한국시뮬레이션학회 논문지
Vol. 20, No. 3, pp. 49-58 (2011. 9)

반도체부품 생산공정 자원의 부하 측정방법 비교분석 사례연구

김동수[1] · 문덕희[1†]

A Case Study of Comparing the Measuring Methods for Workloads of Resources in a Manufacturing Processes of Semiconductor-Parts

Dong Soo Kim · Dug Hee Moon

ABSTRACT

The workloads of facilities and laborers are important for the capacity planning in a factory. They are always referenced whenever a factory develops a new product, increases the production quantity and makes a plan of new investment. There are many measuring methods for estimating the workload effectiveness of facilities and laborers. In this paper, various measuring methods including survey, work sampling, micro-motion study, data gathering from ERP system and simulation, are analyzed for comparing the accuracy of workload. This case study is conducted in a Korean company that produces semiconductor parts like leadframe and packaging substrate.

Key words : Semiconductor process, Workload effectiveness, Measuring methods, Simulation

요 약

설비나 작업자에 대한 부하효율은 제조공장에서 생산용량계획을 수립하는데 중요한 정보다. 즉 공장에서 신제품을 개발하거나, 생산량을 증가시킬 경우, 새로운 투자계획을 수립할 경우에도 항상 설비나 작업자에 대한 부하효율을 검토한다. 이러한 부하효율을 추정하기 위해서 다양한 측정방법이 사용된다. 본 본문에서는 설문조사, 순간관측법, 동영상 촬영을 이용한 미세동작연구방법, ERP시스템에서 자료를 취득하는 방법, 시뮬레이션방법 등 다양한 측정방법의 정확성에 대해 실제 사례를 이용해 비교분석하였다. 본 사례연구는 리드프레임이나 패키징용 부품을 생산하는 국내 반도체부품 생산공장을 대상으로 수행하였다.

주요어 : 반도체 공정, 부하효율, 측정방법론, 시뮬레이션

1. 서 론

최근 고객의 요구사항이 다양해짐에 따라 기업에서는 다품종소량생산이 일반화 되어 있다. 반도체 공정라인의 경우에도 생산제품의 종류가 수 백 종류에 달하고 있으며, 공정경로도 서로 다르다. 특히 반도체 생산라인의 경우 설비투자비용이 큰 반면 제품의 수명주기는 짧기 때문에 설비에 대한 투자결정이 신속하면서도 신중하게 이루어져야 한다. 투자결정을 하기 위해서는 기본적으로 기존 자원이 어느 정도 활용되고 있는 지에 대한 분석이 선행되어야 한다. 설비 및 작업자의 부하는 설비투자, 작업자 근무형태(Shift) 운영 뿐 아니라 타 공정 및 전체적인 생산성에도 커다란 영향을 미치므로 적정한 부하를 어느 수준에서 결정해야 할 것인지가 중요한 의사결정사항으로 대두되고 있다.

작업자나 설비의 부하를 관리하기 위한 지표는 다양하다. 그림 1은 일반적으로 제조기업에서 활용되고 있는 설비부하 관리지표의 사례다[9,17]. 이 지표에 대한 용어 및 정의는 기업마다 다소 차이가 있다. 설비의 부하효율을 관리하기 위한 가장 대표적인 지표의 하나가 식 (1)에 제시된 설비종합효율(OEE : Overall Equipment Effectiveness)이다. OEE는 Nakajima[11]가 처음 제시한 평가지표로 “설비의 운영시간, 생산속도, 양품률 등을 종합하여 설비가 부가가치를 만들어 내는데 얼마나 공헌하고 있는가를 나

접수일(2011년 5월 5일), 심사일(1차 : 2011년 8월 1일, 2차 : 2011년 8월 30일), 게재 확정일(2011년 8월 30일)
[1] 창원대학교 산업시스템공학과
주 저 자 : 김동수
교신저자 : 문덕희
E-mail; dhmoon@changwon.ac.kr

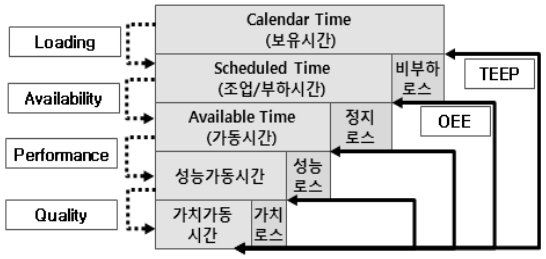


그림 1. 설비의 부하 평가 지표

타내는 설비의 유효활용 비율"로 정의한다. 반면에 총설비능력효율(TEEP : Total Effective Equipment Performance)이란 식 (6)과 같이 총 보유시간에 대한 가치가동시간의 비율을 의미한다.

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (1)$$

$$Loading = \frac{Scheduled\ Time}{Calendar\ Time} \quad (2)$$

$$Availability = \frac{Available\ Time}{Scheduled\ Time} \quad (3)$$

$$Performance = \frac{Parts\ Produced \times Ideal\ Cycle\ Time}{Available\ Time} \quad (4)$$

$$Quality = \frac{Good\ Units}{Units\ Started} \quad (5)$$

$$TEEP = Loading \times OEE \quad (6)$$

- Calendar Time(보유시간) : 1년 365일, 1일 24시간을 기준으로 설비가 활용될 수 있는 총시간을 의미한다.
- Scheduled Time(조업, 혹은 부하시간) : Calendar Time에서 휴일(공휴일 포함)을 빼고, 근무일 기준에서 식사시간, 휴식시간 등을 뺀 실제로 생산계획에 반영하는 시간이다(이러한 시간을 비부하로스라고 하며, 정기적인 전면정비(Overhaul) 시간 등도 포함시키는 경우가 있다). 회사마다 차이가 나지만 1일 3교대를 하는 경우 주간교대의 점심식사시간은 Scheduled Time에서 빠지고, 2,3교대에 대한 식사시간은 Scheduled Time에 포함되는 경우가 많다. 자동화설비의 경우 작업자가 식사, 휴식 중에도 설비가 가동된다면 Scheduled Time에 포함시켜야 한다.
- Available Time(가동시간) : Scheduled Time에서 정지로스시간(장비고장으로 인한 정지, 기종변경으로 인한 정지(Setup Change)시간, 자재품절, 10분 이상의 설비 비가동 등)을 뺀 실제 제품 생산에 활용된 시간이다. 물론 기종변경시간도 제품생산에 필요한 시간이기는 하지만 기종변경을 낭비로 보는 관점에 따라 Available Time에 포함시키지 않는 것이 관례다. 일반적으로 순간정지의 기준은 회사별로 10분, 5분, 3분 등으로 정의하고 있는데 본 논문에서는 10분으로 정의하였다.
- 성능로스(Loss) : 불량품을 포함한 총 생산투입량에 대해 실제 소요된 시간에서 이론적 소요시간을 뺀 것으로 순간정지, 공정불균형 대기, 공운전, 속도저하시간 등이 포함된다.
- 가치로스 : 불량품을 만드는데 소요된 시간이다.

