

유도무기용 소형 정밀부품 제조공법 개선에 관한 연구

김규영*, 서정화, 김경록, 김보람
국방기술품질원

A Research on the Manufacturing Process Improvement of High-Precision Parts for Precision Guided Missile

Kyu-Young Kim*, Jung-Hwa Seo, Kyoung-Rok Kim, Bo-Ram Kim
Defense Agency for Technology and Quality

요 약 국내 유도무기 분야의 비약적 발전에도 불구하고, 유도무기 내 정밀 기계 부품의 제조 방식은 80년대의 기계 절삭가공 및 정밀주조 방식에서 눈에 띄는 발전이 없는 상황이다. 생산 수량이 많지 않고 높은 신뢰도를 요구하는 만큼 기계 절삭가공이나 정밀주조 방식이 유리한 측면이 있는 것은 분명하다. 하지만 광범위 지역 제압용 유도무기(천무, 해룡 등)의 경우 유도탄 1기당 수백 개 이상의 자탄이 소요되어 대량 생산성을 요구하고 있으며, 각각의 부품 중 가공 난이도가 높은 경우는 기존의 기계 절삭가공 및 정밀주조 방식으로는 생산성과 품질을 동시에 충족시키기 어려운 실정이다. 특히 최근에 대두되고 있는 국내 방산제품들의 해외 시장 수출 경쟁력 강화를 위해서는, 생산성의 개선을 통한 원가 절감이 필수적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 상기에 언급된 문제의 해결을 위해 유도무기 소형 정밀부품의 MIM(Metal Injection Moulding) 공법 적용 가능성에 대해 연구한다. MIM 공법의 기초연구를 수행하여 공정 설계간 최적의 공정 조건을 도출하였으며, 이를 적용하여 제작된 자탄신관 소형 정밀부품과 기존 방식으로 제작된 제품의 품질 검사 결과 비교 및 해당 부품이 적용되어 제작된 신관의 기능시험 수행 결과를 통해 MIM 공법의 적용 가능성을 소개한다.

Abstract The manufacturing processes of high-precision parts for PGM (Precision Guided Missiles) have not been improved for decades; they still depend on machining or high-precision casting. These processes have an advantage when making small amounts of high-reliability parts in the usual case of a PGM system. In the case of a PGM system, however, which has been made for striking an extensive area, requires hundreds of bomblet units that require mass productivity. In addition, in the case of a part that is very difficult to machine, mass productivity and quality cannot be satisfied at the same time. In particular, cost reduction is an essential precondition to strengthening the export competitiveness of Korean defense articles. This study examined whether the MIM process is appropriate for manufacturing high-precision parts that require mass productivity. The optimized MIM process condition was determined after carrying out fundamental research. Comparisons of the quality of prototype parts with original parts and a functional test of a fuse that had been made with MIM parts highlighted the application possibility of the MIM process.

Keywords : Metal Injection Molding, Feedstock, Debinding, Vacuum Sintering, PGM, Fuze Part

*Corresponding Author : Kyu-Young Kim(Defence agency for Technology and Quality)

email: kimq0@dtaq.re.kr

Received April 7, 2020

Accepted June 5, 2020

Revised May 8, 2020

Published June 30, 2020

1. 서론

1.1 연구 배경

국내 유도무기 분야의 비약적 발전에도 불구하고, 유도무기 내 정밀 기계부품의 제조 방식은 기계절삭 가공 및 정밀주조에서 크게 벗어나지 못하고 있다. 상기에 언급된 제조 방식의 경우 공정의 특성 상 공수가 많이 투입되고, 설비가 많이 발생하는 등 부품 단가를 상승시키는 단점이 있는 반면, 타 제조 방식에 비해 높은 가공 정밀도를 보장할 수 있어, 적은 생산량과 높은 작동 신뢰도를 요구하는 유도무기의 특성 상 적용이 필수 불가결한 것으로 인식되어 왔다.

