The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)
Vol. 9, No. 5, pp.529-534, September 30, 2023. pISSN 2384-0358, eISSN 2384-0366

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.529
JCCT 2023-9-65

# 라인 프린팅을 위한 어레이 방식 잉크젯 헤드 설계

# Design of array typed inkjet head for line-printing

김상현*

**Sang-Hyun Kim***

**요 약** 고속 및 대면적 인쇄를 위한 라인 프린팅 기술은 늘어난 헤드 길이만큼 헤드 내부로 잉크를 공급하는 유로를 확보해야 하는 구조적 취약점과 제조 과정에서 발생하는 잔류응력에 의한 피드홀 변형으로 인해 노즐층이 파손되거나 잉크가 누출되는 결함이 있다. 따라서 본 논문에서는 견고하고 신뢰할 수 있으며 라인 프린팅 방식에 보다 적합한 열전사 방식의 잉크젯 프린트 헤드 형상을 제안하고자 한다. 먼저 실험을 통해 초기 라인 프린팅 헤드의 변형량을 측정한 후 이를 등가의 하중량으로 변환하였으며 FEA 해석을 통해 하중 추정 방법의 타당성을 검증하였다. 또한 헤드 크기를 증가시키지 않으면서 변형을 최소화할 수 있도록 기둥이나 지지벽으로 단위 노즐을 보강하거나 지지빔이나 건/습식각된 브릿지를 추가하여 내부 강성을 증가시킨 헤드 구조를 설계하였으며, 피드홀 변형이 최대 90% 감소하는 것을 확인하였다. 제안된 형상 중 공정 편의성과 제작비용을 고려하여 건식각된 피드홀 브릿지 형태의 헤드를 선정하였으며 실제 제작을 통해 노즐층 변형이나 잉크 누출 없이 정상 작동하는 것을 확인하였다.

**주요어** : 잉크젯 프린터 헤드, 라인 프린팅, 어레이 방식, 강건 설계

**Abstract** Although line printing technology is capable of high-speed and large area printing, residual stresses generated during the manufacturing process can deform the feedhole, causing nozzle plate crack or ink leaks. Therefore, in this paper, we propose a new thermal inkjet print head that is robust, reliable and more suitable for line-printing. The amount of deformation of the conventional line printing head measured through the experiment was converted into an equivalent load, and the validity of the load estimation method was verified through FEA analysis. In addition, in order to minimize deformation without increasing the head size, the head structure was designed to increase internal rigidity by reinforcing the unit nozzle with a pillar or support wall or by adding a support beam or dry/wet etched bridge. The FEA analysis results show that the feedhole deformation was reduced by up to 90%, and it is confirmed that the suggested print head with dry etched feedhole bridge operates normally without nozzle plate cracks and ink leakage through fabrication.

**Key words :** Inkjet print head, Line printing, Array type, Robust design

## Ⅰ. 서 론

지금까지 사무실이나 가정에서 사용되는 잉크젯 프린터는 잉크 카트리지가 들어있는 헤드가 좌우로 움직이며 잉크 방울을 겹쳐 뿌리면서 용지에 문자나 그림 등을 인쇄하는 방식을 사용하였다[1, 2]. 따라서 인쇄 속도

*정회원, 한성대학교 기계시스템공학과 (제1저자, 교신저자)
접수일: 2023년 7월 12일, 수정완료일: 2023년 8월 25일
게재확정일: 2023년 9월 5일

Received: July 12, 2023 / Revised: August 25, 2023
Accepted: September 5, 2023
*Corresponding Author: shkim@hansung.ac.kr
Dept. of Mechanical Systems Eng., Hansung Univ, Korea

를 높이려면 잉크가 토출되는 헤드의 크기를 증가하거나 이동 속도를 높여 한 번에 더 많은 면적을 출력해야 한다. 하지만 헤드 크기나 이동 속도가 증가하면 관성에 의한 진동 및 소음이 발생하며 단위 면적당 토출되는 잉크 양이 줄어들어 해상도가 낮아지는 단점이 있다. 이러한 이유로 프린터의 출력 속도를 높이면 상대적으로 인쇄 품질이 떨어지게 되고, 인쇄 품질을 올리기 위해 출력 속도를 낮추면 출력 단가가 오르는 악순환이 반복되고 있다. 물론 레이저 프린터를 이용하면 유지비용은 낮추면서도 출력 속도를 올릴 수 있지만 높은 예열 시간과 낮은 색상 선명도 및 사용된 패 토너에 의한 환경 오염 등 또 다른 문제점이 발생한다.