Huang 등은[7] OEE의 개념을 반도체 공정에 적용시켜 시뮬레이션 모델을 이용하여 실시간으로 설비효율을 계산하는 연구를 수행하였다. 당초 OEE는 단일 설비에 대해 설비효율을 계산하기 위한 목적으로 개발되었다. 하지만 OEE가 생산현장에 본격적으로 적용되기 시작하면서 보유시간, 부하시간, 낭비 유형에 따른 포함범위 등에 대한 정의에 논란이 생겼으며, 다양한 주장들이 전개되었다[13,14].

또한 한 대의 설비가 아닌 생산라인 전체에 대한 OEE를 어떻게 정의하느냐가 새로운 연구주제로 대두되었다. Braglia 등[6]은 자동차공장에서 엔진을 생산하는 흐름라인에 대해 OEE 지표를 변환한 OEEML(Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line) 지표를 새롭게 제시하였다. 이 지표에서는 라인의 첫 번째 기계와 마지막 기계의 개별 지표들을 이용하여 라인의 지표값을 계산하였다.

OEE지표를 현장관리에 적용하면서 발생한 또 다른 문제는 신뢰성 있는 데이터를 어떻게 확보하는 가에 대한 것이다. 가장 단순한 방법은 작업자가 생산량과 작업시간 등을 일일이 기록하는 것이지만 매우 비효율적이고 정확도에서도 떨어진다. 따라서 ADC(Automated Data Correction) 장비를 이용해 자동으로 데이터를 수집하는 방법이 보편화 되고 있다. 동시에 이렇게 수집된 데이터는 ERP 시스템과 연동되어 관리한다. Wang 등은[15] ACD 시스템을 사용했을 때 낭비시간을 요인별로 파악할 수 있는 정확도가 증가하여 낭비 절감에 도움이 된다는 주장을 하였다.

국내 유수 기업인 S사에서는 그림 1에서 성능로스 부분을 두 가지로 세분화 하여 총 6단계로 정의하고 있다. 하지만 이러한 지표들은 생산현장의 개선 목표를 설정하

기 위해서 사용하는 것은 타당하겠지만 신규 설비투자를 검토하기 위해서 사용하는 것은 맞지 않는다. 그 이유는 실제 생산현장에서 필연적으로 발생하는 각종 고장, 대기 등 정지요인들과 작업자의 숙련도에 따른 Cycle Time 준수가능성 등이 고려되지 않기 때문이다. 또한 OEE를 사용하는 경우에는 불량품 생산에 소요되는 자원이 제외되므로 OEE 값이 작아지는 특성이 있다. 이와 같은 이유로 인하여 일반적으로 기업에서는 OEE 지표가 85% 정도가 되는 것을 목표로 하고 있다[9].

국내A사의 반도체부품 제조라인의 경우 2008년도 기준으로 투자규모가 80% 이상 증가했으며, 연간 40여회의 Layout 변경이 이루어 졌다. 그러나 투자 적절성 검증 부족으로 OEE가 10% 미만인 설비가 전체의 24%를 차지하여 과잉투자 및 유휴설비가 증가한 바 있다. 그 주요 원인은 자원의 수요부서에서 잘못된 지표를 사용하여 소요제기를 하는 경우가 많기 때문에 의사결정에 오류가 발생하는 경우가 빈번했기 때문인 것으로 추측한다.

기업에서 대형 설비투자 수요가 발생할 경우에는 시뮬레이션을 이용하여 사전 검증을 하는 것이 필요하다. 하지만 국내 대부분의 기업에서 아직까지도 시뮬레이션의 활용은 제한적으로 이루어지고 있다. 특히 투자에 대한 결정 시한이 충분하지 않고, 대형투자가 아닌 경우에는 시뮬레이션에 의한 검증보다는 단순한 자원의 가동율(Utilization), 설비종합효율(OEE) 등을 검토하여 투자를 결정하는 경우가 많다. 이 과정에서 자원에 대한 관리지표를 잘 못 이해하여 그릇된 의사결정을 내리는 경우가 빈번하게 발생한다.

시뮬레이션을 하는 경우 자원에 대한 상태 구분은 Busy, Failure, Idle 등으로 구분된다. 물론 시뮬레이션 모델을 만드는 과정에서 보다 상세한 상태 정의를 할 수도 있다. 일반적으로 시뮬레이션 모델을 할 때 공정수행에 소요되는 시간은 Busy 상태에 포함된다. 이 때 설비라는 자원에 대한 공정소요시간은 표준시간(Standard Time)을 적용하는 것이 일반적이다. 반면에 기종교체(Setup Change), 공구교체(Tool Exchange) 등은 Busy 상태에 포함시킬 수도 있고 아니면 Failure 상태에 포함시킬 수도 있다. 만일 기종교체, 공구교체, 장비고장 등 모든 것을 유실(Loss)로 처리한다면 시뮬레이션의 결과로 제시되는 설비의 성능가동효율(Performance Utilization)은 식 (7)과 같이 정의할 수 있다. 즉 성능가동효율은 OEE에서 Quality 의 영향을 제외한 것이 된다.

$$\text{설비성능가동효율} = \frac{\text{성능가동시간}}{\text{조업시간}} = Availability \times Performance \quad (7)$$

본 연구의 대상공정처럼 설비가 대부분 자동화 되어 있어 한 사람의 작업자가 여러 대의 기계를 관리하는 경우에는 작업자 작업내용이 공구교체, 기종교체, 생산로트 교체, 이상조치 등이다. 하지만 이러한 작업자 시간에 대해 많은 기업에서 표준시간 관리가 제대로 수행되지 않는 것이 현실이다. 따라서 ERP에서 유실로 관리하고 있는 작업내용은 주로 설비관련 유실에 대해서 집계 되고 있다.

