

A Study on the Productivity Improvement of the Dicing Blade Production Process

Jung-Su Mun · Soo-Yong Park · Dong-Hyung Lee[†]

Dept. of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University

다이싱 블레이드 제조공정의 생산성향상에 관한 연구

문정수 · 박수용 · 이동형[†]

한밭대학교 산업경영공학과

Industry 4.0's goal is the 'Smart Factory' that integrates and controls production process, procurement, distribution and service based on the fundamental technology such as internet of the things, cyber physical system, sensor, etc. Basic requirement for successful promotion of this Industry 4.0 is the large supply of semiconductor. However, company I who produces dicing blades has difficulty to meet the increasing demand and has hard time to increase revenue because its raw material includes high price diamond, and requires very complex and sensitive process for production.

Therefore, this study is focused on understanding the problems and presenting optimal plan to increase productivity of dicing blade manufacturing processes. We carried out a study as follows to accomplish the above purposes. First, previous researches were investigated. Second, the bottlenecks in manufacturing processes were identified using simulation tool (Arena 14.3). Third, we calculate investment amount according to added equipments purchase and perform economic analysis according to cost and sales increase. Finally, we derive optimum plan for productivity improvement and analyze its expected effect.

To summarize these results as follows : First, daily average blade production volume can be increased two times from 60 ea. to 120 ea. by performing mixing job in the day before. Second, work flow can be smoother due to reduced waiting time if more machines are added to improve setting process. It was found that average waiting time of 23 minutes can be reduced to around 9 minutes from current process. Third, it was found through simulation that the whole processing line can compose smoother production line by performing mixing process in advance, and add setting and sintering machines. In the course of this study, it was found that adding more machines to reduce waiting time is not the best alternative.

Keywords : Dicing Blade, Manufacturing Processes, Process Bottlenecks, Arena Simulation, Optimum Plan

1. 서론

세계 인터스트리 4.0은 사물인터넷, 사이버물리시스템, 센서 등의 기반기술을 중심으로 생산공정, 조달·물류,

서비스까지 통합 관리하는 '스마트 팩토리'를 목표로 한다. 스마트 팩토리 실현을 위해서는 센서, RFID와 같은 반도체가 필수적으로 이용되어 진다. 이에 따라 반도체 회사들은 반도체 생산량을 증대하기 위해 웨이퍼를 절단하는 양질의 다이싱 블레이드에 대한 구매를 확대하고 있다.

그러나 다이싱 블레이드 생산회사인 I사는 증가하는 수요에 부응하지 못하고 수익창출에도 어려움을 겪고 있다.

Received 21 July 2016; Finally Revised 12 September 2016;
Accepted 13 September 2016

[†] Corresponding Author : leedh@hanbat.ac.kr

왜냐하면 다이싱 블레이드의 생산이 다이아몬드 등 고가의 원료를 사용하여 매우 복잡하고 예민한 공정을 거쳐야 하기 때문이다. 따라서 I사에서는 절삭공구 시장에서 다이싱 블레이드의 가격경쟁력 확보 및 품질수준 제고가 당면과제이다.

이에 본 연구에서는 I사 다이싱 블레이드 제조공정의 병목공정을 찾아내어 라인밸런스 효율을 높여 생산성 향상방안을 도출하고 개선된 공정의 기대효과를 분석하고자 한다.

본 논문은 제 1장은 서론, 제 2장은 기존연구 고찰, 제 3장은 I사의 다이싱 블레이드 제조공정 현황과 문제점, 제 4장은 생산성 향상을 위한 공정개선방안 도출 및 경제성분석을 통한 최적방안 선정, 제 5장은 결론 및 향후 연구방향으로 구성되었다.

2. 기존연구 고찰

그동안 시뮬레이션을 이용한 제조공정의 생산성 향상에 관한 다양한 연구가 진행되었으며 그 성과도 많았다.

Moon and Chang[11]은 Arena를 이용하여 신축공장 설계 시 베어링 제조공정 용량설계를 중점으로 하는 시뮬레이션 모델 연구를 하였다. Lee and Choi[9]은 C언어 기반의 시뮬레이션을 통한 혼합흐름공정 제조시스템의 생산율을 최대화하는 연구와 추가 장비도입 시 예산의 범위와 최대 생산율을 예측하는 연구를 수행하였다.

Cho and Koo[2]는 Arena를 활용하여 Minimum Batch Size(MBS), Dynamic Batching Heuristic(DBH), Next Arrival Control Heuristic(NACH), Minimum Cost Rate(MCR), Dynamic Job Assignment Heuristic(DJAH)와 같은 배치생산에서 부하량을 줄일 수 있는 방법론 연구를 수행하였다.

Chai and Park[1]은 반도체 패키지를 생산하는 K기업의 병목공정을 개선하기 위해 시뮬레이션을 통한 생산라인의 균형화 방안과 제품별 스케줄링 및 작업자 재배치를 통한 납기지연율 감소에 관한 연구를 수행하였다.