최근 잉크를 토출하는 노즐을 용지 너비만큼 길게 배치하여 출력하는 페이지 와이드(pagewide)라는 새로운 방식의 잉크젯 기반 프린팅 기법이 제시되었다[3, 4]. 헤드가 종이 위를 이동하며 인쇄하는 기존 잉크젯 프린터와 다르게 레이저 프린터처럼 단번에 뽑아내는 방식으로 출력하므로 헤드의 흔들림 없이 인쇄 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 페이지 와이드와 같은 라인 프린팅도 같은 열전사 방식을 사용하므로 헤드 적층과정에서 발생하는 잔류응력과 열응력에 의한 노즐층(nozzle plate) 파손이나 잉크 유출과 같은 문제점을 내포하고 있다. 또한 고속 인쇄를 위해 노즐 길이가 증가되면 헤드의 구조적 취약성 문제는 더욱 심각해진다.

따라서 본 논문에서는 인쇄 속도를 높이기 위한 라인 프린팅 방식에 보다 적합한 열전사 방식의 새로운 잉크젯 프린터 헤드 형상을 제안하고자 한다. 먼저 기존 라인 프린팅 헤드의 변형량을 실험을 통해 측정한 후 이를 등가의 하중량으로 변환하였다. 또한 헤드칩 크기를 증가시키지 않으면서 헤드 변형에 의한 노즐층 파손을 줄일 수 있도록 헤드 내부 강성을 증가시킨 다양한 헤드 형상을 설계하였다. FEA 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 제안된 헤드 형상의 구조적 안정성을 검증하였으며 실제 제작을 통해 노즐층 변형이나 잉크 정상 토출 여부를 확인하였다.

## II. 설계 배경

그림 1은 현재 시중에서 사용되는 컬러 잉크젯 프린터 헤드의 기본 형상 및 단면 구조를 나타낸다. 제조사에 따라 차이는 있지만 기본적으로 컬러 잉크젯 프린터는 검정(K: black), 파랑(C: cyan), 빨강(M: magenta), 노랑(Y: yellow)의 4가지 잉크(토너)를 적절히 배합하여 다양한 색상을 구현한다. 각 잉크는 프린터 헤드 내부에 위치한 개별 피드홀(feedhole)로 유입되며 히터로 가열되어 버블 압력에 의해 피드홀 좌우로 형성되어 있는 노즐(nozzle)을 통해 용지에 토출된다.