반도체공정에 대한 연구는 몇 가지 분야로 구분된다. 첫 번째는 공정의 Capacity Planning 관련된 분야다[3,4,10]. 두 번째는 반도체 공정의 물류시스템 운영에 대한 분야다[1,2]. 이 분야는 Capacity Planning 분야와 일부 중복되는 경우가 있다. 세 번째는 반도체 공정의 Scheduling에 관련된 분야다[16]. 네 번째 분야는 품질 및 수율에 대한 분야다. 이 중에서 처음 두 개 분야는 설비 및 작업자 부하분석과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며, 문제의 복잡성 때문에 대부분이 시뮬레이션을 이용한 분석을 하고 있다. 하지만 시뮬레이션 연구의 경우 자원 효율에 대한 분석결과의 타당성에 대한 설명은 거의 되어 있지 않다.

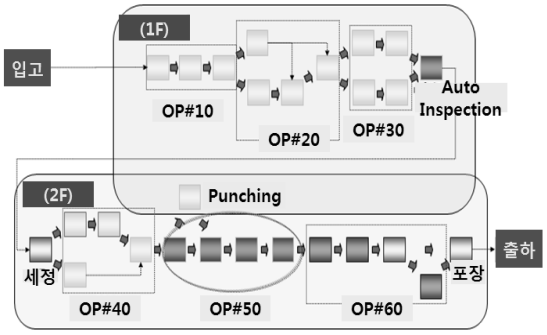
본 연구에서는 반도체 공정 제조라인의 최적화를 위해서 자원에 대한 다양한 부하 분석방법과 각 방법론에 의한 측정결과를 비교해 보고자 한다. 그 이유는 동일한 자원에 대해 관리부서마다 서로 다른 분석방법을 사용하고 있고, 이에 따라 서로 다른 부하효율의 지표를 제시하고 있기 때문이다. 그 결과 잉여 자원이 있음에도 불구하고 새로운 자원의 투입결정으로 많은 손실이 발생하고 있기 때문이다. 특히 작업자에 대한 부하지표는 설비에 대한 부하지표에 비하여 작업현장에서 잘 파악이 되고 있지 않으며, ERP 시스템에서조차 거의 관리가 되고 있지 않기 때문에 본 연구에서는 국내 A사에서 분석하고 있는 방법론을 토대로 순간관측, 동영상분석 등 다양한 분석방법을 사용하여 실험을 하였다.

자원의 신규투자에 대한 검토를 하는 최선의 방법이 시뮬레이션이다. 하지만 시뮬레이션의 가장 큰 한계는 입력데이터가 정확하지 못할 경우에 시뮬레이션의 결과에 대한 신뢰성에 문제가 생긴다는 것이다. 따라서 자원에 대한 다양한 부하지표 측정방법의 실험결과와 시뮬레이션의 실험결과를 비교하여 어느 정도의 오차가 발생하는지도 비교해 보고자 한다. 2절에서는 본 연구의 대상공정에 대해 소개하였, 3절에서는 설비와 작업장에 대해 본 연구에서 사용한 측정방법들에 대해 소개하였다. 4절에서는 각 측정방법론의 차이를 분석한 내용을 설명하였고, 5절에서 결론과 논의사항에 대해 언급하였다.

2. 연구대상 공정

본 연구에서 실험대상공정은 그림 2와 같은 국내 A사의 반도체부품 제조공정을 대상으로 하였다. 해당 공정은 건물의 1층과 2층에 배치되어 있는데 세부적인 공정의 기능은 다음과 같다.

- OP#10(노광) : 포토레지스터가 코팅된 원소재 표면에 원하는 형상을 형성.
- OP#20(에칭) : 소재를 식각하여 원하는 형상으로 완성하는 공정으로 포토레지스터막을 원소재에서 분리.
- OP#30(도금) : 리드프레임에 와이어본딩(Wire Bonding)을 할 수 있도록 은(Ag)를 도금.
- OP#40(스크린인쇄) : 제품의 고유특성을 인식할 수 있도록 제품 번호를 표시.
- OP#50(OS) : Open 및 Short불량을 Test Probe 및 Open Sensor와 Tool을 이용하여 전기적 검사로 검출.



OP#10 (노광), OP#20 (에칭), OP#30 (도금)
OP#40 (스크린인쇄), OP#50 (OS), OP#60 (육안검사)

그림 2. 국내 A사 공정 개요

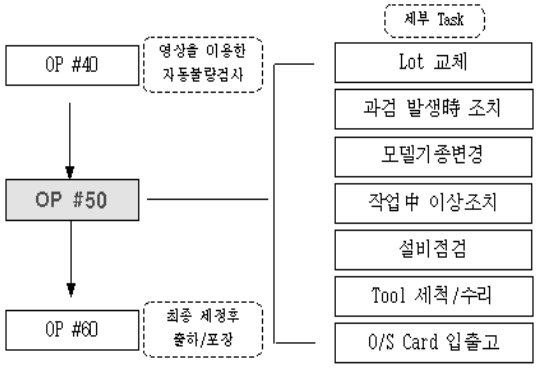


그림 3. OP#50 공정 작업자 주요 직무 내용

- OP#60(육안검사) : 리드프레임 표면의 비정상적인 에칭에 의한 파임, 관통구멍, 미성형 상태를 검사.

본 연구의 대상은 제조공정 중 대표적 애로(Bottleneck) 공정인 OP #50 공정으로, 이 공정이 자원의 추가 설치에 대한 소요가 제기되었던 공정이다. OP #50 공정은 OS(Open / Short) 검사공정으로 제품의 Lead에 일정전류를 걸어주어 제품 Pattern 내부의 Open 및 Short불량을 Test Probe 및 Open Sensor와 Tool을 이용하여 전기적 검사로 검출해내는 공정이다. 이 공정은 51대의 장비를 작업자 3명이 담당하고 있다. 작업자는 주작업자 1명과 보조작업자 2명으로 구성된다. 그림 3은 OP#50 공정에서 작업자가 수행하는 주요 세부 작업의 내용이다. 보다 상세한 작업자 작업은 표 2에 예시되어 있다.