하지만 국방정책 및 국제 정세의 변화와 세계 방산시장 확대에 의한 수출 기회의 증대는 최근 정밀 유도무기의 요구 생산량을 증가시키고 있으며, 기존의 기계절삭가공 등의 제조 방식으로는 생산성과 품질을 동시에 만족시키기 어려워졌다. 특히 세계 방산시장에서의 수출 경쟁력 확보를 위해서는 생산성과 품질 뿐 아니라 경제성까지 모두 만족시킬 수 있는 새로운 제조 방식의 적용에 대한 연구가 필요하다. 국내의 군용 기계부품 중 공정 개선을 통해 생산성을 개선시킨 사례를 살펴보면, 항공기 엔진 내 브래킷 부품의 가공을 일반 기계가공에서 EDM (Electro Discharge Machining) 방식으로 개선시킨 사례[1], 25mm 철갑탄의 Projectile Fin 부품이나 개인 소화기의 조준장치 생산 간 MIM 방식을 적용하여 개선한 사례 등을 확인할 수 있다[2].

1.2 연구 대상

본 연구에서는 제조공법 개선의 검토 대상으로 유도무기 정밀부품 중 ‘불안전핀’ 부품을 선택하였다. 불안전핀의 재질은 구리 및 구리합금봉 KS D 5101 이며 전장 00.0 mm, 두께 0.0 mm의 소형정밀 부품으로, Fig. 1과 같이 복잡한 형상을 가지고 있어 기계가공 시 황삭, 정삭, 드릴링 등 많은 가공작업을 요하여 일일생산량이 제한적이고 원가 또한 높게 측정된다. 특히 유도무기 1기당 소요되는 수량이 많아, 해당 유도무기의 국내 조달 및 해외 수출시 필요한 부품의 수급에도 어려움이 있어, 본 연구의 목적인 생산성과 경제성의 확보에 최적의 검토 대상으로 판단하였다.

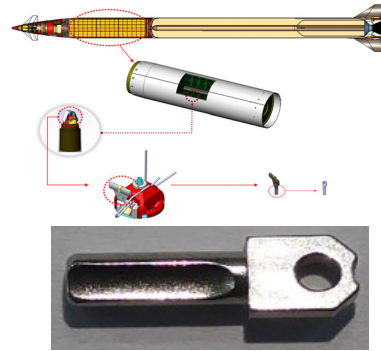


Fig. 1. Ball safety pin

2. 본론

2.1 기초연구

유도무기용 정밀 기계부품의 품질을 만족하면서 생산성 및 경제성의 향상을 위한 제조 방식으로 금속분말사출성형(MIM: Metal Injection Molding, 이하 MIM)을 선택하였다. 일반적으로 MIM공법은 복잡한 형상의 부품을 대량으로 생산하는데 가장 적합한 것으로 알려져 있다. 수지와 금속 분말의 조화를 통해, 거의 완전 치밀화된 복잡한 형태의 제조가 가능하며 특히 우수한 성능을 필요로 하는 부품을 경제적으로 빠른 시간에 제공할 수 있다는 장점이 있다. 특히 연간 20,000개 이상의 생산량이 보장될 경우 경제성 측면에서 경쟁력을 가지게 되며[2], 최근의 다양한 적용사례를 살펴보면 공정기술의 발전으로 5,000개 수준의 제작수량에서도 경쟁력확보가 가능할 것으로 보인다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고, 기술 및 시설 등의 초기 투자비용의 발생과, 제조원가의 절감이 매출의 저하로 이어지는 방산분야의 기형적인 원가 정책으로 인해 적용된 사례가 거의 없는 실정이며, 최근 진행되고 있는 원가제도 개선 등이 적용 될 경우 많은 분야에서 적용 검토가 가능할 것이다.

2.1.1 MIM 공정 일반

MIM공법은 Fig. 3과 같이 금속분말과 바인더의 균일한 혼합체를 만드는 혼합공정, 혼합체의 사출을 통해 최초로 부품 형상을 구현하는 사출성형공정, 바인더를 제거하는 탈지공정, 사출성형체의 조밀화를 위한 소결공정까지 일련의 공정들로 구성되며, 각 공정마다 최종 제품의 특성을 좌우하는 요소들이 있어 해당 사항들을 고려한

공정의 설계가 필요하다. 본 연구에서는 각 공정별 기초 연구 과정 간 시편 제작 및 시험을 통해, 연구대상 제작에 가장 적합한 방식을 도출하고자 하며, 전체 연구 절차는 아래 Fig. 2와 같다.