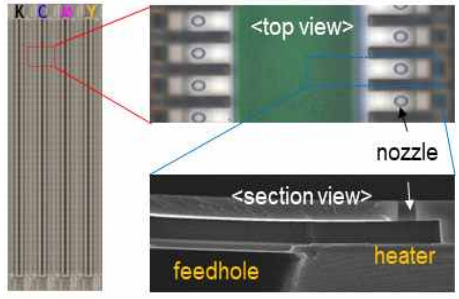


그림 1. 열전사 잉크젯 헤드칩 기본 구조
Figure 1. Basic structure of thermal inkjet printhead

그림 2(a)는 현재 사용되고 있는 셔틀(shuttle) 방식의 잉크젯 프린팅 기술을 나타낸다. 잉크 카트리지가 들어있는 프린트 헤드가 인쇄 매체의 이송 방향과 직각으로 왕복 이동하면서 인쇄 작업을 수행한다. 출력을 위해서는 헤드가 종이 위를 직접 이동해야 하므로 소음 및 진동이 발생하며 인쇄 시간이 오래 걸릴 수밖에 없었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 2(b)와 같은 어레이 헤드(array head) 방식의 라인 프린팅 기술이 사용되고 있다. 이 기술은 잉크젯과 레이저 프린터의 장점을 결합한 것으로 레이저 프린터의 드럼처럼 헤드의 노즐을 종이 크기에 맞게 길게 늘여서 잉크를 토출한다. 단순히 헤드 길이만 증가하면 구조적으로 취약할 수 있으므로 셔틀 방식의 헤드칩을 어레이 형태로 배열하여 카트리지에 장착하였으며 어레이 프린트 헤드가 고정된 상태에서 인쇄 매체만이 이송하면서 인쇄 작업을 수행하므로 고속 인쇄를 구현할 수 있다.

하지만 어레이 헤드 방식도 기존 셔틀 방식과 동일하게 반도체 공정을 이용하므로 헤드를 구성하고 있는 구조층을 제작하는 과정에서 잔류응력 및 열응력이 발생하며 이는 헤드 변형을 유발한다. 특히 헤드칩에 잉크를 공급하는 피드홀은 내부가 비어있어 구조적으로 취약하므로 개별 헤드칩 제작 후 어레이 헤드 카트리지에 결합하는 과정에서 발생하는 추가 변형에 의해 노즐층이 파

손되어 잉크가 새거나 원하는 형상이 출력되지 않는 문제가 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 실험 및 FEA 해석을 통해 기존 헤드의 변형을 분석하고 이를 이용하여 보다 강건한 헤드 형상을 제시하고자 한다.

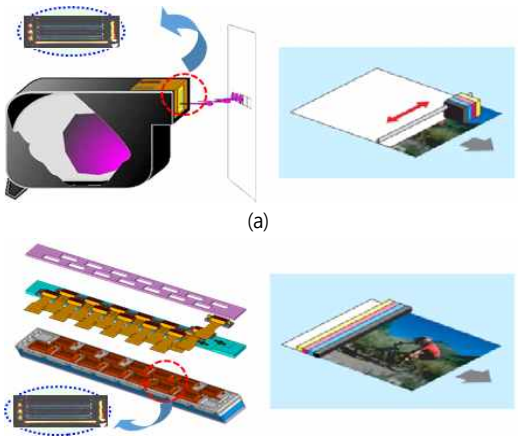

그림 2. 잉크젯 프린팅 기술 (a) 셔틀 방식 (b) 라인 프린팅 방식
Figure 2. Inkjet printing method (a) shuttle type (b) line printing type

## III. 설계 및 제작

### 1. 어레이 헤드 칩 변형 분석 및 인가 하중 선정

기존 셔틀 방식의 잉크젯 프린터의 단점인 낮은 인쇄 속도와 진동 및 소음을 해결하기 위해 제시된 라인 프린팅 방식의 프린터 헤드의 구조적 취약점을 해결하기 위해서는 먼저 해드 변형을 발생시키는 하중을 정량적으로 구해야 한다. 하지만 프린터 헤드를 구성하는 다수의 구조층은 반도체 공정을 통해 이종 박막을 가열하거나 가압하여 적층되므로 박막 내부의 미세 결함이나 각 층의 격자구조 및 열팽창 계수 차이에 의해 변형이 발생한다. 또한, 개별 칩을 카트리지에 어레이 방식으로 배열하기 위해 기계적/화학적 방식으로 결합하는 공정이나 인쇄 후 블레이드나 롤러를 이용하여 헤드 표면에 남아있는 잉크를 제거하는 과정에서 추가적인 변형이 발생하는 등 다양한 원인에 기인하므로 이를 이론적으로 구하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 실험을 통해 초기 헤드칩 변형을 측정한 후 이를 통해 변형을 발생시키는 하중을 추정하고자 한다.