3. 실험설계

작업자 및 설비에 대한 부하지표(본 논문에서는 식 (7)의 가동율을 대표적인 지표로 사용한다) 계산에 대한 정보를 얻는 방법은 여러 가지가 있을 수 있겠지만 본 연구에서는 작업자들이 스스로 느끼는 설문조사법, 순간관측법(Work Sampling), ERP 시스템의 결과를 활용하는 법, 작업내용을 촬영하여 분석하는 방법(Micro Motion Study), 시뮬레이션의 결과를 이용하는 방법 등을 비교하고자 한다.

자원은 작업자와 설비로 구분할 수 있는데 표 1에 제시된 바와 같이 설비에 대해서는 순간관측방법과 ERP 시스템의 자료에 대한 분석을 실시하였으며, 작업자에 대해서는 설문조사방법, 순간관측방법, 동영상분석방법을 적용하였다.

3.1 설문조사

설문조사는 작업자 스스로가 자신의 작업부하가 어느 정도 된다고 생각하는 지 알아보기 위하여 실시하였다. 표 2는 작업자에게 배포한 작업내용의 일부 항목이다. 작업자는 해당 공정에서 근무하는 3명을 임의로 선정하여 본인이 수행한 동작행위에 대한 시간과 횟수를 기입하게 하였다.

표 1. 자원별 가동율 추정을 위한 분석방법

구분		설문조사	순간관측	동영상분석	ERP 시스템
대상	설비		O		O
	작업자	O	O	O	

표 2. 작업자별 설문 분석항목의 일부(단위:sec)

항목	동작행위	작업자 1			작업자2			작업자3		
		소요시간	횟수	총시간	소요시간	횟수	총시간	소요시간	횟수	총시간
Lot교체	이 동	10	15LOT	150	10	15LOT	150	10	10LOT	100
	Error 제거, 재 시작 후 완료 대기	10		150	10		150	10		100
	End 검사 List Punch 까지 확인, 검사 완료 Data 전송	60		900	60		900	80		800
	Last Lead Spacer 처리, Reel 탈착	25		375	25		375	25		250
	Feeding 및 Dancer Roller(상,하 8개소), Open Sensor 세척	30		450	30		450	50		500
	차기 Lot 장착 및 연결 작업.	60		900	60		900	50		500
	설비 P/G에 Lot No 및 작업자명 기입	20		300	20		300	10		100
	Sensor , Card Pin 위치 확인 후 Reject Punch 위치까지 작업 실시 후 확인	90		1,350	120		1,800	140		1,400
	종료 Lot 들고 POP 단말기 앞으로 이동	10		150	10		150	10		100
	Lot Card 기록 및 POP 단말기 입력,SBL 확인	60		900	60		900	60		600
	종료 Lot 들고 V/I 투입 대기 적치대 이동 적재 후 귀가	10		150	10		150	10		100
	장비 Stop, Tension풀고 PI Dent,Bent 검사, Setting 후 작업 진행 Punch 위치확인	60		900	60		900	50		500
과검조치	이 동	10	20회	200	10	20회	200	10	20회	200
	모니터 이상 상태 확인, Card Open, 붓 세척 3~5회, Card Close, 검사 시작	40		800	40		800	40		800
	정상 작업 상태 확인(5~10회 작업 진행 상태)	40		800	40		800	40		800

3.2 순간관측(Work Sampling)

순간관측법은 1934년 Tippet에 의해 제안된 방법으로 연구대상이 여럿이거나 대상작업이 불규칙적이고 비반복적인 경우에 있어서 여유율, 가동율 등을 분석할 때 효과적으로 사용할 수 있는 방법이다[5].

총 51대의 설비와 3명의 작업자에 대해 순간관측을 실시하였는데 관측자 3명이 각각 작업자 1명을 담당하여 관측하였으며, 설비의 경우에는 다른 1명의 관측자가 관측을 실시하였다. 본 관측을 수행하기 전에 1주일간 사전관측을 실시하여 관측오류의 가능성을 최소로 한 후 본 관측을 수행하였다.

본 관측은 2일간 수행하였는데, 오전과 오후에 각각 10회씩 임의로 시간을 정하여 관측을 수행하였다. 따라서 분석을 위해 수집된 총 관측데이터의 수는 기계의 경우 1대당 40개, 총 2040개이며, 작업자의 경우는 1인당 40개, 총 120개의 데이터를 사용하였다. 표 3은 작업자에 대한 결과로 작업자의 가동율은 75.8%다. 마찬가지 방법으로 설비가동율을 조사한 결과 70.1%로 나타났다.

3.3 미세동작분석법(Micro Motion Study)

미세동작분석을 하기 위해 작업장에 총 4대의 카메라를 설치하였다. 촬영시 4대의 카메라에서 송출되는 화면을 하나의 화면으로 링크시켜서 녹화하여 동기화시켰다. 카메라는 설치사실을 작업자에게 공지한 후 1개월간 설치하여 촬영을 하였다. 하지만 작업자가 카메라를 의식하지 않고 자연스러운 작업을 수행하는 자료를 얻기 위하여 초기 15일간의 촬영내용은 분석에서 제외시켰다. 그 후 나머지 15일 동안의 촬영내용을 이용하여 아침, 오전, 오후, 야간시간대에서 임의로 1시간씩을 선정하여 분석을 수행하였다. 동영상 분석을 위해서는 S사에서 개발한 MAS^{TM} ver3.0(Motion Analysis Software)라는 동작분석 프로그램을 활용했다. MAS^{TM}는 일본에서 개발된 OTRS^{TM}와 유사한 소프트웨어다. 그림 4는 4대의 카메라로 촬영한 동영상을 MAS^{TM} 프로그램을 활용하여 여러 Step동작으로 구분하고 각 Step별로 Cycle Time을 분석하는 화면이다. 또한 표 4는 특정일 오전 7시부터 8시까지의 작업내용을 분석한 사례다.

