

베어링 제조공정 용량설계를 위한 시물레이션 모델

A Simulation Model for Capacity Design of a Manufacturing Process for Bearing

문덕희*, 장구길**

Dug Hee Moon, Ku Kil Chang

*창원대학교 산업시스템공학과, **대우정보시스템

【 요약 】

공장을 신축할 경우 일반적인 설비계획 절차에 따라 제품설계, 공정 설계, 용량설계를 거쳐 Layout 설계로 이어지게 된다. 이 과정에서 용량설계는 공장에 설치할 기계의 적정 대수를 결정하고, 각 공정 사이의 재공품을 예측하여 저장장소의 적정 면적을 결정한다는 점에서 매우 중요한 단계라 하겠다. 이 논문에서는 볼베어링을 제조하는 D사의 신축공장 설계시 수행했던 용량설계를 위한 시물레이션에 대한 사례를 소개하고자 한다. 시물레이션의 주요 관심사는 당초 회사측에서 제시했던 설비들의 수량이 회사의 생산목표를 달성할 수 있는 지에 대한 검토와, 이를 해결하기 위한 방향 제시, 공정별 재공품에 대한 예측 등이다.

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 받아들여서 필요한 대안을 분석하기 위해

서는 많은 시간과 비용적인 노력이 필요하다. 특히 공장의 건설단계에서 충분한 사전검토를 하지 않는다면 향후 생산단계에서 문제점이 발견되었을 때 많은 비용을 들여서 설비 및 Layout 변경을 해야 한다.

공장 설계단계에서 이러한 시행착오를 최소화시키기 위한 방법으로 널리 사용되는 기술이 시물레이션 기술이다. 시물레이션은 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.

오랫동안 공장이나 일부 생산라인을 설계할 때 시물레이션을 이용한 많은 연구들이 수행되었다. 이러한 연구들의 특성은 시물레이션의 대상이 대부분 다르다는 것이다. 문덕희 등[3]은 자동차용 방진고무부품 공장의 Layout을 위한 시물레이션 모델을 개발한바 있으며, 문덕희 등[4]은 타이어 제조설 설계를 위한 시물레이션 모델을 개발한 바 있다.

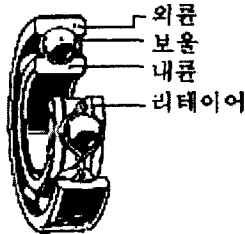
본 논문에서는 베어링을 생산하는 한 업체에서 새로이 공장을 신축하기 위하여 시물레이션을 이용하여 설비들의 용량설계를 한 사례를 소개하고

자 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 가동율을 최대한 하면서 다른 설비들의 적정 대수를 결정하는데 관심을 가지고 있어서 이를 중심으로 분석을 수행하였다.

2. 현황 분석

2-1. 베어링 제조공정

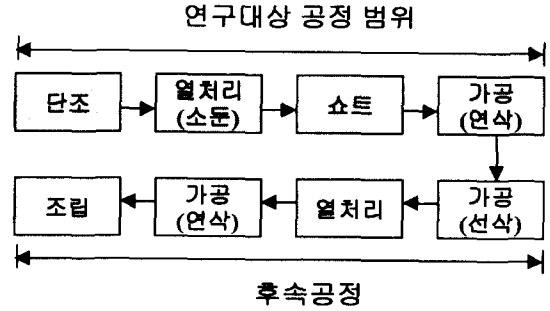
베어링은 힘과 무게를 지탱하면서 물체를 적은 마찰력으로 회전운동 (또는 직선운동)을 시켜 동력과 변위를 전달하기 위한 안내에 사용되는 기계요소다[5]. 베어링은 마찰의 형식에 따라 미끄럼 베어링과 구름베어링으로 구분되며, 구름 베어링은 다시 내륜과 외륜 사이에 볼을 넣은 볼베어링과 롤러를 넣은 롤러베어링으로 구분한다. [그림 1]은 일반적인 볼 베어링의 구조다.



[그림 1] 볼베어링의 일반적 구조

볼베어링을 제조하는 공정은 대략적으로 [그림 2]와 같다. 물론 각 공정에 대한 세부 공정들은 가공설비나 가공방법에 따라 차이가 있다. 이 회사에서는 구매한 봉 형태의 원자재를 자동 바 입력장치(Auto Bar Feeding System)를 이용하여 열간 단조기에 공급하여 베어링의 형태의 단조품을 생산한다. 그 후 일정량이 용기에 모이면 크레인을 이용하여 소둔기로 운반한 후 특수용기에 담아 소둔로

에 투입한다. 소둔로를 통과한 제품은 쇼트기로 이동되어 제품에 있는 불순물을 제거하고 전조기, 사이징기, 내/외경 연삭기 등을 거쳐 모기업에 납품을 한다.



