

## 원격운용통제탄 볼 자동공급 및 정렬 시스템 개발

권정은<sup>a</sup>, 이철희<sup>a\*</sup>

## Development of Automatic Ball Feeder and Alignment System for Remote-Controlled Munition System

Jung-Eun Kwon<sup>a</sup>, Chul-Hee Lee<sup>a\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Inha University

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	23	December	2020
Revised	25	January	2021
Accepted	16	March	2021

## Keywords:

Partial automation  
Parts feeder  
Automatic alignment  
Remote controlled munition system

## ABSTRACT

A remote-controlled munition system is produced by injection molding, and the entire manufacturing process consists of manual assembly. Thus, it is highly dependent on worker proficiency, which can lead to low productivity and inhomogeneity. Automating this manual assembly process would improve the overall productivity and achieve product uniformity; however, there are technical and economic limitations in applying automated systems to the entire process. Thus, the aim of this work is to formulate a partial automation system for production processes with excessive workforce and to reestablish the concept. This study focuses on developing a partial automation process and the automatic supply and alignment of balls, and the performance of the device is analyzed experimentally. It is verified that the ball supply and alignment processes are improved, as well as the production capacity and uniformity.

## 1. 서론

수류탄과 유사한 형태를 가진 원격운용통제탄은 사출 성형에 의해 생산되며, 전 공정이 수작업으로 이루어진다. 수작업에 의한 원격운용통제탄의 제작 공정은 작업자에 대한 의존도가 높은 노동 집약적인 작업으로 생산성이 낮고 제품의 품질이 균일하지 못한 단점을 가지고 있으므로 제작 공정을 자동화 하는 것은 전반적인 생산성 증가와 제품을 균일한 품질로 관리할 수 있다<sup>[1]</sup>. 하지만 일정한 생산량만을 생산하고 투자비용과 가용공간이 한정되어 있는 경우 기술력, 경제적 부담이 높아 특정 공정을 자동화시킬 수 있는 부분 자동화 시스템의 설계가 필요하다<sup>[2]</sup>.

원격운용통제탄의 제작 공정은 Fig. 1과 같으며, 먼저 원격 운용 통제탄을 생산할 수 있는 사출 금형을 제작한다. 이후 원격운용통

제탄의 몸체가 되는 알루미늄 바디를 사출 금형 내부에 조립한 후 파편이 되는 텅스텐 볼을 사출 금형과 알루미늄 바디 사이에 공급 및 정렬되도록 한다. 텅스텐 볼의 정렬이 끝난 후 사출 금형을 조립 및 성형한 뒤 사출 금형을 해체하여 원격운용통제탄을 취출한다. 이때 텅스텐 볼 조립공정은 공구, 게이지를 사용하여 작업자에 의해 직접 수행되는 노동 집약적 공정이다<sup>[3]</sup>. 또한 많은 작업 인원의 투입과 작업시간이 소요되므로 전체적인 공정 속도의 불균형과 부적합품 생산 등의 저해요인이 발생하는 문제점이 있다<sup>[4]</sup>. 이러한 문제점을 해결하기 위해 텅스텐 볼 조립공정에서 사출 금형과 알루미늄 바디 사이에 조립될 텅스텐 볼의 무게를 자동으로 측정하여 공급하고, 공급된 텅스텐 볼이 일정하게 정렬할 수 있도록 하였다.

이에 따라 본 연구에서는 원격운용통제탄의 제작 공정 중 텅스

\* Corresponding author. Tel.: +82-32-860-7311

E-mail address: chulhee@inha.ac.kr (Chul-Hee Lee).

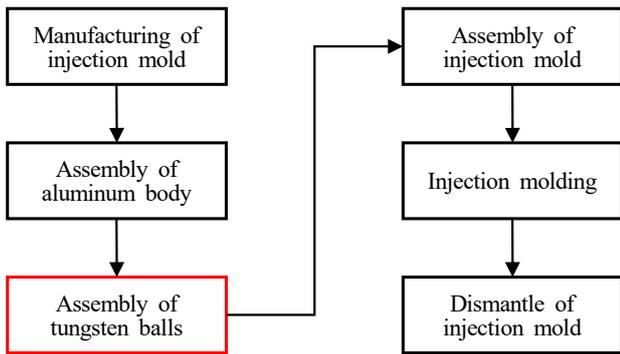


Fig. 1 Manufacturing process of remote controlled munition system

텐 볼 조립공정을 파악하여 자동화 시스템을 개발하고, 개발된 시스템을 통해 작업할 수 있도록 하였다. 개발된 장치를 통해 생산성 향상과 제품 품질의 안정화 및 품질의 균일성을 평가할 수 있는 가이드를 제시하는 것을 목적으로 두고 있다.

