

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.3.861

JCCT 2024-5-97

자체 구동 롤러 컨베이어의 3차원 시뮬레이션 기반 제어 기법 개발

Development of Control Method for Self-Driving Roller Conveyor Based on 3D Simulation

이석원*, 김병민**, 허헌***

Seokwon Lee*, Byungmin Kim**, Heon Huh***

요약 모터로 다수의 롤러를 제어하여 대상 제품을 이송하는 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템은 물류의 분기 및 합류, 대상 제품의 정렬 제어에 적합한 물류 시스템으로서 식품 제조 공정을 중심으로 활용도가 높아지고 있다. 본 논문에서는 유니티 소프트웨어를 활용하여 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 3차원 그래픽 모델링 기반 시뮬레이션 환경을 구축하고, 대상 제품이 시간적으로 불규칙하게 공급되는 상황에서 시스템을 구성하는 롤러의 제어에 의해 일정한 간격을 유지하도록 정렬시킬 수 있는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 대상 제품의 위치를 파악하는 센서 데이터를 바탕으로 롤러를 구동하는 모터를 제어함으로써 제품의 효과적인 정렬이 가능함을 확인하였다.

주요어 : 자체 구동 롤러 컨베이어, 제조 자동화, 시뮬레이션, 유니티

Abstract The self-driving roller conveyor system, which transports target products by controlling multiple rollers with a motor, is a logistics system suitable for branching and joining logistics and controlling the alignment of target products, and its utilization is increasing, especially in the food manufacturing process. In this paper, we build a simulation environment using Unity software based on 3D graphic modeling of a self-driving roller conveyor system. In a situation where target products are supplied irregularly in terms of time, a method is proposed that can align products to maintain constant spacing by controlling the rollers. Simulation results show that effective alignment of products is possible by controlling the motor that drives the roller based on sensor data of the product position.

Key words : Self-Driving Roller Conveyor, Manufacturing Automation, Simulation, Unity

1. 서 론

생산 공정에 자동화 개념이 도입되면서 공정 내 또

는 공정 간 작업 대상 물품의 이송을 위한 컨베이어 기반 물류 시스템은 자동화를 위한 핵심 요소로 자리 잡았으며, 광범위한 제품의 제조 공정에 다양한 형태로

*정회원, 한국공학대학교 메카트로닉스공학부 교수(제1저자, 교신저자)

**학생회원, 한국공학대학교 메카트로닉스공학부 학사과정

***정회원, 한국공학대학교 메카트로닉스공학부 교수

접수일: 2024년 3월 4일, 수정완료일: 2024년 4월 10일

게재확정일: 2024년 4월 20일

Received: March 4, 2024 / Revised: April 10, 2024

Accepted: April 20, 2024

*Corresponding Author: lsw@tukorea.ac.kr

Dept. of Mechatronics Eng., Tech Univ. of Korea, Korea

사용되어지고 있다. 구동부와 체결된 벨트 및 체인을 이용해 물체를 연속적으로 운반하는 벨트형 컨베이어가 대표적인 형태이며, 개별 회전이 가능한 다수의 롤러를 이용하는 롤러형 컨베이어는 하단의 구동용 벨트에 의해 상단의 무구동 롤러를 마찰에 의해 회전시키는 연속 구동 롤러 컨베이어와 링 벨트로 결합된 롤러 그룹을 개별 모터로 제어하는 자체 구동 롤러 컨베이어로 구분할 수 있다. 자체 구동 롤러 컨베이어는 상대적으로 고가라는 단점에도 불구하고, 물류의 분기 및 합류, 대상 제품의 정렬 제어에 적합하고 에너지 효율 측면에서 유리한 장점을 바탕으로 적용 공정이 점차 확대되고 있다.



그림 1. 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템[1]
Figure 1. Self-driving roller conveyor system[1]

자체 구동 롤러 컨베이어 관련 연구 중 자체 구동 롤러 컨베이어와 연속 구동 롤러 컨베이어 모델 기반 다양한 물류 시스템의 시뮬레이션 실험을 통해 자체 구동 롤러 컨베이어 기반 물류 시스템의 전력 소모량이 대폭 절감되는 결과를 제시함으로써 자체 구동 롤러 컨베이어의 적용이 생산 비용 절감 및 환경 비용 감소 효과를 도출할 수 있음을 보여주는 연구 결과가 발표되었다[2].

