

베어링궤도 제조공정의 용량설계에 관한 사례연구

문덕희[†] · 송 성

창원대학교 산업시스템공학과

A Case Study on the Capacity Design for Manufacturing Process of Bearing-Race

Dug Hee Moon · Cheng Song

Department of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University Changwon, Gyeongnam, 641-773

In order to build a new factory, we must have answers regarding the following questions; 1. what is to be produced? 2. how are the products to be produced? 3. how much of each product will be produced? The answers are related to product-design, process-design and capacity-design respectively and they are used for layout-design as the input data. Especially capacity design decision provides the information regarding the number of equipments required and the balance of the line.

This paper introduces a case study on the capacity design for a new factory where the retainers of ball bearing are manufactured. A simulation model is developed with ARENA for analyzing the system considered. The major objectives of the study are evaluating the performance of the line which is originally suggested by the company, and finding out alternatives for improving the system. Number of WIP between the processes are also investigated because it affects the space planning of the layout.

Keywords: capacity design, manufacturing process, simulation, WIP

1. 서론

새로운 공장을 건설하는 과정에서 기업들은 많은 대안들을 검토한다. 하지만 아직까지 과학적인 방법보다는 다년간의 경험을 바탕으로 전문자적인 입장에서 생성한 대안을 정성적으로 판단하는 것이 현실이다. 이러한 대안들을 분석하는 많은 노력들이 있었으나 실무자들이 직접적으로 사용하거나 정보를 받아들이어서 필요한 대안을 분석하기 위해서는 많은 시간과 비용이 필요하다. 특히 공장의 건설단계에서 충분한 사전검토를 하지 않는다면 향후 생산단계에서 문제점이 발견되었을 때 많은 비용을 들여서 설비교체 및 설비배치(layout) 변경을 해야 한다. 따라서 공장을 신축할 경우 일반적인 설비계획 절차에 따

라 제품설계, 공정 설계, 용량설계를 거쳐 설비배치 설계로 이어지게 된다(Tomkins *et al.* 1996).

공장 설계단계에서 이러한 시행착오를 최소화 하기 위한 방법으로 널리 사용되는 기술이 시뮬레이션 기술이다. 시뮬레이션은 수리모형이 가진 한계를 탈피하여 현장에서 발생하는 상황을 가급적 일치되도록 쉽게 모델링 할 수 있으며, 반복실험을 통하여 예측할 수 없었던 문제점들도 파악할 수 있는 등 많은 장점이 있다.

이렇듯 공장이나 일부 생산라인을 설계할 때 시뮬레이션을 이용한 많은 연구들이 수행된 바 있다. 그러나 이러한 연구들의 특성은 특정한 시스템을 대상으로 시뮬레이션을 수행했다는 점이며, 그 의미는 각 시스템에 적합한 시뮬레이션 모형을

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것임.

[†]연락처: 문덕희 교수, 641-773 경남 창원시 사림동 9 창원대학교 산업시스템공학과, Fax: 055-266-4464,

e-mail: dhmoon@sarim.changwon.ac.kr

2002년 8월 접수, 2회 수정 후 2002년 10월 게재 확정.

각각 개발하여야 한다는 것이다. 따라서 시뮬레이션을 응용한 선행 연구들은 셀 수 없을 만큼 많다고 할 수 있는데, Moon 등(1997)은 자동차용 방진고무부품 공장의 설비배치를 위한 시뮬레이션 모델을 개발한 바 있으며, Moon and Chang(2000)은 타이어 제조설 설계를 위한 시뮬레이션 모델을 개발한 바 있다.

본 논문에서는 베어링을 생산하는 한 업체에서 새로이 공장을 신축하기 위하여 시뮬레이션을 이용하여 설비들의 용량설계를 한 사례를 소개하고자 한다. 이 회사는 베어링 제조업체인 A사의 1차 협력업체로서 그 동안에는 가공 위주의 생산을 하다가 단조기와 소둔기를 신규 도입하여 제조공정을 확대하려는 계획을 가지고 있었다. 특히 그 동안의 임가공 공정을 중심으로 했던 이 회사로서는 단조기의 가격도 고가이며, 단조공정이 이윤이 많이 발생하므로 단조기의 가동률을 최대로 하면서 다른 설비들의 적정 대수를 결정하는 데 관심을 가지고 있어서 이를 중심으로 분석을 수행하였다.