## 2. 텅스텐 볼 자동 공급 및 정렬 장치

### 2.1 텅스텐 볼 자동 공급 및 정렬 장치의 설계 및 제작

텅스텐 볼 자동 공급 및 조립장치는 텅스텐 볼을 계량하여 사출 금형에 공급하여 주는 볼 공급 장치와 공급한 텅스텐 볼을 정렬시키는 볼 조립 장치로 구분하였고, 사출 성형기로 이동하기 위해 컨베이어 벨트를 이용한 금형 이송장치로 구성하였다. 사출 금형은 볼 조립 장치에 고정되도록 하였으며, 볼 공급 장치의 피더를 이용하여 텅스텐 볼이 공급되도록 설계하였다. 또한 장치들의 제어를 위해 제어부로 구성되어 있으며, Table 1에서 확인할 수 있다.

볼 공급 장치는 많은 양의 텅스텐 볼을 저장시킬 수 있는 호퍼(hopper)와 볼을 이동시킬 수 있는 피더(feeder), 볼이 완벽히 이동할 수 있도록 압축공기를 이용한 진동 발생기(air vibrator)로 구성하였다<sup>5)</sup>. 또한 0.01 g 단위로 텅스텐 볼의 무게를 계량할 수 있는 전자저울이 포함되어 있으며, 약 1280개의 볼의 무게 약 81.20 g을 계량하여 사출 금형에 공급하도록 하였다.

Fig. 2에 나타난 것과 같이, 자동 정렬 세부 유닛은 4개의 사출 금형이 로터리 테이블 위에 일정한 간격으로 배열되어 있는 형태로 되어 있다. 하나의 사출 금형에 텅스텐 볼이 공급되고 나면 로터리 테이블(rotary table)이 90° 회전을 한 후 5초 간 정지하고 있는 사이에 사출 금형으로 볼을 공급되도록 설계하였다.

사출 금형 안에는 원격운동제탄의 형태를 잡아주는 알루미늄 바디가 조립되어 있고, 이 알루미늄 외곽에 텅스텐 볼이 공급되도록 조립공정을 진행하게 된다. 공급된 텅스텐 볼은 사출 금형과 알루미늄 바디 사이에 들어가 한 층으로 자리 잡게 된다. 4개의 사출 금형에 텅스텐 볼을 순차적으로 공급하기 위해서 로터리 테

Table 1 Components lists of automatic ball feeder and alignment system

Part	Components
Supply	Hopper, Feeder, Air vibrator, Electronic scale
Assembly	Index drive, Air vibrator, Slip ring, Rotary joint
Conveyer	Conveyer belts, Plastic top cover
Control	Controller Software

