

시물레이션 모델을 이용한 K회사 반도체 패키지 공정의 생산량 증가를 위한 연구

채종인¹ · 박양병^{1†}

A Study on Throughput Increase in Semiconductor Package Process of K Manufacturing Company Using a Simulation Model

Jong In Chai · Yang Byung Park

ABSTRACT

K company produces semiconductor package products under the make-to-order policy to supply for domestic and foreign semiconductor manufacturing companies. Its production process is a machine-paced assembly line type, which consists of die sawing, assembly, and test. This paper suggests three plans to increase process throughput based on the process analysis of K company and evaluates them via a simulation model using a real data collected. The three plans are line balancing by adding machines to the bottleneck process, product group scheduling, and reallocation of the operators in non-bottleneck processes. The evaluation result shows the highest daily throughput increase of 17.3% with an effect of 2.8% reduction of due date violation when the three plans are applied together. Payback period for the mixed application of the three plans is obtained as 1.37 years.

Key words : Simulation model, Semiconductor package process, Throughput increase, Line balancing, Group scheduling, Case study

요약

K 회사는 국내의 반도체 제조업체의 주문에 의해 반도체 패키지 제품을 생산 공급하는 기업이다. 생산 공정은 Die Sawing, 조립, 테스트로 구성된 기계중심의 조립라인 형태를 따르고 있다. 본 논문은 K 회사의 공정분석을 토대로 패키지 공정의 생산량을 늘리기 위한 3가지 방안을 제안하고, 이들을 실제 자료를 이용한 시물레이션 모델을 통해 평가하는 사례연구를 다룬다. 3가지 방안은 병목공정에 기계 추가에 의한 라인균형, 제품의 그룹 스케줄링, 비병목공정에서 작업자의 재배치이다. 시물레이션 평가결과, 3가지 방안을 혼합 적용하는 경우에 2.8%의 납기위반율 감소 효과와 함께 17.3%의 가장 높은 일일 생산량 증가를 보여 주는 것으로 나타났다. 3가지 방안의 혼합 적용하는 경우의 투자회수기간은 1.37년으로 매우 짧게 구해졌다.

주요어 : 시물레이션 모델, 반도체 패키지 공정, 생산량 증가, 라인균형, 그룹 스케줄링, 사례연구

1. 서론

반도체는 여러 산업의 발전에 큰 영향을 미치는 현대 과학기술 분야에서 가장 급속도로 발전하는 첨단기술 산업이다. 최초의 반도체는 미국 Texas Instrument사의 트랜지스터 개발에서 시작되었다. 반도체 기술의 절정인 집

적회로는 전자제품의 소형화, 고성능화, 저가격화를 달성할 수 있도록 하였으며, 전자산업의 발전을 계기로 폭발적인 수요를 보이고 있다.

이러한 반도체의 세계적 잠재수요를 예상하고 국내 기업들은 반도체 산업에 투자를 시작하여 DRAM 분야에서는 현재 세계 1위를 달리고 있다. 국내 반도체 산업이 전체 수출에 차지하는 비중은 2007년 기준 전체 수출액 대비 10.5%를 차지하고 있을 만큼 국가경제에 기여하는 바가 크다. 이러한 급격한 성장에 기인하여 반도체 산업에 관한 기술적 연구와 더불어 관리적 측면에서도 많은 연구

2009년 1월 27일 접수, 2009년 6월 10일 채택

¹⁾ 경희대학교 산업경영공학과

주 저 자 : 채종인

교신저자 : 박양병

E-mail; ybpark@khu.ac.kr

가 이루어지고 있다. 반도체 생산은 전자산업에서 가장 복잡하고 정밀성이 요구되는 공정으로 분류되어, 이러한 특성의 공정을 통제하기 위해 체계적이고 효과적인 생산 관리가 요구된다.

이영훈^[1]은 반도체 생산관리에 관한 연구를 다음과 같이 크게 세 가지로 분류하였다. 첫째, 공급사슬경영의 관점에서 고객의 주문과 연계된 생산 및 유통을 효율적으로 운영하기 위한 생산계획 및 수배송에 관한 연구. 둘째, FAB (Fabrication), Probe, 조립, 테스트 공정을 개별적으로 접근하여 각 공정의 일정관리, 물류, 생산능력 분석에 관한 연구. 셋째, 소단위의 공정그룹이나 설비그룹에 대한 자동화 설계, 작업장 통제, 실시간 스케줄링에 관한 연구이다.

반도체 생산관리에 대한 지금까지의 연구는 반도체 생산 공정의 주요 부분인 FAB 위주로 이루어졌다^[11]. 반도체 패키지 공정은 일반적인 전자산업과 비교하여 조립 및 검사의 공정에서 특이점이 존재하나 전체적으로 많이 유사하여 반도체 패키지 공정의 생산관리 문제는 독자적인 연구 분야로 인식되지 않아 많은 연구가 이루어지지 않았다.

Knutson et al.^[8]은 반도체 패키지 공정의 조립과 검사 공정에서 고객주문의 납기충족을 최대로 하면서 장비가 동물을 극대화하기 위한 로트크기 결정문제에 대해 비선형 목적함수의 수리모형을 구축하였다. 이들은 계산실험을 통해 그들이 제안한 휴리스틱이 실제 현장에서 사용하는 방법보다 더 효과적임을 입증하였다. Brown et al.^[4]은 패키지 공정의 조립공정에서 비용증가 없이 가공시간을 감소시키는 새로운 재고관리 기법을 개발하여 시뮬레이션 분석을 통해 그 효과를 확인하였다. 이후 실제 현장에 그들이 개발한 기법을 적용한 결과, 작업시간이 약 20% 감소하였다. Yin et al.^[10]은 패키지 공정의 일정계획을 위해 그룹테크놀로지(GT)를 이용한 휴리스틱을 개발하였으며, 이 기법이 총 작업시간과 납기위반의 감소와 장비가 동물의 증가에 효과적임을 증명하였다. 또한, 그들은 준비시간의 단축을 위해 패키지, 패드크기, 리드 수 등을 고려한 multi-hierarchical changeover rule을 제안하였다.

Gupta and Sivakumar^[5]는 패키지 공정에도 적용할 수 있는 LAB(look ahead batching) 이름의 동적 일정계획 전략을 제안하고, 시뮬레이션 연구를 통해 그 효용성을 평가하였다. LAB는 JIT 환경에 맞추어 earliness와 tardiness를 동시에 최소화 하는 목표를 추구한다. Wu and Hung^[9]는 기존의 LBSA 알고리즘과 달리 생산제품의 공정 길이에 관계없이 높은 정시 완성률을 보장하는 dispatching 알고리즘을 개발하였다.

