

볼 베어링 선택조립 시스템에서 잉여부품 최소화를 위한 군집 우선 선택 알고리즘

신강현 · 진교홍*

창원대학교

Cluster Priority Selection Algorithm for Minimizing Surplus Parts in Ball Bearing Selective Assembly System

Kang-hyeon Shin · Kyo-hong Jin*

Changwon National University

E-mail : sheen98@changwon.ac.kr / khjin@changwon.ac.kr

요 약

볼 베어링 선택조립 시스템에서 잉여부품을 최소화하기 위해서는 각 부품의 치수 분포를 파악하여 선택 확률을 최적화하여야 하지만, 복잡한 시스템은 생산 공정에 지연이 일어난다. 본 논문에서는 볼 베어링 선택조립 시스템에서 빠르고 간단하게 선택 우선순위를 결정할 수 있는 군집 우선 선택 알고리즘을 제안한다. 그리고 실제 볼 베어링 선택조립 공정에서 수집한 데이터로 모의 상황을 가정하고, 군집 우선 선택 알고리즘과 기존 알고리즘을 시뮬레이션하여 잉여부품 발생률과 연산소요시간을 평가한다. 시뮬레이션 결과, 군집 우선 선택 알고리즘이 기존 알고리즘에 비하여 83.8% 적은 잉여부품을 발생하였고, 연산소요시간도 39.7% 단축되었다.

ABSTRACT

In order to minimize surplus parts in ball bearing selective assembly systems, it is necessary to optimize the selection probability by grasping the dimensional distribution of each part. But the use of a complex system causes delays in the production process. In this paper, we propose cluster priority selection algorithm that can quickly and simply determine the selection priority in ball bearing selective assembly system. In addition, we assume the simulated situation with the data collected in the actual ball bearing selective assembly process, and evaluate the incidence of surplus part and runtime by simulating the cluster priority selection algorithm and the existing algorithm. As a result of the simulation, the cluster priority selection algorithm generated 83.8% less surplus parts, and 39.7% less runtime than the existing algorithm.

키워드

Selective Assembly, Matching Algorithm, Ball Bearing Clearance, Manufacturing Process

1. 서 론

자동차 산업이나 항공우주 산업처럼 매우 높은 정밀도를 요구하는 분야에서 단순히 부품의 정밀도를 높이는 것은 기하급수적인 비용 상승을 불러오기 때문에, 해결책으로 각 부품의 정밀도가 낮더라도 높은 정밀도의 조립품을 얻을 수 있는 선택

조립(selective assembly) 방식이 활용된다[1].

볼 베어링 사이에는 원활한 구동을 위해 헐거운 끼워맞춤(clearance fit) 공차가 적용된다. 특히 반경 방향의 틈새값(radial clearance)은 볼 베어링의 다양한 특성을 결정하기 때문에 규격으로 정해지며, 이는 수 내지 수십 마이크로미터 수준으로 관리된다. 이와 같은 엄격한 기준을 만족하기 위해 볼 베어링 공정에서는 선택조립 방식이 보편적으로 사용된다.

* corresponding author

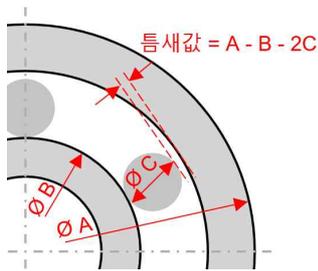


그림 1. 반경 방향의 틈새값(Radial clearance)

본 논문에서는 볼 베어링을 생산하는 선택조립 시스템이 가지는 특징을 살펴보고, 해당 시스템에서 잉여부품 발생률을 줄이기 위한 군집 우선 선택 알고리즘을 제안한다. 그리고 실제 볼 베어링 선택조립 공정에서 수집한 데이터로 모의 상황을 가정하고, 군집 우선 선택 알고리즘과 기존 알고리즘을 시뮬레이션하여 잉여부품 발생률과 연산소요 시간을 평가한다.