Lee et al.[7]은 PCB(Printed Circuit Board)기반의 CNC(Computer Numerical Control) 드릴제품을 생산하는 S사의 공정분석을 위해 통계분석 프로그램(SPSS)을 활용한 회귀분석을 실시하였고, 납기수준 계수를 측정하고 각 변수의 가중치를 부여한 Arena 시뮬레이션과 타부서치(Tabu Search) 기법을 통해 최적 대안을 도출하는 연구를 수행하였다.

Kim[5]은 Arena 시뮬레이션을 통하여 국내 담배 제조기업인 K사의 인력배치계획 연구를 수행하였다. 특히 자동화가 어려운 수작업 라인공정의 모델링 작업과 인적자원 재배치와 설비 재조정 및 스케줄링 변화를 통해 생산

성 향상을 달성하였다. Lee and Park[10]은 중소 작업장의 동작 및 생산흐름을 분석 및 개선하고 이를 통한 경제적인 효과를 평가하였다. 목걸이 체인 생산회사인 S기업의 각 단계별 제조공정에 대한 표준시간을 측정하고 비부가가치 동작 및 생산흐름을 개선하여 생산성향상에 따른 경제성의 평가를 실시하였다.

Park[12]은 대표적인 다품종소량생산의 염료생산업체의 환경성과 경제성을 평가한 연구를 진행하였다. 대부분 Batch 시스템으로 이루어지고 환경적인 문제점이 많은 염료생산업체에 대하여 환경성 및 경제성 평가를 통하여 공정상의 개선과 생산시스템의 변화에 대한 방향을 제시하였다. 그리고 순현재가치(NPV, Net Present Value)를 이용하여 제시한 대안에 대한 투자적합성 여부를 평가하였다.

한편 다방면의 문헌조사에도 불구하고 다이싱 블레이드의 공정개선과 관련된 논문은 찾아볼 수 없었다. 따라서 본 연구는 동종업계의 생산관리와 품질경영 발전에 크게 기여할 것으로 판단된다.

3. 다이싱 블레이드의 제조공정 현황 및 문제점

3.1 I사의 현황

I사는 2008년에 설립된 반도체 웨이퍼 및 전자 부품 절삭용 다이아몬드 블레이드를 주로 생산하는 업체이다. 2010년에 ISO 9001, 14001 및 벤처기업 인증을 취득하고 2015년 약 20억의 매출액을 달성하였다. 2016년에는 매출액 100억 원을 목표로 다양한 판로확보와 제품개발에 주력하고 있다.

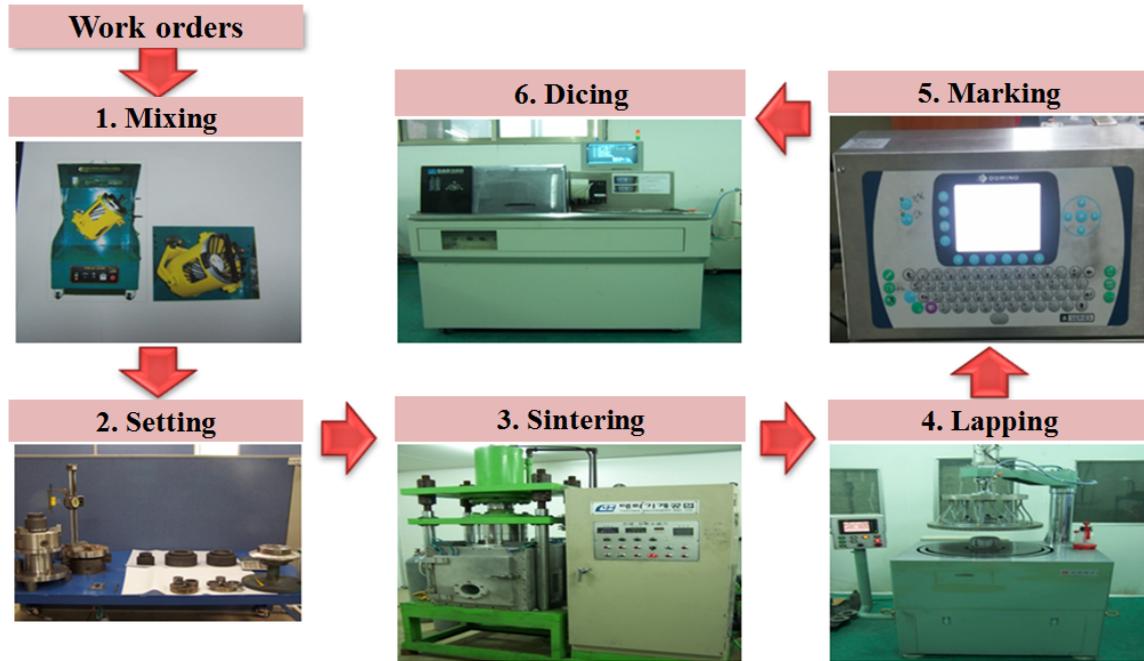
주요제품으로는 메탈본드를 이용한 IDM(Innovation Diamond Metal), 레진본드를 이용한 IDR(Innovation Diamond Resin), 전주본드를 이용한 IDE(Innovation Diamond Electric), 메탈본드와 레진본드의 특장점만을 살린 융합제품인 IDH(Innovation Diamond Hybrid)가 있다.