S. Kim 등[3]은 생산 공정 중 구간별로 이송 속도 제어가 가능한 자동 물류 시스템의 생산성을 최대화할 수 있는 구간별 이송 속도 최적화 문제를 구성하였다. 장비의 가동 시간과 관련된 신뢰성 파라미터와 장비 간 버퍼의 용량을 고려한 최적화 문제를 풀 수 있는 알고리즘을 제안하고, 다수 장비로 구성된 생산 라인에 적용한 시뮬레이션 결과를 제시함으로써 자체 구동 롤러 컨베이어의 제어 알고리즘에도 응용할 수 있는 방법을 제공하였다.

Y. J. Kim 등[4]은 자체 구동 롤러 컨베이어의 상용화를 위하여 필요한 성능, 내환경성, 안전성, 수명 시험 항목과 조건 및 평가 방법을 포함하는 신뢰성 평가 기

준을 제안하고 시험 결과를 제시하였다. 기존 컨베이어 시스템과는 달리 자체 구동 롤러 컨베이어는 구간별 선택적 구동이 가능하여 에너지 절감이 가능하다는 장점을 가지고 있으며, Y. J. Kim 등[5]은 자체 구동 롤러와 관련한 특허를 분석하여 기술개발 동향 및 시사점을 제시하였다.

본 논문에서는 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 3차원 모델링을 기반으로 관련 연구 및 제품 설계에 활용할 수 있는 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 그리고, 시스템의 센서 데이터를 기반으로 롤러를 구동하는 모터를 제어함으로써 시간적으로 불규칙하게 공급되는 대상 제품을 일정한 간격으로 정렬시키면서 이송할 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

II. 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템

시뮬레이션 환경 구축

본 논문에서는 게임 개발 플랫폼으로 출시되어 3D 그래픽을 구현하는 기능이 우수한 Unity 소프트웨어 패키지를 기반으로 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 시스템의 핵심 구성요소인 롤러는 Cylinder Object로, 정렬 대상 제품은 Cube Object로 모델링 하였다.

동일한 모터로 구동되는 3개의 롤러는 Cylinder Object 3개를 하나의 그룹으로 구성하여 표현하였고, Cylinder Object의 Rotate 기능을 사용하여 롤러의 동작을 구현하였다. 다음 그림은 3개의 롤러로 구성된 CylinderGroup과 CylinderGroup마다 부착한 광전센서를 모델링하고 그래픽 디스플레이 한 결과를 보여준다.

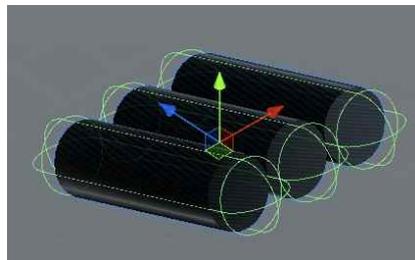


그림 2. 롤러와 광전센서 기반 Cylinder Group 모델링
Figure 2. Modeling of cylinder group based on roller and photoelectric sensor

Cube Object로 모델링한 대상 제품은 시스템의 제품 공급부에서 제품이 위치할 수 있는 범위를 설정하고 이

범위 내에서 랜덤 함수를 이용하여 중심 위치를 임의로 지정함으로써 생성하였다. 대상 제품이 롤러 위에서 이동할 때 제품의 무게중심에 가까운 롤러의 속도에 가장 큰 영향을 받음을 고려하여 해당 롤러의 구동 속도로 이동하도록 구현하였다. 화면의 한 프레임 당 제품의 이동거리 S 는 다음과 같은 식에 의해서 계산되어지며, CylinderGroup의 스크립트로 추가하였다.

$$S = r\theta(\Delta t)v(\pi/180) \quad (1)$$

단, r 은 롤러의 반지름, θ 는 롤러를 구동하는 스텝 모터의 스텝 각, Δt 는 화면의 프레임 주기, v 는 롤러의 초당 회전 속도이다.

한편, 광전센서는 자체의 모델링 및 디스플레이보다 광전센서가 대상 제품을 검출할 수 있도록 구현하는 것이 시뮬레이션 환경 구축을 위해 중요하다. 이를 위하여 광전센서의 검출 영역을 Cube Object로 모델링하였으며, 이 Object는 다른 물체와의 충돌이 발생해서는 안 되고 검출이 필요한 대상 제품과의 겹쳐짐 정보는 필요하므로 Object의 특성창에서 isTrigger 기능을 다음과 같이 설정하였다.

