

화학제조공정의 무인화를 위한 자동 캡 개폐장치 개발

Development of an Automatic Cap Opening And Closing Device for Unmanned Chemical Manufacturing Processes

이준식^{1*}, 권오성², 이준호³

Jun-Sik Lee^{1*}, Oh-Seong Kwon², Jun-Ho Lee³

〈Abstract〉

Automatic production systems are constantly advancing technologies to improve productivity and safety. Specifically, liquid filling machines are primarily utilized to package products into drums after manufacturing process in the hazardous chemical industry. Most existing filling machines allow the operator to open the drum cap and inject the product directly or semi-automation. In this study, we have developed a cap opening and closing mechanism onto the existing drum filling machine, enabling automatic and safe cap manipulation while filling the product in the IBC tank. By applying the appropriate torque value through numerical analysis, we confirmed that the system worked without any problems during the process of opening and closing the cap. Therefore, it is expected that the developed machine will give more production and reduce human efforts without risk in the chemical packaging industry.

Keywords : Torque Sensor, Drum Filling Machine, Cap Open/Close Device, Chemical Packaging System

1* 정회원, 교신저자, 창신대학교 스마트융합공학부
E-mail: mechjun@gmail.com
2 창신대학교 항공기계공학과
E-mail: dhtjd8205@naver.com
3 제이메카텍
E-mail: ljh@j-mt.co.kr

1* Corresponding Author, Smart Convergence Engineering Department, Changshin University
2 Dept. of Aeronautical & Mechanical Engineering, Changshin University
3 J-Mecha Tech

1. 서론

최근 기계제조 관련 산업은 임금 상승과 생산 현장 기피현상으로 인력 수급이 어려워 스마트 팩토리에 대한 관심과 연구 개발이 증가하는 추세이다. 생산 및 제조 공정에서의 단순 반복적인 일들이 자동화 및 로봇 시스템의 도입으로 품질과 가격 경쟁력 향상은 물론 안전사고로부터 작업자를 보호 할 수 있게 되었다. 다양한 포장산업에서 자동화를 위한 많은 연구가 수행되어왔다[1-4]. 더욱이 액체충진장치(Liquid Filling Machine)는 유해 화학물질의 제품을 생산하는 화학공장에서 제품을 제조 후 드럼에 포장하기 위해 사용된다. 대부분 액체 상태로 제조된 화학제품은 IBC(Intermediate Bulk Container) Tank, 200L steel drum, 20L drum 등 다양한 용기를 사용하여 제품을 충전한다[3-6]. 기존 액체충진장치는 작업자가 용기의 Cap을 열고 제품을 직접 주입하거나 반자동으로 주입 한다. 특히 화학제품 포장용기 중 IBC Tank는 입구가 넓어 Cap을 열고 닫는 것이 어려우며, 기존의 자동화 방식은 IBC 이중캡을 사용하나 고가로 비용상의 어려움이 있다. 그리고 작업자가 수동으로 Cap을 열고 닫는 작업은 불필요한 시간을 소비할 뿐만 아니라, 생산성 저하, 인적 실수로 인한 장비 오작동 가능성 등 안전에 위협이 될 수 있다. 식품제조 공정에서 다양한 크기의 병에 대한 자동화 시스템 구현[7]과 소형 크기의 캡 개폐장치 개발에 관한 연구[8, 9]가 있으나, IBC Tank처럼 크기가 다소 큰 용기에 대한 Cap 개폐장치 개발은 수행 되지 않았다.

따라서 본 연구는 액체주입장치의 완전 자동화를 위해서 종래의 일반 Cap을 사용하면서 캡을 안전하게 열고 닫는 주입공정의 자동화를 목표로 하였다. 이를 위해서 IBC Tank 용 자동 캡 개폐장치를 설계 및 제작하였고, 적절한 Cap 개폐를

위해 Air Motor의 적정 Torque값을 수치해석을 통해 산출하여 적용하였다. 또한 Cap Tool은 Cap의 모양에 따라 Tool을 변경하지 않도록 다양한 Cap에 적용이 가능한 방식을 적용하고자 하였다. 최종적으로 다양한 용기의 주입구 Cap 개폐 자동화를 통해 작업자의 개입 없이 완전 자동으로 Cap 개폐가 가능한 장치를 개발하고자 하였다.