2. 현황 분석

2.1 베어링 제조공정

베어링은 힘과 무게를 지탱하면서 물체를 적은 마찰력으로 회전운동(또는 직선운동)을 시켜 동력과 변위를 전달하기 위한 안내에 사용되는 기계요소이다(FAG Han-Hwa, 1998). 베어링은 마찰의 형식에 따라 미끄럼 베어링과 구름 베어링으로 구분되며, 구름 베어링은 다시 내륜과 외륜 사이에 볼을 넣은 볼 베어링과 롤러를 넣은 롤러 베어링으로 구분한다. <그림 2>는 일반적인 볼 베어링의 구조다.

볼 베어링을 제조하는 공정은 대략적으로 <그림 3>과 같다. 물론 각 공정에 대한 세부 공정들은 가공설비나 가공방법에 따라 차이가 있다. 이 회사에서는 구대한 봉 형태의 원자재

그림 3. 일반적인 볼 베어링 제조공정.

를 자동 바 입력장치(Auto Bar Feeding System)를 이용하여 열간 단조기에 공급하여 베어링 형태의 단조품을 생산한다.

그 후 일정량이 용기에 모이면 소둔기로 운반한 후 특수용기에 담아 소둔로에 투입한다. 소둔로를 통과한 제품은 쇼트기로 이동되어 제품에 있는 불순물을 제거하고 전조기, 사이징기, 내/외경 연삭기 등을 거쳐 모기업이나 후속공정을 수행하는 업체에 납품을 한다.

2.2 생산품의 유형 및 품목별 정보

D사에서 생산 예정인 베어링 품목 수는 30개로서 제품특성에 따라 크게 3종류로 구분할 수 있다. R1, R2 유형은 단조공정에서 외륜과 내륜으로 분리되어 후속공정에서는 내륜과 외륜이 별도로 흐르게 되며, R3 유형은 최종공정까지 내륜과 외륜이 붙어서 가공된다. 그 후 후속공정인 선삭공정에서 내륜과 외륜이 분리되어 별도의 가공공정을 거친 후 조립된다. 또한 R1 유형의 경우 내륜과 외륜이 동일한 공정을 거치는 반면, R2의 경우는 내륜과 외륜이 서로 다른 공정을 거친다. <그림 4>는 세가지 유형에 대한 공정흐름을 보여준다.

이 공장은 배치(batch)생산을 하며, 모기업과 협의 하에 1로트(lot)는 40,000개로 계획하고 있다. 소둔기에 들어가는 박스의 용량은 1톤인데 적재율이 80% 정도 되므로 실질적으로는 운반을 위한 박스의 용량은 800 kg으로 하였다. 한 박스에 평균적으로 몇 개의 제품이 적재되는지 알아보기 위하여 각 품목의 중량을 측정 후 800 kg을 개별 품목의 중량으로 나누어 1 박스에 담기는 수량을 계산하였다. 또한 1로트 용량인 40,000개를 운반하기 위하여 몇 개의 박스가 필요한지 계산하였다.

그림 1. 일반적인 설비계획 절차.

공정유형	R1		R2		R3
	외륜	내륜	외륜	내륜	
품목수	9		18		3
대형 단조기	●		●		●
소형 단조기					●
소둔기	●		●		●
쇼트기	●		●		●
전조기		●		●	
사이징		●		●	
양면연삭기	●	●	●	●	●
외경연삭기		●		●	●

그림 4. 유형별 공정 흐름.

표 1. 유형별 제품정보

유형	품목수	중량		박스당 수량		로트당 박스 수*	
		외륜	내륜	외륜	내륜	외륜	내륜
R1	9	166.1	101.7	5120	8216	8.55	5.44
R2	18	115.7	183.8	7088	4512	6.05	9.88
R3	3	58.2		11465		3.33	

* 시뮬레이션에서는 박스의 수를 올림하여 정수로 하였음

예를 들어 박스당 6000개의 제품이 적재된다면 1로트 생산에 소요되는 박스의 수는 7개다. 이와 같은 과정을 거쳐 모든 품목에 대한 자료를 수집하였다. <표 1>은 회사의 사정상 각 품목들에 대해 유형별 평균을 계산한 것으로 유형별 내·외륜의 평균 중량과 1박스에 담기는 평균 수량, 1로트를 생산할 때 발생하는 평균 박스 수를 보여준다. 물론 실제 연구수행단계에서는 각 품목별로 실제 자료를 이용하였음을 밝혀둔다.