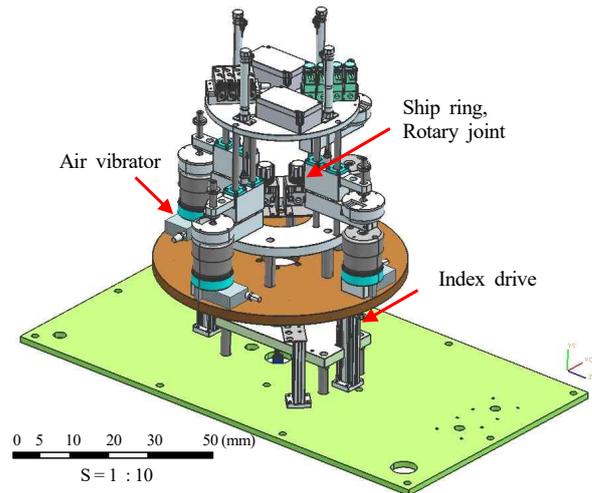


Fig. 2 Tungsten ball auto-alignment assembly unit

이블은 5초마다 90° 회전이 이루어지는데, 이때 사출 금형과 알루미늄 바디 사이에 들어가 있는 텅스텐 볼들은 롤러 기어 캠형 인덱싱 드라이브(indexing drive of roller gear cam type)가 주는 원심력에 의해 일정하게 정렬을 하게 된다. 롤러 기어 캠형 인덱싱 드라이브는 롤러 기어 캠에 의하여 로터리 테이블의 회전과 멈춤을 유도할 수 있으며 별도의 브레이크가 필요하지 않고 백래시(backlash)가 없다는 장점이 있다<sup>6)</sup>. 그러므로 4개의 사출 금형에 공급된 텅스텐 볼들은 로터리 테이블이 회전할 때마다 원심력을 받아서 1차 볼 정렬이 이루어지게 되고 다시 에어 진동기에 의해서 2차 텅스텐 볼 정렬이 이루어진다.

텅스텐 볼의 정렬은 사출 금형이 내부에서 이루어지기 때문에 사출 성형 작업이 완료된 후 확인할 수 있다. 이때 자동 정렬 장치에서 텅스텐 볼 정렬이 완벽하게 이루어지지 않더라도 사출 성형 공정에서 사출 성형기의 압력으로 인해 볼의 미세한 이동이 발생하고, 이로 인해 3차 볼 정렬이 추가적으로 이루어진다.

인덱싱 드라이브는 360° 회전하는 특성으로 각종 모터 전선과 공압 실린더의 튜브에 무한 회전이 적용되어 선의 꼬임 등이 야기된다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법으로 슬립 링(slip ring)과 로터리 조인트(rotary joint)를 선정하여 꼬임 없이 무한 회전을 할 수 있도록 설계하였다.

금형 이송장치는 텅스텐 볼이 조립된 사출 금형을 컨베이어 벨

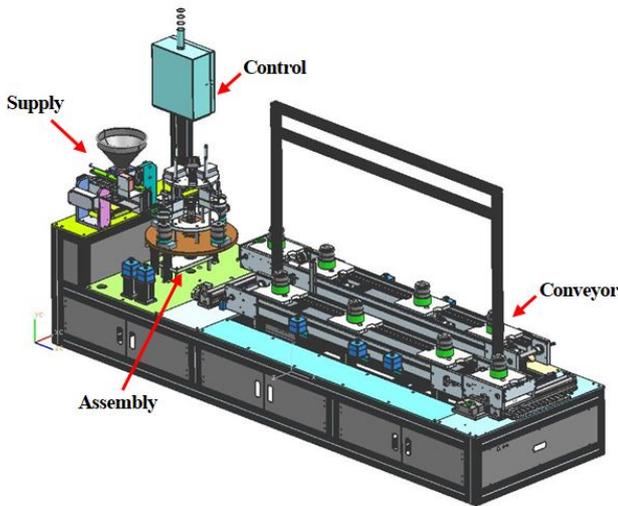


Fig. 3 Construction and 3D modeling of the automatic supply and alignment system

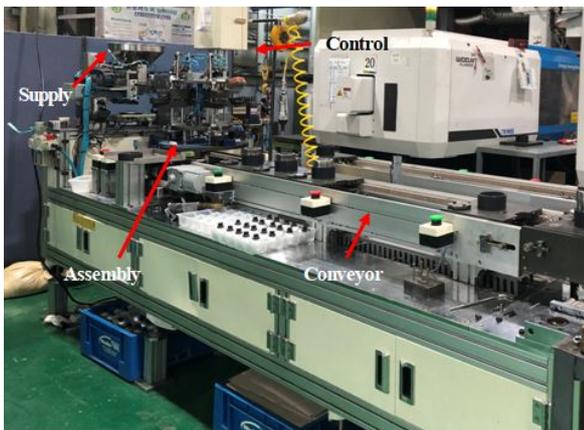


Fig. 4 Developed device of the automatic supply and alignment system

트(conveyor belts)를 통해 사출 성형기 앞으로 이송 및 대기할 수 있도록 하며, 구동장치와 벨트, 체인 등으로 구성되어 있고, 8개의 사출 금형이 대기할 수 있도록 받침판을 함께 설계하였다<sup>7)</sup>. 또한 기존 컨베이어 벨트 위에 양방향 회전이 가능한 롤러가 포함된 플라스틱 탑 커버를 함께 설치하여 사출 금형이 대기할 때 받침판과 마찰이 일어나지 않도록 구상하였다.