그림 3(a)는 어레이 방식의 프린터 헤드에 배치된 개별 칩 형상을 나타낸다. A4 용지의 너비와 개별 칩 길이를 고려하여 총 14개의 개별 칩이 상하에 엇갈리게 교차하여 배치되어 있다. 헤드 제작 과정이나 출력 후 개별 칩의 최대 변형은 그림 3(b)와 같이 칩의 측면에서 폭 방향(x)으로 발생하므로 양쪽 측면 피드홀(K, Y) 변형을 길이 방향(z)으로 측정하였다. 칩 변형은 상업용 계측기인 surface profilometer(DEKTAK II)를 이용하여 측정하였으며 표 1에 개별 칩의 변형량 측정 결과를 나타내었다. 어레이 헤드에 배치된 개별 칩의 장착 위치에 따른 변형량 차이는 거의 없으며 K 및 Y 피드홀 중앙에 각각 최대 7.02μm, 3.59μm의 변형이 발생하였다. 이러한 피드홀의 폭 방향으로의 평면 변형이 칩 표면의 수직 변형을 유발하게 되고 노즐층이 파손되거나 노즐 중심축이 기울어지게 되어 잉크 유출이나 잉크 분사 각도가 변화되어 화질에 영향을 준다.

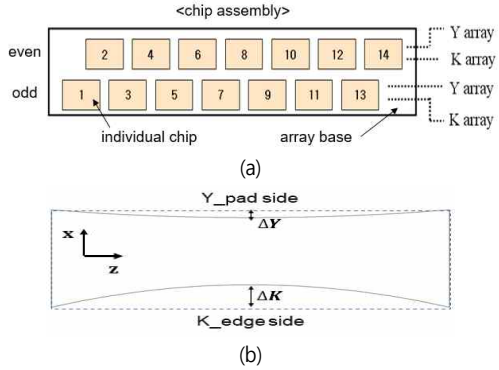


그림 3. (a) 개별 칩 배치 형상 (b) 칩 변형
Figure 3. (a) configuration of individual chip installation (b) chip deformation

표 1. 칩 변형 측정 결과 [unit: μm]
Table 1. Experiment result of individual chip deformation

| odd | △Y | △K | even | △Y | △K |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -3.65 | 6.90 | 2 | -3.55 | 7.35 |
| 3 | -3.15 | 7.05 | 4 | -3.30 | 6.95 |
| 5 | -3.30 | 7.10 | 6 | -3.60 | 6.75 |
| 7 | -3.40 | 7.05 | 8 | -3.75 | 7.25 |
| 9 | -3.55 | 6.65 | 10 | -3.70 | 6.70 |
| 11 | -3.75 | 7.20 | 12 | -3.60 | 6.85 |
| 13 | -3.50 | 7.00 | 14 | -3.65 | 7.30 |
| **Ave.** | **-3.47** | **6.99** | **Ave.** | **-3.59** | **7.02** |
| **Std.** | **0.19** | **0.16** | **Std.** | **0.13** | **0.25** |

일반적으로 유한요소법을 이용한 FEA 해석에서 강성(K)을 가진 물체의 특정 위치를 구속한 후 힘 또는 압력을 가하면 구속된 부분을 기준으로 각 절점(node)에 변위(u)가 발생하게 되며 이는 식 (1)을 이용하여 구해진다[5]. 또한, 동일 강성을 가진 초기 모델의 각 절점에 식 (1)을 통해 구한 변위를 다시 가하게 되면, ANSYS의 'reaction node'를 이용하여 각각의 절점에 변위를 일으키는 힘의 양을 알 수 있다. 여기서 구한 힘의 총합은 에너지 보존법칙과 힘의 평형법칙에 의해 구속되어 있는 물체에 변위를 일으키는 방향으로 가해진 힘의 합과 같다. 따라서 변위를 발생시키는 힘의 종류가 물체의 측면에 압력으로 가해진다고 가정한 후, 위에서 구한 구속 부분의 힘의 합을 측면 면적으로 나누면 변형을 유도한 압력을 알 수 있다.