[그림 2] 일반적인 볼베어링 제조공정

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 2차 협력업체에서 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 3]은 세가지 유형에 대한 공정흐름을 보여준다.

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

[그림 3] 유형별 공정 흐름

이 공장은 배치생산을 하며, 모기업과 협의하에 1 Lot 는 40000개로 계획하고 있다. 소둔기에 들어가는 박스의 용량은 1톤인데 적재율이 80% 정도 되므로 실질적으로는 운반을 위한 박스의 용량은 800Kg으로 하였다. 평균적으로 각 품목의 중량을 고려할 때 1박스에 담기는 수량은 차이가 있다. [표 1]은 유형별 내·외륜의 평균 중량과 1박스에 담기는 평균 수량, 1 Lot를 생산할 때 발생하는 평균 박스 수를 보여준다.

[표 1] 유형별 제품정보

유형	품목수	중량		박스당 수량		Lot당 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	

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 다르며, 셋업시간, 유지보수시간을 제외한 순수 가동율은 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 대형단조기에서는 월평균 1,393,200 Set, 소형단조기에서는 1,857,600 개가 생산목표량이다. 대형단조기의 생산량이 1,393,200 Set라는 의미는 단조공정이 끝나면 내·외륜이 각각 1,393,200개씩 생산된다는 의미이다. 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.

[표 2] 설비 가동을 정보

설비명	설비대수	설비가동시간				평균공정시간(초)	이론적 소요시간(시간)	예상부하율(%)
		가동일수	가동시간	평균가동율	월간가용시간			
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
소둔기 ^①	1	28	24.0	0.8	537.6	2700	516.8	96.1
쇼트기 ^②	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 처리하는데 25분이 소요됨.

[표 3] 생산목표량

구분	품목수	1 Lot 씩 생산		월간 가용시간	품목별 월간 생산 Lot수
		생산량 (Set)	생산소요시간		
대형단조기	27	1,080,000	240.0	309.6	1.29
소형단조기	3	120,000	16.7	258.0	15.48

3. 시뮬레이션 모델링

위와 같은 입력자료를 이용하여 시뮬레이션모델을 개발하였다. 개발도구로는 ARENA3.5를 이용하였다. 회사의 관심이 이러한 설비들로 정상적인 생산이 가능한지 분석하는 것이었으므로 시뮬레이션 출력으로는 다음과 같은 사항을 집중적으로 검토하였다.

- 전체 시스템의 Throughput
- 설비별 가동율
- Lot별 평균 작업완료시간
- 공정간의 평균 재공품 (박스 수)

3-1. 공정순서 제어와 기계의 월간 가용 시간

각 부품들의 다른 공정순서는 SEQUENCES로 정의하고 모든 기계에서 작업순서는 FCFS를 가정하였다. 각 기계가용시간은 SCHEDULE로 정의하

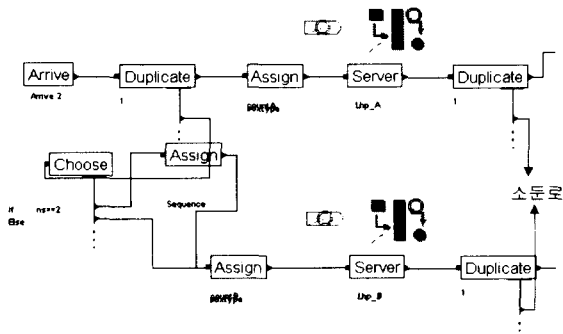
었는데 월간 가동시간이 가장 긴 소둔기를 기준으로 하여 2주일의 주기로 반복되게 하였다. 기계별 가동율의 차이는 일정비율 기계의 상태를 INACTIVE로 전환시켜 통제하였다.

아울러 대형단조기를 통과하는 27개의 품목들과 소형단조기를 통과하는 3가지 품목들을 랜덤한 순서로 투입시키기 위하여 동일한 확률을 가지는 이산형 확률분포를 사용하였다.