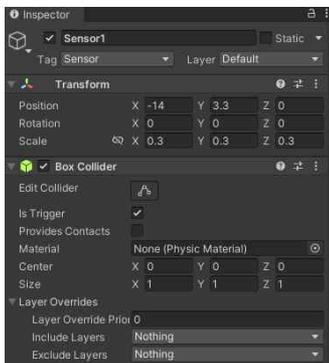


그림 3. 광전센서 검출을 위한 Unity Object 설정
 Figure 3. Unity object set-up for photoelectric sensor detection

isTrigger 기능을 설정하면 물체와의 충돌은 발생하지 않도록 보여 주면서도 물체가 겹쳐지기 시작하는 경우 OnTriggerEnter, 물체끼리 서로 겹쳐지고 있는 경우 OnTriggerStay, 겹쳐지는 상태가 종료되는 경우 OnTriggerExit와 같은 이벤트 함수가 자동 호출되므로 함수 내에서 센서의 대상 제품 검출 여부를 관리하는 상태변수를 설정할 수 있다. 그러므로, CylinderGroup마다 첫 번째 롤러 단에 배치한 광전센서를 통해 대상 제품이 어느 그룹 위에 위치해 있는지 파악할 수 있다.

이상 기술한 기법을 이용하여 최종적으로 10개의

CylinderGroup으로 구성된 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 3차원 모델링 기반 시뮬레이션이 가능한 환경을 구축하였으며 그 결과는 다음 그림과 같다.

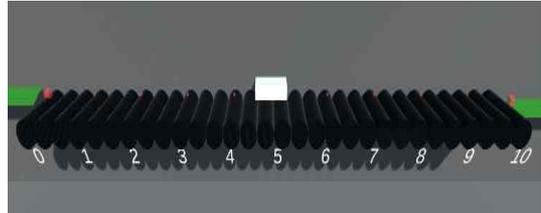


그림 4. 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 시뮬레이션 환경
 Figure 4. Simulation environment for self-driving roller conveyor system

III. 자체 구동 롤러 컨베이어 기반 제품

정렬 기법 및 시뮬레이션 결과

대상 제품들을 정렬하기 위해서는 대상 제품들의 위치를 파악하는 작업이 선행되어야 한다. 대상 제품들이 10개의 롤러 그룹으로 구성된 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템 상에서 어디 위치해 있는지는 II장에서 설명한 바와 같이 광전센서의 대상 제품 검출을 구현함으로써 가능하다. 10개의 롤러 그룹과 출력단에 배치된 11개의 광전센서에 의해서 대상 제품의 존재 여부를 판단하고 이 정보를 PositionList라는 리스트를 생성하여 관리한다. 다음 그림은 시뮬레이션 중 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템 상 대상 제품의 위치가 PositionList에 의하여 관리되고 있는 결과를 보여준다.

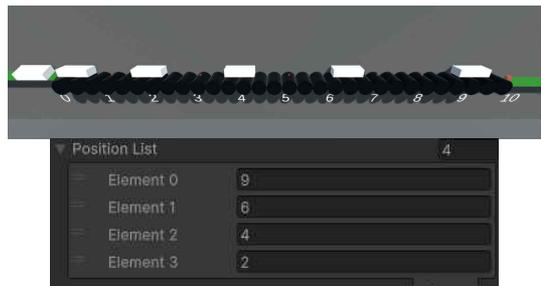


그림 5. 대상 제품의 위치 및 검출 결과
 Figure 5. Position and detection result of target product

대상 제품들 간 일정한 간격을 확보하기 위한 정렬은 다음과 같은 기법에 의하여 구현한다. PositionList를 기반으로 제품들의 위치 값들을 추출하여 인접한 제품 간 거리를 계산한다. 제품 간 거리가 설정 값보다

작으면 앞단 롤러의 회전 속도를 일정 비율로 감소하고, 설정 값보다 큰 경우에는 현재 속도를 일정하게 유지한다. 이러한 기법을 프로그래밍하여 II장에서 구축한 환경에서 시뮬레이션을 한 결과는 다음과 같다.