$$\{F\} = [K]\{u\} \text{ and } \{u\} = [K]\{F\}^{-1} \qquad (1)$$

그림 4는 FEA 해석을 통해 헤드 변형을 발생시키는 압력을 구하기 위해 적용한 헤드 형상 및 경계조건을 나타낸다. 앞에서 언급한 것처럼 개별 칩에는 총 4가지 잉크를 공급하는 피드홀이 위치하며 각 피드홀에는 잉크를 분사하는 노즐이 길이 방향(z)으로 동일하게 분포하고 있다. 또한 개별 칩 최대 변형도 그림 3(b)와 같이 측면 중앙에서 발생하므로 해석 시간을 줄이기 위해 1/2 형상에 적절한 대칭 경계조건을 부여하였다. 일반적으로 FEA 해석을 통해 헤드의 구조적 안정성을 확인하기 위해서는 사용되는 재료의 물성값이 필요하지만 헤드를 구성하는 구조층과 같은 아주 얇은 박막의 물성값은 기존 벌크(bulk) 재료와 차이가 있으며 동일한 박막이라도 사용된 공정에 따라 다른 값을 가진다. 따라서 해석의 정확성과 시간 단축을 위해 동일한 조건으로 제작된 박막의 물성값을 이용하였다[6, 7]. 또한, 실험에서 구한 개별 칩의 변형량을 초기 모델에 인가하여 FEA 해석을 수행하였으며 각 절점에 발생하는 힘의 총합을 단면으로 나눈 0.36MPa의 압력이 칩 측면에 작용한다고 유추하였다. 이렇게 구한 압력값을 하중 조건으로 초기 헤드 칩에 인가하여 수행한 FEA 해석 결과를 그림 5에 나타내었다. K 및 Y 피드홀 중앙에 각각 6.92μm, 3.57μm의 최대 변형이 발생하였으며 이는 실제 실험을 통해 측정된 변형값과 거의 동일하므로 본 논문에서 제시한 하중 추정 방법이 타당함을 확인하였다.

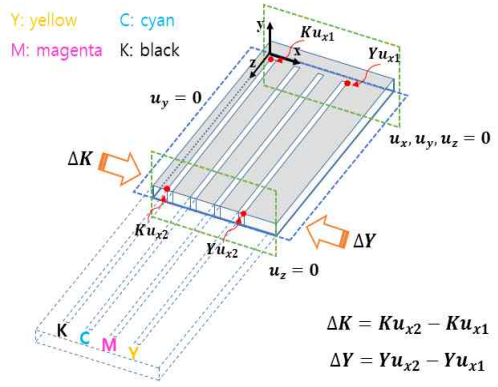


그림 4. 해석을 위한 헤드 형상 및 경계조건
Figure 4. Configuration of print head and displacement boundary conditions