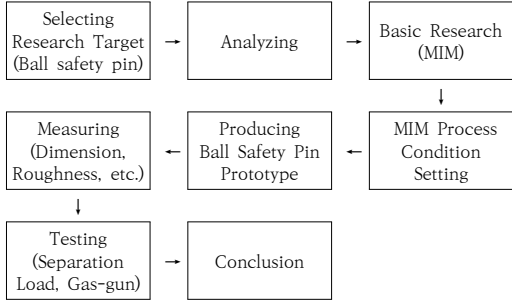


Fig. 2. Research Process

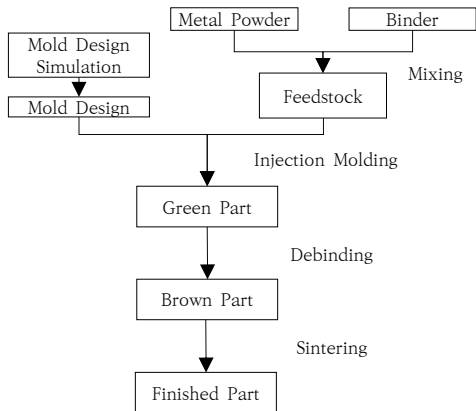


Fig. 3. MIM Process

2.1.2 소재 선정

연구대상인 불안전편의 소재 규격은 구리 및 구리합금 봉 KS D 5101으로, 최종 결과물의 기계적 성능을 충족함과 동시에, 원료의 가격이나 수급의 용이함 등을 고려하여 스테인리스 금속분말을 적용하는 것이 가장 적합하다고 판단하였다. 본 연구에 적용한 금속분말은 STS630으로, 이론밀도는 7.74 g/cm³이며 분말 입자의 크기 및 분포는 평균크기 8.2 um, 탭 밀도(tap density)는 4.21 g/cm³이다.

바인더 역시 다양한 종류의 적용이 가능하나, 본 연구에서는 생산성 확보 측면을 고려하여 열가소성 다성분계의 바인더를 적용하였다. 해당 바인더는 탈지공정 간 열분해만으로도 완전한 바인더 제거가 가능하며, 생산성 확보에 유리할 것으로 판단하였다. 적용한 바인더의 이론밀

도는 0.95 g/cm³이며, 성분은 POM(Polyoxymethelene), PP (polypropylene), PW (paraffin wax) 등으로 구성되어 있다.

2.1.3 혼합공정 및 사출성형

금속분말과 바인더의 혼합체를 성공적으로 제조하기 위해서는 혼합체의 점도가 중요하다. Fig. 4는 두 가지 서로 다른 입자간의 분말의 고유한 충전 특성을 나타낸 것으로, ‘임계 분말부피 충전율’을 넘게 될 경우, 금속분말 간의 기공부피보다 적은 양의 결합제가 존재하게 되어 분말 간에 접촉 발생이 시작되고, 혼합체의 점도는 무한대로 증가하여 사출성형이 곤란해진다. 반대로 혼합체의 점도가 너무 낮을 경우, 탈지 및 소결공정 간 형상을 유지하기 어려워 제품의 생산에 실패할 확률이 높다.

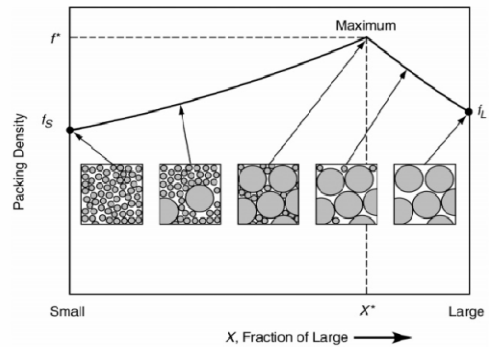


Fig. 4. Bi-modal Mixture of Powders [3]

본 연구에서는 최적의 분말충전율을 도출하기 위해, 혼합체의 금속분말충전율을 50~65%범위 내에서 변화시키며 총 10종의 사출성형 시편을 제작하였다. 아래 Fig. 5는 각 시편의 밀도 측정값과 혼합체의 이론밀도를 비교한 것으로, 금속분말의 충전율 및 혼합체의 이론밀도는 각각 (1)과 (2)의 공식을 통해 산출하였다.

