

Multi-cavity 프리폼 사출 금형 코어의 표면 품질 및 균일도 향상을 위한 연마 자동화 기구 개발

이정원¹ · 서금희¹ · 윤길상[†]
한국생산기술연구원 금형기술연구실용화그룹^{1,†}

A development of automated polishing apparatus for surface quality and uniformity of multi-cavity preform injection mold core

Jeong-Won Lee¹ · Keum-Hee Seo¹ · Gil-Sang Yoon[†]
Molds & Dies Technology R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology^{1,†}
(Accepted November 00, 2014)

Abstract : Automated polishing apparatus based on the research have been developed. The research is improvement of polishing process for surface quality and uniformity improvement of preform injection mold core. Surface quality of preform core have influence on ejecting and product quality after injection molding. Thus, the current being made by hand to automate the polishing process, the surface of the preform to improve the quality and uniformity improvement. First made a division by analyzing manual process a step-by-step. And draw a mechanism for converting mechanical movement. Automated polishing apparatus for preform core was developed, through which shortens production time and were able to secure the safety of the worker.

Keyword : Multi-cavity, Preform Injection Mold Core, Automated Polishing Apparatus, Surface Quality, Uniformity

1. 서 론

프리폼(preform)은 PET용기 블로우 성형을 위한 예비성형체로 매년 PET용기의 수요량이 증가함에 따라 프리폼 생산량도 증대되고 있다. 프리폼을 대량생산 하는 방법으로는 Multi-cavity 금형이 사용되고 있으며 해외 선진업체의 경우 196cavity까지 제작이 가능하며, 국내의 경우 48cavity 또는 96cavity 금형이 많이 사용된다.

금형 코어의 표면 품질은 사출 성형품의 품질과 취출에 많은 영향을 끼친다. 따라서 사출 금형 코어가 가공 후에는 표면 연마 작업이 필히 이루어지게 되며, 현재 연마공정은 숙련된 작업자에 의하여 수행된다. 금형 코어 제작 공정 중, 가공 자동화가 이루어

어져 있는 것에 반하여 연마 작업을 위한 자동화 연구는 중요성에 비해 아직 초기 단계에 머물고 있는 실정이다¹⁾.

현재 표면 연마공정은 작업자가 일일이 수작업으로 수행하고 있고, 수작업으로 수행되는 연마공정은 작업자에 따라, 그리고 작업자의 숙련도에 따라 품질이 불균일하다는 단점이 있다. 또한 작업자와 공작물과의 거리가 가까워 사고의 위험요소가 존재한다. 그리고 고강도의 연마 작업은 작업자의 이직 요인으로 작용하며, 잦은 작업자의 교체는 작업 효율이 떨어지는 문제로 이어진다.

본 연구에서는 위와 같은 문제점을 개선하기 위해서 연마공정에 대한 자동화 개발에 관한 연구²⁻⁵⁾를 바탕으로 코어 표면의 품질 및 균일도를 향상시켜 제품 불량률은 감소하고, 작업자의 피로도 감소와 안전사고에 대한 위험 요소를 제거할 수 있는 코

1,† 교신저자 : 한국생산기술연구원 금형기술연구실용화그룹
E-mail : seviaygs@kitech.re.kr

어 연마 자동화 기구를 현장에서 쉽게 적용할 수 있도록 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 연마공정 자동화 메커니즘

2.1 수작업 연마공정

기존 연마공정에서 기계적 메커니즘을 구현하기 위하여 수작업 연마 공정에 대한 분석을 수행하였다. PET 프리폼용 금형 코어의 형상은 다단형상을 가지는 실린더 형상이다. 실린더 형상의 코어 외측 표면을 선반 주축대에 고정하고 일정 속도로 회전시키며 직물사포를 이용하여 연마한다. 또한 캐비티의 내경의 경우도 직물사포 및 숫돌을 이용하여 연마한다. PET용 프리폼 금형 코어 연마 작업 모습을 Fig. 1에 나타내었다.

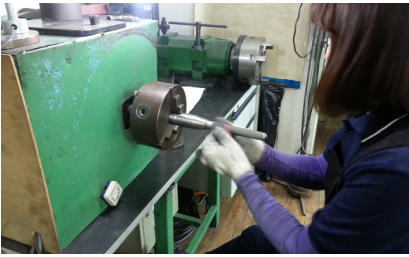


Fig. 1 Preform mold core for PET polishing state of affairs

2.2 숫돌을 이용한 연마공정

PET용 프리폼 금형 제작 업체에서 활용이 가능하도록 현장의 범용선반 심압대를 활용하였다. 숫돌을 이용한 자동 연마 기구는 선반에 탈부착이 가능하도록 제안되었으며, Fig. 2에 초기 코어 연마 자동화 기구 컨셉을 나타내었다.

