 곳.
- 7) 선별,포장
- 8) 출고 : 제품 출하후에 출고목록을 작성



(그림 2) 그레이팅 생산공정

■ **생산통제**

생산에 관련된 감시 및 수정.

4. 연구목적 및 대상

4.1 연구 목표 및 관측지표

3장에서 기술한 그레이팅 생산과정에서 관리상의 중요한 분계점으로,

- 전 생산과정에 걸쳐 통합된 정보처리 체계가 없고, 핵심공정에서 시시각각 산출되는 자료에 관련된 데이터베이스가 없다.
- 생산공정/일정계획, 생산통제 과정에서 복잡한 계산 및 중요한 의사결정을 지원하는 컴퓨터 시스템 없이 전문 담당자의 경험적 지식에 의존한다.

위의 문제점들 때문에, 현재의 생산공정계획 및 생산실행계획은 시간적 제약이 크고, 유연적인 수정이 어려울 뿐 아니라, 통계적 분석의 자료체계가 부실하다. 따라서, 과학적 분석, 파악에 의한 전체 생산공정의 합리적 개선 및 관리가 불가능하다.

그러나, S 회사의 입장에서는, 가변적인 수주환경에서, 시도해보지 못한 몇가지 공정 및 실행계획 방법을 적용한 결과로 나타나는 자재, 인원, 설비기계 등의 효율적 이용여부 및 문제점을 파악하여, 그러한 방법의 타당성을 평가하고 싶어한다. 아울러 이를 통해, 생산의 진척도 관리와 납기예측의 근거를 마련하고 싶어한다. 이를 달성하기 위한 효과적인 방법의 하나로 컴퓨터 시물레이션(Simulation)을 생각할 수 있다.

그레이팅 생산과정을 효과적으로 모델링하고 시물레이션을 실행함으로써, S 회사가 원하는 공정분석 결과를 얻을 수 있는데, 여러 관측지수를 통해 비교, 분석하고자 하는 궁극적인 목표는 크게 두가지 이다.

- 1) 절단계획 알고리즘의 평가 : 임의의 태스크들을 계획그룹으로 조직할 때, 그룹개수 및 그룹의 범위(품목종류 가지수)를 조정하여, 자재사용의 효율성 및 문제점을 비교한다. 이는, 잔재생성 및 자재사용 정보를 분석함으로써 얻어짐.
- 2) 분배규칙 적용 전략의 평가 : 임의의 태스크들에 대한 절단계획판을 2-level 의 여러 W/S 에 할당할때, 고려사항을 조정하여, 여러 분배전략의 유용성, 효율성, 문제점, 등을 비교한다. 이는, 각 태스크의 납기만족율(DPT, Due-term / Turnaround time), 각 W/S 의 이용율 및 Queue size, 등과 절단계획시와 다른 추가적인 자재손실의 trade-off 를 분석함으로써 얻어진다.

- 시물레이션 모델링 및 실행을 통한 관측지표

대상 object	관측지표
Task	Average-turnaround time
	Throuput
	Average DPT(납기만족율)
	평균 잔재율

Work Station	평균 자재손실율
	Utilization
	Average Queue size
	Maximum Queue size

4.2 생산계획의 핵심

생산공정계획에 있어서 S회사가 그 유용성 및 효율성을 가장 파악하고 싶은 부분은 절단계획이고, 생산실행계획에 있어서는 분배전략 이다.

4.2.1 절단계획 생성 규칙

- 한 수주의 제품목록은 동일 제작사양에 따라, 하나 이상의 계획그룹으로 나뉘고, 한 계획그룹씩 분리해서 계획한다.
- 제품목록을 CB 홀수개 및 짝수개인 집합으로 분리한다. 모든 품목의 폭은 동일하다고 가정한다.
- 짝수집합을 먼저 배치하고, 각 계획판에 대한 Even /Odd tag 를 잠정적으로 결정하는데, 계획판에 70%이상 짝수품목이 배치된 경우 Even tag, 아니면 Odd tag 를 붙인다.
- 위의 결과에 중복해서 홀수집합을 배치하는데, 홀수품목이 Even tagged 계획판에 배치될려면, 계획판에서 EWP(Extra Welding Pitch, = CP - REP) 만큼의 추가 공간이 필요하고, 이는 손실량으로 계산된다. Odd tagged 에 배치될때는, 추가 공간이 필요치 않다.
- 각 계획판에 대한 태그를 Pure-Even/ Mixed-Even/ Mixed-Odd/ Pure-Odd/ Alterable-Mixed-Odd/ Alterable-Pure-Odd tag 로 확장하여 결정한다.
 - P/M - Even : 반드시 2 분 머신에 할당해야 되는 계획판
 - P/M - Odd : 반드시 1 분 머신에 할당해야 되는 계획판
 - A - odds : (추가손실가능 BB 길이 <= 잔재길이)를 만족하여 2 분머신에 할당가능한 Odd 계획판
- 자재원판의 가장 끝에 남는 부분은 손실량으로 기록, CB 를 압접하지 않는다.