$$\Phi_s = \frac{W_s/\rho_s}{(W_s/\rho_s) + (W_b/\rho_b)} \quad (1)[4]$$

Where, W_s denotes weight of powder, ρ_s denotes net density of powder, W_b denotes weight of binder, ρ_b denotes density of binder

$$\rho_{th} = \Phi_s \rho_s + (1 - \Phi_s) \rho_b \quad (2)[4]$$

Where, ϕ_s denotes solids loading, ρ_s denotes net density of powder, ρ_b denotes density of binder

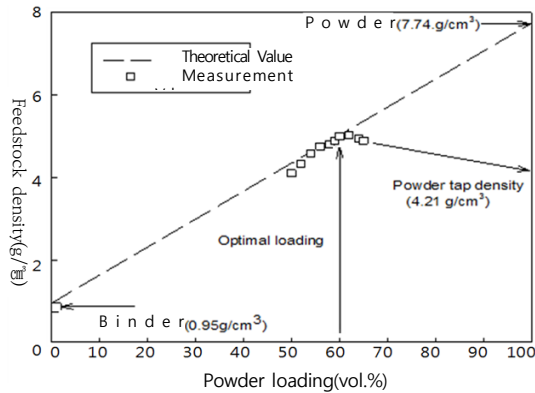


Fig. 5. Solids loading & Mixture density

그래프에서 도시된 바와 같이 각각의 사출성형체 시편을 제작한 혼합체의 금속분말 충전율이 증가할수록, 시편의 측정밀도 값이 혼합체의 이론밀도와 점차 일치해가는 경향을 보이며, 충전율 62 vol.% 까지 증가 후 점점 감소함을 알 수 있다. 이에 따라 본 연구과정에서는 시편의 밀도측정을 통하여 임계 분말부피 충전율로 판단되는 62 vol.% 보다 낮은 60 vol.%를 최적 분말충전율로 도출하였으며, 연구를 수행하였다.

2.1.4 탈지공정

60 vol.% 조건으로 제작된 시편의 열분해 탈지는 수평형 관상로의 수소분위기(유량 5 l/min)에서 평균 승온 속도 30 °C/hr, 전체 공정 24시간 동안 실시하였으며, 공정 전후 무게를 측정하여 탈지율을 산출하였다. 또한 소결공정에서의 취급을 용이하게 하고자 탈지체의 예비 소결(presintering : 850 °C, 1hr)도 동시에 실시하였다.

2.1.5 소결공정

본 연구에서는 최적의 소결온도를 도출하기 위해, 중기 이후의 1,100 ~ 1,350 °C 구간에서 5개의 시편을 제작하여 인장강도, 경도, 연신률을 측정 및 광학현미경을 통한 미세조직을 관찰하였다. 소결공정은 저진공 Ar sweeping 분위기에서 실시하여 10 l/min로 송입하였으며, 소결로 내의 진공도는 1~3 torr, 승온 속도는 60 °C/min, 해당 온도 구간에서 1시간씩 실시하였다. Fig. 5는 소결온도별 소결체 미세조직을 광학현미경으로 관찰

한 것이다. 소결온도가 증가할수록 미세조직 간 넥(neck) 성장 및 기공수축으로 인해 조직이 치밀화 되는 모습을 확인할 수 있으나, (f)에서는 대부분의 기공이 결정립 내부에 존재하고 입자 또한 조대해져 기계적 특성이 저하되는 구간으로 볼 수 있다. 따라서 최적의 미세 소결조직을 얻기 위해서는 1,300 °C에서 소결을 수행하는 것이 타당할 것으로 보인다.

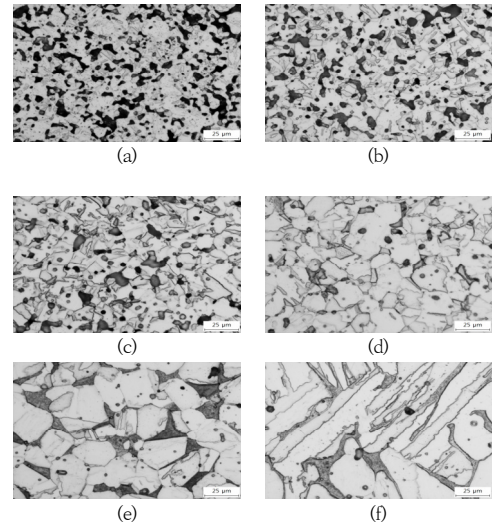


Fig. 6. Microstructure of STS630 in each Temperature
(a) 1,100 °C (b) 1,150 °C (c) 1,200 °C (d) 1,250 °C
(e) 1,300 °C (f) 1,350 °C

