

마이크로 폴리머칩 패키징 자동화 시스템 개발

민태인*, 배근동**, 안건찬**, 박태현*

*경남대학교 기계공학부

**경남대학교 대학원 기계융합공학과

e-mail:taehyun@kyungnam.ac.kr

Development of an Automated Packaging System for micro-Polymer Chips

Tae-In Min*, Geon-Chan An**, Geun-Dong Bae**, Tae-Hyun Park*

*Department of Mechanical Engineering, Kyungnam University

**Graduate School of Mechanical Convergence Engineering, Kyungnam University

요약

This study presents the development of an automated thermal bonding system utilizing fluid-based temperature and pressure control for the precise fabrication of microfluidic devices. Unlike conventional hot press methods, the proposed system decouples the main chamber and bonding unit, enabling independent control of bonding parameters through fluid circulation. This design is intended to promote uniform distribution of heat and pressure across the bonding interface. Experimental results indicated the potential for producing bubble-free, uniformly bonded specimens with excellent mechanical integrity. Consistent bonding quality was maintained over multiple cycles, and the implementation of an automated user interface facilitated continuous operation without downtime between processes. The system is considered promising for broad application in polymer-based microfluidic device manufacturing and scalable production of high-quality devices.

1. 서론

미세유체장치는 소량의 시료만으로 정밀한 진단과 분석이 가능하여 의료, 화학, 환경 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 특히, 폴리머 기반 미세유체장치는 유리나 실리콘에 비해 제작 공정이 간단하고 비용이 저렴하며 우수한 광학 투명성과 생체 적합성을 갖추고 있어 널리 사용된다^[1]. 이러한 장치를 제작하기 위해서는 마이크로미터 단위의 채널을 정밀하게 형성하고 이를 안정적으로 밀봉하는 공정이 필수적이다^[2].

본 연구에서는 이러한 요구를 충족하기 위해 유체 특성을 이용한 자동 열접합 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 압력 챔버와 본딩 유닛을 분리하고 유체의 온도, 압력 그리고 접합 시간을 독립적인 제어를 통해 최적의 열접합 조건을 조절할 수 있는 시스템을 개발하였다.

2. 본론

본 연구에서 고정밀 폴리머 미세유체장치 제작을 위한 자동화 시스템을 개발하였다. 제안된 시스템은 유체 순환을 기반으로 온도 및 압력을 정밀하게 제어할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 접합 공정의 신뢰성과 반복성을 향상시키고자 하였다. Fig. 1과 같이 시스

템 구성은 압력 챔버와 본딩 유닛을 물리적으로 분리하여, 접합 조건(온도, 압력, 시간)에 대한 독립적이고 정밀한 제어를 가능하게 하였다.

또한, 정밀한 온도 및 압력 설정을 위해 Fig. 2와 같이 LabVIEW 기반의 UI(User Interface)를 구현하였다. 사용자는 원하는 온도와 압력 조건을 설정할 수 있으며, 설정값에 도달하면 펌프가 자동으로 구동된다. 이후 고온·고압의 유체가 본딩 유닛으로 순환하면서 접합 공정이 시작된다. 전체 과정은 센서 데이터를 기반으로 실시간 모니터링되며, 필요시 사용자가 조건을 조정할 수 있도록 설계하였다.

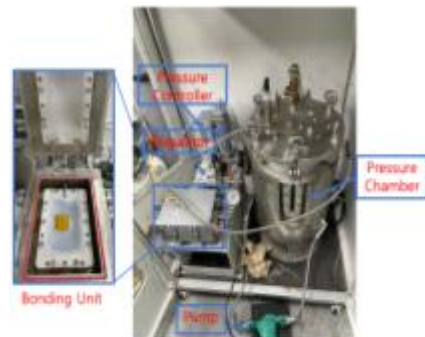


Fig. 1 Components of the Automated Thermal Bonding System



Fig. 2 LabVIEW-Based User Interface for the Automated Thermal Bonding System

3. 결론

본 연구에서는 미세유체장치의 고품질 접합을 위해 기존 핫프레스 기반 열융착 방식의 한계를 보완할 수 있는 유체 순환 기반 자동 열접합 시스템을 개발하였다. 실제 접합 실험을 통해 기포 발생이 억제되고, 접합 후 시편 간 물리적 강도와 외관상의 균일성이 우수하게 유지됨을 확인하였다. 또한, 반복 실험에서도 일관된 접합 품질이 확보되었으며, 자동화된 UI를 통해 사용자 개입 없이 신속하고 안정적인 공정 수행이 가능하였다. 공정 간 대기 시간 없이 연속 접합이 가능하다는 점 또한 본 시스템의 주요 장점으로 확인되었다.

본 시스템은 다양한 폴리머 재질과 구조를 가지는 미세유체장치 제작에 적용할 수 있다. 후속 연구를 통해 실시간 제어, 자동화 알고리즘, 품질 예측 기술과 융합을 통해 차세대 미세유체장치 생산 공정으로 확장될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2025RS2024-00436773)

참고문헌

- [1] A. Alrifaiy, O. A. Lindahl, and K. Ramser, Polymer-Based Microfluidic Devices for Pharmacy, Biology and Tissue Engineering, *Polymers*, vol. 4, no. 3, pp. 1349–1398, Jul. 2012, doi: 10.3390/polym4031349..
- [2] A. -G. Niculescu, C. Chircov, A. C. Birca, and A. M. Grumezescu, Fabrication and Applications of Microfluidic Devices: A Review, *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 2, p. 2011, Feb. 2021, doi: 10.3390/ijms22042011.