동사는 2008년 설립이후 꾸준한 연구개발과 투자로 현재 S전자에 주로 납품하고 있으며 해외수출까지 하고 있다. 그러나 생산성이 높지 않아 증가하는 수요에 적극 대응하지 못하고 있는 것이 큰 고민이다.

3.2 다이싱 블레이드 제조공정현황 및 문제점

3.2.1 제조공정 현황

I사의 주력제품인 다이싱 블레이드 제조공정은 <Figure 1>과 같이 크게 믹싱작업, 세팅작업, 소결작업, 래핑작업, 마킹작업, 다이싱작업 등 6가지 작업으로 나누어진다.



<Figure 1> Manufacturing Process of Dicing Blade

(1) 믹싱(Mixing) 작업

작업지시에 따라 설계가 이루어지면 처음으로 믹싱작업이 행해진다. 믹싱작업은 다이싱 블레이드 제조에 있어 설계와 더불어 가장 중요한 역할을 하는 공정이다. 약 60분에서 240분 정도 공업용 다이아입자 및 그 외 금속 분말, 합성수지, 각종 filler, 통전용 카본 등 각기 다른 비중을 가진 분말을 고른 분포로 섞이도록 하는 작업이다. 피삭제의 종류에 따라 약간씩 다르기는 하나 믹싱시간이 너무 길거나 짧으면 공업용 다이아입자 및 금속분말 등의 편석이 발생할 수 있다. 보통 1회 작업 시 완제품 60장 분량의 재료가 투입되어지며 평균작업시간은 약 2시간 30분 정도이다.

(2) 세팅(Setting) 작업

믹싱작업이 완료되면 세팅작업이 시행된다. 세팅작업은 소성 전단계로 M.A(Methyl Alcohol), P.E.G(Polyethylene Glycol), Paraffin 등을 이용하여 과립(Granule)화된 분말을 metal 및 carbon mold에 고르게 퍼서 소결 후, 제품의 두께편차를 최소화하기 위한 작업과정이다.

여기서 주의할 사항은 금형 및 세팅자 등에 정전기가 발생하거나, 세팅자의 수평 유지가 되어있지 않으면 diamond 및 metal 분말의 편석이 생겨 제품으로서의 효용가치가 떨어진다.

현재 보유하고 있는 세팅기계는 3대이며 1회 작업 시 완제품 4장 분량이 투입된다. 4장 분량의 1회 작업시간은 약 11~12분 정도이다.

(3) 소결(Sintering) 작업

소결작업은 분말을 metal 및 carbon mold에 setting후 이를 하나의 결정체로 만들어 내는 과정을 의미한다. 따라서 본 공정에서는 피삭제에 따른 적절한 소결 온도 및 단위면적당 압력이 부여되는데 이는 곧 블레이드의 품질과 수명을 결정하는 중요한 요인이 된다.

소결작업 기계는 3대를 보유하고 있으며 1회 작업 시 완제품 4장 분량의 양이 투입되어진다. 1회 작업시간은 약 15~17분 정도이다.

(4) 래핑(Lapping) 작업

소결작업 후 래핑작업이 이루어진다. 래핑은 제품의 완성작업으로 표면을 양면에서 연마하는 과정이다.

먼저 황삭작업(Rough Lapping)이 시작되는데 소결 후 두께편차가 큰 부분을 연마하고, banding된 부위를 일차 교정하기 위한 과정이다. 황삭작업은 래핑작업 중에서 블레이드의 carrier이탈이 빈번하여 불량률이 자주 발생하는 공정이므로 적절한 두께의 carrier 사용과 rpm, 적절한 압력설정이 중요하다. 황삭작업을 위한 기계는 9B 2대가 있으며 1회 작업 시 약 2시간 정도 시행된다. 기계 1대에 1회 작업량은 완제품 30장 정도의 분량이다.

다음으로 좀 더 세밀한 작업인 중삭작업(Semi-finish Lapping)이 약 2시간 동안 이루어진다. 즉, 9B 2대 기계를 이용하여 1회 30장 정도 작업되어진다. 이때 황삭에 비해 rpm은 약 20% 빨라도 좋으며 압력은 상대적으로 낮춰 주는 것이 블레이드 표면조도 및 두께편차 작업에 유리하다.

끝으로 정삭작업(Finish Lapping)이 진행된다. 블레이드는 외경 쪽 3.5mm정도가 사용되지만 사용되어지는 축이 초고속 air spindle(15,000~50,000rpm)이므로 블레이드의 360도 및 내외경 두께편차가 5미크론 이내로 작업되어야만 진동을 최소화하여 Dicing 작업이 가능하다. 이 작업은 6B 3대 기계로 1회 약 35분 정도 소요되며 기계 1대당 최대 10장이 작업되어진다.

(5) 마킹(Marking) 작업

래핑작업이 끝나면 제품에 마킹작업이 이루어진다. 마킹작업은 다양한 제품을 구별하기 위한 작업으로 블레이드의 모든 정보가 기록되어진다.