제어부는 별도의 제어 소프트웨어와 컨트롤러, PLC로 구성되어 각 센서와 실린더, 인덱싱 드라이브, 솔레노이드 밸브 등을 제어할 수 있도록 설계하였다.

Fig. 3에서는 개발된 장치를 3D로 모델링 하였으며, 어셈블리 작업을 통해 부품 간 간섭을 확인하였다. 또한 발생하는 간섭에 대해 설계 수정을 거쳤으며, 사출 금형의 3D 모델링을 이용하여 장치의 작동을 시뮬레이션으로 확인하였다. 텅스텐 볼의 자동 공급 및 정렬 장치의 제작은 3D 설계를 바탕으로 진행되었으며, 최

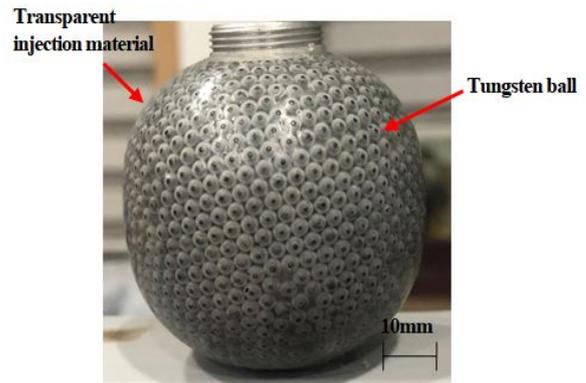


Fig. 5 Sample of remote controlled munition system using transparent injection material

종적으로 제작된 장치는 공차 이내의 치수로 조립되었다. 완성된 장치는 Fig. 4를 통해 확인할 수 있으며, 3D 설계의 어셈블리 작업과 시뮬레이션 작업을 통해 확인한 바와 같이 작동됨을 확인하였다.

## 2.2 성능 평가

제작된 장치가 요구 성능을 충족하는지 확인하기 위하여 성능 평가를 진행하였다. 원격운용통제탄의 균일한 품질을 유지하는 직접적인 요인은 텅스텐 볼의 무게와 정렬이다. 개발한 장치를 구동시킨 후 볼의 무게를 확인하기 위해 공급 장치에서 공급되는 볼을 직접 받아 무게를 측정하였으며, 볼의 무게는 0.01 g의 단위로 측정할 수 있는 전자저울을 이용하여 진행하였다. 총 20회 샘플링을 하여 측정한 결과, 무게의 평균값은 81.19 g으로  $\pm 0.3$  g의 오차를 가지는 것을 확인하였고, 텅스텐 볼의 무게 측정의 성능목표인 1275개~1280개를 만족하였다. 볼의 정렬은 투명 사출 재료를 사용하여 시험 사출 성형을 진행한 후 외관을 확인한 결과 일정한 배열을 가지고 정렬된 것을 Fig. 5에서 확인하였다.

## 3. 실험

본 연구에서 제안하고 개발된 텅스텐 볼 자동 조립 장치의 성능을 확인하기 위하여 생산 실험을 진행하였다. 실험을 위한 제품 생산은 개발된 장치를 하루 8시간씩 2일 동안 가동하여 총 867개가 생산되었다. 생산된 867개의 제품을 모집단으로 총생산량과 불량률, 텅스텐 볼의 정렬 상태를 분석하고, 30개의 제품을 표본 추출하여 중량과 외경의 평균, 최댓값, 최솟값, 표준편차를 분석하여, 제시된 기준치와 허용범위에 들어오는지 분석하고 확인하였다.

### 3.1 실험 조건

실험에는 원격운용통제탄을 수작업으로 생산할 때 사용하였던 사출 성형기(우진 플라임, TB90S)와 사출 금형 11세트를 사용하

**Table 2 Injection conditions for remote controlled munition system**

Description	Unit	Value
Cylinder temperature	°C	235
Injection speed	mm/s	95
Injection pressure	bar	50
Injection time	sec	5
Packing Pressure	bar	20
Packing time	sec	1
Cooling time	sec	15
Mold open / close / ejection time	sec	4 / 5 / 3
Cycle time (sum)	sec	33

였으며, 사출 성형 조건은 최적화 과정을 거쳐서 최종 확정하여 사용하였다. 원격운용통제탄의 파편이 되는 사출 재료는 폴리프로필렌(PP, polypropylene)을 사용하였다.