본 논문은 반도체 패키지 제품 생산업체인 국내 K 회

사에서 패키지 공정의 생산량 증가를 위한 사례연구이다. 반도체 패키지 공정의 일일 생산량은 제품 단위생산비에 직접적인 영향을 미치는 중요한 성능평가 척도이다. 회사 조립라인의 공정분석을 토대로 병목공정의 장비추가에 의한 라인균형, 제품군별 생산스케줄링, 비병목공정의 인력 재배치의 3가지 방안을 제안하고, 실제 자료를 이용한 시뮬레이션 모델을 통해 이들의 효과를 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 1장의 서론에 이어, 제 2장에서는 K 반도체 회사의 패키지 공정을 분석한다. 제 3장에서는 패키지 공정의 생산량 증가를 위한 3가지 방안을 제안한다. 제 4장에서는 패키지 공정의 시뮬레이션 모델 구축을 설명한다. 제 5장에서는 제안시스템들의 시뮬레이션 연구와 경제성 분석을 수행한다. 끝으로, 결론 및 향후 과제를 제 6장에 기술한다.

2. K 회사의 패키지 공정 분석

K 반도체 회사는 고객으로부터 웨이퍼를 공급받아 생산하여 다시 전달하는 make-to-order 방식으로 운영되고 있다. 제품생산은 고객주문의 접수순서에 따라 시작되는 FIFO 규칙을 따른다. K 회사의 패키지 공정에서는 양산 품목과 테스트 품목을 포함하여 약 400 종류 제품의 생산이 가능하다. 반도체 산업의 빠른 기술 변화로 인한 단종 제품의 생산을 제외하면 최근에는 실제 100여 종류의 제품을 생산하고 있다. 수요는 안정적으로 충분하여 공정은 완전 가동상태에 있다.

반도체 생산공정은 그림 1과 같이 크게 FAB, EDS (Electric Die Sort), D/S(Die Sawing), 조립, 테스트 순서로 진행된다. 생산공정에서 FAB과 EDS는 front-end 공정, 그리고 D/S, 조립, 테스트는 back-end 공정으로 부른다. K 반도체 회사의 패키지 공정은 back-end 공정에 해당되며, 기계중심의 다품종 소량 생산 조립라인으로 그림 2와 같이 총 30가지의 공정으로 구성되어 있다. 패키지 제품은 보통 16가지의 기본 공정과 고객의 요청이나 제품의 특성에 따라 선택적으로 추가 공정을 거쳐 생산된다.

웨이퍼 입고부터 출고까지의 전체 공정에는 570대의 기계와 149명의 작업자가 투입되고 있다. 1공정에는 95대의 기계와 35명의 작업자, 2공정에는 359대의 기계와 45명의 작업자, 그리고 3공정에는 117대의 기계와 69명의 작업자가 할당되어 있다. 주요 공정에 할당되어 있는 기계와 작업자 수가 표 1에 정리되어 있다. 작업자는 4조로 나뉘어 1일 8시간 간격의 3교대 형태로 365일 24시간

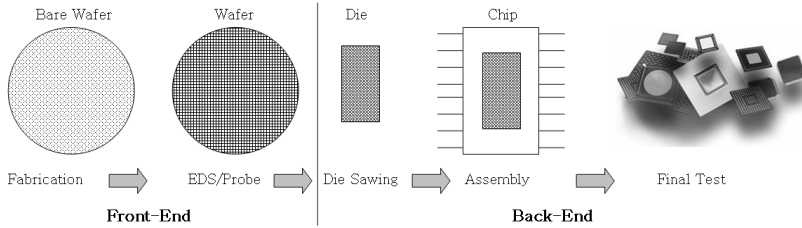


그림 1. 반도체 생산 공정

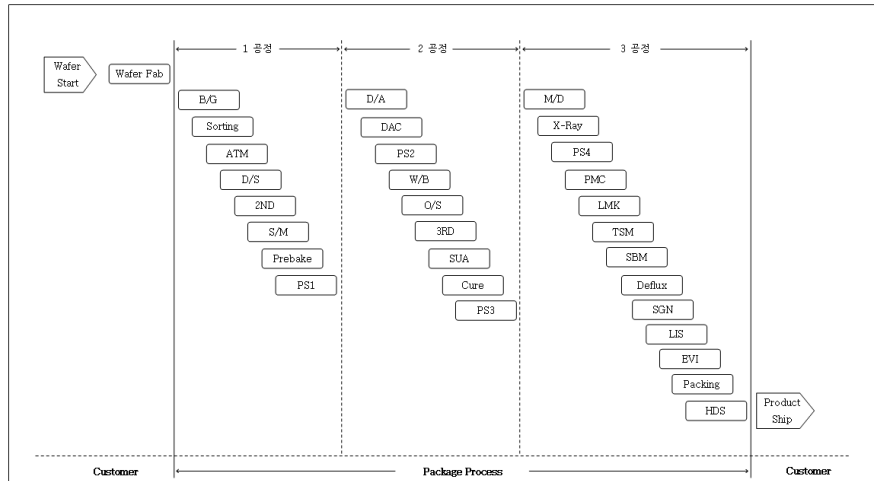


그림 2. K 회사 패키지 공정의 상세 흐름도

표 1. 주요 공정의 기계 및 작업자 수

공정	D/A	W/B	3RD	PS3	M/D	PMC	LMK	SBM	SGN	EVI
기계대수	57	302	-	8	18	10	10	26	17	-
할당대수/명	3	13	-	3	2	6	3	3	2	-
작업자 수(명)	21	24	14	3	9	2	4	9	9	20

운영되고 있다. 교대 전후 각각 15분과 근무 중간의 식사 시간 40분을 제외하면 1교대 동안의 실제 작업시간은 410분이다. 패키지 공정에서 검사공정을 제외한 모든 공정의 생산성은 기계 능력에 의해 결정된다.

반도체 패키지 제품의 성능은 리드(lead: 반도체 칩과 외부회로를 연결시켜 주는 금선) 수가 증가함에 따라 향상된다. 패키지 공정에서 리드 수를 결정하는 공정은 D/A (Die Attach)와 W/B(Wire Bonding) 공정이다. 시장에서 반도체의 성능 향상에 대한 요구수준이 높아질수록 패키지 공정에서 이들 두 공정의 부하는 더욱 커져 조립라인에서 병목공정이 될 가능성이 높다.