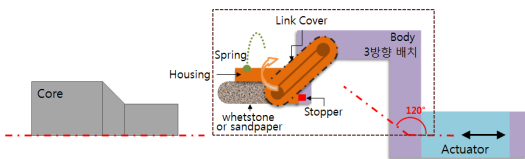


Fig. 2 3-direction core automated polishing apparatus using spring

프리폼 금형은 최종 제품(용기)의 크기나 형태에 따라 설계가 이루어지며, 최종 용기 성형에 불량이 발생하지 않도록 설계된 두께로 생산된다. 따라서 프리폼은 직경이 다른 다단 형태로 이루어져 있다.

Fig. 3에서 나타낸 것처럼 코어의 직경이 달라지면 스프링의 변형량이 달라지고, 작용 압력이 달라져 연마량이 불균일해진다.

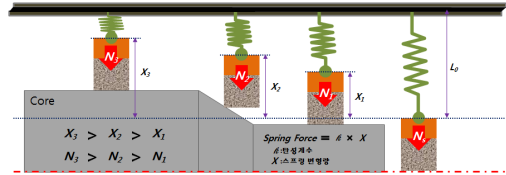


Fig. 3 Working pressure on core surface non-uniform phenomenon

또한 고품의 숫돌이 코어면을 따라 움직일 때, 코어 끝 부분의 곡면과 경사면에서의 모서리 부분은 가공이 이루어지지 않거나 과도한 연마로 치수의 변형이 발생 할 문제가 있다.

2.3 직물사포를 이용한 연마공정

고형의 숫돌을 이용한 코어 연마 기구 설계안에서 발생하였던 경사면의 불균일한 가압력을 개선하기 위해서 직물사포 타입으로 변경하였다. 직물사포를 이용한 연마공정은 코어 외측 형상과 동일한 금속 CAM을 제작하여, 연마 자동화 기구가 CAM 위를 따라 왕복 이동하여 코어 표면에 최대한 동일한 압력이 작용하도록 하였다. Fig. 4는 직물사포를 이용한 연마 자동화 기구 컨셉을 도식화 하였으며, Fig. 5는 코어에 작용하는 직물사포의 인장력 분포를 나타내었다. 코어와 직물 사포가 닿는 면적은 3D-Modeling을 통하여 도출할 수 있으며, 코어 표면에 작용하는 힘은 직물 사포의 인장력의 Z방향 벡터의 크기로 산출할 수 있다.

직물사포의 인장력은 인장시험을 통하여 #400의 직물사포 크기 280(L)×12(W)×0.4(t) (mm)일 때 최대 인장력은 30kgf이다.

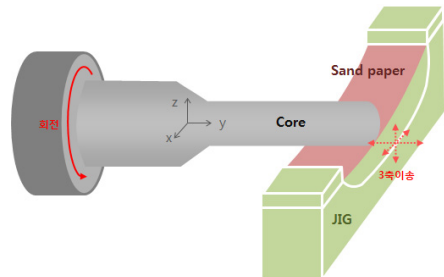


Fig. 4 A diagram of automated polishing apparatus concept using fabrics sandpaper

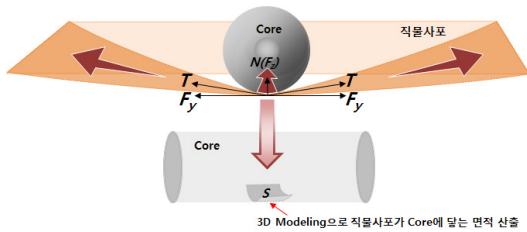


Fig. 5 Fabric sandpaper tensile force distribution acting on core

3. 연마 자동화 기구 제작

3.1 기구 개요

연마 자동화 기구는 프리폼 금형 코어가 다단으로 이루어져 있어 연마 기구가 코어 외형에 대응할 수 있도록 유연하게 움직일 수 있어야 하며, 직물사포가 동일한 압력(힘)으로 코어 외측에 작용해야 한다. 또한 최대 가공 효율을 가지기 위해서는 직물사포와 코어는 선접촉이 아닌 면접촉을 이루어야 한다.

연마 자동화 기구는 범용선반의 공구대에 설치되므로 연마를 위한 기구의 이송거리가 제한적(X축 : 120mm, Y축 : 160mm) 이지만 직물사포의 이용효율과 가공면의 품질을 높이기 위해서 X축 방향으로 큰 입력한 값만큼 스텝 이송이 가능하여야 한다. Y축 방향의 이송은 정확한 위치의 제어가 가능하여야 하며 코어의 회전속도에 따른 가공량을 제어하기 위한 이송속도 조절이 가능하여야 한다. 또한 코어의 외형과 동일한 구조의 가이드 레일은 작업자의 안전과 작업의 신속성을 위해서 교체가 쉽고 간편하여야 한다.