II. 볼 베어링 선택조립 공정

볼 베어링 공정은 주로 한 개 흐름(one-piece flow) 생산 방식[2]을 이용한다. 볼 베어링 조립을 위해 선택조립기에 일정한 주기로 볼 베어링의 내륜과 외륜이 하나씩 들어오고, 이와 동일한 주기로 하나의 볼 베어링이 조립 완료되어 선택조립기를 빠져나간다. 선택조립기에는 외륜이 저장될 여러 개의 버퍼와 볼이 구비된 여러 개의 통이 있다. 각각의 버퍼에는 외륜이 하나씩 들어있으며, 각각의 볼 통에는 볼들이 치수 구간에 따라 나뉘어 담겨 있다. 각각의 볼 통은 치수 구간으로부터 하나의 대표값을 가지며, 해당 볼 통에 있는 모든 볼의 치수는 그 대표값과 같은 것으로 취급한다. 선택조립기는 새로 들어온 내륜과 조합되었을 때 틈새값의 허용 범위에 적절한 외륜과 볼을 선정하여 조립한다. 그렇게 하나의 외륜이 선택되어 나가면, 빈 버퍼를 새로 들어온 외륜이 채운다. 만약 버퍼와 볼 통의 모든 조합을 검토하였는데 틈새값의 허용 범

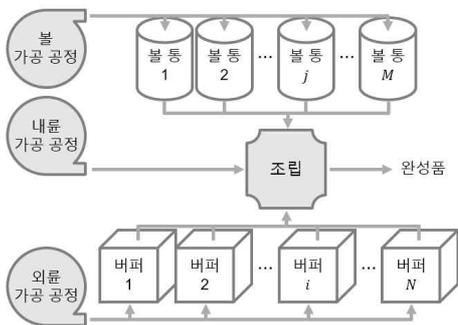


그림 2. 볼 베어링 선택조립 공정

위를 만족하는 경우가 없다면 모든 버퍼 내의 외륜은 잉여부품으로서 폐기된다. 이후, 선택조립기는 새로 들어오는 외륜들로 모든 버퍼가 다시 채워질 때까지 조립을 일시적으로 중단한다. 모든 볼 통에는 충분한 수의 볼이 구비되어 있기 때문에 볼 부족으로 인해서 잉여부품이 발생하지는 않으며, 내륜과 볼은 잉여부품으로 폐기되지 않는다.

III. 군집 우선 선택 알고리즘

기본적인 선택조립 알고리즘은 모든 조합 중에서 목표 틈새값과 가장 근사한 경우를 선택한다. 하지만 이러한 방식에서는 버퍼로 들어오는 빈도에 비하여 선택되어 나가는 빈도가 낮은 특정한 치수 구간이 생긴다. 이는 내륜·외륜·볼 사이의 치수 분포 관계에 따라 형성되며, 조립 공정이 계속 되면 특정한 치수의 외륜이 버퍼에 축적되어 잉여부품으로 이어진다. 이러한 현상을 해소하기 위해서는 각 부품의 치수 분포를 파악하고 축적될 확률이 높은 치수가 선택되는 빈도를 높여주어야 한다. 여러 가지 생산 방식에서 선택조립과 관련한 다양한 알고리즘[3, 4]이 연구되었음에도 불구하고 볼 베어링 조립 공정은 한 개 흐름 생산 방식이라는 특징이 있어서 복잡한 알고리즘을 적용하면 생산 속도가 저하되기 때문에 기존 선택조립 알고리즘은 기본적인 방식에서 크게 벗어나지 못하였다.

본 논문에서 제안하는 군집 우선 선택 알고리즘은 버퍼 내에서 비슷한 치수로 밀집되어 있는 외륜들을 찾아서 더 높은 선택 우선순위를 갖도록 한다. 선택 우선순위를 정하는 방식은 다음과 같다.

- 1) 외륜의 치수로 버퍼의 값을 매긴다.
- 2) 버퍼를 값이 작은 순으로 정렬한다.
- 3) 각 버퍼마다 바로 뒤에 있는 값과 바로 앞에 있는 값의 차를 구하여 그 결과로 다시 값을



그림 3. 군집 우선 선택 알고리즘 동작 예시

매긴다. 단, 가장 처음과 끝에 있는 버퍼는 이웃한 값이 하나밖에 없으므로 자기 자신과 이웃한 값의 차를 구하여 두 배한다.

4) 버퍼를 값이 작은 순으로 정렬한다.