조립라인에서 병목공정은 각 공정의 시간 당 평균 산

출량의 역수인 평균 생산주기를 토대로 분석할 수 있다^[3]. 그림 3은 16개 주요 공정에서 28가지 대표 제품의 평균 생산주기를 보여준다. W/B 공정에서 병목현상이 발생할 가능성이 매우 높음을 알 수 있다. 실제로, 패키지 공정 관리자와의 인터뷰를 통해 이러한 사실을 확인하였다. 그림 3의 공정별 평균 가공시간을 이용하여 구한 라인균형 효율은 약 39.7%이다. 라인균형 효율은 흐름작업의 종류에 따라 다르겠지만, 일반 반도체 공정에서 80% 이상의 효율이 요구된다는 사실에 근거하여^[2], K 반도체 회사의 패키지 공정의 라인균형은 획기적인 개선이 필요하다고 말할 수 있다.

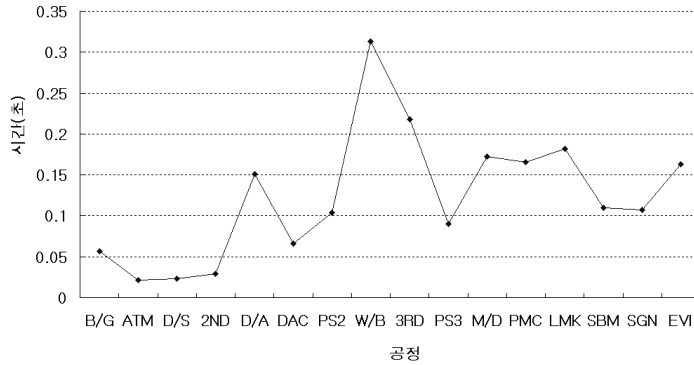


그림 3. 16개 주요 공정에서 28가지 대표 제품의 평균 생산주기시간

3. 패키지 공정의 생산량 증가를 위한 3가지 방안

3.1 W/B 공정의 기계 추가에 의한 라인균형

패키지 공정의 라인 불균형을 해결하여 생산량을 늘리기 위해 병목공정으로 분석된 W/B 공정에 기계를 추가한다. 1일 작업시간 동안 m 가지 제품을 생산하는데 필요한 기계대수를 결정하기 위해 아래 식을 이용한다.

$$N = \sum_{i=1}^m S_i Q_i / (A \cdot E \cdot R)$$

여기서 S_i 는 제품 i 의 표준작업시간, Q_i 는 제품 i 의 일일 생산량, A 는 기계의 가용시간, E 는 기계의 작업효율로서 제품 단위당 실제 작업시간에 대한 표준 작업시간의 비율, 그리고 R 은 기계의 신뢰도로서 고장 없이 가동할 확률을 나타낸다.

대표 제품인 450리드 제품을 기준으로 환산한 일일 목표 생산량 230,000개에 대해 W/B 공정의 기계 소요대수는 위 식에 의해 약 350대(=94.46초·230000개)/(410분·3교대·60초·0.85·0.99)로 구해진다. W/B 공정에서 현재 가동 중인 302대에 48대를 추가함으로써 W/B 공정의 병목현상이 완화되어 라인균형 효율이 향상될 것을 기대한다.

3.2 그룹스케줄링

D/A와 W/B 공정에서 리드 수가 다른 제품으로 생산을 변경하는 경우에는 새 제품을 위해 다른 기계로의 교체가 필요하므로 상당한 준비시간이 소요된다. 그러나 리드 수가 같은 제품의 경우에는 동일한 기계를 사용하므로 단지 가공 프로그램을 바꾸기 위한 약간의 준비시간만이 소요된다. 이에 근거하여 주문 접수순서에 따라 제품의

생산순서가 결정되는 현재의 FIFO 규칙 대신, 제품의 리드 수를 기준으로 제품군을 구성하여 한 군에 속한 제품들을 함께 생산하는 그룹스케줄링을 적용한다. GT 개념을 기반으로 하는 그룹스케줄링은 특히 준비시간의 단축에 의한 생산량 증대에 효과적인 것으로 알려져 있다⁶⁾.

본 그룹스케줄링은 준비시간 단축과 납기위반 최소화 목표를 함께 추구하면서 일일 생산제품의 구성과 이들의 그룹화, 그리고 그룹과 그룹 내 제품들의 생산순서를 결정한다. 그룹스케줄링 해법의 개발에 있어 회사 공정관리자의 의견을 반영하여 다음의 3가지 조건을 설정한다. 첫째, 제품의 평균 납기위반은 13% 이내로 제한한다. 둘째, 일일 생산량은 적어도 현재의 평균 생산량을 고려하여 최소 200,000개 이상으로 유지한다. 셋째, 위의 두 가지 조건이 상충되는 경우는 두 번째 조건을 우선적으로 지킨다. 그룹스케줄링 해법의 절차는 컴퓨터 시뮬레이션 실행을 포함하여 다음과 같이 정리된다.

- 단계 1: 일일 생산량의 초기 값으로 200,000개를 설정한다.
- 단계 2: 현재까지 접수된 주문을 납기일이 이른 순서에 따라 정렬한다. 납기일이 동일한 주문은 접수순서를 따른다.
- 단계 3: 정렬된 주문순서에 따라 일일 생산량만큼 주문을 모은다.
- 단계 4: 모아진 주문제품을 리드 수가 동일한 제품들끼리 그룹으로 구성한다. 리드 수가 동일한 다른 제품이 없는 경우는 단일 제품으로 그룹을 구성한다.
- 단계 5: 그룹 내 제품의 평균 납기일이 작은 순서에 따라 그룹들의 생산순서를 정하고, 단계 2에서 정렬된 순서로 그룹 내 제품의 생산순서를 정한다. 평균 납

- 기일이 동일한 그룹의 순서는 평균 접수순서를 따른다.
- 단계 6: 정해진 생산순서를 입력 값으로 하여 패키지 공정의 시물레이션 모델을 실행한다. 시물레이션 결과, 만일 주문의 평균 납기위반율이 13% 이상이면, 이전 반복(단, 최초 진행의 경우는 현재 진행)의 단계 5에서 정한 생산순서를 해로 정하고 종료한다. 만일 주문의 평균 납기위반율이 13% 이하이면 단계 7로 진행한다.
 - 단계 7: 일일 생산량을 현재 값의 $(1+w)$ 배로 정하고 단계 3으로 진행한다. 여기서 $0 < w < 1$.