2.3 설비 및 공정 정보

당초 회사에서 도입하기로 결정한 설비의 종류와 대수 및 설비별 가동시간은 <표 2>와 같다. 설비별로 월간 가동일수와 일별 가동시간은 다른데 전조기의 경우 1달 중에서 16일은 21.5시간 가동을 하고, 나머지 8일은 19시간 가동을 한다는 의미이다. 이 때 셋업시간, 유지보수시간을 제외한 순수 가동률은 50~80%로 추정하였다. D사의 경우 판로가 보장되어 있으므로 단조기를 최대한 가동하여 생산을 하는 것이 생산목표다. 따라서 생산목표량은 <표 3>에 있는 것과 같이 두 대의 단조기를 최대한 가동하였을 때 생산되는 양으로 잡았다. 따라서 대형 단조기에서는 월평균 1,393,200세트(set), 소형 단조기에서는 1,857,600개가 생산목표량이다. 대형 단조기의 생산량이

표 2. 설비 가동률 정보

설비명	설비 대수	설비가동시간				평균 공정시간 (초)	이론적 소요시간 (시간)	예상 부하율 (%)
		가동일수	가동시간	평균가동률	월간가동시간			
대형단조기	1	24	21.5	0.6	309.6	0.8	309.6	100.0
소형단조기	1	24	21.5	0.5	258.0	0.5	258.0	100.0
소둔기①	1	28	24.0	0.8	537.6	2700	516.8	96.1
쇼트기②	1	28	24.0	0.8	537.6	1500	574.2	106.8
전조기	6	16 8	21.5 19.0	0.8	396.8	7.5	322.5	81.3
사이징	6	16 8	21.5 19.0	0.8	396.8	1.5	387.0	97.5
양면연삭기	2	16 8	21.5 19.0	0.8	396.8	0.7	632.1	159.3
외경연삭기	3	16 8	21.5 19.0	0.8	396.8	1.37	471.3	118.8

① 소둔기의 실제 공정시간은 18시간이나 24박스가 컨베이어 식으로 움직이기 때문에 45분만에 1박스씩 생산된다고 볼 수 있음.

② 쇼트기는 1회 500Kg씩 처리하는 데 25분이 소요됨.

표 3. 생산목표량

구분	품목 수	1 로트 씩 생산		월간 가동시간	품목별 월간 생산 로트수 ^b
		생산량 ^a (세트)	생산소요시간		
대형단조기	27	1,080,000	240.0	309.6	1.29
소형단조기	3	120,000	16.7	258.0	15.48

* 생산목표량은 a와 b를 곱한 값임

1,393,200세트라는 의미는 단조공정이 끝나면 내·외륜이 각각 1,393,200개씩 생산된다는 의미이며, 이 경우 후속공정에 흐르는 물량은 2,786,400개이다. 이 때 품목별 생산량은 동일한 것으로 가정하여 시뮬레이션 수행시 확률로 처리하였다. <표 2>에서 이론적 소요시간이란 단조기를 최대로 가동하였을 때 각 설비별로 요구되는 소요시간이며, 이를 이용하여 예상부하율을 추정하였다. 그 결과 쇼트기, 양면연삭기, 외경연삭기의 용량이 부족할 것으로 추정되었다.

3. 시뮬레이션 모델링

위와 같은 입력자료를 이용하여 시뮬레이션모델을 개발하였다. 개발도구로는 ARENA 3.5를 이용하였다. 회사의 관심이 이

러한 설비들로 정상적인 생산이 가능한지 분석하는 것이었으므로 시뮬레이션 출력으로는 다음과 같은 사항을 집중적으로 검토하였다.

- 전체 시스템의 생산률(throughput)
- 적정 설비 대수
- 설비별 가동률
- 공정 간의 평균 재공품(박스 수)

여기에서 생산률(throughput)이라 함은 생산시스템이 원활하게 운영되는지를 평가하기 위한 것으로 최초공정인 단조공정에 투입된 수량과 최종공정에서 생산된 수량의 비율을 의미한다. 따라서 생산라인이 정상적으로 가동된다면 생산률은 100%에 근접해야 하며, 90%라는 말은 나머지 10%가 공정 균형이 맞지 않기 때문에 재공품으로 쌓여간다는 것이다.