2. 자동 액체충진장치

Fig. 1은 화학 드럼 포장용 자동 액체주입시스템의 개략도이다. 본 장치는 크게 Roller Conveyor, Load Cell, Filling Nozzle, Vision Sensor, Cap Open/Close Device 등으로 구성되어 있다. 제품 주입을 위해 드럼이 상차되면 Converyor가 작동하여 제품 주입 위치까지 이송된다. Vision Sensor를 이용하여 드럼 용기 상단의 2D 이미지를 취득하고 이미지로부터 특징점을 추출하여 주입구 위치를 계산한다. 드럼의 주입구 위치를 확인 후 개폐장치가 Cap을 열고 Filling Nozzle이 하강하여 제품을 충전한다. 2개의 Load Cell을 이용하여 정

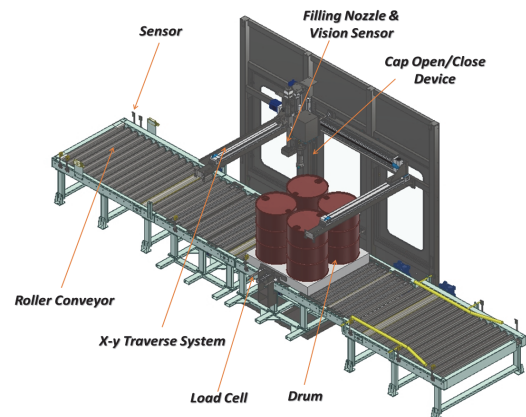


Fig. 1 Schematic diagram of automatic liquid filling machine

량의 무게를 측정함과 동시에 제품의 수위에 연동하여 주입노즐을 상승시켜 자동으로 정량의 용량 주입이 가능하다.

제품 완충 후 다시 개폐장치가 이동하여 Cap을 닫는다. 이후 Converyor가 작동하여 끝단까지 이송이 되면 끝단의 Sensor가 감지하여 Converyor를 정지하고 드럼을 하차하는 일련의 공정으로 이루어진다. 기존 액체충진장치에 탑재되지 않은 자동 캡 개폐장치는 위 시스템에서 주입노즐 옆에 설치되어 완전 무인화된 자동화 시스템을 구축할 수 있다.

3. 자동 캡 개폐장치 개발

3.1 캡 개폐장치 설계

Fig. 2는 자동 캡 개폐장치의 3D 설계 계략도이며, 주요 구성은 Up/Down Cylinder, LM Guide, Air Motor, Torque Sensor, Tilting Unit, Cap Tool, 200L Steel Drum, Cap, IBC Tank

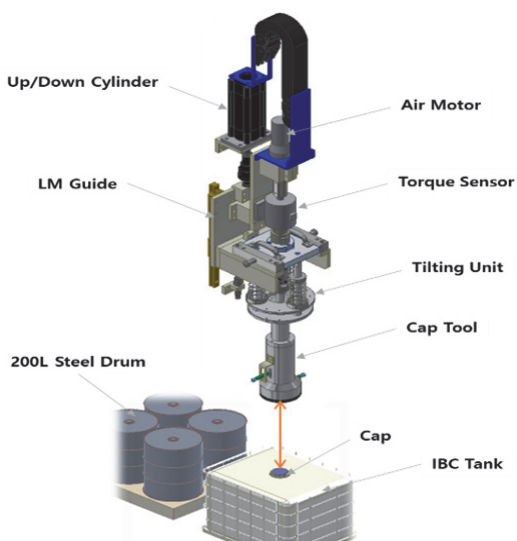


Fig. 2 3D design of auto cap open/close device

Tool 등으로 이루어져 있다. 전체적으로 기둥모양의 몸체를 형성하는 프레임이 있으며, 홀더 부위에 탄성 재질의 스프링이 구성되어 있다. Up/Down Cylinder와 LM Guide는 Cap Tool을 상하로 움직이게 하는 장치이며, 압축공기를 사용해 Cap Tool을 회전시키는 Air Motor와 Cap을 여닫을 때 적절한 Torque로 조절하는 Sensor가 있다. 또한 기울어진 Cap을 열고 닫기위해 올바른 각도를 제공하는 Tilting Unit이 주요 부품으로 사용되어 다양한 각도와 힘의 범위에서도 정확하게 인식하여 Cap을 자동으로 개폐할 수 있는 시스템을 설계하였다.