(6) 다이싱(Dicing) 작업

다이싱 작업에서 피삭재의 성분 및 칩의 관리기준에 적합한 작업이 이루어지도록 테이프 종류 및 rpm, 작업 속도, tape in to volume 등의 최적조건을 찾으면 블레이드 제조공정은 마무리된다.

3.2.2 제조공정의 문제점

(1) 자료 수집

제조공정의 문제점을 파악하기 위해 2015년 8월 3일부터 2016년 1월 31일까지 약 6개월간의 측정시간 데이터 중 50개를 랜덤하게 발췌하였다. 각 공정의 작업시간은 I사에서 다년간의 노하우를 통해 개선되어진 최적시간을 수집한 것이다. <Table 1>은 발췌한 50개의 데이터에 의한 1회 평균작업시간을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 수행하기 위해 다음과 같은 가정을 설정하였다. 첫째, 기계의 고장으로 인한 영향은 발생하지 않는다. 둘째, 작업자가 공정 및 기계 설정을 위해 이용되는 작업시간은 고려하지 않으나 각 공정 이동시간은 고려한다. 셋째, 작업시간은 9시간으로 하며 휴무시간은 고려하지 않는다. 넷째, 한 달 작업일수는 20일로 한다. 다섯째, 본 시뮬레이션을 통해 얻어진 가상 개선에서 발생되어지는 기계의 재배치 비용이나 설비추가로 인한 비용을 고려하여 경제성 분석을 실시한다.

(2) 시뮬레이션 모델링

현 공정은 하나의 흐름공정으로 이루어지며, 6공정중 주요한 믹싱, 세팅, 소결, 래핑 공정을 이용해 모델링하였다.

먼저 믹싱, 세팅, 소결, 래핑(황삭, 중삭, 정삭)의 작업시간 데이터를 Arena의 Input Analyzer를 이용하여 각 공정시간별 분포를 추정하고 이렇게 추정된 각 공정별 시간분포에 대한 분포의 적합도와 유의성을 검정한 결과, <Table 2>와 같이 나타났다. 모든 공정에서 카이제곱 검정에서의 P-value가 유의수준 0.05보다 크므로 각 공정별로 추정된 공정시간에 대한 확률분포는 시뮬레이션에 적용 가능한 것으로 확인되었다.

(3) 현 공정에 대한 시뮬레이션 결과

현재 상황에 대해 시뮬레이션 한 결과, 작업시간은 <Table 3>과 같다. <Table 4>와 같이 실제 작업시간과 시뮬레이션 시간의 차이가 거의 없는 것으로 확인되었다.

<Table 1> Average Working Time per Process

Process	Machine No.	Input (ea.)	Aver. working time (min.)	s.d.
Mixing	1	60	151.20	1.641
Setting	3	4	11.76	0.938
Sintering	3	4	15.44	1.091
Lapping	rough	2	120.58	1.513
	semi	2	120.60	1.702
	finish	3	35.16	3.711

<Table 2> Suitability Analysis on Process Distributions

Process	Dist.	Expression	Square Error	χ^2 test P-value
Mixing	Erlang	149+Erla (1.35, 2)	0.008698	0.177
Setting	Beta	9.5+4×Beta (2.14, 1.67)	0.000445	0.75
Sintering	Beta	13.5+4×Beta (1.14, 1.21)	0.002874	0.473
Lapping	rough	Weibull (3.47, 2.14)	0.020088	0.054
	semi	Beta (1.09, 1.02)	0.007382	0.537
	finish	Beta (1.08, 1.37)	0.021645	0.125

<Table 3> Processes Work Time

VA Time per Entity	Aver.	Half Width	Min Aver.	Max Aver.	Min Value	Max Value
Process.Lapping 1	121.1	0.04	121.1	121.1	118.2	127.0
Process.Lapping 2	121.1	0.12	121.0	121.3	118.0	124.0
Process.Lapping 3	35.2	0.64	34.3	36.6	29.0	42.4
Process.Mixing	151.8	0.12	151.7	151.9	149.2	161.0
Process.Setting	11.8	0.08	11.7	11.9	9.6	13.4
Process.Sintering	15.4	0.08	15.3	15.5	13.5	17.5

<Table 4> Working Time(min.) with Actual/Simulation

Process	actual	simulation
Mixing	151.20	151.75
Setting	11.76	11.75
Sintering	15.44	15.39
Lapping	rough	120.58
	semi	120.60
	finish	35.16

(4) 다이싱 블레이드 제조공정의 문제점

현 공정의 문제점을 파악하고자 시뮬레이션 결과로 나타난 entity당 waiting time(<Table 5>), 공정별 waiting time(<Table 6>), 공정별 하루 평균 in-out 작업량(<Table 7>), 월간누적 waiting time(<Table 8>)을 살펴보면 각 공정에 있어 작업에 따른 대기가 발생하여 작업시간이 늦어지는 것을 확인할 수 있었다. 이와 관련한 문제점으로 는 다음과 같이 파악되었다.

첫째, 세팅에서 대기시간이 발생하였다. 이는 앞선 믹싱에서 기계 당 60장의 블레이드 작업이 이루어지지만 3대의 세팅기계에서 대당 4장씩 작업이 이루어져 대기가 발생되고 있다.