사출성형 조건은 기존의 비슷한 형상의 폴리프로필렌의 성형 조건인 사출 속도 80 mm/s, 사출 압력 70 bar를 기준으로 하여 최적화 조건을 찾았다. 원격운용통제탄의 구조를 만들기 위하여 사출 금형 안에 알루미늄 바디가 조립되어 있는 상태에서 사출성형 재료를 주입하는 하게 되는데, 기존의 성형 조건을 적용하여 사출성형을 진행하였을 때에는 압력에 의해 알루미늄 바디가 찌그러지는 현상이 나타났다. 사출 압력이 낮추면서 실험을 진행하여 알루미늄 바디가 찌그러지는 현상이 나타나지 않는 조건은 50 bar 이하의 압력이라는 것을 찾았다. 생산량에 영향을 주지 않고 변형이 생기지 않는 조건의 조합을 진행한 결과 사출 시간을 5초와 사출 압력 50 bar를 고정하고 사출 속도를 5 mm/s씩 증가시켜 미 성형 제품이 나오지 않으면서 알루미늄 바디가 찌그러지지 않고, 최대한 생산성이 높은 최적화된 성형 조건을 찾았다. 최적화된 사출성형 조건은 다음의 Table 2에 요약하여 나타내었다.

**3.2 실험 결과**

수작업에 의한 원격운용통제탄 텡스텐 볼의 조립은 낮은 생산량과 불량품의 발생 빈도를 높인다. 대표적인 불량은 다음의 Fig. 6에서 보여주는 것과 같이 사출 성형이 불완전하게 된 경우이다.

본 실험에서는 텡스텐 볼 자동 조립장치를 사용하여 생산량의 증가와 불량품의 감소, 그리고 중량 편차와 외경 편차를 측정하여 분석하였다. 이때 원격운용통제탄의 형상은 진원이 아니지만 사출 성형이 끝난 뒤 가장 큰 외경을 이용하여 조립 공정이 진행되므로 제품을 위쪽에서 바라보았을 때 가장 큰 외경을 측정하였다.

기존의 방식대로 수작업으로 진행한 원격운용통제탄은 시간당 생산량은 전체 평균이 5개이며, 불량률은 20%로 나타난다. 한편, 본 연구에서 제작된 볼 자동 조립장치를 사용하여 생산할 경우 최



**Fig. 6 Defective products with incomplete injection molding**

**Table 3 Criteria, acceptable tolerance, and measured weight of remote controlled munition system**

(unit: g)		
Criteria	Fiducial value	127.50
	Acceptable tolerance	2.50
	Lower limit	125.00
	Upper limit	130.00
Number of sample	n	30
Measured value	Mean	127.45
	Standard deviation	0.23
	Minimum	127.02
	Maximum	128.22

**Table 4 Criteria, acceptable tolerance, and measured external diameter of remote controlled munition system**

(unit: mm)			
Criteria	Fiducial value	50.30	
	Acceptable tolerance	0.20	
	Lower limit	50.10	
	Upper limit	50.50	
# of sample	n	30	
Measured value		A	B
	Mean	50.22	50.22
	Standard deviation	0.04	0.05
	Minimum	50.13	50.12
	Maximum	50.29	50.32

적화 조건에서 시간당 53.5개로 나타나, 수작업에 비해 약 10.7배 향상됨을 알 수 있다. 또한 생산된 시료 867개 중 미 성형으로 부적합품 판정을 받은 수량은 11개로 불량률 1.27%로 나타났다. 그러므로 볼 자동조립장치를 이용하였을 경우, 생산성이 대폭 증가하였으며, 불량률 역시 현저히 감소하였다.