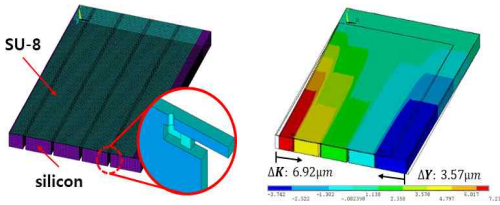


그림 5. 초기 FEA 형상 및 해석 결과
Figure 5. FEA modeling and result of initial print head

## 2. 개선된 헤드 형상 설계 및 제작

상업용 잉크젯 프린터 헤드에서 잉크가 토출되는 노즐은 피드홀 좌우로 2개씩 엇갈리게 위치하며 길이 방향(z축)으로 380개, 총 3040(4x2x380)개가 배치되어 있다. 따라서 초기 헤드 형상에 대한 해석 결과를 토대로 헤드 내부를 보강한 2가지 형상 및 FEA 해석 결과를 그림 6에 나타내었다. 초기 어레이 헤드 개별 칩은 측면 방향의 피드홀 변형에 의해 노즐층이 수직 방향으로 변형되므로 노즐층의 강성을 증가시키고 피드홀과 노즐층의 변형을 방지할 수 있도록 단위 노즐이 위치한 챔버 내부에 기둥(pillar)이나 지지벽(support wall) 구조를 보강하였으며 초기 형상과 변형 비교 결과를 표 2에 나타내었다. 제안된 헤드 형상 모두 초기 형상 대비 측면 방향 최대 변형이 10% 정도 감소하였다. 하지만 챔버 내부를 보강한 구조는 유지보수 과정에서 발생하는 수직 하중에는 충분한 강성을 가지나 피드홀 변형에 의한 노즐층 수직 변형을 방지하기에는 여전히 취약하다. 따라서 단순히 헤드 단위 노즐이 아닌 헤드칩 전체를 보강할 수 있는 새로운 접근방법이 필요하다고 판단된다.

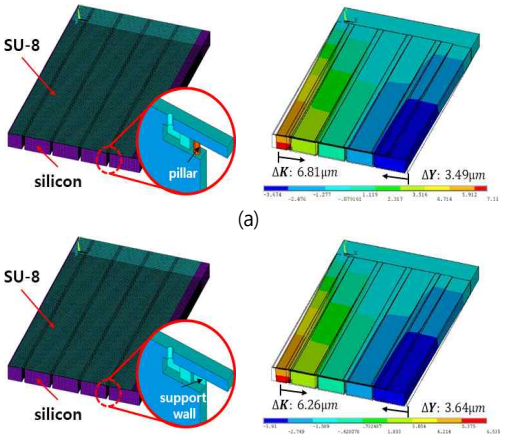


그림 6. 단위노즐 개선 형상 및 해석 결과 (a) 기둥 (b) 지지벽
Figure 6. FEA modeling and result of modified unit nozzle (a) pillar (b) support wall

표 2. 단위노즐 개선 형상 변형 해석 결과 [unit: μm]
Table 2. FEA result of deformation of modified unit nozzle

| | Black | | | Yellow | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Ku_{x1}$ | $Ku_{x2}$ | **ΔK** | $Yu_{x1}$ | $Yu_{x2}$ | **ΔY** |
| 초기 형상 (initial) | 0.321 | 7.237 | **6.916** | 0.169 | 3.742 | **3.573** |
| 기둥 (pillar) | 0.298 | 7.110 | **6.812** | 0.187 | 3.674 | **3.487** |
| 지지벽 (support wall) | 0.277 | 6.535 | **6.258** | 0.571 | 3.910 | **3.639** |

카트리지로부터 헤드 내부로 잉크가 유입되어 이동하는 통로인 피드홀은 내부가 비어있어 측면방향 하중에 취약하며 헤드 끝단보다 중심부로 갈수록 변형은 증가한다. 따라서 헤드 전체의 강성을 증가시키기 위해 제안된 헤드 형상 및 FEA 해석 결과를 그림 7에 나타내었다. 측면 하중에 의한 피드홀 변형을 최소화하기 위해 헤드칩 바닥에 별도의 지지빔(support beam)을 부착하거나 피드홀 사이에 브릿지(feedhole bridge)를 추가하였다. 헤드 내부로 유입되는 잉크 거동을 고려하여 지지빔이나 브릿지 개수를 정하였으며 표 3의 변형 해석 결과와 같이 제안된 3가지 헤드 형상 모두 초기 형상 대비 최대 90% 이상 측면 변형이 감소하였다.

하지만 그림 7(a)의 지지빔은 별도 제작 후 헤드 하단에 부착해야 하므로 추가 제작 및 결합이라는 제조공정이 증가하게 된다. 또한 7(c)의 습식각 방법은 다수의 웨이퍼를 동시에 식각할 수 있어 공정시간은 단축되지만 브릿지가 연결된 부분 이외의 피드홀 내부가 과다 식각될 수 있어 피드홀 및 노즐에 추가 변형이 발생하게 된다. 따라서 헤드 제작을 위한 제조공정까지 고려하면 7(b)의 건식각에 의한 피드홀 브릿지 보강 형상이 어레이 헤드에 가장 적합하다고 판단된다.