각 시편의 주요한 기계적 물성 값을 측정하였다. Fig. 7 ~ 9는 각각 온도별 인장강도, 경도, 연신률을 측정한 결과로, 1,300 °C 까지 증가 후 감소하는 것을 확인할 수 있다. 단, Fig. 8 경도의 경우 1,300 °C 이후 구간에서 상대적으로 감소량이 적은데, 이는 경도의 특성 상 결정립의 크기보다는 기지의 밀도와 석출물의 성장에 영향을 받는 것으로 기존의 연구결과와 같은 경향을 보이고 있다[5]. 따라서 측정을 통해 확인한 3가지의 물성 값의 경향 및 광학현미경을 통한 소결체 미세조직 관찰 결과를 종합하여, 본 연구에서의 최적 소결온도는 1,300 °C로 결정하였다.

Table 1은 MIM 공정으로(1,300 °C 소결 기준) 제작된 시편과 기존 황동 재질의 기계가공으로 제작된 불안전핀 제품의 기계적 물성 값을 각각 비교한 것이다. 이를 통해, MIM 공정의 결과물이 기존의 불안전핀 소재인 황동(KS D 5101 C3601BD-1/2H)과 비교 시 월등하게 높은 기계적 물성 값을 확보할 수 있음을 확인하였다.

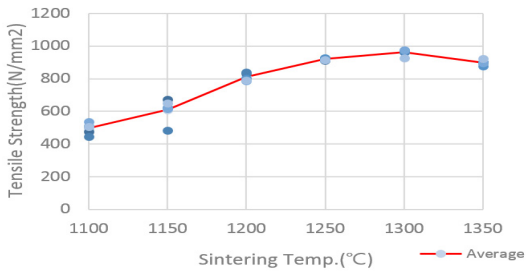


Fig. 7. Tensile Strength & Sintering Temp.

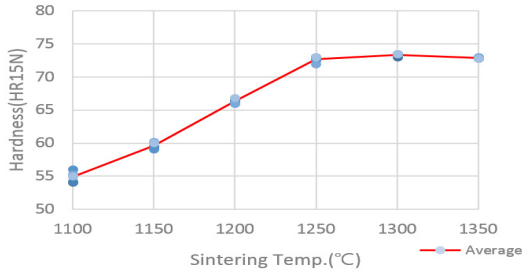


Fig. 8. Hardness & Sintering Temp.

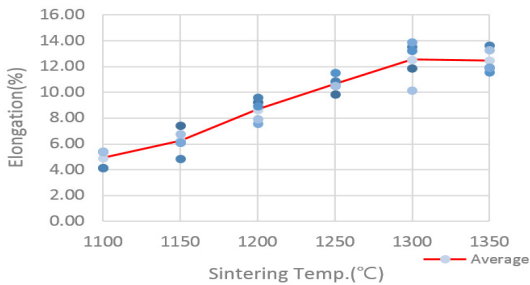


Fig. 9. Elongation & Sintering Temp.

Table 1. Mechanical Property (MIM vs Theoretical)

	Stainless Steel (KS D 3706 STS630)	Brass (KS D 5101 C3601BD-1/2H)
Tensile Strength	962	532
Hardness (HR15N/HV)	73.4 / 280	- / 180
Elongation	12.55	-

마지막으로 시편의 제작과정 중 Fig. 10의 사출성형체와 최종 소결체 간 선형 수축율을 측정한 결과 약 16%정도 수축함을 확인할 수 있었으며, 해당 수치는 이후 불안전핀 제작을 위한 사출성형금형 설계 시 반영하였다.



Fig. 10. Specimen(finished part, brown part)

2.1.6 기초연구결과

앞선 일련의 실험과정을 통해 MIM 공정으로 제작된 시편의 기계적 특성을 확인하였다. 이를 통해 MIM 공정의 결과물도 원소재인 STS630의 기계적 물성 값을 상당 부분 보존하고 있으며, 기존 황동재질의 불안전핀에서 요구되는 기계적 물성 값과 비교 시 월등한 수준으로 높게 확보가 가능함을 확인하였다.