X축과 Y축의 이송구간에는 리밋 센서(limit sensor)를 설치하여 주축대와 충돌을 사전에 방지할 수 있도록 설계되어야 한다.

3.2 기구 설계

프리폼 형상은 최종 제품 형상에 따라 다양한 크기 및 형상으로 설계된다. 따라서 금형 코어도 다양한 형상으로 제작되므로 여러 종류의 코어 연마 가공이 하나의 자동화 기구에서 가능하도록 코어 외형과 동일한 형상의 교체형 가이드 레일을 설계하였다. 또한 기존 선반을 활용하기 위하여 선반 공구대에 탈부착이 가능하도록 설계하였으며, 최종 설계안은 Fig. 6에

나타내었다.

샘플 코어를 기준으로 제작한 직물사포 유닛은 코어의 센터에서 아래쪽으로 10mm 치우친 위치에 있도록 하였으며, 이 때 직물사포의 각도는 약 170도이다. 양쪽 지그(Tension Screw)에 의해 98N의 힘이 가할 경우 접촉면압력은 약 17.08N이며, 이는 직물사포의 최대인장력(30kgf)보다 적은 힘이므로 설계안이 적합함을 확인하였다.

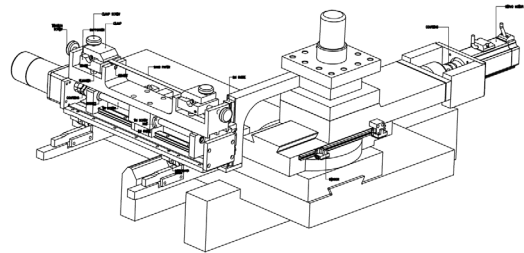


Fig. 6 Final automated polishing apparatus design

연마공정은 Fig. 7과 같이 선반의 공구대에 설치된 연마장치가 서보모터에 의해 왕복운동을 하면서 직물사포가 코어 외경을 연마하며, 앞서 Fig. 3에 언급한 문제점을 해결하기 위해서 코어의 직경이 변화하는 곳(경사 면)의 가공을 위해서 캠 구조의 가이드 레일을 이용하여 직물 사포와 코어에 작용하는 압력이 모든 구간에서 동일하게 작용하도록 하였다. 가이드 레일은 힘의 균형을 위해 공작물이 장착된 센터를 기준으로 동일한 간격으로 배치하였으며, X축 이송 유닛이 Z축 방향으로 이송될 때 저항을 최소화하기 위하여 일반 금속 보다 가벼운 소재인 알루미늄을 이용하여 모든 부품을 제작하였으며 공구대와 연결도 볼베어링형 LM가이드를 적용하였다.

또한 직물 사포가 공구대의 이송방향에 따라 변화하는 직경에 대응해서 유연하게 움직일 수 있도록 직물사포를 잡아주는 clamp unit의 밑면에 스프링을 설치하여 직물사포에 힘이 작용할 때는 회전이 이루어지고 직물사포에 힘이 작용하지 않거나 수평을 이루는 구간에서는 clamp unit이 수평을 이룰 수 있도록 하였다. clamp unit의 특징은 Fig. 8에 나타내었다. 직물사포의 인장력은 지그의 양쪽에 설치된 스crews에 의해 조절이 가능하다.

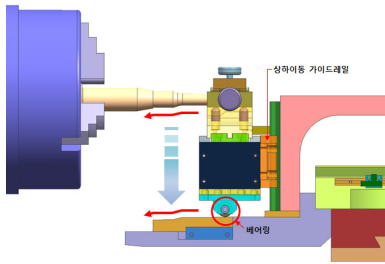


Fig. 7 Transfer feature of automated polishing apparatus

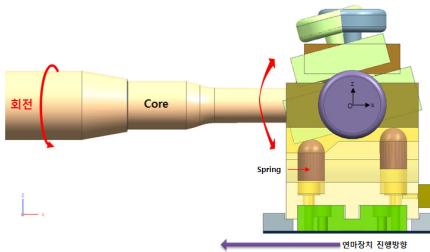


Fig. 8 Feature of fabrics sandpaper clamp in automated polishing apparatus

3.3 기구 제작

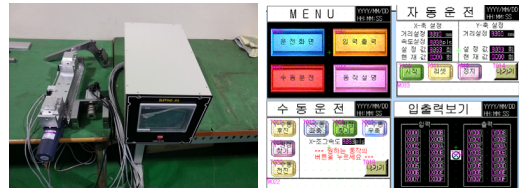
연마 자동화 기구는 기존의 범용선반에 탈부착이 가능하도록 해야 하므로 중량 감소를 위해서 소재는 알루미늄을 사용하였고, 내구성 향상을 위해 경질 아노다이징 표면처리를 하였다.