표 3. 작업자 순간관측 결과

항목	점유	누적	부가가치
NG처리	22.5%	22.5%	O
기종변경	15.0%	37.5%	O
신규장비SETUP	11.7%	49.2%	O
LOT CARD 정리/POP입력	10.8%	60.0%	O
이동(제품이동)	5.8%	65.8%	O
이동(TOOL이동)	2.5%	68.3%	O
점검일지교체	2.5%	70.8%	O
제품연결	2.5%	73.3%	O
외단도리(TOOL위치)	0.8%	74.2%	O
이동(불량자재)	0.8%	75.0%	O
RE WINDER	0.8%	75.8%	O
기타	24.2%	100.0%	
부하율			75.8%

그림 4. MAS^{TM}의 분석화면 사례

표 4. 동영상 분석 사례

시간(초)	흰색		노랑1		노랑2	
	동작	시간	동작	시간	동작	시간
7:01	없음		모니터링이동		전산작업	0:04
7:05	모니터링이동		전산작업	0:05	전산작업	0:05
7:10	전달		전달		전달	
7:15	전산작업	0:02	ng처리	0:02	제품이동	
7:17	자리이탈		전산작업	0:03	전산작업	0:03
7:20	자리이탈		전산작업	0:02	전산작업	0:02
7:22	나타남	0:03	전산작업	0:03	전산작업	0:03
7:25	금형실	0:02	ng처리	0:02	AVI이동	0:02
7:27	모니터링이동		ng처리	0:03	ng처리	0:03
7:30	모니터링이동		전산작업	0:05	ng처리	0:05
7:35	set up	0:05	set up	0:05	전산작업	0:05
7:40	전산작업	0:03	set up	0:03	ng처리	0:03
7:43	전산작업	0:02	ng처리	0:02	제품이동	
7:45	ng처리	0:02	점검일지작성		금형실	
7:47	ng처리	0:03	ng처리	0:03	제품이동	
7:50	ng처리	0:03	제품연결	0:03	ng처리	0:03
7:53	ng처리	0:02	제품연결	0:02	ng처리	0:02
7:55	알콜면포이동	0:02	ng처리	0:02	전산작업	0:02
7:57	ng처리	0:03	ng처리	0:03	전산작업	0:03
8:00	신규설비		반장자리		ng처리	
유효시간		0:32		0:48		0:45
부하율		53.3%		80.0%		75.0%
평균	69.4%					

3.4 ERP(SAP^{TM}) System

SAP^{TM} System에서 설비 부하효율을 관리하는 항목은 크게 2가지로 구분한다. 첫 번째는 Order별로 관리하는 것이고, 두 번째는 설비별로 관리하는 것이다. 본 연구에서는 표 5과 같이 1개월(31일)간 SAP^{TM} 시스템에서 설비별로 검색을 하여 자료를 구하였다. 부하시간은 보유시간에서 정기적인 전면정비(Overhaul) 시간을 제외한 것이다. 그 결과 식 (7)에서 정의한 가동율은 64.5%로 추정되었다.

참고로 SAP^{TM}에서 설비부하에 대한 지표는 설비기준 자료와 오더기준 자료에서 확인할 수 있다. 표 5에 제시된 바와 같이 Order 기준인 경우 가용율이 98.4%로 설비기준에 비해 13.8%가 높은 것으로 계산되었다. 그 이유는 Order 기준으로 부하시간을 계산하면 생산계획이 없어서 놀고 있는 설비는 부하시간에 포함되지 않기 때문이다.

표 5. ERP(SAP^{TM}) 시스템에서 얻은 부하효율(설비기준)

	설비기준	Order 기준
보유설비수	51	51
보유시간	2,276,640	2,276,640
부하시간	2,233,084	1,956,379
가동시간	1,936,396	1,925,782
성능가동시간	1,467,786	
가용률	85.6%	98.4%
가동율(식 7)	65.7%	

따라서 설비의 부하를 확인하고 싶을 경우에는 Order 기준의 통계자료를 사용해서는 곤란하다. 하지만 실제 현장에서 이러한 차이를 모르고 있는 경우가 많기 때문에 Order 기준의 자료를 근거로 설비 신규투자를 요청하는 경우가 빈번하게 발생한다. 가동시간에서 두 기준의 차이가 있는 것은 데이터 입력시점에서 발생하는 미묘한 차이에 기인한 것이다.

3.5 Simulation 분석법

위에서 적용한 분석방법의 결과와 작업자, 설비를 동시에 고려하여 시뮬레이션으로 분석한 결과를 비교하기 위하여 QUEST^{TM}을 활용하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 그림 5는 설비 유형별 배치도이며, 그림 6은 개발한 시뮬레이션 모델 화면이다.

3.5.1 입력자료

시뮬레이션 모델에 사용된 입력자료는 다음과 같다.

① 제품의 생산량

국내A사의 반도체 라인의 1개월간 생산한 제품군을 분석한 결과 75품목으로 나타났다. P-Q 분석을 통하여 이 중에서 80%를 차지하는 21개 품목을 선정하고 80% 생산비율을 전체 생산량으로 대변하기 위하여 100%로 환산하여 각 제품의 생산량 비율을 조정하였다.

② 제품별 설비 할당

그림 5에서 보듯이 제품군에 따라서 검사할 수 있는 설비의 유형이 달라진다. A Type의 설비는 21개 전 품목을 검사할 수 있고, B Type의 설비는 Part_A, Part_C, Part_D, Part_F, Part_J, Part_L, Part_Q 등 7개 품목을

검사할 수 있다. 또한 C Type의 설비는 Part_B, Part_C, Part_F, Part_G, Part_H, Part_K, Part_O, Part_P, Part_U 등 9개 품목을 생산할 수 있다. 따라서 생산 order가 발생하면 제품 종류에 따라 수행할 수 있는 설비를 검색하여 가용설비를 선택하도록 하였다.

③ Cycle Time

제품의 Cycle Time은 제품별로 ERP에서 관리하는 표준시간을 각각 적용하였다. Cycle Time은 설비가 자동화설비이기 때문에 분포를 사용하지 않고 상수로 처리하였다.

④ 유실 Data

국내A사의 반도체 라인의 상태관리 항목 15가지 중에서 가동, 휴무, 기타 항목을 제외한 12가지 항목의 유실로 분류를 하였는데 ERP 시스템에 등록된 총 유실비율은 평균적으로 16~17% 정도다. 이 중에서 휴무는 시뮬레이션 Run Time 시 반영하여 근무 시간에서 휴무 시간을 제외하고 모델링 하였다. 각각의 유실항목에 대하여 과거 실적자료로부터 MTBF와 MTTR에 대한 평균과 분산을 추정하였다. 원칙적으로는 과거 데이터로부터 적합한 분포함수를 추정하여야 하지만 평균과 분산만 반영하면 자원의 가동율 분석에서는 분포의 형태가 큰 영향을 미치지 않는다고 알려져 있다[8,12]. 따라서 MTBF와 MTTR은 지수분포를 가정하였다.