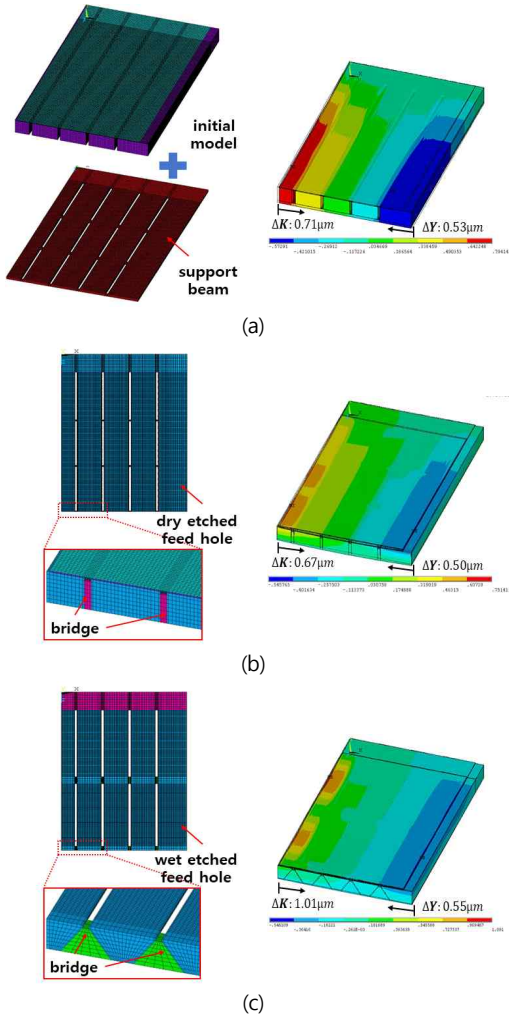


그림 7. 헤드 개선 형상 및 해석 결과 (a) 지지빔 (b) 피드홀 브릿지 (건식각) (c) 피드홀 브릿지 (습식각)
Figure 7. FEA modeling and result of modified head type (a) support beam (b) feedhole bridge (dry etched) (c) feedhold bridge (wet etched)

표 3. 헤드 형상 변형 해석 결과 [unit: μm]
Table 3. FEA result of deformation of modified head type

| | Black | | | Yellow | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Ku_{x1}$ | $Ku_{x2}$ | **ΔK** | $Yu_{x1}$ | $Yu_{x2}$ | **ΔY** |
| support beam | 0.083 | 0.794 | **0.711** | 0.045 | 0.572 | **0.527** |
| feedhole bridge (dry) | 0.077 | 0.751 | **0.674** | 0.048 | 0.545 | **0.497** |
| feedhole bridge (wet) | 0.083 | 1.091 | **1.008** | 0.051 | 0.605 | **0.554** |

그림 8은 해석 결과를 바탕으로 제작된 건식각 브릿지가 보강된 헤드의 실제 형상을 나타낸다. 피드홀 내부로 잉크가 정상적으로 유입되었으며 노즐층 균열에 의한 잉크 누출 없이 정상적으로 토출되는 것을 확인하였다. 또한 그림 9와 같이 제작된 헤드의 피드홀 변형을 측정하였으며 FEA 해석과 유사하게 K와 Y 피드홀에 각각 0.65μm, 0.48μm의 최대 변형이 발생하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 건식각 브릿지로 보강된 헤드 형상이 피드홀 변형을 감소시키면서 결과적으로 노즐부의 변형 및 파손을 방지할 수 있다고 판단된다.