둘째, 소결에서 대기시간이 발생하였다. 세팅에서 작업되어지는 블레이드의 수와 소결에서 작업되어지는 블레이드의 수가 기계 당 4장씩으로 동일하나, 소결의 작업시간이 세팅의 작업시간에 비해 평균적으로 길기 때문인 것으로 나타났다.

셋째, 래핑작업 중 황삭에서 블레이드 장당 대기시간이 약 17분 발생했다. 이는 소결에서 병목공정이 발생한 이후 추가적으로 발생한 것이다.

넷째, 일간 작업량으로 보아 정상작업에는 크게 문제가 없지만 한 달 간의 누적대기시간을 확인한 결과, 한 달간 약 1,570분 정도의 대기시간이 발생하는 것으로 나타났다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 본 공정에서 기계의 추가배치를 통한 공정개선이 필요한 것으로 파악되었다.

4. 다이싱 블레이드 제조공정의 생산성향상 방안

4.1 공정개선 대안

본 장에서는 도출된 문제점을 개선하기 위해 기계 추가를 기본으로 다음과 같은 방안을 검토하였다. 여기서는 공정이 흐름생산(Flow-shop)으로 설계되어 있는데다 오랜 시간 경험에 의해 정착되어졌기 때문에 설비배치문제는 예외로 하였다.

첫 번째 대안은 세팅작업 하루 전에 믹싱작업을 하는 것이다. 이럴 경우 황은 황습기의 설치가 필요하다. 두 번째 대안은 세팅기계 추가, 세 번째 대안은 소결기계 추가, 네 번째 대안은 정상기계 추가하는 것이다. 다섯 번째 대안은 상기 4가지 대안을 복합한 것이다.

4.1.1 믹싱공정 개선

첫 공정한 믹싱작업은 평균적으로 150분이 걸리는 것으로 실제 공정과 시뮬레이션을 통해 확인되었다. 작업

<Table 5> Waiting Time per Entity

Wait Time per Entity	Aver.	Half Width	Min Aver.	Max Aver.	Min Value	Max Value
Process.Lapping 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Lapping 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Lapping 3	0.87	0.56	0.40	1.38	0.0	9.73
Process.Mixing	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Setting	23.50	1.19	20.11	24.80	0.0	52.07
Process.Sintering	6.98	0.71	6.20	7.67	0.0	19.12

<Table 6> Waiting Time per Process

Wait Time	Aver	Half Width	Min Aver.	Max Aver.	Min Value	Max Value
Batch.Lap1_2.Queue	3.7	0.4	3.2	4.0	0.0	9.3
Batch.Lap2_3.Queue	2.7	0.2	2.5	3.0	0.0	5.9
Batch.Mix_SS.Queue	6.1	1.8	4.2	7.6	0.0	12.2
Batch.Set_Sin. Queue	0.7	0.1	0.6	0.8	0.0	6.6
Batch.SS_Lap. Queue	17.4	0.4	16.9	17.7	0.0	0.0
Process.Lapping1.Queue	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Lapping2.Queue	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Lapping3.Queue	0.8	0.4	0.4	1.0	0.0	9.5
Process.Mixing.Queue	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Setting.Queue	22.9	1.6	20.6	23.5	0.0	50.9
Process.Sintering.Queue	6.9	0.5	6.0	7.2	0.0	18.6

<Table 7> Average In-Out Volume per Process(1 day)

Process	Input	Output
Process.Lapping 1	120	90
Process.Lapping 2	90	60
Process.Lapping 3	60	51
Process.Mixing	240	180
Process.Setting	180	132
Process.Sintering	132	120

<Table 8> Monthly Cumulative Waiting Time

Process	Aver.	Half Width	Min Aver.	Max Aver.
Process.Lapping 1	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Lapping 2	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Lapping 3	1572	423	5.7	2833
Process.Mixing	0.0	0.0	0.0	0.0
Process.Setting	42989	11691	2825	83093
Process.Sintering	12977	3535	823	25190

이 시작된 후, 150분간의 작업이 이루어지고 있어 이로 인해 세팅작업이 늦게 시작되고 있었다. 이에 따라 믹싱작업을 전날 수행한다고 가정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그러나 믹싱작업을 전날 수행하기 위해서는 반제품의 보관에 필요한 황은 황습기 설치가 필요하다.

<Table 9> Mixing Process Improvement Results

Process		present	improvement
Mixing		0.00	0.00
Setting		23.50	23.62
Sintering		6.98	7.10
Lapping	rough	17.42	17.38
	semi	3.71	3.52
	finish	2.71	2.81

<Table 10> In-Out Volume : Before and After

Process	present		improvement	
	In	Out	In	Out
Mixing	240	180	-	-
Setting	180	132	240	240
Sintering	132	120	240	233
Lapping	rough	120	90	210
	semi	90	60	180
	finish	60	51	120
1 month volume			1,761	2,128

<Table 9>와 같이 믹싱공정 개선방안은 현재 공정보다 블레이드 장당 대기시간이 크게 개선되지 않았지만 <Table 10>과 같이 하루 작업량이 60장에서 120장으로 증가되었고 한 달에 약 400장 정도 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 본 개선방안은 현 공정에 추가비용 없이 프로세스의 순서개선을 통해 바로 적용 가능한 것으로 판단된다.