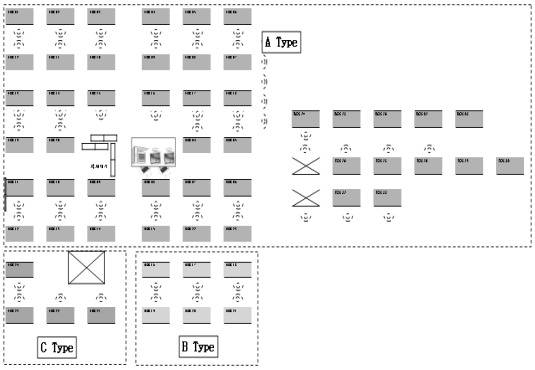


그림 5. 설비 Type별 배치도

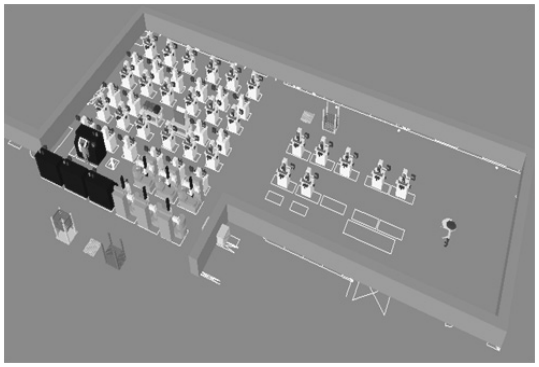


그림 6. 시뮬레이션 모델 화면

⑤ Run Time

Run Time은 근무일수 31일과 Warmup Time 3일을 반영하였으며, 이 중에서 작업자는 일 기준으로 식사시간 100분(A조 40분, B조 30분, C조 30분)과 휴식시간 50분(A조 10분, B조 20분, C조 20분)은 제외 공수로 반영하였다. 반복실험은 5회 실시하였다.

3.5.2 시뮬레이션 모델의 타당성 검증

시뮬레이션의 수행결과 생산량(404 Km)이 실제 생산실적(318 Km)에 비하여 27% 정도 많았다. 그 이유는 ERP 시스템에 등재되지 않은 유실(미소정지 포함)이 상당부분 있기 때문인 것으로 추정할 수 있다. 따라서 미소정지를 추가로 포함시켜 시뮬레이션의 결과와 실제 생산실적이 일치하도록 모델을 수정해야 한다. 이 경우에 추가적인 유실이 17.6% 정도가 된다.

4. 측정방법론에 따른 부하효율 분석 결과

4.1 설비의 부하효율 분석

측정방법론에 따라서 종합적으로 설비 부하효율의 평균에 대해서 비교 해 보면 그림 7과 같이 순간관측 70.1%, ERP 설비기준 65.7%, 시뮬레이션 82.7%를 나타낸다. ERP 오더기준 자료는 앞에서 설명했듯이 문제가 있기 때문에

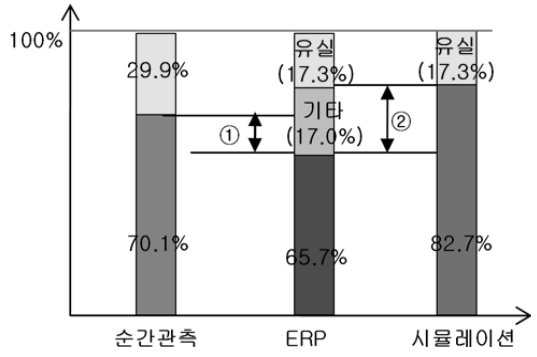


그림 7. 설비 종합효율 비교

사용할 수 없다. 그 결과 각각의 측정방법에 따라 상당한 차이가 나타남을 알 수 있었다.

먼저 ERP 시스템에서 관리하는 유실률은 17.3%이며, 생산량과 표준시간(ST)을 기준으로 하는 부하율은 65.7%다. 따라서 그 차이인 17%가 관리되지 않고 있다는 점이 파악되었다. 이 부분은 공식적인 유실에 포함되지 않으면서 생산속도의 저하 등 비공식적으로 손실 처리되는 부분이라 하겠다.

두 번째 사항은 순간관측 결과와 ERP 결과와의 차이(그림에서 ①로 표시)다. 순간관측을 하는 경우 표준시간보다 작업이 지연되는 경우를 찾아 낼 수 없다. 즉 작업대기와 같이 명백하게 비가동으로 판정할 수 있는 경우를 제외하고 작업에 묻혀 있는 지연은 발견할 수 없다는 것이다. 따라서 순각관측 결과를 사용하기 위해서는 일정 부분을 삭감해 주어야 한다. 본 사례에서 이 부분의 오차는 4.4%인 것으로 분석되었다.

마지막으로 ERP결과와 시뮬레이션 결과의 차이(그림에서 ②로 표시)다. 시뮬레이션에서 얻어진 성능가동율은 82.7%로 ERP에서 관리하는 65.7%보다 17% 정도 높게 나왔다. 그 결과 생산량도 실적치인 318 Km보다 27%정도 많은 404 Km로 추정되었다. 이 원인은 시뮬레이션 모델을 개발하면서 ERP에서 관리하고 있는 유실 자료를 이용하여 Failure로 설정하였기 때문이다. 앞에서 언급하였듯이 ERP에서 공식적으로 관리하고 있는 유실율은 17.3%이지만 추가적으로 17%의 비공식적 유실이 존재한다는 점이다. 여기에는 작업자를 기다리는 대기시간도 포함된다. 따라서 시뮬레이션 연구를 수행할 때는 반드시 실제 생산실적과 시뮬레이션의 결과를 비교하여 그 만큼의 차이를 미소정지 등 다른 유실로 반영해 주어야 결과의 신뢰성을 확보할 수 있다. 또한 이 부분이 회사에서 집중적인 관리를 수행하여 낭비를 제거할 수 있는 부분이다.