여기서, 모든 정렬은 계산상으로만 일어나며 실제로 버퍼가 물리적으로 정렬되는 것은 아니다. 이렇게 정해진 버퍼의 우선순위를 따라 차례로 틈새값을 계산한다. 만약 현재 버퍼와 조합되어 틈새값의 허용 범위를 만족하는 볼 통이 있다면 계산을 멈추고 그 결과대로 외륜과 볼을 선택한다.

IV. 시뮬레이션

선택조립 알고리즘을 시뮬레이션하기 위하여 실제 볼 베어링 선택조립 공정에서 수집한 데이터로 모의 상황을 가정하였다. 데이터에는 공정 주기 간격으로 데이터가 수집된 시각과 새로 들어오는 내륜·외륜의 치수값, 볼 통의 치수값, 틈새값의 허용 범위가 기입되어 있으며, 총 6,090 주기의 공정이 기록되어 있다.

공정은 II장에서 설명한 방식과 동일하게 이루어지며, 버퍼의 개수는 10개, 볼 통의 범주 수는 6가지로 가정하였고, 틈새값의 허용 범위는 실제 공정과 동일하게 설정하였다. 이렇게 구현된 선택조립기에 군집 우선 선택 알고리즘과 기존 알고리즘을 각각 탑재하고 잉여부품 발생률과 연산소요시간을 측정하였다. 잉여부품 발생률은 전체 외륜 중에서 잉여부품으로 폐기된 외륜이 차지하는 비율이고, 연산소요시간은 공정 주기 당 알고리즘이 외륜과 볼을 선택하기까지 소요된 시간이다.

시뮬레이션 결과, 기존 알고리즘과 비교하여 군집 우선 선택 알고리즘에서 잉여부품 발생률이 0.823%p 감소(잉여부품 83.8% 감소)하였으며, 연산소요시간도 39.7% 가량 단축되었다.

표 1. 선택조립 알고리즘에 따른 잉여부품 발생률과 연산소요시간

알고리즘	잉여부품 발생률	연산소요시간 (평균 ± 표준편차)
기존	0.988 %	162ms ± 3.34ms
군집 우선 선택	0.165 %	97.7ms ± 2.77ms

V. 결 론

본 논문에서는 볼 베어링 선택조립 시스템의 잉여부품 발생률을 최소화하기 위한 군집 우선 선택 알고리즘을 제안하고, 기존 알고리즘과 비교하였다. 그 결과, 군집 우선 선택 알고리즘을 적용하였

을 때 잉여부품 발생률뿐만 아니라 연산소요시간도 눈에 띄게 감소한 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존 알고리즘이 모든 조합의 틈새값을 계산하는 것과 달리, 군집 우선 선택 알고리즘은 우선순위에 따라 일부 조합만 계산하기 때문인 것으로 사료된다.

군집 우선 선택 알고리즘은 틈새값이 허용 범위를 만족하지만 검사하기 때문에 완성된 볼 베어링의 틈새값 산포가 기존 알고리즘에 비해서 나쁠 수 있다. 향후 연구에서 완성된 볼 베어링의 틈새값 산포를 비교하고 볼 베어링의 정밀도 등급을 개선할 수 있는 방안을 모색할 예정이다.

Acknowledgement

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성(Grand ICT연구센터) 사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2022-2016-0-00318)

References

- [1] M. H. Y. Tan, and C. F. J. Wu, “Generalizes Selective Assembly,” *IIE Transactions*, Vol. 44, No. 1, pp. 27-42, 2012.
- [2] C. Protzman, J. McNamara, and D. Protzman, *One-Piece Flow vs. Batching: A guide to understanding how continuous flow maximizes productivity and customer value*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2017.
- [3] T. Iyama, M. Mizuno, S. Goto, and T. Koga, “Effects of Race-Matching Method for Ball Bearing Manufacture,” *JSME international journal. Ser. C, Dynamics, control, robotics, design and manufacturing*, Vol. 38, No. 1, pp. 167-174, Mar. 1995.
- [4] J. R. Babu, and A. Asha, “Minimising assembly loss for a complex assembly using Taguchi’s concept in selective assembly,” *International Journal of Productivity and Quality Management*, Vol. 15, No. 3, pp. 335-356, Apr. 2015.