

## 수위 연동형 스마트 액체 충전 장치 개발

### Development of Automatic Water Level Controlled Smart Filling Machine

이준식<sup>1</sup>, 이준호<sup>2</sup>, 노영화<sup>3</sup>, 박정규<sup>4\*</sup>

Jun-Sik Lee<sup>1</sup>, Jun-Ho Lee<sup>2</sup>, Young-Hwa Roh<sup>3</sup>, Jung Kyu Park<sup>4\*</sup>

#### 〈Abstract〉

Liquid filling machines are frequently used in packaging fields; however, there exists a problem in precisely measuring the quantity of the liquid. In the case where the liquid filling machine is not properly metered, there may be issues, such as the fluid exceeding the capacity or chemicals being exposed outside. In this paper, we propose a smart injection nozzle device that can solve the issues stated above. The proposed smart injection nozzle can raise the nozzle according to the water level to remove bubbles and inject the accurate amount of fluid. In addition, the efficiency of the logistics process is enhanced by the smart QR code. Through experiments using the developed smart injection nozzle device, we have noticed that the accuracy of injection capacity, nozzle position, reaction time and building data exceeded the target value. Therefore, it is expected that this machine will give more production and save a lot of manpower for packaging industry.

*Keywords : Filling Machine, Water Level Control, QR code, Smart Nozzle*

1 정회원, 창신대학교 항공기계공학과

2 제이메카텍, 대표

3 정회원, 창원대학교 메카트로닉스연구원

4\* 정회원, 교신저자, 창신대학교 컴퓨터소프트웨어공학과

E-mail: jkpark@cs.ac.kr

1 Dept. of Aeronautical & Mechanical Engineering, Changshin University

2 President, J-Mechatech

3 Mechatronics Research Institute, Changwon National University

4\* Dept. of Computer Software Engineering, Changshin University

### 1. 서론

액체 충전장치(Liquid Filling Machine)는 음료, 정류, 화학 등 다양한 패키징 분야 이용되고 있으며 최근에는 자동화를 통해 액체를 충전하고 있다. 더욱이 유해 화학물질의 제품을 생산하는 화학 공장은 대부분 제품을 액체 상태로 제조되며, 출하되는 제품 용기로 드럼을 사용하고 있다. 드럼에 포장하기 위해서는 주입 노즐을 통해 공급된 제품을 드럼에 충전한다. 현재 생산라인에 적용되는 모든 설비는 주입 노즐이 포장 용기와 일정 높이를 이루고 있기 때문에 충전 과정에서 낙차로 인해 거품이 많이 생겨 정량 투입에 어려움이 있다. 또한, 주입 노즐을 길게 할 경우 주입 노즐에 제품이 많이 묻게 되어 정량 투입 후 주입 노즐을 상승시키게 되면 유해한 화학물질이 외부에 노출되게 되어 작업장 오염 및 작업자의 건강에 해로움이 발생한다. 이를 해결하기 위한 수위 연동이 가능한 충전장치 개발이 요구되고 있다 [1,2].

패키징 분야에서 액체 충전장치와 관련하여 많은 연구가 진행되어왔다. Shaukat 등은 PLC (Programmable Logic Controller)를 이용하여 자동 액체 충전장치를 제어하기 위한 저렴한 비용의 PLC를 개발하였으며[3], Saleh 등은 사이즈가 다른 드럼에 대해 자동으로 액체를 충전할 수 있는 PLC를 연구하였다[4]. Sidik와 Ghani 는 액체 충전 장치를 아두이노(Arduino)를 이용하여 체적을 측정하는 시스템을 개발하였으며[5-7], Solanki 등은 생산성 향상을 위해 기어 펌프용 자동 액체 충전장치를 연구하였다[8-11].

한편, 액체가 충전이 될 때 낙차에 의한 기포가 발생하는데 Lee 등은 커피 드립 머신을 위한 기포 제거형 드립 노즐을 설계하여 3D 프린팅을 통해 제작하였다[12]. 자동 수위조절과 관련된 연구

는 초음파 및 적외선 센서를 이용하여 자동으로 수위조절을 할 수 있는 냉수 공급기를 Bae 등에 의해 제작되었다[13].