4.1.2 세팅공정 개선

효과적인 믹싱공정 개선방안이 현 공정에 바로 적용 가능한 것으로 확인됨에 따라 세팅작업 대기시간 감소를 위한 세팅기계를 추가, 시물레이션을 실시하였다. 적절한 기계수의 설정을 위하여 1대씩 증설하여 시물레이션을 실시하였다.

시물레이션 결과, 기계의 증설에 따른 Blade 장당 대기시간은 <Table 11>과 같이 나타났다. 세팅공정 개선을 위해 3대의 세팅기계를 추가했을 경우 현 공정에서 평균 23분의 대기시간이 약 9분으로 감소됨을 알 수 있었다. 즉, 세팅기계 증설에 따라서 세팅대기시간이 줄어들었으나 그 감소폭은 작아졌으며 세팅작업이 빨라짐에 따른 소결작업의 대기시간 증가가 확인되었다. 이러한 이유로 한 달 생산량에는 크게 변화가 없는 것으로 나타났다 (<Table 12> 참조).

4.1.3 소결공정 개선

소결작업의 문제점을 해결하기 위해 현 공정과 동일한 소결기계를 한 대씩 추가하면서 시물레이션을 실시하였다.

<Table 11> Wait Time(min.) per Sheet with Setting Machine Expansion

Process		Mixing process improvement	1 expansion	2 expansion	3 expansion
Setting		23.62	16.40	11.80	9.26
Sintering		7.10	14.01	18.36	20.96
Lapping	rough	17.38	17.72	17.47	17.52
	semi	3.52	3.571	3.56	3.76
	finish	2.81	2.714	2.77	2.80

<Table 12> Monthly Cumulative Volume(ea.) and Waiting Time(min.) with Setting Machine Expansion

	Mixing process improvement	1 expansion	2 expansion	3 expansion
volume(ea.)	2,128	2,134	2,133	2,132
Setting	53,081	36,983	26,569	20,866
Sintering	15,719	31,442	41,291	46,968

<Table 13> Wait Time(min.) per Sheet with Sintering Machine Expansion

Process		Mixing process improvement	1 expansion	2 expansion
Setting		23.6216	23.4301	23.5358
Sintering		7.0963	1.5259	0.1444
Lapping	rough	17.3832	15.0341	13.6052
	semi	3.5223	3.3908	3.4758
	finish	2.8051	2.8131	2.7800

<Table 14> Monthly Cumulative Volume(ea.) and Waiting Time(min.) with Sintering Machine Expansion

Process	Mixing process improvement	1 expansion	2 expansion
volume(ea.)	2,128	2,131	2,135
Setting	53,081	52,781	53,036
Sintering	15,719	3,273	304

시물레이션 결과, <Table 13>과 같이 소결기계의 증설에 따른 Blade 장당 대기시간은 감소되며 특히 2대 증설할 경우 평균 7분의 대기시간이 0.1분으로 감소되는 것을 확인하였다.

소결기계의 증가는 래핑작업에도 영향을 주는 것으로 나타났다. 믹싱공정 개선만 했을 경우 약 17분이던 래핑 대기시간이 소결기계가 5대(2대 증설)가 설치되면 약 13분으로 줄어드는 것으로 나타났다.

한편 <Table 14>는 소결기계 증설에 따른 한 달간 누적 생산량과 누적대기시간을 나타낸 것이다.

<Table 15> Wait Time(min.) per Sheet with Lapping Machine Expansion

Process	Mixing process improvement	1 expansion	2 expansion	3 expansion
Setting	23.6216	23.5404	23.5426	23.4735
Sintering	7.0963	7.0746	7.0459	7.0427
Lapping	rough	17.3832	17.3026	17.2743
	semi	3.5223	3.4044	3.3858
	finish	2.8051	2.7170	2.7131

<Table 16> Monthly Cumulative Volume(ea.) and Waiting Time(min.) with Lapping Machine Expansion

Process	Mixing process improvement	1 expansion	2 expansion	3 expansion
volume	2,128	2,127	2,127	2,127
waiting time	1,733	344.33	11.8171	0.00

4.1.4 정삭공정 개선

정삭기계 증설에 따른 시뮬레이션 결과, <Table 15>와 같이 정삭작업에서의 Blade당 대기시간은 전체적으로 큰 차이가 없지만 3대 추가설치 시 대기시간이 2분에서 1분으로 줄어든 것을 확인하였다.

또한 <Table 16>에서 보는 바와 같이 한 달 간 누적 생산량에는 크게 변화가 없으나 정삭기계의 대기시간은 급격히 감소하는 것으로 확인되었다. 믹싱공정만 개선할 경우 대기시간이 1,733분인데 반해 3대의 정삭기계를 추가 증설할 경우(6대 설치)에는 0분으로 줄어들어 연간 생산량이 크게 증대될 것으로 판단된다.