연마 자동화 기구가 작동 중 이송축의 정확한 위치제어가 되지 않을 경우에 기구가 코어의 파팅면을 침범하여 결과적으로 제품에 Flash 발생의 원인이 된다. 따라서 Y축 방향으로 연마기구를 왕복운동시키는 서보모터의 용량 선정은 매우 중요하다. 본 연구에서 연마 자동화 기구의 무게는 안전율을 고려하여 50kg 정도로 설정하고 판매되는 모터의 관성비(Inertia Ratio)를 고려하여 선정하였다. 일반적으로 Workpiece의 무게가 750kg 또는 그 이하인 경우 모터의 관성비는 20 또는 그 보다 작아야 한다. Workpiece의 무게가 1000kg 또는 그 이상인 경우의 관성비는 10 또는 그 이하이어야 한다.

관성비가 낮을수록 더욱 빠른 응답속도를 얻을 수 있으며 정확한 위치제어가 가능하다. 본 실험에 적용한 연마 자동화 기구의 부하관성(Load Inertia)는 약 $1.5 \times 10^{-4} (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$ 이다. 시판되는 200W급 서보모터의 관성은 $0.16 \times 10^{-4} (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$ 이다. 따라서 관성비를 계산하면 약 9.4이며, 권고치인 20 보다 훨씬 작기 때

문에 정확한 위치제어가 가능 할 것으로 판단된다.

또한 컨트롤러 동작화면은 작업자가 사용하기 쉽도록 화면 터치식으로 제작하였으며, 작업환경을 저장할 수 있고, 과거 데이터를 출력하여 현재 작업에 적용할 수 있도록 하였다.



(a) element parts (b) controller motion display



(c) setting and testing

Fig. 9 Final products and operational test

최종적으로 코어 연마 자동화 기구 제작을 완료한 후 테스트를 수행하였으며, 기구 테스트를 통하여 작업 시간이 약 30% 감소하였고, 제품 표면 품질도 10% 향상됨을 확인하였다.

4. 결론 및 토의

기존의 연마공정은 작업자의 숙련도에 따라 품질이 불균일하고 고속 회전하는 기구에 의한 안전사고에 대한 위험이 높았다. 그러나 본 연구에서 PET 용 프리폼 사출 금형 코어의 연마 공정을 개선하기 위하여 자동화 기구를 제작하였으며 이는 위와 같은 문제를 해결하고 동일한 품질의 제품을 얻을 수 있도록 하였다.

그리고 프리폼 사출 금형 코어의 연마 자동화 기구의 현장 적용 테스트를 통하여 자동화 가능성을 확인하였다.

본 연구에서 개발한 코어 연마 자동화 기구는 기존의 범용선반에 부착하도록 되어 있기 때문에 회전을 하는 주축대와 연마 자동화 기구가 연동해서 작동되지 않는다. 따라서 코어를 지그에 탈부착하는 과정과 원점을 맞추어야 하는 과정이 작업자

의 기구 조작에 의해 이루어지며 직물사포도 사용 후 지속적으로 교체해야하는 번거로움이 있다. 즉 아직은 반자동에 가깝고 완전 자동화를 위해서는 보완해야 할 점이다. 하지만 본 연구를 통해서 주축의 회전체와 연마 자동화 기구가 연동해서 프로그램되고 연마를 위한 코어의 투입과 배출이 가능하다면 PET용 프리폼 사출 성형 코어의 외형 뿐 아니라 캐비티의 내측 연마 공정도 자동화가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 이성훈, “금형의 로봇 연마 자동화 시스템 개발에 관한 연구,” 석사학위논문, 전북대학교 대학원, 1999.
- 2) 박중오, “금형연마 로봇시스템,” 대학기계학회지, 728-734, 1991. 11.
- 3) 이승훈, 유범상, “모델링 데이터를 이용한 금형 연마 자동화 시스템,” 한국정밀공학회 춘계학술대회, 773-776, 1999.
- 4) 김종덕, 고영배, 김옥래, 김홍렬, 권창오, “다수 캐비티 프리폼 금형 설계 및 제작,” 한국금형공학회 하계학술대회, 2008.
- 5) 신오철, 정성용, 정수용, “마이크로 피니싱필름을 이용한 초정밀 연마장치 개발,” 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 2008.

1) 이성훈, “금형의 로봇 연마 자동화 시스템 개발