그러나 앞서 언급된 모든 조건을 동시 충족시키기 위한 충전장치는 아직 개발되지 않았다. 이에 본 연구에서는 드럼에 충전되는 제품의 수위에 연동하여 자동으로 노즐을 상승시켜 종래의 낙차로 인한 거품 발생 등 생산라인 문제점을 해결하고자 하였다. 동시에 제조 및 물류 공정의 효율을 개선하고, QR 코드 알고리즘을 도입하여 드럼에 주입된 내용물의 정확한 확인을 위해 스마트 주입 노즐 장치를 개발하여 성능평가를 완료하였다.

### 2. 수위 연동형 스마트 충전 장치

Fig. 1은 기본적인 액체 충전장치의 전체 구조를 표시하고 있다. 장치는 주입노즐 개폐유닛, 주

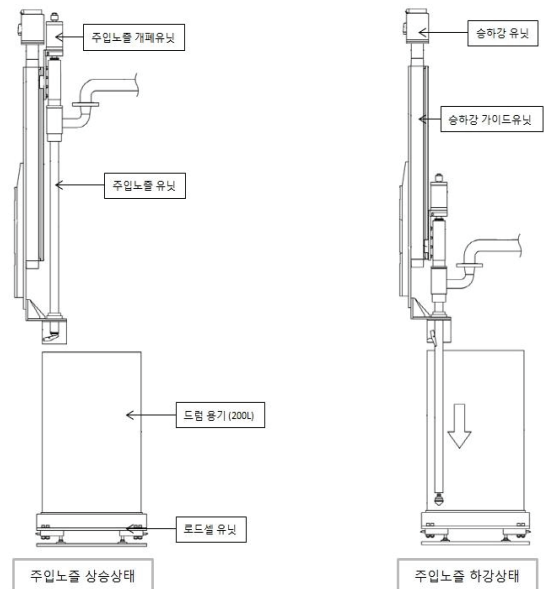


Fig. 1 Schematic of automatic water level controlled filling machine

입노즐 유닛, 로드셀 유닛, 승하강 유닛, 승하강 가이드 유닛으로 구성되어 있다. 주입 노즐이 상승 및 하강 상태일 때 드럼 용기에 유입 및 유출된다.

Fig. 2(a)는 본 연구진이 개발한 스마트 액체 충전장치이며, 기본적인 장치와 함께 자동으로 수위를 연동하도록 하는 메인 컨트롤러, 제품의 무게를 인식할 수 있는 로드셀 유닛, 완성된 제품의 정보를 QR로 출력할 수 있는 QR 프린터가 추가되어 있다.

Fig. 2(b)는 장치를 자동으로 제어하기 위한 컨트롤 패널을 보여주고 있다. 빈 드럼 중량, 제품 중량, 낙차값, 비중값 등의 작업 조건을 설정하며, 구동 중에 중량, 노즐 이송 속도, 투입 제품 중량 등의 작업 현황을 실시간으로 알 수 있다. 작업이 완료되면 패널의 정보가 QR 프린터에 의해 출력된다.



(a) Smart liquid filling system

### 3. QR 코드 알고리즘 개발

본 연구에는 제품의 관리 및 위치추적을 위해서 QR 코드를 도입하였다. Fig. 3(a)는 드럼 내용물 확인이 가능한 QR 코드 시스템을 나타낸다. 포장될 액체의 종류, 용량, 생산 일자 등의 정보를 간편하게 QR 코드 인식기 및 스마트폰으로 내용물 정보 확인이 가능한 시스템을 개발하였다. QR 코드에는 숫자 최대 7,098, 문자 (ASCII) 최대 4,296 등을 저장할 수 있으며 기존 바코드보다 인식률이 빠른 장점이 있다. QR 코드를 생성할 때는 평균 데이터를 암호화한 후 QR 코드 생성하여 데이터가 노출되지 않도록 하였다. 이때 암호화 방법으로는 AES (Advanced Encryption Standard)를 사용하였으며 128bit 키를 사용하였다[14]. AES 암호화를 통하여 생성한 QR 코드는



(b) Smart nozzle control panel

Fig. 2 Photo of developed smart nozzle system

일반 QR 코드 리더앱으로 정보를 읽을 수 없다. Table 1에서는 평균으로 사용된 값과 암호화된 텍스트를 표시하고 있다.