3.2 정적 하중 수치해석

Fig. 3은 수치해석을 위해 Inventor를 사용해서

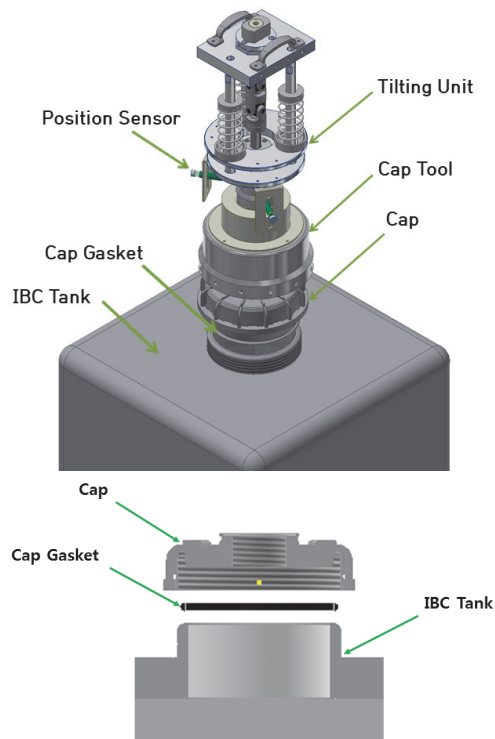


Fig. 3 Modeling of Cap and Cap gasket

3D 모델링 한 그림이다. Air Motor, Cap, Cap Gasket, IBC Tank를 대상으로 수치해석을 수행하였다. Fig. 3의 아래 그림을 보면 Cap, Cap Gasket, IBC Tank 순으로 체결이 되는데, Cap을 자동으로 여닫기 위해서는 Cap이 완전히 체결되는 Torque 값과 해제되는 Torque 값을 알아야 한다[10, 11]. 이를 구하기 위해서 수치해석을 수행했으며, Cap이 완전히 체결되면서 Gasket이 파단이 되지 않는 영역의 Torque 값을 구하여 적용하고자 하였다.

본 개폐장치에서 Cap Gasket 물성치[순 고무 비중(0.86-0.87), 경도(Shore A 40-90), 인장강도(50-200kg/cm²), 신장율(100-500%)]를 적용하여

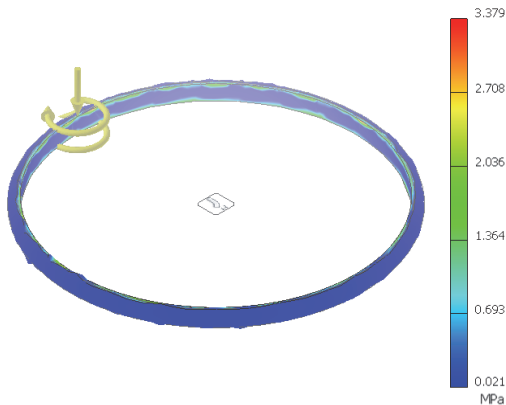


Fig. 4 Maximum Von Mises Stress

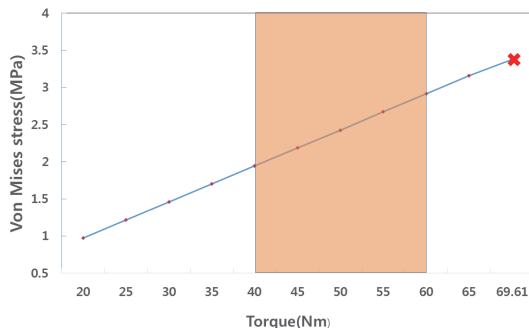


Fig. 5 Numerical analysis of stress according to torque value change

다양한 압력 범위에서 수치해석을 하였다. Air Motor에 약 69.61Nm의 Torque 값으로 회전했을 때 Cap Gasket의 한계치를 알 수 있었다. 그 이상의 Torque 값을 가하였을 때 Cap Gasket의 파단이 일어났다. 여기서 고무가 최대 항복응력에 도달하였을 때 파괴가 시작됨으로 Von Mises Stress 값을 알고자 하였다.