간단한 예제에 대해 그룹스케줄링의 단계 2~5를 적용한다. 예제에서 주문은 접수순서에 따라 표 2와 같이 정리된다. 일일 생산량의 초기 값을 24개로 설정하여 단계 2를 적용한 결과는 표 3과 같다. 단계 3과 4를 적용한 결

표 2. 예제에서 주문자료

접수순서	주문제품	납기일	주문량
1	256A	2	6
2	230A	2	4
3	208B	3	2
4	732C	3	8
5	256D	2	4
6	208B	3	2
7	732F	5	6
8	500Z	4	2
9	732A	2	8
10	256B	3	6

표 3. 예제에서 단계 2를 적용한 결과

주문제품	접수순서	납기일	주문량
256A	1	2	6
230A	2	2	4
256D	5	2	4
732A	9	2	8
208B	3	3	2
732C	4	3	8
208B	6	3	2
256B	10	3	6
500Z	8	4	2
732F	7	5	6

과는 표 4와 같다. 표 4에 나타난 바와 같이, 현재까지 접수된 주문은 이들에 걸쳐 나누어진다. 주문제품 명칭에서 앞의 숫자는 리드 수를 의미한다. 리드 수를 기준하여 1일에는 256A와 256D, 그리고 2일에는 732C와 732F가 각각 한 그룹으로 구성되어 매일 총 4개의 그룹이 존재한다. 단계 5를 적용한 결과, 생산순서는 1일에 G2(230A)-G1(256A-256D)-G3(732A)-G4(208B), 2일에 G2(208B)-G3(256B)-G1(732C-732F)-G4(500Z)로 결정된다.

3.3 비병목공정의 인력 재배치

병목공정에 많은 비용이 소요되는 장비를 추가하는 대신, 조립라인의 마지막 3개 공정에서 인력을 재배치한다. 즉, 현재 비병목공정이며 가공능력에 여유가 있는 SBM과 SGN 공정에서 각각 2대와 1대의 기계가동을 중단하고 이로 인해 발생하는 각각 1명씩 총 2명의 유휴인력을 조립라인의 마지막 공정이며 기계를 사용하지 않는 EVI 검사공정에 할당하여 작업자 수를 22명으로 늘린다(표 1 참조). 작업시간의 변동성이 큰 수작업 검사공정에 대한 이러한 조치는 패키지 공정의 다품종 소량생산 특성에 기인하여 작지만 생산량의 증가를 초래할 가능성이 있다. SBM과 SGN 공정에서 기계대수의 감축은 부수적으로 경제적 효과를 기대할 수 있다.

4. 패키지 공정의 시물레이션 모델

패키지 공정의 생산량 증가 방안의 효과를 평가하기 위해 16가지 주요 공정으로 구성된 조립라인의 시물레이션 모델을 구축하였다. 패키지 공정은 장비와 작업자로 구성되어 있지만 기계중심의 조립라인이기 때문에 검사

표 4. 예제에서 단계 3과 4를 적용한 결과

일	그룹	주문제품	접수순서	납기일	주문량
1	G1	256A	1	2	6
		256D	5	2	4
	G2	230A	2	2	4
	G3	732A	9	2	8
	G4	208B	3	3	2
2	G1	732C	4	3	8
		732F	7	5	6
	G2	208B	6	3	2
	G3	256B	10	3	6
	G4	500Z	8	4	2

공정을 제외하고 각 공정에서 기계의 작업능력을 기준으로 모델을 구축하였다. 모델에서 한 교대동안 기계의 가동시간은 작업자의 식사시간과 근무 교대시간을 제외한 410분으로 정하였다. 고객 주문은 2007년 9월 하순에 접수된 실제 자료를 사용하였다. 그림 4는 당시 고객주문의 일부를 접수순서에 따라 리드 수, 납기일, 주문량을 정리한 내용을 보여준다.

제품별 공정별 개당 가공시간은 기계에 대한 능력지수인 UPMH(units per machine hour: 기계의 시간당 생산량) 자료를 환산하여 구한 평균(μ)과 표준편차(σ)의 정규분포를 따르는 것으로 가정하였다. 정규분포에 의한 비정상적인 가공시간의 발생을 방지하기 위해 $Max[0, \mu - 1.5\sigma]$ 의 하한과 $\mu + 1.5\sigma$ 의 상한을 설정하였다. 패키지 공정에서 제품별 공정별 가공시간이 상이하여 88가지 제품에 대한 16가지 공정에서의 가공시간을 위해 총 1,408개의 정규분포를 개별적으로 입력하였다. D/A와 W/B 공정에서 생산제품의 변경에 따른 준비시간은 선행 작업한 제품종류와 작업자의 숙련도에 따라 차이가 나지만, 실측에 의해 수집된 자료의 평균인 1.35시간으로 모두 동일한 것으로 가정하였다.

현실적 제약으로 인해 모든 공정에서 기계의 고장시간

과 수리시간 자료를 구할 수 없었다. 그래서 기계대수가 가장 많은 W/B 공정의 실제 자료를 토대로 고장시간과 수리시간의 확률분포를 유도하여, 이 분포를 나머지 다른 공정의 기계 고장과 수리에 동일하게 적용하였다. W/B 공정에서 기계의 고장시간 간격(MTBF)과 수리시간(MTTR)은 각각 $N(349\text{시간}, 26.8\text{시간})$ 과 $N(1.8\text{시간}, 0.5\text{시간})$ 의 정규분포를 따르는 것으로 나타났다. 수리시간은 기계고장에 따른 정지시간을 의미하며, 수리대기, 수리작업, 예방정비 등의 시간을 포함한다. 작업자에 의한 의도적인 기계정지는 모델에 포함하지 않았다.