4.1.5 복합적 개선

여기서는 믹싱작업을 하루 전에 실시하는 대안 1을 기본으로 하여 각각 세팅, 소결, 정삭 기계를 추가하는 대안 2, 3, 4를 포함한 복합대안 5에 대해 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 결과 나타난 대안별 1일 평균 대기시간 및 생산량(<Table 17>)과 대안별 누적생산량(<Table 18>)을 보면 세팅공정, 소결공정, 정삭공정의 개별개선보다 복합적 개선대안들이 효과적인 것으로 나타났다. 특히 가장 효과적인 복합대안 3의 경우 현 생산 공정 보다 연간 4,500장 정도의 증산효과를 거두는 것으로 나타났다.

4.2 경제성 분석

4.2.1 경제성분석을 위한 가정

지금까지 검토된 대기시간 감소방안에 대한 경제성 분석을 실시하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다. 첫

<Table 17> Average Waiting Time and Volume per Alternative (1 day)

Processes	Present	Mixing	Setting	Sintering	Lapping	Composite
Setting	23.50	23.62	9.26	23.54	23.47	16.36
Sintering	6.98	7.80	20.96	0.14	7.04	1.72
Lapping	rough	17.42	17.38	17.51	13.61	17.27
	semi	3.71	3.52	3.76	3.48	3.39
	finish	2.71	2.81	2.80	2.78	1.02
Average wait time(min)	54.32	55.13	54.29	43.55	52.19	35.61
Average production volume(ea.)	60	120	120	120	120	120

<Table 18> Cumulative Volume per Alternative(1 year)

Alternatives	Expansion number					Vol. (1 Mon.)	cumulative volume (1year)
	chamber	Set	Sinter	Lap			
present	0	0	0	0	1,761	21,132	
Mixing	1	0	0	0	2,128	25,536	
Setting	1	1	1	0	2,134	25,608	
	2	1	2	0	2,133	25,596	
	3	1	3	0	2,132	25,584	
Sintring	1	1	0	1	2,131	25,572	
	2	1	0	2	2,135	25,620	
Lapping	1	0	0	3	2,127	25,524	
Composite	1	1	0	1	3	2,137	25,644
	2	1	0	2	3	2,137	25,644
	3	1	1	1	0	2,143	25,716
	4	1	1	1	3	2,137	25,644
	5	1	1	2	0	2,140	25,680
	6	1	1	2	3	2,139	25,668
	7	1	2	2	0	2,143	25,716
	8	1	2	2	3	2,145	25,740

째, 하루 9시간, 월간 20일을 기준으로 하여 계산되어진 생산량을 통해 연간 누적생산량을 예측하며 생산된 제품은 전량 판매된다. 둘째, 기계 한 대당 비용은 향온향습기 7,000만 원, 세팅기계 500만 원, 소결기계 6,000만 원, 래핑 정삭기계 5,000만 원, 장당 Blade 가격은 5만 원으로 산정한다. 셋째, 기계의 추가로 인해 발생될 수도 있는 작업자의 증가는 무시한다. 넷째, 추가된 기계설비의 내용연수는 5년, 연간 이자율은 5%(평상시 대출이자)로 한다.

4.2.2 경제성분석 결과

<Table 19>는 상기의 4가지 가정에 따라 현 방법(대안 0), 믹싱공정개선(대안 1), 세팅공정개선(대안 2~4), 소결공정개선(대안 5~6), 정삭공정개선(대안 7), 복합개선(대안 8~15) 등 총 16개 대안에 대한 연간기대효과를 분석한 결과

<Table 19> Economic Analysis(unit : 10,000 won)

Measures No.	Annual investment costs	Annual sales	Annual Benefit	Performance ratio (%)	rank
present	0	105,660	0	100.0	16
Mixing	1,617 ¹⁾	126,063 ²⁾	20,403 ³⁾	119.3 ⁴⁾	3
Setting	2, 1,733	126,308	20,648	119.5	1
	3, 1,848	126,132	20,472	119.4	2
	4, 1,964	125,957	20,297	119.2	4
Sintering	5, 3,003	124,857	19,197	118.2	6
	6, 4,389	123,711	18,051	117.1	9
Lapping	7, 5,082	122,538	16,878	116.0	10
Composite	8, 6,468	121,752	16,092	115.2	11
	9, 7,854	120,366	14,706	113.9	15
	10, 3,119	125,462	19,802	118.7	5
	11, 6,584	121,637	15,977	115.1	12
	12, 4,505	123,896	18,236	117.3	8
	13, 7,970	120,371	14,711	113.9	14
	14, 4,620	123,960	18,300	117.3	7
	15, 8,085	120,615	14,955	114.2	13

Notes : 1) $7,000(a/p, 5, 5\%) = 7,000 \times 0.231 = 1,617$.
 2) $25,536 \times 5 - 1,617 = 126,063$.
 3) $126,063 - 105,660 = 20,403$.
 4) $105,660 / 126,063 = 119.3\%$.

이다. 여기서 투자비용(연가)은 항온항습기 및 추가설비 비용을 연가로 환산한 것이고 연간매출액은 대기시간 감소로 증가된 생산량에 단가를 곱해 계산하였다. 그 결과, 16개의 방안 중 대안 2가 최적인 것으로 나타났다. 즉, I사에서는 항온항습기 및 세팅기계 1대 추가 도입하고 믹싱작업을 하루 전날 실시하게 된다면 향후 5년간 매년 20,648만 원의 이익증대 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 수요처의 물량확대 요청이 있을 경우에는 대안 12(복합대안 5)도 신중히 검토할 필요가 있다고 본다.