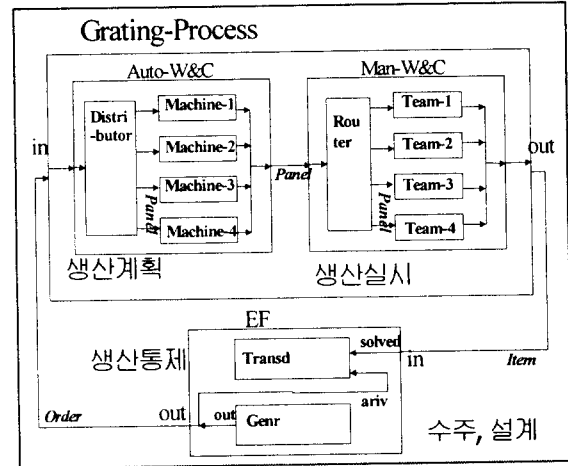
4.2.2 일정계획 생성 규칙

- 접수된 수주들중 제일 납기가 이른 수주를 우선적으로 처리한다.
- 대상 수주의 납기, 자재손실을 등과 W/S의 Queue size(혹은, 미처리 잔여 작업), 평균성능, 주작업대상(압접방법) 등을 고려한다.
- 그룹단위 머신 분배
 - 계획판별 우선순위 결정 : 절단계획시 결정된 계획형태(PlanType)에 따라 정렬 (Evens - Odds - AoddMs - AOddPs)
 - 한 계획판에 대한 Machine route 결정 : 머신의 정적 속성인 압접방법을 고려하여 후보 머신 집합을 추리고, 계획판에 대한 평균작업시간을 계산하여 가장 먼저 끝낼수 있는 머신에 할당.
- ◇ 전략 1: Even tagged 계획판 → 2 분, Odd tagged 계획판 → 1 분에 할당하여, 절단계획시의 자재 손실율을 준수.
- ◇ 전략 2: Even tagged 계획판 → 2 분, Odd tagged 계획판 → 1 분에 원칙적으로 할당하고, Aodd tagged 계획판들은 원칙에 상관없이 load balancing 만을 최우선으로 하여 할당한다. 절단계획시의 자재손실율을 위배할 수 있고, 추가손실이 발생
- ✓ 즉, 추가적인 자재 손실을 감수하고, 납기 만족율, M/C utilization 을 높이기 위해, load balancing 차원에서 Odd → 2 분 할당을 허용
- ✓ Aodd tagged 계획판들은, 추가손실을 감안할때, 절단계획시 배치된 품목을 모두 생산할만한 잔재여분이 있는 계획판이다.
- 그룹단위 가공팀 분배
 - 계획판별 우선순위 결정 : 머신공정 종료시간 빠른 순으로 머신일정 정렬
 - 한 계획판에 대한 Team route 결정 : 계획판에 대한 평균작업시간을 계산하여 가장 먼저 끝

낼수 있는 팀에 할당

- 다음번 스케줄 생성 시점 : 가장 이른 머신일정 종료시간 고려 (한 머신이라도 Que 가 비어 idle 상태가 되는 시점)

5. 각 구성요소 모델 설명



(그림 3) 모델 구성도

5.1 Model 설명 및 Task flow (Model interaction)

■ Generator Model

그레이팅 생산과정에서 수주 및 설계단계를 추상화한 모델이다. Inter-arrival time 마다 한 수주를 발생하여 Distributor 모델과 Transducer model로 전달한다. Sample data의 분석을 바탕으로 계획그룹 ID, 자재타입, 품목종류 개수, 품목 ID, 품목길이, CB 개수, LEP, REP, 품목수량, 품목중량, 제작난이도, 납기기간 등의 수주정보를 random 하게 발생한다. 납기기간은 총면적*충중량*제작난이도로 계산되는데, 이는 머신공정에 소요되는 시간이 총면적에 의존하고, 가공공정은 충중량에 의존하기 때문이다. 자재타입, 품목종류 개수, 품목길이, 수량 등은 uniform random 함수를 사용한다.