Arena 10.0^[7]을 이용하여 구축한 시뮬레이션 모델은 그림 5와 같다. 모델에서 고객주문을 나타내는 개체는 B/G 공정에서부터 마지막 EVI 공정까지 해당 제품의 생산공정을 순차적으로 거치게 된다. 구축된 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하기 위해 2007년 9월 하순의 실제 주문 자료를 가지고 9일 동안 5회 반복 시뮬레이션을 실시하여 구한 평균 일일 생산량을 당시의 실제 평균값인 197,785개와 비교하였다. 시뮬레이션에서는 처음 4일 동안의 안정상태 진입기간과 마지막 1일을 제외한 나머지 4일 동안의 통계자료를 수집하여 평균 일일 생산량을 계산하였다. 5회 반복 시뮬레이션의 결과는 표 5에 정리되어

접수순서	리드수	납기일	주문량	접수순서	리드수	납기일	주문량	접수순서	리드수	납기일	주문량	접수순서	리드수	납기일	주문량
1	0772	07-10-7 6:00 AM	378	37	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	73	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	109	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
2	0312	07-10-4 6:00 AM	1440	38	0732	07-10-7 6:00 AM	1138	74	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	110	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
3	0312	07-10-4 6:00 AM	1496	39	0732	07-10-7 6:00 AM	1114	75	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	111	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
4	0312	07-10-4 6:00 AM	1440	40	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	76	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	112	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
5	0312	07-10-4 6:00 AM	1440	41	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	77	0384	07-10-7 6:00 AM	1046	113	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
6	0312	07-10-4 6:00 AM	1440	42	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	78	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	114	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
7	0312	07-10-4 6:00 AM	1440	43	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	79	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	115	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
8	0312	07-10-4 6:00 AM	1440	44	0732	07-10-7 6:00 AM	894	80	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	116	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
9	0312	07-10-4 6:00 AM	1440	45	0256	07-10-6 6:00 AM	622	81	0384	07-10-7 6:00 AM	303	117	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
10	0785	07-10-7 6:00 AM	1440	46	0732	07-10-7 6:00 AM	1152	82	0384	07-10-7 6:00 AM	289	118	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
11	0785	07-10-7 6:00 AM	457	47	0732	07-10-7 6:00 AM	1124	83	0384	07-10-7 6:00 AM	233	119	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
12	0732	07-10-7 6:00 AM	1274	48	0732	07-10-7 6:00 AM	1176	84	0384	07-10-7 6:00 AM	264	120	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
13	0456	07-10-5 6:00 AM	1440	49	0732	07-10-7 6:00 AM	1075	85	0384	07-10-7 6:00 AM	327	121	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
14	0456	07-10-5 6:00 AM	1440	50	0384	07-10-8 6:00 AM	295	86	0384	07-10-7 6:00 AM	320	122	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
15	0456	07-10-5 6:00 AM	1440	51	0272	07-10-8 6:00 AM	384	87	0384	07-10-7 6:00 AM	313	123	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
16	0456	07-10-5 6:00 AM	1440	52	0336	07-10-6 6:00 AM	2880	88	0384	07-10-7 6:00 AM	313	124	0324	07-10-7 6:00 AM	1447
17	0456	07-10-5 6:00 AM	1440	53	0336	07-10-6 6:00 AM	2880	89	0384	07-10-7 6:00 AM	307	125	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
18	0456	07-10-5 6:00 AM	1440	54	0336	07-10-6 6:00 AM	2864	90	0384	07-10-7 6:00 AM	290	126	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
19	0456	07-10-5 6:00 AM	654	55	0496	07-10-3 6:00 AM	1440	91	0384	07-10-7 6:00 AM	328	127	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
20	0732	07-10-7 6:00 AM	650	56	0496	07-10-3 6:00 AM	1440	92	0384	07-10-7 6:00 AM	317	128	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
21	0732	07-10-7 6:00 AM	642	57	0496	07-10-3 6:00 AM	1440	93	0384	07-10-7 6:00 AM	322	129	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
22	0256	07-10-6 6:00 AM	1634	58	0496	07-10-3 6:00 AM	1440	94	0676	07-10-4 6:00 AM	751	130	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
23	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	59	0496	07-10-3 6:00 AM	1280	95	0680	07-10-6 6:00 AM	1440	131	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
24	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	60	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	96	0680	07-10-6 6:00 AM	941	132	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
25	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	61	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	97	0680	07-10-6 6:00 AM	1440	133	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
26	0732	07-10-7 6:00 AM	1282	62	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	98	0680	07-10-6 6:00 AM	761	134	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
27	0732	07-10-7 6:00 AM	1242	63	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	99	0680	07-10-6 6:00 AM	1440	135	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
28	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	64	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	100	0680	07-10-6 6:00 AM	1440	136	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
29	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	65	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	101	0680	07-10-6 6:00 AM	1440	137	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
30	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	66	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	102	0680	07-10-6 6:00 AM	989	138	0324	07-10-7 6:00 AM	1440
31	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	67	0208	07-10-4 6:00 AM	981	103	0680	07-10-6 6:00 AM	1440	139	0272	07-10-7 6:00 AM	2880
32	0732	07-10-7 6:00 AM	1134	68	0208	07-10-4 6:00 AM	1440	104	0324	07-10-7 6:00 AM	1005	140	0272	07-10-7 6:00 AM	2737
33	0256	07-10-6 6:00 AM	568	69	0412	07-10-6 6:00 AM	1479	105	0324	07-10-7 6:00 AM	1440	141	0272	07-10-7 6:00 AM	2880
34	0256	07-10-6 6:00 AM	1636	70	0412	07-10-6 6:00 AM	504	106	0324	07-10-7 6:00 AM	1440	142	0272	07-10-7 6:00 AM	2880
35	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	71	0412	07-10-3 6:00 AM	1203	107	0324	07-10-7 6:00 AM	1440	143	0272	07-10-7 6:00 AM	2880
36	0256	07-10-6 6:00 AM	1440	72	0384	07-10-7 6:00 AM	1440	108	0324	07-10-7 6:00 AM	1440	144	0272	07-10-6 6:00 AM	3361