2.2 시제품 제작

앞서 기초연구의 수행으로, 불안전핀 제작을 위한 최적의 공정조건을 설정하였다. 설정된 조건들을 적용하여 실제 불안전핀 시제품을 제작 후 기존의 기계가공품과 비교 분석하였다.

2.2.1 불안전핀 제작

Fig. 11은 2.1에서 세팅 된 공정조건을 적용하여 제작한 불안전핀의 최초 사출성형체부터 소결체까지 시제품 형상이다. 3차원적인 수축에도 불구하고 형상의 변형은 거의 없는 것을 확인할 수 있었고, 소결체의 주요 치수 측정 결과 치수공차 뿐 아니라 기하공차도 모두 도면 규격을 만족함을 확인할 수 있었다.



Fig. 11. Ball Safety Pin (finished part, green part, brown part)

표면조도의 경우 기존의 기계가공품 대비 육안 상으로도 확연히 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이에 따라 표면조도에 따라 작동성능에 영향을 미칠 수 있는 주요 부위 2곳을 선정하여 표면조도를 측정하였으며, 실측 Data는

Table 2와 같았다.

Table 2. Surface Roughness (MIM vs Machining)

		MIM (1,300 °C)	Machining
Roughness (μm)	Point 1	1.095	0.247
	Point 2	0.945	0.226

표면조도의 향상을 위해 기존 기계가공제품 대비 바렐 공정을 추가 적용하기로 결정하였다. 최적의 공정조건을 도출하기 위해 연마석과 적용시간을 다르게 적용하여 조건 별 결과 값을 측정하였다.

연마석에 따른 영향성을 확인하기 위해, Fig. 12와 같이 유사 제품에 적용 중인 절삭바렐용 연마석 2종과 광택바렐용 연마석 2종을 각각 적용하여 30분씩 수행 후 표면조도를 측정하였으며, Table 3의 결과와 같이 절삭바렐은 'AN8', 광택바렐은 '3P14' 연마석적용 시 표면조도 개선효과가 우수한 것을 확인하였다.

Table 3. Surface Roughness Tendency on Media

		Cutting Media		Polishing Media	
		HS2	AN8	CS2	3P14
Roughness (μm)	Point 1	1.103	1.066	1.045	0.976
	Point 2	0.849	0.838	0.871	0.821

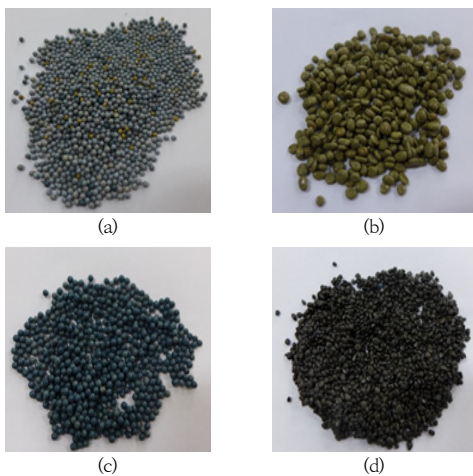


Fig. 12. Cutting Media & Polishing Media
(a) HS2 (b) AN8 (c) CS2 (d) 3P14

연마석의 선정 이후, 바렐공정 적용시간 별 조도 개선 효과를 확인하였다. 제품의 치수 정밀도에 영향을 주지 않기 위해 바렐공정은 최대 2시간으로 제한하여 수행하였다. Table 4의 측정결과와 기계가공품의 표면조도 비교 시, 바렐공정의 수행 이후에도 기계가공품의 표면조도가 월등히 나은 것을 확인할 수 있었으며, 이는 표면조도의 확보 측면에서 MIM 공정의 한계점을 시사 하는 것으로 볼 수 있다.

Table 4. Surface Roughness Tendency on Barreling Time

		Barreling Time(min)			
		30	60	90	120
Roughness (μm)	Point 1	1.011	0.898	1.090	0.991
	Point 2	0.778	0.675	0.608	0.541

2.3 성능시험

MIM공정으로 제작된 불안전핀 시제품의 최종 성능을 확인하기 위해, 불안전핀 및 불안전핀이 적용되는 자탄신관의 국방규격(KDS 1390-4016) 상 요구되는 시험 2종을 수행하였다.