Fig. 4는 최대 Von Mises Stress 결과값으로 Air Motor에 약 69.61Nm의 Torque 값으로 회전시키면 Cap Gasket에는 약 3.379MPa의 압력을 받게 된다. 그 이상의 압력을 받았을 경우 고무 소재인 Cap Gasket이 파단이 발생하므로 Air Motor의 가장 높은 Torque 값 설정은 69.61Nm 이하를 넘기지 않는 범위로 설정해야 한다.

Fig. 5는 Torque에 따른 Von Mises Stress를 볼 수 있다. 네모 박스로 표시한 범위는 수치해석과 실험 결과 적정 Torque 값의 범위를 나타낸 것이다. 40Nm 이하는 액체의 Leak가 일어날 수 있고 60Nm 위로는 Cap Gasket에 무리가 가기 때문에 적정한 범위는 40Nm - 60Nm로 정해 적용하였다. 이 결과를 바탕으로 주입 공기압력 대비 최대 72Nm Torque를 갖는 Air Motor(MR84-160-K)를 적용하였다.

4. 개발 결과

Fig. 6은 개발된 자동 캡 개폐장치를 자동주입 시스템에 적용한 사진이다. Air를 공급하기 위한 노즐이 포함되어 있고, 각종 Sensor류 및 Cap Tool을 작동시키기 위한 배선이 연결되어 있다. 여기서 2개의 위치 Sensor가 Tilting Unit 위쪽 양단에 설치되어 있어 하나라도 검출이 되지 않으면 Cap이 정상적으로 닫히지 않은 상태로 판단하여 장치를 정지시킴으로써 오작동을 방지할 수 있다.

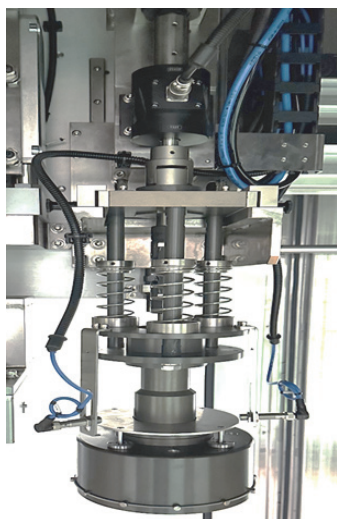


Fig. 6 Photo of the developed cap open/close device

개발된 장치는 Fig. 7과 같은 순서로 작동된다. 먼저 Vision Sensor를 이용해 IBC Tank의 Cap 위치를 파악 후 LM Guide를 따라 개폐장치가 하강하여 Cap을 자동으로 열고(Fig. 7(a)), 액체주입 장치가 주입구 위치로 이동하여 액체를 충전한다(Fig. 7(b)). 액체 충진이 완료되면 다시 개폐장치가 주입구 위치로 이동(Fig. 7(c))한다. 이 때 Air Motor가 반대 방향으로 회전하여 빨간색의 Cap을 닫는 과정(Fig. 7(d))으로 작동한다.

본 개발된 장치를 이용하여 IBT Tank를 대상으로 50회 이상 테스트 한 결과 Cap을 여닫는 과정에서 모두 이상 없이 작동함을 확인하였다.