그림 4. 시뮬레이션에 사용된 2007년 9월 하순의 고객주문 자료

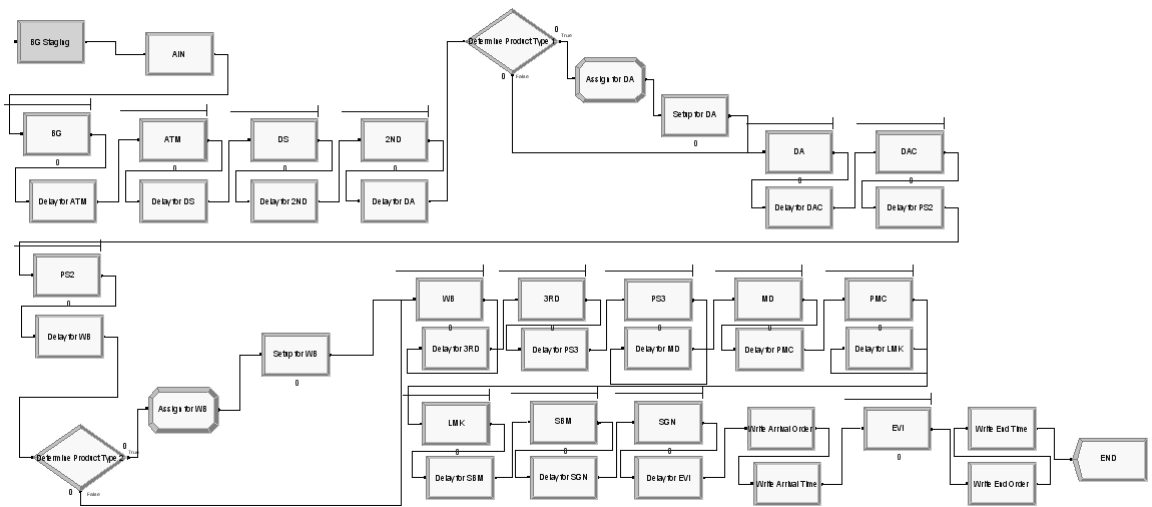


그림 5. 패키지 공정의 ARENA 시뮬레이션 모델

있다. $H_0: \mu=197,785$ 개 가설에 대해 $\alpha=0.05$ 로써 양측 t 검정을 실시한 결과, $|(\bar{x}-\mu)/(S/\sqrt{n})|=0.98 < t_{0.025,4}=2.78$ 에 따라 95% 신뢰수준으로써 시뮬레이션 모델이 타당한 것으로 나타났다.

5. 생산량 증가 방안의 평가

5.1 시뮬레이션 분석

패키지 공정의 생산량 증가를 위해 제안한 3가지 방안을 조합하여 7가지 제안시스템을 구성하였다. 방안 2의 그룹스케줄링 적용에서 ω 는 0.2로 설정하였다. 평가척도로는 일일 생산량과 납기위반율을 선정하였다. 납기위반율은 일정기간 동안 생산 완료된 주문 수에 대한 납기위반 주문 수의 비율이다. 2007년 9월 하순의 실제 주문 자료를 가지고 9일 동안 현재 및 7가지 제안시스템에 대해 5회씩 반복 시뮬레이션을 실시하여 안정상태 진입기간인 처음 4일 동안과 마지막 1일을 제외한 4일 동안 수집된 통계자료를 토대로 두 평가척도를 계산하였다. 시뮬레이션에 의해 구해진 현재 및 7가지 제안시스템의 평가척도 값이 현재시스템 평균값에 대한 증감 비율과 함께 표 6에 정리되어 있다.

각 제안시스템이 현재시스템과 비교하여 개선이 이루어졌는지를 평가하기 위해 일일 생산량에 대해서는 $H_0: \mu_i > \mu_0, i=1, \dots, 7$ 그리고 납기위반율에 대해서는 $H_0: \mu_i < \mu_0, i=1, \dots, 7$ 가설에 대해 각각 $\alpha=0.05$ 로써 t 검

표 5. 5회 반복 시뮬레이션의 결과

반복횟수	일일 생산량(개)	품목 수
1	195632	16
2	199982	16
3	191776	16
4	201622	17
5	185870	15
평균(\bar{x})	194976	16
표준편차(S)	6380	-

정을 실시하였다. 그 결과, 일일 생산량의 경우는 제안시스템 3 그리고 납기위반율의 경우는 제안시스템 1과 5를 제외한 나머지 제안시스템들에서 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 두 평가척도 모두에서 가장 뛰어난 개선효과를 보인 제안시스템 7과 4의 차에 대한 95% 신뢰구간은 각각 [1390, 4459]와 [-0.1, 0.46]으로 구해져, 제안시스템 7의 일일 생산량은 제안시스템 4 보다 더 크지만 납기위반율의 신뢰구간은 영을 포함하여 두 제안시스템이 차이가 없는 것으로 나타났다. 그림 6은 모든 시스템들에 대해 두 평가척도 값의 95% 신뢰구간을 보여준다.

표 6에서 알 수 있듯이, 모든 제안시스템에서 일일 생산량은 평균 납기위반율 13% 이내에서 현재시스템 보다 증가하였다. 현재시스템과 비교하여 3가지 방안을 모두 포함하는 제안시스템 7에서 가장 높은 17.3%의 일일 생산량 증가와 2.8%의 납기위반율 감소를 보였다. 종합적

표 6. 현재 및 7가지 제안시스템에 대한 두 평가척도의 시물레이션 결과 값

시스템	평가척도	반복 1	반복 2	반복 3	반복 4	반복 5	평균	증감
현재	일일생산량(개)	195632	199982	191776	201622	185870	194976	-
	납기위반율(%)	10.99	10.75	10.25	10.66	9.96	10.52	-
제안 1(방안 1)	일일생산량(개)	212248	210207	210238	215205	212232	212026	▲8.74%
	납기위반율(%)	11.41	11.27	10.99	13.32	13.44	12.09	▲1.56%
제안 2(방안 2)	일일생산량(개)	206677	205608	210381	206773	204366	206761	▲6.04%
	납기위반율(%)	8.52	13.13	8.37	8.95	8.61	9.52	▼1.01%
제안 3(방안 3)	일일생산량(개)	194189	198699	199855	203552	184160	196091	▲0.57%
	납기위반율(%)	11.07	10.51	10.76	10.07	9.15	10.31	▼0.21%
제안 4(방안 1+2)	일일생산량(개)	224293	224408	231239	227955	220586	225696	▲15.76%
	납기위반율(%)	7.85	8.25	7.61	7.72	7.98	7.88	▼2.64%
제안 5(방안 1+3)	일일생산량(개)	213277	210085	218915	214831	213976	214217	▲9.87%
	납기위반율(%)	13.22	10.55	10.93	13.77	13.03	12.30	▲1.78%
제안 6(방안 2+3)	일일생산량(개)	206111	206924	207489	206244	210600	207474	▲6.41%
	납기위반율(%)	8.54	12.32	8.48	8.53	8.36	9.25	▼1.28%
제안 7(방안 1+2+3)	일일생산량(개)	226656	229352	234474	229829	222793	228621	▲17.26%
	납기위반율(%)	7.77	7.67	7.51	7.66	7.90	7.70	▼2.82%