상기와 같은 경제성분석 결과, 한 가지 간과해서는 안 될 사항은 비록 단순한 개선방안일지라도 상당한 효과를 가져 올 수 있다는 점이다. 예컨대, 믹싱공정 개선은 단순한 아이디어이지만 월 평균 약 400장의 생산량 증가와 투자비용을 제외하고도 매년 약 20,403만 원 매출증가 효과를 거둘 수 있는 것으로 나타났다기 때문이다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 다이싱 블레이드 제조공정 개선을 통한 생산성향상 방안을 강구하였다. 시뮬레이션 기법을 이용하여 현 공정의 문제점을 파악하고 여러 대안을 경제적으로 검토, 최적방안을 선정하였다. 지금까지 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 약 2시간 30분 정도 소요되는 믹싱공정을 사전에 할 경우 대기시간의 차이는 크게 없는 것으로 나타났으나 전체 산출량에서 60개에서 120개로 증가하였다. 둘째, 세팅공정 개선에 비해 소결공정 개선이 효과적인 것으로 판단된다. 셋째, 복합적인 개선은 생산성향상과 리드타임 감소에 효과적인 것으로 판단된다. 세팅공정은 약 23분에서 16분으로, 소결공정은 약 7분에서 약 1.7분으로, 황삭 공정은 17분에서 11분으로 대기시간이 줄어들었으며 산출량도 60개에서 120개로 증가하였다. 넷째, 투자비용 대비 연간매출액 증가를 비교해 본 결과, 16개의 방안 중 믹싱공정은 사전에 실시하고 세팅기계를 1대 추가 설치하는 방안이 최적이며 향후 5년간 매년 20,648만 원의 매출증가효과를 거둘 수 있을 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 공정 대기시간 감소를 위한 기계의 추가설치가 꼭 만능이 아니라는 것을 확인하였다.

향후 연구에서는 더욱 다양한 생산 공정에 적용하고, 작업자의 인건비 등 다양한 요인들을 고려하여 보다 정확한 결과를 도출할 필요가 있다.

References

- [1] Chai, J.I. and Park, Y.B., A Study on Throughput Increase in Semiconductor Package Process of K Manufacturing Company Using a Simulation Model, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2010, Vol. 19, No. 1, pp. 1-11.
- [2] Cho, J.J. and Koo, P.H., Comparison on Lot Sizing Decision Methods of Batch Process through Simulation Analysis, *Korean Institute of Industrial Engineers Joint Conference*, 2012, pp. 2701-2708.
- [3] Choi, J.H., Kwon, H.J., Woo, J.Y., and Park, P., A Case Study of Work Improvement Adapting Standard Time and Line Balancing on a Manufacturing Process, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 1998, Vol. 3, No. 2, pp. 161-173.
- [4] Kelton, W.D., *Simulation with ARENA*, 6th edition, McGraw Hill, 2015.
- [5] Kim, H.J., A Study on Productivity Improvement Using Simulation Technique in Raw Material Processing Line, Hanbat National University, 2015.
- [6] Koo, P.H., Koh S.G., and Lee, W.S., *Determination of Batch Size at Bottleneck Machines of Multi-product Production Systems*, Korean Institute of Industrial Engineers Conference, 2009, pp. 270-276.
- [7] Lee, B.H., Yoon, S.W., and Jeong, S.J., Adaptive Process Decision-Making with Simulation and Regression

- Models, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2014, Vol. 23, No. 4, pp. 203-210.
- [8] Lee, D.H., Plant Engineering and Maintenance Management, Ewha Press, 2011.
- [9] Lee, G.C. and Choi, S.H., A Simulation Study on Capacity Planning in Hybrid Flowshops for Maximizing Throughput under a Budget Constraint, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2011, Vol. 20, No. 3, pp. 1-10.
- [10] Lee, K.P. and Park, J.I., *A Case Study on the Economic Effect of Improved Working Environments*, Korean Institute of Industrial Engineers Joint Conference, 2009, pp. 998-1004.
- [11] Moon, D.H. and Chang, K.K., *A Simulation Model for Capacity Design of a Manufacturing Process for Bearing*, Korea Society for Simulation Conference, 2001, pp. 20-24.
- [12] Park, K.H., A Study of LCA and TCA on a Manufacturing Process in Dye Industry, The University of Suwon, 2002.
- [13] Sim, H.Y. and Lee, D.H., Construction of Intelligent Production Information System for Efficient Plant Engineering, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2014, Vol. 37, No. 3, pp. 16-23.
- [14] Yang, S.M., Computer Simulation with ARENA/SIMAN, KyungSung University.

ORCID

- Jung-Su Mun | <http://orcid.org/0000-0002-7141-9496>
Soo-Yong Park | <http://orcid.org/0000-0001-8656-551X>
Dong-Hyung Lee | <http://orcid.org/0000-0001-8743-858X>