실제로 공장에서 처음으로 OEE를 적용하면 배치공정에서는 40-70%, 연속된 흐름공정에서는 50-80%의 값이 얻어지는 것으로 알려져 있으며, OEE 값이 85% 이상이면 우수한 것으로 알려져 있다[11]. 따라서, 불량품에 의한 OEE값의 차이를 고려하더라도 본 실험에서 얻은 부하효율이 순간관측 70.1%, ERP 65.7%, 시뮬레이션 82.7% 등 모두 85%미만이므로 설비투자에 대한 필요성보다 낭비요인을 개선하는 것이 더 시급한 문제라고 결론을 내릴 수 있다.

4.2 작업자의 부하효율 분석

작업자의 효율을 체계적으로 관리하는 것은 쉽지 않기 때문에 ERP 시스템에서 작업자 부하효율을 관리하는 기업도 드물다. 따라서 시뮬레이션을 수행하는 경우에도 작업자의 작업내용을 작업자와 기계가 동시에 수행하는 작업, 작업자 혼자 하는 작업으로 구분하여 모델을 만든다. 표 1에 제시된 바와 같이 측정방법론에 따라 작업자 효율을 분석한 결과는 그림 8과 같다.

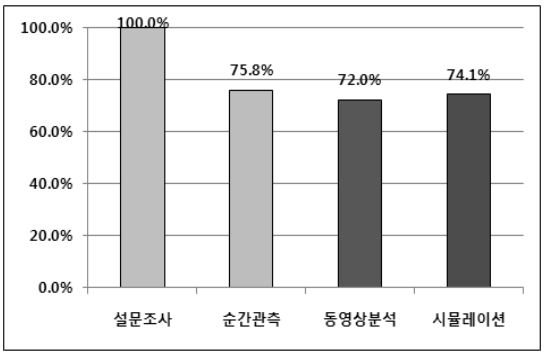


그림 8. 작업자 부하효율 비교

먼저 작업자에게 직접 설문조사를 한 결과는 작업자 부하율이 100%로서 결과가 의미가 없는 것으로 판명되었다. 작업자들은 항상 자신들이 충분하게 일을 하고 있다고 생각한다. 생산현장에 대한 시뮬레이션 분석결과를 제시하면 대부분의 경우 작업자들이 분석결과에 대한 신뢰성에 문제를 제기한다. 본 연구를 통해서 우리는 이러한 작업자의 특성을 확인할 수 있었다.

둘째, 순간관측이나 동영상 분석의 결과는 큰 차이가 없었다. 하지만 작업표준을 기준으로 분석한 결과는 순간관측과 동영상분석 방법에 비해 작업자들의 작업수행 중 부수적으로 발생하는 직무들을 간과하여 작성되고 있기 때문에 작업자 부하효율을 제시할 때 작업표준에 제시된 자료를 사용하는 방법은 문제가 있어서 본 연구에서는 제외하기로 하였다. 예를 들면 설비가 고장 나서 수리의뢰를 하면 작업표준에서는 수리 의뢰하는 시간만 반영되지만 실제는 작업자가 수리 끝날 때까지 지원해 주는 경우가 많은데 이 시간들이 제외된다.

순간관측이나 동영상 분석의 경우 작업자의 작업수행도(Rating)를 반영할 수 없다. 또한 작업자 작업에는 여유시간이 포함되어야 하기 때문에 작업자들이 작업 도중 작업 속도를 저하시키면서 휴식을 취하는 경우가 많다. 이 점 역시 순간관측이나 동영상 분석을 통하여 파악하는 것이 매우 어렵다. 시뮬레이션 방법 역시 표준시간 대신 ERP 시스템에서 관리한 작업자 작업의 실적자료를 기준으로 하며 모델링하였기 때문에 순간관측이나 동영상 분석과

유사한 결과를 보여주었다. 원인으로는 이 공정의 제조라인에서 검사는 설비가 전담하고 작업자는 설비고장 수리의뢰, Tool 수리, 기종교체, 재작업 및 재검, Setup 등 유실조치 부문을 지원하고 있으므로 설비에 대한 표준시간만 관리하고 작업자에 대해서는 관리하지 않기 때문이다.

5. 결 론

생산현장에서 가장 중요한 두 가지 자원은 기계와 작업자다. 기업에서도 이들 자원의 효율을 관리하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 하지만 생산환경의 변화에 따라 기계설비 및 작업자에 대한 추가 수요가 발생할 경우 부하율에 대해 많은 논란이 발생한다. 그 이유는 자원 효율의 측정방법에 따라 서로 상이한 결과가 나오기 때문이다.

설문지법은 가장 범용되는 직무자료 수집방법으로 다른 방법에 비하여 시간과 비용이 절약되고 폭 넓은 정보를 얻을 수 있으나, 이번 실험처럼 자신에게 유리한 방향으로 답할 경우 당초의 목적을 달성하기 어렵다. 순간관측법은 한사람의 관측자가 동시에 여러 대의 설비나 여러 작업자를 관측할 수 있다는 장점이 있기 때문에 시간적, 경제적으로 제약이 있을 때 가장 간편하게 사용할 수 있다. 하지만 사전에 관측항목을 정확히 구분해야 하며, 구분했다고 하더라도 여전히 관측자의 주관적 요인이 반영될 수 있는 문제점을 가지고 있다. 또한 작업자들이 자신이 관측 당한다는 사실을 사전에 인지할 경우 결과를 왜곡시킬 수 있는 문제점도 가지고 있다. 미세동작분석법은 정확하기는 하지만 분석을 위해 많은 노력이 수반된다. 분석의 목표가 표준시간을 산정하거나 세세한 낭비요인을 파악하는 것이라면 타당성이 있겠지만 작업의 사이클 시간이 긴 경우에는 적합하지 않다. 특히 관측 대상이 여럿인 경우에 한계를 가진다. 결론적으로 복잡한 시스템을 분석하기에 가장 효과적인 방법은 시뮬레이션이다. 하지만 시뮬레이션 연구를 수행하는 경우에도 입력자료의 정확성에 따라 실험결과가 달라진다.