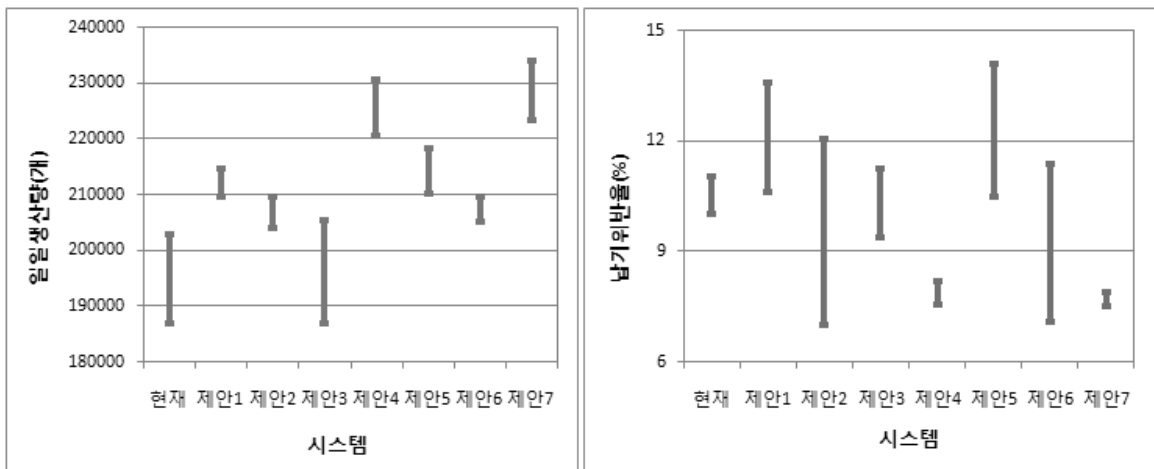


그림 6. 시스템들의 평가척도 결과 값의 95% 신뢰구간

으로, 두 평가척도에 가장 효과가 큰 대안으로는 제안시스템 7 그리고 다음으로는 방안 1과 2를 혼합한 제안시스템 4로 나타났다. 병목공정의 인력을 재배치하는 방안 3만을 적용하는 제안시스템 3은 두 평가척도에 효과가 가장 작은 것으로 나타났다.

병목공정에 장비를 추가하는 방안 1과 그룹스케줄링을 적용하는 방안 2는 각각 생산량 증가에 효과적이며, 두 방안을 함께 적용하는 제안시스템 4와 7에서는 생산량 증

가와 납기위반율 감소에 작지만 시너지 효과가 발생하였다. 그러나 방안 1이 포함된 제안시스템 1과 5에서 납기위반율은 오히려 각각 1.6%와 1.8% 소폭 상승하였다. 이것은 W/B 공정에 기계추가는 병목현상을 완화시켜 줌으로써 제품들의 대기시간을 크게 줄여 일일 생산량의 증가에 기여하지만, 3RD와 같은 후속공정에서 현재시스템에서와 다른 순서로 제품들이 작업을 받게 되어 납기가 촉박한 여러 주문들의 작업순서가 뒤로 밀리는 경우는 납기위

표 7. 제안시스템 1, 4, 5, 7의 투자회수기간

제안시스템	일일 생산량 증가율(%)	일일 생산량 증가(개)	연간 생산량 증가(개)	연간 이익 증가(\$)	투자회수 기간(년)
1(방안 1)	8.74	17050	6223250	1244650	2.70
4(방안 1+2)	15.76	30720	11212800	2242560	1.50
5(방안 1+3)	9.87	19241	7022965	1404593	2.39
7(방안 1+2+3)	17.26	33645	12280425	2456085	1.37

반율이 현재시스템과 비교하여 증가할 수도 있기 때문인 것으로 보인다. 시뮬레이션에서 제안시스템 1과 5의 경우 3RD 공정에서 WIP가 대략 2~6% 증가하였다. 비록 방안 1을 포함하는 것이 생산량 증가에 매우 효과적이지만 막대한 기계 구입비용을 필요로 한다는 사실에 비추어, 비용이 거의 발생하지 않는 방안 2와 3으로 구성된 제안시스템 6이 더 매력적일 수 있다.

5.2 경제성 분석

생산량 증가를 위한 3가지 방안 중에서 W/B 공정에 48대의 기계를 추가하는 방안 1은 기계구입에 따른 막대한 비용이 소요된다. 따라서 방안 1을 포함하는 제안시스템 1, 4, 5, 7에 대해서는 경제적 분석이 필요하다. 단, 방안 2와 3은 초기 투자비가 미미하므로 이들 제안시스템의 초기 투자비로는 방안 1의 적용에 따른 기계 구입비만을 고려한다. 경제성 분석의 척도로는 초기 투자비를 연간 이익의 증가액으로 나누어 구한 투자회수기간 (payback period)을 사용한다. 제안시스템의 이익 증가는 현재시스템에 대해 증가된 생산량에 의해 실현된다. W/B 공정에서 기계 추가에 따른 장비 운영비의 증가는 무시한다.

총 기계구입비는 W/B 공정의 대당 기계가격인 \$70,000에 추가 대수인 48대를 곱함으로써 \$3,360,000로 구해진다. 연간 이익 증가액은 연간 생산량 증가분에 대당 가중평균 이익을 곱하여 계산한다. 회사의 협조 하에 수집한 2007년 하순 2개월 동안 28가지 대표 제품 각각의 대당 평균 이익에 동일한 기간 동안 각 제품의 생산수량에 비례한 가중치를 곱한 후 합함으로써 대당 가중평균 이익은 \$0.2로 구해진다. 이 수치는 회사의 요구에 따라 제품들의 대당 이익을 임의로 약간씩 수정하여 계산된 값임을 알려둔다.

표 6의 자료를 토대로 계산된 제안시스템 1, 4, 5, 7의 투자회수기간은 표 7에서와 같이 각각 2.7년, 1.5년, 2.39년, 1.37년으로 구해졌다. 일반적으로, 회수기간이 3년 미만인 투자계획은 매력적인 것으로 간주되고 있다. 4가지

제안시스템 중에서 방안 1만을 포함하는 제안시스템 1의 회수기간이 2.7년으로 가장 길고, 3가지 방안을 모두 포함하는 제안시스템 7의 회수기간이 1.37년으로 가장 짧다. 제안시스템 1과 비교하여 제안시스템 4와 7의 회수기간은 거의 반으로 단축된다. 이것은 두 제안시스템에서 그룹스케줄링에 의해 생산량이 추가로 크게 늘어난 때문이다. 여기서 구해진 투자회수기간은 실제로 고객이 주문하는 제품의 종류와 수량 그리고 대당 이익에 따라 달라질 수 있다.

비병목공정에 인력을 재배치하는 방안 3에 의하면, SBM과 SGN 공정의 인력이 각각 한 명씩 EVI 공정으로 이동함에 따라 두 공정에서 총 3대의 기계 가동이 중단된다. 3대의 가동 중단은 실제로 장비 비용을 줄여 방안 3을 포함하는 제안시스템의 이익을 증가시키겠지만, 연간 절약되는 비용을 정확히 산정하기 어려워 분석에서 제외하였다. 이것은 제안시스템 5와 7의 투자회수기간이 더 단축될 수 있음을 의미한다.