3.1 공정순서 제어와 기계의 월간 가용 시간

각 부품들의 다른 공정순서는 SEQUENCES로 정의하고 모든 기계에서 작업순서는 FCFS를 가정하였다. 각 기계가용시간은 SCHEDULE로 정의하였는데 월간 가동시간이 가장 긴 소둔기를 기준으로 하여 2주일의 주기로 반복되게 하였다. 기계별 가동률의 차이는 일정비율 기계의 상태를 INACTIVE로 전환시켜 통제하였다.

아울러 대형단조기를 통과하는 27개의 품목들과 소형단조기를 통과하는 3가지 품목들을 임의(random)의 순서로 투입시키기 위하여 동일한 확률을 가지는 이산형 확률분포를 사용하였다.

3.2 대형단조기

대형단조기는 R1, R2 유형의 27개 품목을 생산한다. 이 설비에서는 1번의 타발로 동시에 내륜과 외륜을 생산하여 별도의 박스에 담는다. 따라서 1 로트를 생산하면 발생하는 박스의 수가 서로 다르게 되며, 1박스를 채우는 시간도 달라진다. 따라서 내륜 혹은 외륜 중 먼저 박스가 채워지는 것을 후속공정인 소둔기로 보내기 위하여 가상으로 자원 한 대를 더 도입하여 박스간의 시간차를 해결하였다. 또한 1 로트를 40,000개로 정하였으므로 마지막 박스는 다 채워지지 않은 상태에서 후속공정으로 흐를 수 있게 하였다.

<그림 5>는 대형 단조기의 모델이며, <그림 6>은 로트 생산을 하면서 내륜과 외륜의 박스를 생성하여 후속공정으로 보내는 모델이다.

3.3 소형단조기

소형단조기는 R3 유형의 3개 품목을 생산하는데 R3 유형은 내륜과 외륜이 붙어 있는 상태이므로 내륜과 외륜을 구분할

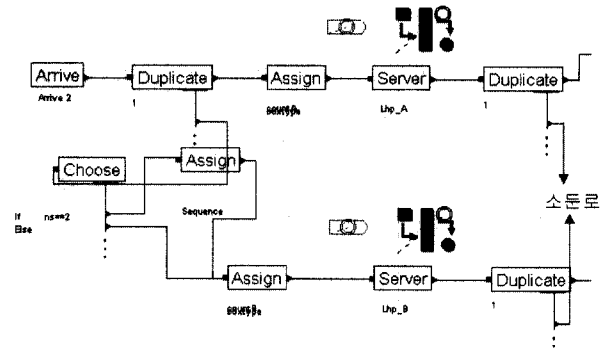


그림 5. 대형단조기 모델.

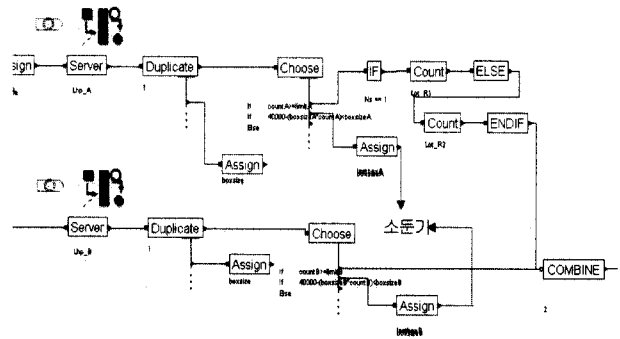


그림 6. Lot 제어모델.

필요가 없어 대형 단조기의 경우에 비하여 단순하다.

3.4 소둔

소둔기는 동시에 24박스를 처리할 수 있는데 내부 구조는 컨베이어 형태로 되어 있다. 단조품이 소둔기에 투입되면 18시간 동안 소둔기에 머무르게 되므로 45분만에 1박스씩 공정이 완료된다고 볼 수 있다. 따라서 소둔기는 24개의 자원을 직렬로 연결하여 모델링을 하였으며, 각 자원의 공정시간은 45분으로 하였다. 또한 첫 번째 자원에만 대기행렬을 두고 나머지 23개의 자원에는 대기행렬이 없는 것으로 모델링을 하였다.