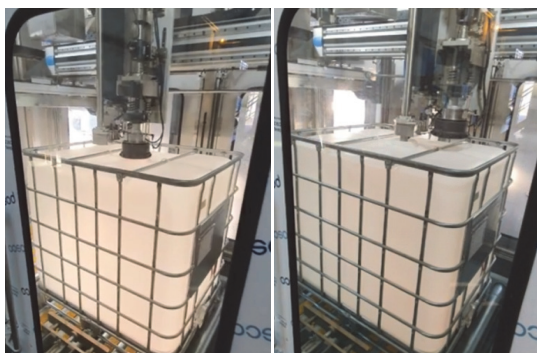
5. 결론

본 연구에서는 화학제조공정의 완전 무인화를 위한 IBT Tank 용 자동 캡 개폐장치를 개발하였다. 수치해석을 통해 적절하게 Cap 개폐가 가능한 Torque 범위와 완전 자동화 시스템을 구현하였다. 본 기술을 이용하여 인체에 해로운 화학물질을 생산하는 시설의 안전 및 생산성 향상과 함께 근로자의 작업 환경 개선에 이바지할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 용기 및 Cap의 종류에 따라 Tool을 변경하지 않도록 Cap의 모양에 따라 크기가 변하는 방식을 적용하여 다양한 종류의 용기 및 Cap에 이용이 가능한 장치를 개발하고자 한다.

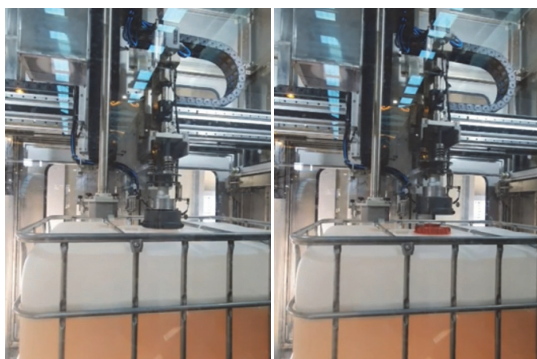
사 사

본 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다(2021RIS-003).



(a) Check Cap position and opening

(b) Liquid filling



(c) Device Moving

(d) Cap closing

Fig. 7 The sequence of operation for the automatic cap machine

참고문헌

- [1] A. N. Abubakar, S. L. Dhar, A. N. Abubakar, S. L. Dhar, A. A. Tijjani, A. M. Abdullahi, "Automated Liquid Filling System with a Robotic Arm Conveyor for Small Scale Industries", *Material Today: Proceedings*, Vol. 49, No. 8, pp. 3270-3273, (2022).
- [2] J. S. Lee, J. H. Lee, Y. H. Roh, J. K. Park, "Development of Automatic Water Level Controlled Smart Filling Machine", *Journal of Korean Society of Industry Convergence*, Vol. 23, No. 3, pp. 507-513, (2020).
- [3] J. S. Lee, J. H. Lee, J. K. Park, "Liquid Container Inlet Detection Algorithm Utilizing Iot Sensor", *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, Vol. 71, No. 3, pp. 487-496, (2022).
- [4] J. Muralidharan, S. Saran, G. Tamikavi, S. Thivakar, M. Vivin, "An Automatic Fluid Filling Mechanism using Delta PLC", *Journal of Physics: Conference Series*, (2021).
- [5] N. A. Solanki, P. G. Raj, S. P. Patel, C. D. Rajput, "Automatic liquid filling machine", *Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 4, No. 5, pp. 108-110, (2015).
- [6] D. Zhang, S. Li, "Design and Realization of Liquid Filling Machine Intelligent Control System", In *2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, pp. 1283-1288, (2015).
- [7] A. L. Saleh, L. F. Naem, M. J. Mohammed, "PLC Based automatic Liquid filling System for Different Sized Bottles", *Journal of Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 12, pp. 57-61, (2017).
- [8] S. Nilmanee, "Developing Prototypes of the Assistant Opener of Packaging for Consumer Accessibility", *Journal of Graphic Engineering and Design*, Vol. 14, No. 3, pp. 27-36, (2023).
- [9] H. Ahuja, A. Singh, S. Tandon, S. Srivastava, S. Pal, "Automatic Filling Management System for industries", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 241-244, (2014).
- [10] P. W. Rearick, "Difference in torque measurements taken by manual and by automatic cap torque equipment", *Michigan State University*, (1995).
- [11] A. R. Lee, J. C. Lee, H. R. Kim, "Finite Element Analysis to Adjust Threaded Fastener's Torque Value", *KSAS Fall Conference*, pp. 736-738, (2018).

(접수: 2024.01.09. 수정: 2024.01.15. 게재확장: 2024.01.26.)