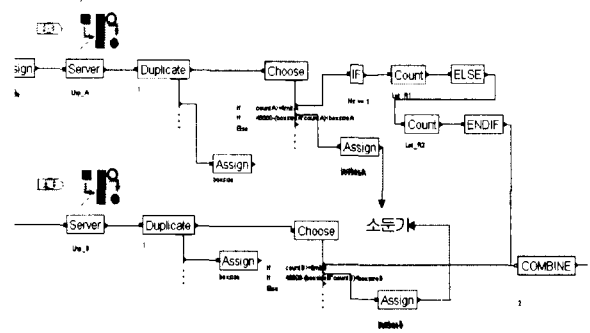
3-2. 대형단조기

대형단조기는 R1, R2 유형의 27개 품목을 생산한다. 이 설비에서는 1번의 타발로 동시에 내륜과 외륜을 생산하여 별도의 박스에 담는다. 따라서 1 Lot를 생산하면 발생하는 박스의 수가 서로 다르게 되며, 1 박스를 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 Lot를 40,000개로 정하였으므로 마지막 박스는 다 채워지지 않은 상태에서 후속공정으로 흐를 수 있게 하였다.

[그림 4]는 대형 단조기의 모델이며, [그림 5]는 Lot 생산을 하면서 내륜과 외륜의 박스를 생성하여 후속공정으로 보내는 모델이다.



[그림 4] 대형단조기 모델



[그림 5] Lot 제어모델

3-3. 쇼트기

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

4. 시뮬레이션 실험

주어진 설비를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 각각에 대해 10회 반복하여 평균값을 구하였으며, 10달로 하였다. 그 결과 쇼트공정에서부터 과부하가 걸렸으며, 예상한대로 양면연삭공정에서도 과부하가 걸림을 알 수 있었다. 외경연삭의 경우 선행공정인 양면연삭기에서 물량을 제대로 처리하지 못하고 있었기 때문에 오히려 유희현상이 발생하였다. 또한 재공품 재고는 시간이 흐르면서 지속적으로 쌓여 Throughput이 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 500Kg의 경우 소요시간이 25분이었기 때문에 400Kg을 투입했을 때 20분만 작업을 하더라도 별다른 문제가 발생하지 않는 것으로 결론을 지었다.

<표 4> 시물레이션 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
	사이징	67.9	68.8	94.2	95.8	95.8
평균 Through hput	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

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. 그 품목은 물류의 역류현상을 방지하면서 용량을 만족시키기 위해 R1이나 R2 유형의 일부 외륜을 외주처리 하는 것이 타당할 것으로 결론지었다.

또한 각 공정간의 재공품 재고량을 조사한 결과 대안 4에 대하여 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

[표 5] 공정간 재공품 재고

	평균재공품	최대재공품
소둔기	16.19 박스	50.40 박스
쇼트기	0.0 박스	0.0 박스
전조기	9.77 박스	57.10 박스
양면연삭기	6.67 박스	37.10 박스
외경연삭기	1.21 박스	11.10 박스
사이징	24.42 박스	56.70 박스

쇼트기의 경우 소둔기에서 나오는 물량을 바로 처리하기 때문에 재공품 재고가 발생하지 않았다. 이와 같은 분석을 통하여 단조기와 소둔기를 컨베이어로 연결하여 재공품 저장공간을 확보하기로 하였으며, 가공공정 사이에 충분한 저장공간을 확보하기로 하였다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 베어링을 생산하는 신규 공장을 세우기 위해 시물레이션을 이용하여 용량설계를 한 사례를 소개하였다. 이러한 용량설계 결과를 토대로 Layout 설계를 수행할 수 있다.

이 단계에서 추가로 검토해야 할 사항은 설비별 투입순서 (sequencing) 방법에 의해 재공품이 어떠한 영향을 받는지를 검토하고, 적정 재공품 저장공간의 규모를 어느 정도로 할 지 결정하는 것이다. 또한 회사에서 공정별 배치를 선호하여 쇼트 공정 이후의 설비들을 라인화 시키는 것을 고려하지 않았지만 물류흐름의 효율화를 위하여 라인편성을 하는 것도 고려해 보아야 한다.

참고문헌

- [1] J.A. Tompkins et.al. "Facilities Planning", Wiley, 1996.
- [2] W. D. Kelton, R. P. Shadowski and D. A. Shadowski, Simulation with Arena, McGraw Hill, 1998.
- [3] 문덕희, 이춘식, 황경현, 신보성, "SIMPLE++를 이용한 고무부품 제조공장 엔지니어링용 시물레이션 모델링", 한국경영과학회/대한산업공학회 97년계공동학술대회논문집, pp. 159-162, 1997.
- [4] 문덕희, 장구길, "타이어 제조셀 시스템설계 지원을 위한 시물레이션 모델", 한국시물레이션학회논문집, 제9권, 제2호, pp. 27-38, 2000.
- [5] FAG 한화, 베어링의 이해

※ 본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.