3.5 쇼트기

쇼트기는 500 kg의 용량을 가지고 있지만 1박스당 중량을 800 kg으로 정하였으므로 박스가 도착하면 둘로 분할하여 작업을 하는 것으로 처리하였다. 만일 박스의 중량이 400 kg 이하인 것이 도착하면 분할하지 않는다.

3.6 전조기 등 기타 설비

전조기, 사이징기, 양면연삭기, 외경연삭기는 동일한 기계가 복수로 있기 때문에 병렬기계로 처리하였다.

4. 시뮬레이션 실험

주어진 설비를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 이러한 상황을 시뮬레이션 하기 위해서는 종료형 시뮬레이션(terminating simulation)을 이용하여 반복실험을 하거나, 안정상태 시뮬레이션(steady state simulation)을 이용하여 여러 개의 배치(batch)로 절단한 후 평균을 이용하는 두 가지 방법 중 하나를 선택해야 한다. 본 연구에서 사전 실험을 한 결과 시뮬레이션 기간을 10 개월로 한다면 충분히 안정상태에 도달하여 통계량을 구하는데 아무 문제가 없는 것으로 판단되었다(<그림 7>, <그림 8> 참조). 따라서 분산 감소를 위하여 반복횟수를 10회로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그 결과 쇼트공정에서부터 과부하가 걸렸으며, 예상한 대로 양면연삭공정에서도 과부하가 걸림을 알 수 있었다. 외경연삭의 경우 선행공정인 양면연삭기에서 물량을 제대로 처리하지 못하고 있었기 때문에 오히려 유희현상이 발생하였다. 또한 재공품 재고는 시간이 흐르면서 계속 증가하며, 생산률(throughput)이 50~70%에 지나지 않았다.

따라서 다음과 같은 추가 대안을 만들어 실험을 반복하였다.

- 대안 1: 쇼트기의 공정시간을 20분으로 단축
- 대안 2: 양면연삭기 1대 추가 도입
- 대안 3: 양면연삭기 2대 추가 도입
- 대안 4: 양면연삭기 2대와 외경연삭기 1대 추가도입

우선 쇼트기의 공정시간을 20분으로 단축할 수 있는지에 대해 기술진과 검토한 결과 500 kg의 경우 소요시간이 25분이었기 때문에 400 kg을 투입했을 때 20분만 작업을 하더라도 별다른 문제가 발생하지 않는 것으로 결론을 지었다.

실험결과 양면연삭기 2대와 외경연삭기 1대를 추가 도입하여야 생산이 정상적으로 진행됨을 알 수 있었으며, 설비의 추가 도입이 불가능할 경우 몇몇 품목을 선택하여 외주처리를 해야 할 것으로 판단되었다. 이 경우에 물류흐름의 역류현상을 방지하면서 용량을 만족시키기 위해 R1이나 R2 유형의 일부 외륜을 외주처리 하는 것이 타당할 것으로 결론지었다.

원안과 4가지 대안에 대한 검정을 위하여 3가지 유형별로 생산률(throughput)에 대한 t-test를 수행한 결과 대안 4가 가장 우수한 것으로 결론 지을 수 있었는데, 모든 비교 조합에 대한 p-value 는 0.0001보다 작은 것으로 판명되었다. <표 5>는 유형 3에 대한 t-test의 결과를 보여준다.

추가적으로 대안 4에 대하여 보다 상세한 상황을 분석하기 위하여 난수 수열(random number stream)을 변경하여 20회의 추가 실험을 행하였다. 각 공정별 가동률에 대한 결과는 <표 6>과 같다.

추가 실험에서 전조기의 경우 제품조합에 따라 부하율의 편차가 매우 큼을 알 수 있었다. 또한 사이징기의 경우에도 제품 조합에 따라 부하율이 100%가 되는 경우가 또한 2번 발생하였는데 이러한 두 가지의 공정이 향후 검토하게 될 재공품 재고

증가의 주요 원인이라 할 수 있다.