Table 1. Data set for AES Encryption

내용	작업 시간	설정 중량	제품 투입 중량	체크 중량	토크 값	Leak Test
평문	2020.04.03 10:15:20	230.5	229.9	248.9	25.978	OK
암호화 텍스트	CB9QaUhTkNgpWgi/wjl68EzBy2FZs/gSDBRX8RNwEhZ8mpkWckq3cmJ2fjLHQ9JMGEdSBXcd/DHrZzrKRMARUQ==					

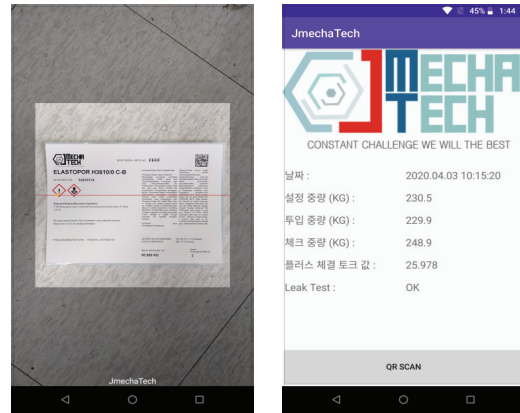
암호화된 텍스트를 기반으로 생성된 QR 코드는 QR decoding 단계에서 1차 디코딩을 한 후 AES로 다시 한번 디코딩을 해야 한다. 이렇게 2단계의 디코딩을 해야 정확한 값을 얻을 수 있다. 암호화된 텍스트로 생성된 QR코드를 읽기 위해서는 4단계 작업이 이루어진다.

- 1) 카메라를 통해 QR 코드 영상을 변환하는 Image conversion 단계
- 2) 이미지를 변환하여 0, 1로 이루어진 Raw 데이터로 변환하고 QR 코드의 위치 인식 심볼을 검출하고 방향을 조정하여 패턴을 정렬하는 QR detecting 단계
- 3) Raw Data를 Decoding 하여 데이터를 생성하는 QR decoding 단계
- 4) Decoding된 데이터를 AES 복호화하는 단계

또한, 암호화된 QR 코드를 읽고 사용자에게 정보를 알려줄 수 있는 애플리케이션을 개발하였다. 본 애플리케이션을 수행 후 QR 스캔 버튼을 클릭하면 Fig. 3(b)과 같이 스캔하는 화면이 표시된다. 스캔 화면에서 QR 코드의 암호화된 텍스트를 읽어 다시 한번 AES를 이용하여 일반 텍스트로 변환한다. 변환된 텍스트를 파싱하여 사용자 보기 쉽게 Fig. 3(c)과 같이 표시하였다.



(a) QR code system



(b) Scanning state

(c) Decrypted values

Fig. 3 Application to read the encrypted QR code

Table 2. Performance evaluation and methods

항목	평가 방법	목표치
주입 용량 정확도	- 60L 드럼 기준으로 용액 주입 시 주입된 용량의 정확도 측정	$\pm 100g$ 이하 (60L 기준)
노즐 위치 정확도	- 스마트 주입 노즐의 수직 이송 위치를 5개의 구간으로 나누어서 각 구간에서의 위치 정확도를 측정	$\pm 10mm$ 이하
노즐 반응 시간	- 스마트 주입 노즐이 주입되는 용액의 수위 변동에 반응하는 시간 측정	0.5sec 이내
데이터 구축 정확도	- 드럼에 주입된 용액의 생산 데이터가 정확한지를 측정 - QR코드 인식 후 100개의 데이터에 대해 99%의 정확도 측정	99% 이상