생산된 제품이 균일한 품질을 가지고 있는지 확인하기 위하여 부적합품 11개를 제외한 생산품 중 샘플 30개를 무작위 선별하여 중량과 외경을 측정하였으며, 결과는 Table 3과 Table 4, 그리고

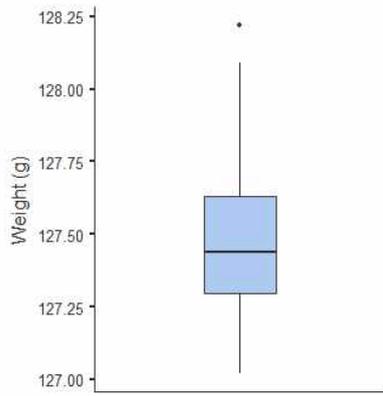


Fig. 7 Box-and-whiskers plot of wight measurements for 30 samples ( $127.47 \pm 0.28$  g)

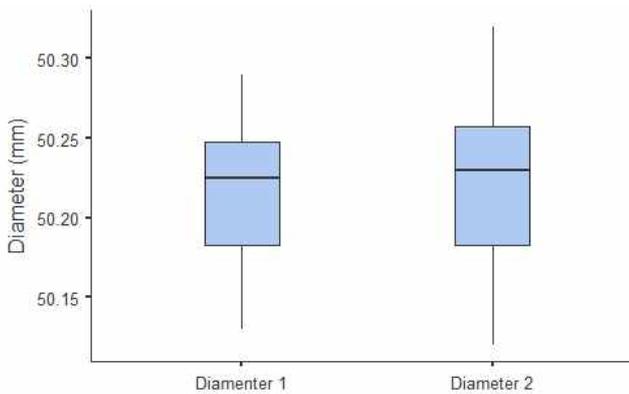


Fig. 8 Box-and-whiskers plot of diameter measurements taken twice for 30 samples ( $50.22 \pm 0.04$  mm,  $50.22 \pm 0.05$  mm)

Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

중량의 기준은 127.50 g이며, 허용오차는 2.50 g으로, 허용 최대 중량은 130.00 g, 허용 최소 중량은 125.00 g이다. 측정된 중량의 평균값은  $127.47 \pm 0.28$  g이고, 측정된 최대 중량은 128.22 g, 측정된 최소 중량은 127.02 g이다. 그러므로 샘플 30개는 전체는 기준 중량 127.5 g에서의 허용오차 범위인  $\pm 2.5$  g 범위 내에서 생산된 것을 확인하였다.

외경의 기준은 50.30 mm이며, 허용오차는 0.20 mm으로 허용 최소 외경은 50.10 g, 허용 최대 외경은 50.50 g이다. 모든 샘플의 외경은 두 번씩 측정하여 측정된 외경의 평균값은 각각  $50.22 \pm 0.04$  mm와  $50.22 \pm 0.05$  mm이다. 측정된 최소 외경은 50.13 mm와 50.12 mm이고, 측정된 최대 외경은 50.29 mm와 50.32 mm이다. 그러므로 샘플 30개 전체는 기준 외경 50.30 mm에서 허용 오차 범위인  $\pm 0.2$  mm 범위 내에서 생산된 것을 확인하였다. 이러한 품질검사 결과를 비추어볼 때, 볼 자동 조립장치를 생산 공정에 적용시켰을 때 제품의 균일한 품질을 얻을 수 있는 것을 도출하였다.

#### 4. 결론

모든 공정을 수작업으로 생산해 왔던 원격운용통제단은 생산성이 낮고 불량률이 높았다. 이에 생산성을 높이고 불량률을 낮추기 위하여 텅스텐 볼 자동 조립장치를 개발하였으며, 생산 공정에 적용하여 생산성, 불량률, 중량과 외경의 편차 등을 분석하였다.

본 연구에서는 원격운용통제단의 생산 공정 가운데 생산성이 낮은 원인이 되며 동시에 가장 불량률이 높게 나오는 텅스텐 볼을 조립 공정을 자동화하여 텅스텐 볼 자동 공급 및 정렬장치를 설계하였다. 개발된 장치는 자동화 시스템 공정의 흐름이 원활하게 이루어질 수 있도록 장치의 전체적인 구성을 3D 시뮬레이션과 어셈블리 작업을 통하여 확인 후 제작하였다. 장치의 성능 평가를 통해 사출 금형과 알루미늄 바디에 조립될 1275개 ~ 1280개의 텅스텐 볼의 무게를 전자저울을 이용하여 일정하게 공급할 수 있는 것을 확인하였고, 에어 진동기를 이용하여 텅스텐 볼이 일정하게 정렬하는 것을 확인하였다.