추가 실험에서 얻은 각 공정 간의 재공품 재고량을 조사한

표 4. 시뮬레이션 결과

		원안	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
평균 부하율	대형단조	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	소형단조	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	소둔	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7
	쇼트	100.0	86.0	86.0	86.0	86.0
	전조	55.0	56.0	79.0	81.0	81.0
	양면연삭	100.0	100.0	100.0	79.0	79.0
	외경연삭	72.0	71.0	100.0	100.0	89.0
평균 Throughput	사이징	67.9	68.8	94.2	95.8	95.8
	R1	53.3	50.6	87.9	89.3	99.9
	R2	50.4	48.1	86.8	87.8	98.3
	R3	69.1	70.1	90.2	89.3	100.0

* 수치는 10회 반복한 결과 값의 평균임

표 5. 대안 사이의 생산률에 대한 검정결과(유형 3)

p-value	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4
원안	3.06E-08	1.92E-14	4.47E-13	1.07E-18
대안 1		2.62E-14	6.12E-13	3.53E-18
대안 2			3.37E-05	1.39E-10
대안 3				7.29E-10

표 6. 대안 4에 대한 추가 실험결과

		평균	최소	최대
부하율	대형단조	100.0	100.0	100.0
	소형단조	100.0	100.0	100.0
	소둔	97.0	95.9	99.0
	쇼트	86.2	85.1	87.9
	전조	80.0	67.9	91.7
	양면연삭	79.5	78.0	80.4
	외경연삭	88.7	85.9	90.4
사이징	96.8	90.8	100.0	

표 7. 공정 간 재공품 재고(단위: 박스)

	평균재공품평균 MEAN(X_{ij})	최대재공품평균 MEAN(Y_{ij})
소둔기	16.92	51.65
쇼트기	0.00	0.00
전조기	9.34	64.75
양면연삭기	6.66	37.10
외경연삭기	1.23	11.10
사이징	21.79	56.35
전조+양면 +외경+사이징	39.02	107.75

* X_{ij} : i 공정의 j 번째 실험에서 평균재고량
 * Y_{ij} : i 공정의 j 번째 실험에서 최대재고량
 * MEAN(X_{ij}): X_{ij} 의 20회 평균
 * MEAN(Y_{ij}): Y_{ij} 의 20회 평균

결과 <표 7>과 같은 실험결과를 얻었다. 이 표에서 평균재공품이란 20회 실험에 대해 각 실험의 평균재공품수량의 평균을 구한 것이며, 최대재공품이란 각 실험에서 얻은 최대재공품수량의 평균을 구한 것이다.

쇼트기의 경우 소둔기와 라인 형태로 연결되어 있어 소둔기에서 나오는 물량을 바로 처리하도록 되어 있으며, 가동시간도 같기 때문에 재공품 재고가 발생하지 않았다. 또한 단조기와 소둔기 사이의 재공품 재고는 컨베이어를 설치하여 재공품 저장공간을 확보하기로 하였다.

전조기, 사이징기, 양면연삭기, 외경연삭기 공정은 회사에서 공정별 배치를하기를 원하였다. 나머지 해결해야 할 문제는 전조기, 사이징기, 양면연삭기, 외경연삭기에 필요한 재공품 공간을 얼마나 확보하는가에 대한 것이다. 이것을 결정하기 위하여 재공품 저장 방식을 중앙집중식으로 할 것인지 아니면 분산식으로 할 것인지 결정해야 하는데, 전조기와 사이징기의 경우 제품조합에 따라 변동의 폭이 매우 크기 때문에 공간의 효율성을 고려하여 중앙집중식으로하기로 하였다. 그 결과 4개 공정의 평균재공품의 평균은 39.02박스였으며, 최대재공품의 평균은 107.75박스였다. <그림 7>과 <그림 8>은 소둔기와 외경연삭기의 재공품 재고(투입)가 변화하는 모습이다.

하지만 재공품 저장 공간을 결정하기 위해서는 평균값도 중요하지만 최대로 재공품이 얼마나 쌓이는 지도 중요하다. <표 8>은 각 실험별 평균 재고량과 최대 재고량에 대해 20회 실험한 결과값의 범위를 보여주고 있다.

그림 8. 외경연삭기 투입을 위한 재공품 추이.