본 논문에서는 기업에서 기계설비와 작업자의 부하효율을 측정하기 위해 사용하는 다양한 방법들에 대해 실제 사례를 들어 비교 검토 하고, 문제점에 대해 분석을 하였다. 사례는 국내 A사의 반도체부품 제조공정을 대상으로 하였는데 제조공정 중 대표적 애로(Bottleneck)공정인 OP #50 공정을 대상으로 실시하였다.

비교분석 결과 설비효율 면에서는 순간관측, ERP 자료, 시뮬레이션 결과 사이에 차이가 있었다. 그 이유는 순간관측 방법으로는 생산속도가 표준시간에 비해 저하되는 상황을 파악할 수 없기 때문이다. 또한 시뮬레이션 수행결과 생산량이 실제 생산실적보다 큰 것으로 나타났다. 그 이유는 생산현장에서 공식적인 유실로 관리되지 않으면서 숨겨져 있는 낭비가 많았다는 것을 의미한다.

또 한 가지는 ERP에서 Order 기준으로 계산된 설비부하율을 잘 못 사용하면 곤란하다는 것이다. 현장에서 설비효율 지표를 사용할 때 Order 기준으로 정의를 하면 작업지시 카드가 발행되기 전의 기종교체 등의 유실이 모두 가동상태로 표기되어 설비효율 지표를 크게 만든다. 따라서 투자결정 시 오류를 범할 수 있다. 실제사례로 기업에서 설비의 신규투자를 요청하면서 설비효율이 98%라고 제시하였지만 본 연구를 통하여 오류를 찾아내었고, 그 결과 30억원의 투자비 중 설비 10여대에 대한 20여억원의 투자를 억제함과 동시에 17% 정도의 숨겨져 있는 낭비를 찾아내었다. 따라서 설비가 가동되어 작업지시 카드가 발행되는 시점까지의 유실을 별도로 관리하여 설비효율 지표에 반영하여야 한다.

작업자 측면에서는 순각관측, 동영상분석, 시뮬레이션의 결과가 유사하게 도출되었으며, 설문조사에 의한 결과만 높게 나왔다. 그 이유는 작업자가 느끼는 부하강도가 실제보다 높게 나타나는 것으로 판단된다. 실제 작업시간에는 작업자의 작업수행도 차이에 따른 오차, 눈에 보이지 않는 작업 지연(여유시간) 등이 포함되어 있다. 시뮬레이션을 수행할 때 실제 작업시간 대신 표준시간을 근거로 한다면 좀 더 정확한 결과가 도출될 것으로 예상할 수 있다. 따라서 이 공정에서 설비뿐만 아니라 작업자가 행하는 업무에 대해서도 표준시간을 정의 할 필요성이 있다.

참 고 문 헌

1. 박일석, 이칠기, “반도체 확산공정에서 켄베이어의 적정속도와 길이를 구하는 시뮬레이션,” 한국시뮬레이션학회논문지, 11(3), pp. 59-65, 2002.
2. 정재우, 서정대, “차세대 반도체 펩을 위한 육각형 물류 구조의 설계, 대한산업공학회지,” 36(1), pp. 42-51, 2010.
3. 채종인, 박양병, “시뮬레이션 모델을 이용한 K회사 반도체 패키지 공정의 생산량증가를 위한 연구,” 한국시뮬레이션학회논문지, 19(1), pp. 1-11, 2010.
4. 허특, 문덕희, 박철순, 장병림, “AHP를 활용한 반도체부품 생산공정 시뮬레이션 연구,” 한국시뮬레이션학회논문지, 18(2), pp. 65-75, 2009.

5. 황학, 작업관리론, 영지문화사, 서울, 대한민국, 2005.
6. Braglia, M., Frosolini, M. and Zammori, F., “Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML) : An integrated approach to assess systems performance,” Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 20, no. 1, pp. 8-29, 2009.
7. Huang, S.H., Dismukes, J.P., Shi, J., Su, Q., Razzak, M.A., Bodhale, R. and Robinson, D.E., “Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis,” International Journal of Production Research, vol. 41, no. 3, pp. 513-527, 2003.
8. Lau, H-S. and Martin, G.E., “The effects of skewness and kurtosis of processing time s in unpaced lines,” International Journal of Production Research, vol. 25, no. 10, pp. 1483-1492, 1987.
9. Macnnes, R. L., The lean enterprise memory jogger, GOAL/QPC, U.S.A. 2002.
10. Moon, D.H., Shin, K.W., Park, C.S. and Kim, D.S., “A manufacturing system simulation of semiconductor packaging substrate,” Proceedings of 2009 SpringSIM, San Diego, U.S.A., pp. 283-288, 2009.
11. Nakajima, S., Introduction to TPM: total productive maintenance, Productivity Press, Cambridge, March 1988.
12. Powell, S.G. and Pyke, D.F, “An empirical investigation of the two moment approximation for production lines,” International Journal of Production Research, vol. 32, no. 5, pp. 1137-1157, 1994.
13. Ron, A.J. and Rooda, J.E., “Equipment effectiveness : OEE revisited,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, vol. 18, no. 1, pp. 190-196, 2005.
14. Ron, A.J. and Rooda, J.E., “OEE and equipment effectiveness : an evaluation,” International Journal of Production Research, vol. 44, no. 23, pp. 4987-5003, 2006.
15. Wang, T.U and Pan, H.C., “Improving the OEE and UPH data quantity by automated data collection for the semiconductor assembly industry,” Expert Systems with Application, vol. 38, no. 5, pp. 5764-5773, 2011.
16. Zhang, H., Jiang, Z., and Guo, C., “An optimized dynamic bottleneck dispatching policy for semiconductor wafer fabrication,” International Journal of Production Research, vol. 47, no. 12, pp. 3333-3343, 2009.
17. http://en.wikipedia.org/wiki/Overall_equipment effectiveness

김 동 수 (daebang3@naver.com)

2003 창원기능대/학점은행제 전자공학과 학사
2006 창원대학교 경영학과 경영학석사
2009～현재 창원대학교 산업시스템공학과 박사과정

관심분야 : 공정최적화, 투자분석, 시뮬레이션응용

문 덕 희 (dhmoon@changwon.ac.kr)

1984 한양대학교 산업공학과 공학사
1986 한국과학기술원 산업공학과 공학석사
1991 한국과학기술원 산업공학과 공학박사
1990～현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야 : Facilities Planning, 시뮬레이션 응용, Scheduling