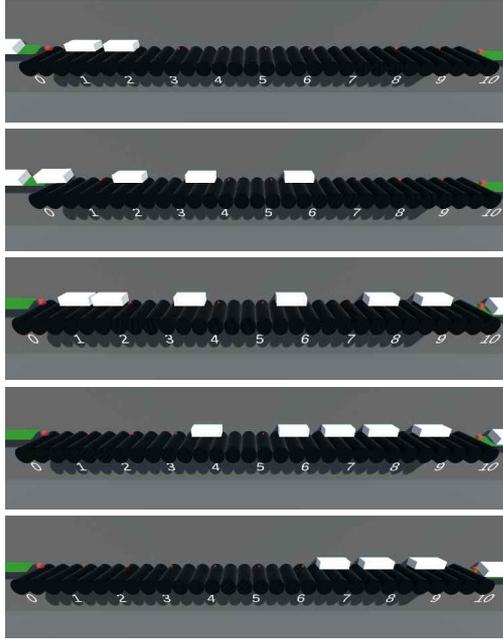


그림 6. 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 시뮬레이션 결과
Figure 6. Simulation results for self-driving roller conveyor system

생산 공정 설계에 핵심적인 요소인 제품의 최종 배출 주기의 설정 값과 실제 시뮬레이션을 통해 측정된 제품 간 배출 주기의 오차율을 계산, 분석하였다. 각 배출 주기마다 5회씩 시뮬레이션을 수행하여 결과의 평균 값을 정리한 표는 다음과 같으며 배출 주기가 빨라질수록 오차율이 높아짐을 확인할 수 있다. 이러한 시뮬레이션을 통하여 허용 가능한 오차율 범위 내에서 제품의 최종 배출 주기 최적화 설계가 가능함을 보여주었다.

표 1. 제품 배출 주기에 따른 오차율
Table 1. Error rate depending on product discharge interval

제품 배출주기[Hz]	평균 배출 간격[초]	오차율[%]
0.25	4.02	0.5
0.33	3.02	0.67
0.4	2.52	0.77
0.5	2.02	1.0
0.55	1.83	1.74
0.59	1.78	4.59
0.63	1.79	11.58
0.67	1.89	25.82

IV. 결론

본 논문에서는 식품 제조 자동화 공정에서 활용도가 높아지고 있는 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 3차원 그래픽 모델링을 기반으로 시뮬레이션 환경을 구축하고, 대상 제품의 불규칙적인 임의의 공급에도 불구하고 시스템을 구성하는 롤러의 제어에 의해 일정한 간격을 유지하도록 정렬시킬 수 있는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 대상 제품의 위치를 파악하는 센서 데이터를 바탕으로 롤러를 구동하는 모터를 제어함으로써 제품의 효과적인 정렬이 가능함을 확인하였다. 시뮬레이션에 사용한 파라미터를 실제 환경에 가깝도록 조정하면서 반복 실험을 수행함으로써 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템의 기구부 및 제어기 설계에 유용한 데이터를 확보할 수 있고, 이는 자체 구동 롤러 컨베이어 시스템을 다양한 제조 공정에 확산하는데 기여하리라 기대된다.

References

- [1] <https://rontech.ch/en/loesungen/maschinen/space-feeder-infeed-system-rontech>
- [2] Y. J. Kim, H. N. Park, W. K. Ham and S. C. Park, "Simulation-based Analysis of Electric Power Consumption Efficiency for Self-Driving Roller Conveyor Systems", Journal of the Korea Society for Simulation, vol. 24, no. 3, pp. 97-105, 2015. <https://doi.org/10.9709/JKSS.2015.24.3.097>
- [3] S. Kim, K. J. Park and Y. Eun, "Transfer Speed Optimization of Advanced Automated Material Handling Systems in Serial Production Lines", The 23rd Int'l Conference on Control, Automation and Systems, 17-20 Oct. 2023, pp. 559-562.
- [4] Y. J. Kim, H. Y. Go, I. S. Han and Y. S. Kim, "Reliability Assessment Criteria of Motorized Roller Conveyor", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, vol. 24, no. 5, pp. 521-529, 2015. <https://doi.org/10.7735/ksmt.2015.24.5.521>
- [5] Y. J. Kim, G. R. Kim, K. T. Kim and Y. J. Kwon, "Technical Development Trend of the Motorized Roller", IEIE Summer Conference, vol. 37, no. 1, pp. 1705-1707.

※ 이 논문은 2020년도 한국공학대학교의 연구 지원에 의하여 연구되었음.