표 8. 각 실험별 평균, 최대값의 분포범위(단위: 박스)

		최소 MIN	평균 MEAN	최대 MAX
전조기	평균(X_{ij})	5.26	9.34	27.56
	최대(Y_{ij})	38.00	64.75	147.00
양면연삭기	평균(X_{ij})	6.39	6.66	7.00
	최대(Y_{ij})	36.00	37.10	38.00
외경연삭기	평균(X_{ij})	1.01	1.23	1.42
	최대(Y_{ij})	10.00	11.10	13.00
사이징	평균(X_{ij})	8.18	21.79	56.27
	최대(Y_{ij})	26.00	56.35	101.00
전조+양면 +외경+사이징	평균(X_{ij})	24.44	39.02	69.94
	최대(Y_{ij})	71.00	107.75	178.00

이 결과에 의하면 20회 반복실험 중에서 4개 공정에 대해 최대로 재고가 쌓인 경우는 178박스 인 것으로 판명되었다. 최대재고량이 이렇듯 증가하는 원인은 전조기와 사이징기 때문인 것으로 판명되었다. 특히 사이징기의 부하율이 100%에 가깝기 때문에 향후 생산계획 작성시 상당한 수준의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

네가지 공정에서 사용할 재공품 저장장소의 적정 용량을 산정하기 위하여 저장장소를 70개, 80개, ..., 120개로 했을 때 재공품을 저장할 수 있는 확률을 분석한 결과 90개로 하면 96.59% (시간 비율)를 처리할 수 있음을 알 수 있었다. 이것은 재고관리에서 서비스 수준과 동일한 개념으로 90개의 공간만 있으면 대상기간 중 96.59%는 재공품 저장이 가능하다는 의미이다.

이와 같은 과정을 거쳐 최종적으로 확정된 공장의 대략적인 설비배치는 <그림 10>과 같다.

그림 7. 소둔기 투입을 위한 재공품 추이.

그림 9. 재공품 저장공간의 변화에 따른 수용률.

아울러 원활한 공장 내 물류흐름을 확보하기 위하여 재공품 저장을 위한 소요공간도 산정하였다. 이러한 용량설계 결과를 토대로 보다 정밀한 설비배치 설계를 수행할 수 있다.

이 연구에서 추가로 검토해야 할 사항은 설비별 투입 (sequencing) 방법에 의해 재공품이 어떠한 영향을 받는지를 검토하는 것이다. 특히 사이징기와 전조기의 경우 설비부하율이 높은데다가 제품 조합에 따라 재공품의 변화가 큰 것으로 판단되어 향후 생산계획의 영향을 많이 받을 것으로 판단되었다.

또한 회사에서 공정별 배치를 선호하여 쇼트공정 이후의 설비들을 라인화시키는 것을 고려하지 않았지만 물류흐름의 효율화를 위하여 Group Technology를 이용한 라인편성을 하는 것도 고려해 보아야 한다.

그림 10. 공장의 대략적 설비배치.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 베어링을 생산하는 신규 공장을 세우기 위해 시뮬레이션을 이용하여 용량설계를 한 사례를 소개하였다. 연구 결과 당초 회사에서 제시하였던 설계안에 문제점이 있음을 파악할 수 있었으며, 이를 토대로 당초 생산목표를 만족시키기 위한 적정 설비대수 산정을 새로 하였다. 그 결과 회사에서 처음 제시하였던 안보다 양면연삭기 2대와 외경연삭기 1대 등 총 3대의 설비가 보강이 되어야 생산이 정상적으로 진행될 수 있음을 알 수 있었다. 이렇게 할 경우에 생산량은 40% 이상 증가되어 설비투자에 소요되는 투자비용을 고려하더라도 회사에 많은 이익을 가져다주게 되어 경제성이 있음을 입증할 수 있었다.

참고문헌

- FAG Han-Hwa (1998), Introduction to Bearing, FAG Han-Hwa, Korea.
- Kelton, W. D., Shadowski, R. P. and Shadowski, D. A. (1998), Simulation with Arena, McGraw Hill, U.S.A.
- Moon, D. H., Lee, C. S., Hwang, K. H. and Shin, B. S. (1997), A Simulation Modeling for an Engineering of a Plant Manufacturing Rubber-Parts Using SIMPLE++, Proceedings of '97 Spring Joint Conference of KORMS & KIIE, 159-162.
- Moon, D. H. and Chang, K. K. (2000), A Simulation Model for Supporting System Design of Tire Manufacturing Cell, *Journal of Korea Society for Simulation*, 9(2), 27-38.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A. and Trevino, J. (1996), Facilities Planning (2nd Ed), John Wiley & Sons, U.S.A.