방안 2와 3을 혼합 적용하는 제안시스템 6에서 6.41%의 일일 생산량 증가율은 연간 \$912,354의 이익 증가에 해당된다. \$3,360,000의 막대한 초기 투자를 필요로 하는 방안 1을 포함하는 제안시스템들과 비교하여 투자비가 거의 소요되지 않는 제안시스템 6은 매우 매력적인 대안임이 분명하다.

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 국내 K 반도체 회사의 패키지 공정에 대해 공정분석을 토대로 생산량 증가를 위한 3가지 방안을 제안하고, 실제 자료를 이용한 시뮬레이션 연구를 통해 이들의 효과를 평가하는 사례연구를 수행하였다. 3가지 방안은 첫째, 병목공정인 W/B 공정에 기계 추가에 의한 라인균형, 둘째, 리드 수를 기준으로 한 제품군별 생산스케줄링, 셋째, 비병목공정인 SBM과 SGN 공정에서 일부 기계의 가동중단에 의한 유휴인력의 EVI 공정에 재배

치이다. 현재시스템과 3가지 방안을 조합하여 구성된 7가지 제안시스템을 시뮬레이션을 이용해 비교 분석한 결과는 다음과 같이 정리된다.

- (1) 모든 제안시스템은 평균 납기위반을 상한인 13% 이내에서 일일 생산량을 증가시켰다.
- (2) 그룹스케줄링의 적용은 생산량 증가와 납기위반을 감소에 모두 효과적이었으며, 비병목공정의 인력 재배치와 혼합 적용하는 경우에는 6.41%의 일일 생산량 증가와 1.28%의 납기위반을 감소를 보였다. 이것은 초기 투자비의 발생 없이 연간 \$912,354 이익 증가에 해당된다.
- (3) 비병목공정의 인력 재배치는 1.6%의 생산량 증가와 0.61%의 납기위반을 감소로 그 효과가 미미했다.
- (4) 3가지 방안을 혼합 적용하는 경우에 17.3%의 일일 생산량 증가와 2.8%의 납기위반 감소로 가장 뛰어난 효과를 보였다. 이것은 연간 \$2,456,085 이익 증가에 해당되나, 병목공정인 W/B 공정에 48대의 기계 증설을 위해 \$3,360,000의 초기 투자비가 발생한다.
- (5) W/B 공정에 기계 추가를 포함하는 모든 제안시스템의 투자회수기간은 3년 미만으로, 3가지 방안을 혼합 적용하는 경우의 투자회수기간은 1.37년으로 가장 짧게 구해졌다.

패키지 공정의 시뮬레이션 모델에서 각종 부품의 흐름을 배제하고 공정별 기계고장 및 수리에 대한 정확한 자료수집의 어려움으로 인해 모든 공정의 기계고장 및 수리 시간을 W/B 공정과 동일하게 가정하였다. 또한, 패키지 공정이 기계중심의 조립라인 형태이지만 일부 공정에서는 작업자가 주도적인 역할을 수행하고 있음에도 불구하고 이러한 사실을 모델에 반영하지 않았다. 추후, 이러한 미비점을 보완하여 보다 정확한 시뮬레이션 모델구축이 필요하다. 본 사례연구의 결과를 토대로, 저자들은 K 반도체 회사의 패키지 공정에 먼저 그룹스케줄링을 적용하여 효과를 확인한 다음, W/B 공정에 추가 기계를 도입하는 단계적 추진전략을 제안한다. 본 연구결과가 K 반도체

회사에 실제 적용되어 생산량 증가와 납기위반의 감소에 큰 공헌을 할 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

1. 이영훈, “반도체산업의 생산관리 연구의 동향,” 한국생산관리학회지, 11(3), pp. 85-110, 2001년.
2. 한상찬, 생산계획 및 통제론, 청문각, 2007년
3. Arnold, J.R. and Chapman, S.N., Introduction to Material Management, 4th ed, Prentice Hall, 2001.
4. Brown, S., Donaschke, J. and Leibl, F., “No Cost Applications for Assembly Cycle Time Reductions,” Proc. of the 1999 International Conference on Semiconductor Manufacturing Operational Modeling and Simulation, pp. 62-66, 1999.
5. Gupta, A.K. and Sivakumar, A.I., “Controlling Delivery Performance in Semiconductor Manufacturing Using Look Ahead Batching,” International Journal of Production Research, vol. 45, no. 3, pp. 591-613, 2007.
6. Hitomi, K., “A Comment on Group Scheduling in Flexible Flowshop,” International Journal of Production Economics, vol.105, no.1, pp. 297-306, 2007.
7. Kelton, W., Sadowski, R., and Sturrock, D., Simulation with Arena, 4th ed., McGraw-Hill, New York, USA, 2007.
8. Knutson, K., Jempf, K., Flwler, J., and Carlyle, M., “Lot-to-order Matching for a Semiconductor Assembly and Test Facility,” IIE Transactions, vol.31, no.11, pp. 1103-1111, 1999.
9. Wu, M-C and Hung, T-U, “A Hit-rate Based Dispatching Rule for Semiconductor Manufacturing,” International Journal of Industrial Engineering, vol.15, no.1, pp. 73-82, 2008.
10. Yin, X., Chua, T., Wang, F., Liu, M., Cai, T., Yan, W., Chong, C., Zhu, J., and Lam, M., “A Rule-based Heuristic Finite Capacity Scheduling System for Semiconductor Backend Assembly,” International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol.17, no.8, pp. 733-749, 2004.
11. Zhang, H., Jiang, Z., and Guo, C., “An Optimized Dynamic Bottleneck Dispatching Policy for Semiconductor Wafer Fabrication,” International Journal of Production Research, iFirst(online publication), pp. 1-11, March 2008.



채 종 인 (jich@khu.ac.kr)

2007 경희대학교 산업공학과 학사
2009 경희대학교 산업공학과 석사
2009~현재 CJ GLS

관심분야 : 생산관리, 모델링&시뮬레이션,



박 양 병 (ybpark@khu.ac.kr)

1978 한양대학교 산업공학과 학사
1981 Pennsylvania State University 산업공학과 석사
1984 Oklahoma State University 산업공학과 박사
1984~1985 Northeastern University 산업 및 정보공학과 조교수
1985~현재 경희대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : 물류/SCM, 모델링&시뮬레이션