Table 3. Example of test results

Water(S=1)				Diesel(S=0.85)				Gasoline(S=0.7)			
DRUM 일일 생산 일지 (물)				DRUM 일일 생산 일지 (경유)				DRUM 일일 생산 일지 (물)			
작업 시간	설정 중량 (kg)	제품 투입 중량(kg)	판정	작업 시간	설정 중량 (kg)	제품 투입 중량(kg)	판정	작업 시간	설정 중량 (kg)	제품 투입 중량(kg)	판정
20년05월26일 10시02분10초	50	50	OK	20년06월01일 10시01분51초	50	50	OK	20년05월27일 10시05분11초	50	50	OK
20년05월26일 10시06분48초	50	50.05	OK	20년06월01일 10시05분12초	50	49.95	OK	20년05월27일 10시08분48초	50	50	OK
20년05월26일 10시11분09초	50	50	OK	20년06월01일 10시09분21초	50	50	OK	20년05월27일 10시12분35초	50	50.05	OK
20년05월26일 10시16분55초	50	50	OK	20년06월01일 10시13분20초	50	50	OK	20년05월27일 10시16분57초	50	50.05	OK
20년05월26일 10시21분28초	50	50	OK	20년06월01일 10시17분37초	50	50.05	OK	20년05월27일 10시20분28초	50	50	OK
20년05월26일 10시26분19초	50	50.1	OK	20년06월01일 10시21분54초	50	50	OK	20년05월27일 10시24분10초	50	50	OK
20년05월26일 10시31분30초	50	50	OK	20년06월01일 10시26분05초	50	50	OK	20년05월27일 10시28분08초	50	50	OK
20년05월26일 10시35분26초	50	50	OK	20년06월01일 10시39분39초	50	50	OK	20년05월27일 10시32분26초	50	49.95	OK
20년05월26일 10시39분11초	50	49.95	OK	20년06월01일 10시43분32초	50	50.05	OK	20년05월27일 10시36분08초	50	50	OK
20년05월26일 10시43분23초	50	49.95	OK	20년06월01일 10시47분20초	50	50	OK	20년05월27일 10시40분19초	50	50	OK
20년05월26일 10시47분38초	50	50	OK	20년06월01일 10시51분13초	50	50	OK	20년05월27일 10시43분58초	50	50	OK
20년05월26일 10시52분05초	50	50	OK	20년06월01일 10시54분57초	50	50	OK	20년05월27일 10시48분05초	50	50	OK
20년05월26일 10시57분13초	50	50	OK	20년06월01일 10시58분38초	50	50	OK	20년05월27일 10시51분43초	50	50.1	OK
20년05월26일 11시06분07초	50	50	OK	20년06월01일 11시02분06초	50	50	OK	20년05월27일 10시55분27초	50	50.05	OK
20년05월26일 11시10분30초	50	49.9	OK	20년06월01일 11시05분43초	50	50	OK	20년05월27일 10시58분45초	50	50	OK
20년05월26일 11시13분59초	50	50	OK	20년06월01일 11시09분33초	50	49.9	OK	20년05월27일 11시02분57초	50	50	OK
20년05월26일 11시17분10초	50	50	OK	20년06월01일 11시12분17초	50	49.95	OK	20년05월27일 11시06분17초	50	50	OK
20년05월26일 11시21분08초	50	50	OK	20년06월01일 11시15분55초	50	50	OK	20년05월27일 11시10분05초	50	50	OK
20년05월26일 11시24분42초	50	50	OK	20년06월01일 11시19분11초	50	50	OK	20년05월27일 11시14분21초	50	50	OK
20년05월26일 11시28분13초	50	50	OK	20년06월01일 11시22분53초	50	50	OK	20년05월27일 11시18분25초	50	50	OK

#### 4. 스마트 노즐 시스템의 성능평가

스마트 액체 충전 시스템의 주요 성능평가를 위해 주입 용량 정확도, 노즐 위치 정확도, 노즐 반응 시간, 데이터 구축 정확도의 평가 항목을 설정하였다. Table 2는 각 측정 항목별 평가 방법 및 목표치를 나타내고 있으며, 공인기관 시험성적서 KS A IEC80000-13, KS B 7068, KS X ISO/IEC 18004를 기준으로 평가하였다[15]. 주입 용량 정확도, 노즐 위치 정확도, 노즐 반응 시간은 각 5회 시험 후 평균값을 측정하였으며, QR 코드 인식 후 데이터 구축 정확도는 100회 시험

을 통해 평가하였으며, 각각의 항목에 대한 기준 목표치를 모두 달성하였다. 또한 비중(Specific gravity, S)이 다른 액체에 대한 시험을 시행하였으며, 물(S=1), 경유(S=0.85), 휘발유(S=0.7)에 대해 동일한 시험을 통해 모두 기준에 만족하며, 그 결과는 Table 3과 같다. 이 표는 일일 생산 일지로 작업 시간에 따라 설정한 중량(kg)과 같이 각각의 액체가 드럼에 정량으로 투입되는지가 기록되며, 여기에서는 20회까지의 결과만 보여주고 있다. 투입 용량의 정확도는 50kg 기준으로 최소 49.9kg에서 최대 50.1kg으로 ±0.1kg 이하로 측정되었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 드럼에 충전되는 제품의 수위에 연동하여 노즐을 상승시켜 기존 생산라인의 문제점을 해결함과 동시에 제조 및 물류 공정의 효율을 개선하고, 드럼에 주입된 내용물의 정확 확인을 위해 스마트 주입 노즐 장치 개발을 수행하였다.