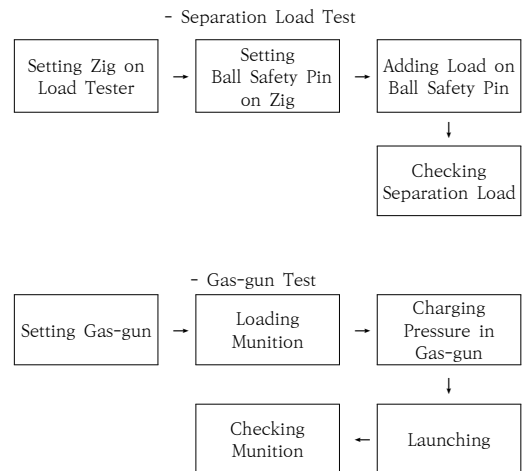


Fig. 13. Test Process (Separation Load Test, Gas-gun Test)

2.3.1 분리하중시험

첫 번째는 불안전핀 분리하중시험으로, 신관에 결합된 불안전핀에 외력을 가한 후 불안전핀의 분리하중 값을 측정하여 국방규격 KDS 1390 -4016에 요구된 350 gf 이하를 만족하는지 확인한다. 시험방법은 Fig. 13과 같이

불안전핀을 시험기에 연결하여 위쪽 방향으로 당기며 불안전핀의 이탈 시 분리하중 값을 측정하였고, 총 60조 시험결과 평균 분리하중은 Table 5와 같이 229 gf로 측정되어 규격을 만족하였으나, 기존 제품의 평균값인 198 gf 보다는 증가하였다. 이는 앞서 바렐공정 에서도 확인한 바와 같이 MIM 공법 특성상 기계가공 대비 결과물의 표면조도가 높고, 이로 인하여 불안전핀 표면과 자탄신관 결합부위의 마찰력이 증가되어 분리하중 값이 증가된 것으로 판단된다.

Table 5. Separation Load Test

	MIM (1,300 ℃)	Machining
Separation Load (gf)	229	198



Fig. 14. Separation Load Test

2.3.2 발사시험

두 번째로 국방규격 KDS 1390-4015에 명시되어 있는 발사시험을 통해, 발사 환경에서 불안전핀의 정상 분리 여부를 확인하였다. 해당 규격 시험을 위해 전용 시험장비인 공압발사장비(Fig. 15)를 사용하였으며, 장비의 포신 쪽에 자탄을 장전하고 공압을 통해 발사하여, 실제 자탄의 작동 환경을 모사하는 방식으로 시험이 진행되었다. 불안전핀의 정상 분리여부는 시험 후 자탄 및 불안전핀 회수를 통해 육안 확인하였으며, 자탄 60발의 발사시험결과 전량 정상 분리된 것을 확인하여 기존 제품의 대체 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

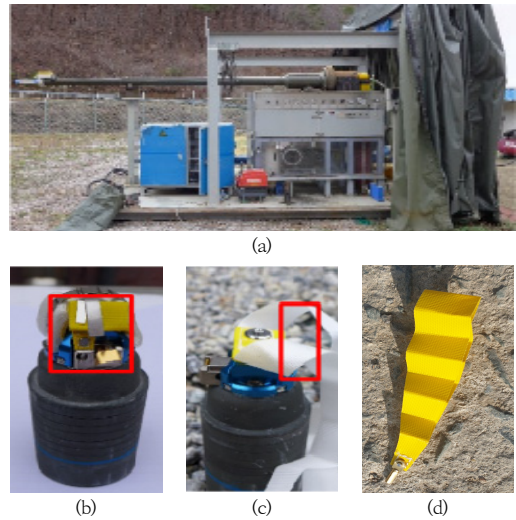


Fig. 15. Gas-gun Test

- (a) Gas-gun (b) Before test (Ball safety pin assembled)
- (c) After test (Ball safety pin separated)
- (d) Separated Ball Safety Pin

2.4 개선사항 및 기대효과

불안전핀의 제조공정 변경에 따른 개선사항을 품질, 비용, 생산성 측면에서 종합하였다.

2.4.1 품질

MIM을 적용한 불안전핀 품질의 경우 기존 제품 대비 기계적 성질(항복강도, 경도 등)은 더 우수하며, 치수 정밀도는 동등수준이나 조도의 경우 떨어지는 결과를 보였다. 하지만, 분리하중시험 및 발사성능시험을 통해 확인 결과 제품 적용에 이상이 없음을 확인하였다.