■ Distributor Model

생산계획단계를 추상화한 모델로서, in-port 로 전달되는 order 들을 buffer 에 저장해두었다가, 임의의 한 머신이 idle 상태가 되는 시점에 제일 납기가 이른 수

주를 찾아 4장에서 기술한 규칙에 따라 절단계획 및 일정계획을 실행한다. 이러한 계획에 따라, 계획판들을 Machine model 로 분배한다.

■ **Machine Model**

생산실시단계의 머신공정에 해당하는 모델로서, in-port 로 전달되는 panel 들을 Queue 에 적재하고 하나씩 처리하여 Router model 로 전달한다. 1 계획판 처리시간 = 계획판 총면적 / normal(평균성능±30%) 이다.

■ **Router Model**

생산실시단계의 가공분배에 해당하는 모델로서, in-port 로 전달되는 panel 들을 Queue 에 적재하고 하나씩 처리하여 Team model 로 전달한다. 1 계획판 처리시간 = constant delivering delay = 20 이다.

■ **Team Model**

생산실시단계의 가공공정에 해당하는 모델로서, in-port 로 전달되는 panel 들을 Queue 에 적재하고 하나씩 처리하여 Transducer model 로 전달한다. 1 계획판

처리시간 = 계획판 총중량 / normal(평균성능±35%) 이다. 머신보다는 성능편차가 조금 더있다.

■ **Transducer Model**

생산통제단계에 해당하는 모델로서, arriv-port 로 전달되는 수주들에 대해 작업진척도를 파악하는데, solved-port 로 전달되는 item 들을 누적하여 발생수주의 총수량과 같아질 때, 그 수주에 대한 처리가 종료된다.

6. 시뮬레이션 실행

control parameter	ID	value
일정계획 방법	S	Strict scheduling
	A	Alterable scheduling
그룹 개수	2	2 그룹 → 10 가지/그룹
	5	5 그룹 → 4 가지/그룹
Inter-Arrival Time	80	Approximate to TA 80
	40	Frequently than TA 40
	160	Rarely than TA 160

<실행결과>

TA : TurnAround Time, DPT(Due-Term per TA)

관측지수	단위	S-5-160	A-5-160	S-5-80	A-5-80	S-5-40	A-5-40
Avg. TA	TU	119	105	184	128	395	261
Thruput	Task/TU	0.007	0.006	0.028	0.014	0.012	0.019
Avg.DPT	%	161	190	129	155	59	83
평균 B기본손실율	%	15.1	14.6	14.8	15.5	15.0	15.5
평균 B추가손실율	%	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.5
평균 C추가손실율	%	0.0	2.6	0.0	2.2	0.0	2.5

관측지수	단위	S-2-160	A-2-160	S-2-80	A-2-80	S-2-40	A-2-40
Avg. TA	TU	118	100	171	112	294	179
Thruput	Task/TU	0.009	0.016	0.011	0.017	0.015	0.021
Avg.DPT	%	174	206	133	167	90	117
평균 B기본손실율	%	6.6	7.2	7.6	8.2	7.3	7.6
평균 B추가손실율	%	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	0.3
평균 C추가손실율	%	0.0	1.5	0.0	1.9	0.0	1.4

7. 결론

그룹의 크기가 클 때, 기본손실율이 현저히 감소한다. 결과적으로, 절단계획의 효율성을 위해서는 여러 수주를 하나의 태스크로 묶어서 같은 제작사양을 갖는 그룹끼리 묶어 새로운 계획그

룹으로 나누는 재구성이 필요하다.

부가적인 자재손실을 감수하고라도, 각 W/S 의 이용율을 고르게 하면 태스크의 납기만족율을 높일수 있는데, 그 Trade-off는 추가손실 2%에 납기만족율 20% 정도 향상된다.