개발된 장치의 성능평가 방법을 정립하여 노즐 위치정확도, 노즐 반응 시간, 주입 용량 정확도, 생산 데이터 구축 정확도의 성능을 측정하여 모든 항목에서 비중이 각각 다른 물질로 시험한 결과 모두 목표치를 달성하는 것을 확인하였다. 또한, 제품의 관리 및 위치추적을 위해서 QR 코드를 도입하였으며, 드럼 내용물 확인을 위해 포장될 액체의 종류, 용량, 생산 일자 등의 정보를 간편하게 QR 코드 인식기 및 스마트폰으로 확인이 가능한 스마트 노즐 시스템을 개발하였다.

본 기술은 현재까지 적용된 생산 현장이 없으며, 최근 정부에서 근로자의 환경개선을 요구하고 있는바, 인체에 유해한 화학물질을 생산하는 기업은 반드시 필요한 기술로 사료된다.

## 사 사

본 논문은 중소벤처기업부의 재원으로 2019년 지역기업 개방형혁신 바우처(R&D) 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(P0010817).

## 참고문헌

- [1] D. Zhang and S. Li, "Design and realization of liquid filling machine intelligent control system," 2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), pp. 1283-1288, (2015).
- [2] N. Nadgauda, S. M. Muthukumaraswamy, S. U. Parabha, "Smart Automated Processes for Bottle-Filling Industry Using PLC-SCADA System," Intelligent Manufacturing and Energy Sustainability, vol. 189, pp. 693-702, (2020).
- [3] N. Shaukat, N. Wahab, B. Rawan, Z. Uddin, A. Mirza, "PLC Based Automatic Liquid Filling Process," IEEE Multi Topic Conference, (2002).
- [4] A. L. Saleh, L. F. Naeem, M. J. Mohammed, "PLC Based Automatic Liquid Filling System for Different Sided Bottles," International Research Journal of Engineering and Technology, vol. 04, no. 12, (2017).
- [5] M. H. M. Sidik, S. A. C. Ghani, "Volume Measuring System Using Arduino for Automatic Liquid Filling Machine," International Journal of Applied Engineering Research, vol. 12, no. 24, pp. 14505-14509, (2017).
- [6] P. Birmole, M. Kamble, S. Naik, A. Sadamate and H. V. Korgaonkar, "Designing and Implementation of Chemical Mixing and Filling Bottles Using PLC," 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), pp. 436-439, (2018).
- [7] D. Kurniawan and R. Sulaiman, "Design and Implementation of Visual Inspection System in Automatic Bottling System Based on PLC," 2008 Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS), pp. 760-764, (2008).
- [8] N. A. Solanki, P. G. Raj, S. P. Patel, C. D. Rajput, "Automatic Liquid Filling Machine," International Journal of Engineering Research & Technology, vol. 4, no. 05, pp. 108-110, (2015).
- [9] K. Thiyagarajan, R. Meenakshi and P. Suganya, "Vision based bottle classification and automatic bottle filling system," 2016 International Conference on Advances in Human Machine Interaction (HMI), pp. 1-3, (2016).

[1] D. Zhang and S. Li, "Design and realization of liquid filling machine intelligent control system,"

- [10] W. Koodtalang, T. Sangsuwan and B. Noppakaow, "A Design of Automated Inspections of Both Shape and Height Simultaneously Based on Stereo Vision and PLC," 2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 1290-1294, (2018).
- [11] M. Zhang and S. Li, "An automatic liquid-filled colour-changing glasses based on thermo-pneumatic technology," 2015 International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FPM), (2015)
- [12] S. M. Lee, S. D. Choi, Y. H. Kim, "Development of a air-removal drip nozzle for coffee drip machine," Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, (2016).
- [13] J. H. Bae, J. U. Kim, G. D. Kim, D. K. Lee, "Automatic Water Level Controlled Cooling Water Supply," Proceeding of the KIEE Summer Conference, pp. 12-14, (2017).
- [14] O. Hajihassani, S. K. Monfared, S. H. Khasteh, and S. Gorgin, "Fast AES Implementation: A High-Throughput Bitsliced Approach," IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, vol. 30, no. 10, pp. 2211-2222, (2019).
- [15] KS/ISO Standard,  
[https://www.kasto.or.kr/info/standard\\_ksiso.asp](https://www.kasto.or.kr/info/standard_ksiso.asp)  
(접수: 2020.04.29. 수정: 2020.05.14. 게재확장: 2020.05.22.)