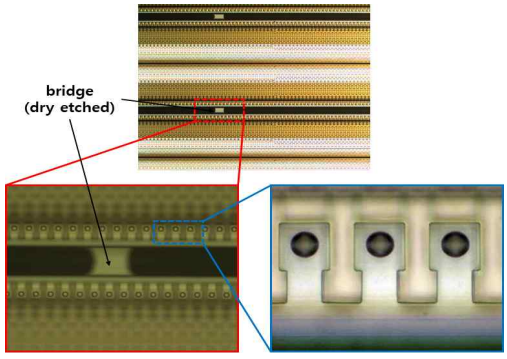


그림 8. 프린터 헤드 제작 형상 (피드홀 브릿지)
Figure 8. SEM pictures of fabricated print head (feedhole bridge)

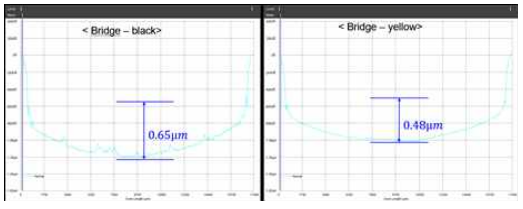


그림 9. 프린터 헤드 변형 측정 결과 (피드홀 브릿지)
Figure 9. Deformation measurement of print head (feedhole bridge)

## IV. 결 론

높은 인쇄 회상도와 고속 출력을 위해 제시된 라인 프린팅 기술은 늘어난 헤드 길이만큼 잉크를 공급하는 유로를 확보해야 하는 구조적 취약점 및 제조 과정에서 발생하는 잔류응력에 의한 피드홀 변형으로 인해 노즐층이 파손되거나 잉크가 누출되는 결함이 있다. 따라서 본 논문에서는 보다 견고하고 신뢰할 수 있으면서 라인 프린팅 기술에 적합한 새로운 헤드 형상을 제안하였으며 실제 제작을 통해 구조적 안정성을 검증하였다.

먼저 실험을 통해 초기 헤드칩의 측면 변형을 측정한 후 이를 통해 변형을 발생시키는 하중을 유추하였으며 FEA 해석을 통해 하중 추정 방법의 타당성을 검증하였다. 또한 어레이 헤드 피드홀의 측면 변형을 최소로 할 수 있도록 단위 노즐 형상을 수정하거나 피드홀 부위에 지지 구조물을 추가하는 등 헤드의 내부 강성을 보강한 5가지 형상을 제안하였으며 최대 90% 변형이 감소하였다. 제안된 구조 중 제작공정을 고려하여 건식각 피드홀 브릿지가 보강된 헤드를 제작하였으며 노즐층 균열이나 잉크 누출 없이 정상적으로 작동되는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 헤드 보강 형상이 피드홀 변형이나 노즐층 파손과 같은 어레이 헤드 결함을 최소화하고 고속 및 대면적 인쇄를 위한 라인프린터의 정상 방향 잉크 토출에 기여할 것으로 기대된다.

## References

[1] Y.K. Kim, S.J. Yoon, J.A. Park and S.J. Jung, “Inkjet-Based Bioprinting,” Polymer Science and Technology, Vol. 26, No. 5, pp. 416-422, 2015.
[2] G.Y. Park and H.W. Lee, “ Design of an Automatic Height Adjustable Pillow using 3D Printing and CAE,” J. of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 4, No. 1, pp. 331-335, 2018. doi: 10.17703/JCCT.2018.4.1.331
[3] W. Zapka, Handbook of Industrial Inkjet Printing: A Full System Approach, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2017.
[4] R.R. Allen, “Ink Jet Printing with Large Pagewide Arrays: Issues and Challenges,” Recent Progress in Ink Jet Technologies II, pp. 114-120, 1999.
[5] J.N. Reddy, An introduction to the finite element method, McGraw-Hill, NY, 2006.
[6] W.N. Sharpe, MEMS Handbook: Chapter 3 - Mechanical Properties of MEMS Material, CRC Press, BocaRaton, 2002.
[7] S.-H. Kim, “Design of thermal inkjet print head with robust and reliable structure,” J. of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 8, No. 2, pp. 337-342, 2022.

※ 이 논문은 한성대학교 교내학술연구비 지원 과제임 This research was financially supported by Hansung University.