개발된 장치의 성능 평가를 위하여 먼저 수작업 사출성형 조건을 기준으로 하여 본 장치에 맞도록 최적화 작업을 거쳤다. 최적화된 사출성형 조건을 적용하고, 장치를 하루 8시간씩 2일 동안 가동하여, 생산된 867개의 제품을 모집단으로 총생산량과 불량률, 텅스텐 볼의 정렬 상태를 조사 분석하고, 30개 제품의 표본 추출하여 중량과 외경의 평균, 최대값, 최소값, 표준편차를 분석하여, 제시된 기준치와 허용범위에 들어오는지 분석하고 확인하였다. 성능 평가 결과는 생산성에서 시간당 53.5개로 수작업 평균 5개에 비하여 10.7배 향상되었다. 수율은 98.7%로 수작업의 평균 수율 80.0% 대비하여 18.7% 향상되었다. 텅스텐 볼의 무게는 모든 샘플에 대하여 81.19 g으로 일정하게 나타났다. 부적합품 11개를 제외하고 볼이 빠진 곳이 없고 일정한지를 살펴보는 육안검사 결과는 텅스텐 볼이 일정하게 정렬되어 있는 것을 확인하였다. 생산된 제품의 중량 측정 결과 평균은  $127.47 \pm 0.28$  g, 최대 중량 128.22 g, 최소 중량은 127.02 g으로 기준 중량 127.50 g에서의 허용오차 범위인  $\pm 2.5$  g 범위 내에서 생산된 것을 확인하였다. 샘플의 외경은 두 번씩 측정하여 측정된 외경의 평균값은 각각  $50.22 \pm 0.04$  mm와  $50.22 \pm 0.05$  mm이고, 최소 외경은 50.13 mm와 50.12 mm, 최대 외경은 50.29 mm와 50.32 mm이다. 그러므로 기준 외경 50.30 mm에서 허용 오차 범위인  $\pm 0.2$  mm 범위 내에서 생산된 것을 확인하였다.

이러한 결과를 비추어볼 때, 본 연구에서 개발한 원격운용통제단 텅스텐 볼 자동 공급 및 정렬 장치를 생산 공정에 적용시켰을 때, 자동화 시스템을 통한 제품의 생산성이 수작업에 대비하여 현저히 높은 생산성과 수율을 가지며, 제품의 기준치의 허용범위 내에서

균일한 품질을 얻을 수 있는 것으로 확인하였다.

## 후 기

이 연구는 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0012769, 2020년 산업혁신인재성장지원사업)

## References

- [1] Lotter, B., 1989, Manufacturing Assembly Handbook, Butterworths, London.
- [2] Mok, H. S., Ha, J. W., Cha, D. K., 1994, Development of Design Technology for Assembly Automation, J. Korean Soc. Precis. Eng., 11:1 184-191.
- [3] Mok, H. S., Cho, J. R., Pyo, S. T., 2001, Implementation of Assembly Line and Line Balancing to Improve Assembly Productivity-A Case Study, J. Korean Soc. Precis. Eng., 18:8 129-138.
- [4] Jung, J. Y., Jun, E. S., 2014, A Study on the Process Improvement through the Lamp Assembly Automation, Proc. KAIS Fall Conf., 155-156.
- [5] Jung, B. H., 2002, Development of an Automatic Parts Feeder of Screw Grommet for Refrigerator, Masteral Dissertation, Chonnam National University, Republic of Korea.
- [6] Cho, H., Park, J., Shin, Y., Lee, K., 2017, A Study on 5-Axis Machining of Roller Gear Cam for Rotary Table, J. Korean Soc. Manuf. Process. Eng., 16:4 127-134, <http://doi.org/10.14775/ksmpe.2017.16.4.127>.
- [7] Ha, M., Jun, J., 2006, Development and Estimation of Hinge Belt Plate in Combination Type, J. Korean Soc. Manuf. Process. Eng., 5:4 86-92.



**Jung-Eun Kwon**

Graduate Student of the Graduate School of Engineering, Inha University. Her research interest is Injection Molding.

E-mail: ban\_hwi@naver.com



**Chul-Hee Lee**

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Inha University. His research interest is Mechanical Engineering.

E-mail: chulhee@inha.ac.kr