Table 6. Quality

		Machining	MIM
Quality	Dimension	Acceptable	
	Roughness	Acceptable	
	Tensile Strength	532	962
	Hardness (HR15N/HV)	- / 180	73.4 / 280
	Elongation	-	12.55

2.4.1 비용/생산성

기존 기계가공 대비 생산비용 및 생산성 측면에서의 개선사항에 대해 확인해 보았다. 생산 조건의 경우, 불안전핀 부품의 최근 3년간 평균 연 생산량을 적용하였으며, 기존 업체에서 생산 방식만 변경하는 것으로 설정하여

분석하였다. (평균 연 생산량의 경우, 국방 보안의 이유로 구체적 수치는 비공개함)

Table 7. Cost / Production

	Machining	MIM
Cost (KRW)	525	380
Production (unit/day)	260	10,000

분석 결과, 불안전핀 단품 가격의 경우 개당 145원의 비용절감이 가능하였으며, 기존 가격의 약 27.6% 수준이다. 일일 생산 가능 수량은 기존 260개에서 10,000개로 증가하여, 약 3,800%의 증가를 보였다.

부품별 특성이나 업체 환경에 따라 비용 및 생산 가능 수량 증감의 폭은 다를 수 있겠으나, 분명 기존 기계가공 대비 비용/생산성 측면의 개선을 기대할 수 있는 결과로 판단할 수 있다.

3. 결론

본 연구의 수행과정을 통해 MIM 제조 방식을 적용하여 STS360 소재의 불안전핀 시제품을 생산하였고, 단품 수준에서 기존 황동 재질의 기계가공품 대비 동등 이상의 기계적 물성 값 및 치수 정밀도를 확보 할 수 있음을 확인하였다. 또한 불안전핀 시제품을 적용하여 신관 및 자탄을 제작하고 국방규격에서 요구하는 성능시험을 성공적으로 수행하여, 기존 제품의 대체 및 상용화가 가능함을 확인하였다. 마지막으로, 연구과정에서 확보된 기초 연구 및 성능시험 결과를 토대로 향후 유사 정밀부품으로의 MIM 제조 공정 확대 적용이 가능할 것으로 판단되며, 이를 통해 국내 유도무기의 생산성 및 경제성을 확보하고, 나아가 세계 방산시장에서 수출 경쟁력을 확보하는데 기여할 수 있기를 기대한다.

References

[1] W. S. Koo, "2010 Quality Improvement Results in the Field of 「Aeronautical System」", Technical Report, Defence Agency for Technology and Quality, Korea, p.74, May. 2011.
 [2] I. H. Moon, "A Study on Metal Injection Molding", Technical Report, Agency for Defence Development,

Korea, pp.7-27, Dec. 1991.

[3] R. K. Mcgeary, "Mechanical Packing," J. Am. Ceram. Soc. vol. 58, no. 1931, 1955.
 DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1961.tb13716.x>
 [4] Donald F. Heaney, "Handbook of Metal Injection Molding", pp 62-79, Woodhead Publishers, 2019
 DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857096234>
 [5] P. V. Mutelle, M. Zendron, "Influence of Carbon Content on the Micro-structure and Tensile Properties of the 17-4PH Stainless Steel Produced by MIM, Powder Injection Molding International, Vol.2, No.4, pp. 56-59, 2008
 [6] R.M. Geoman, A. Bose, "Injection Molding of Metals and Ceramics", pp 13-17, MPIF, 1997

김 규 영(Kyu-Young Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 고려대학교 공과대학 기계공학과 (학사)
- 2013년 3월 ~ 2018년 7월 : (주)한화/방산 대리
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

기계공학, 재료공학, 방산

서 정 화(Jung-Hwa Seo)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 공과대학 금속공학과 (학사)
- 1989년 2월 : 경북대학교 대학원 금속공학과 (석사)
- 1993년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 책임연구원

<관심분야>

금속공학, 전자공학, 화학

김 경 록(Kyoung-Rok Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 (학사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

금속공학, 전자공학, 화학

김 보 램(Bo-Ram Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 (학사)
- 2008년 2월 ~ 2012년 4월 : 삼성 전자 LCD사업부 선행기술개발팀 연구원
- 2012년 4월 ~ 2014년 1월 : 삼성 디스플레이 개발팀 선임연구원
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

금속공학, 전자공학, 방산