

# 총 정전용량을 이용한 마이크로펀치 시스템의 펀치-다이 얼라인먼트 조절 알고리즘 개발

최근형\*, 김병희\*\*, 김현영\*\*, 장인배#

## The Development of Punch-Die Aligning Algorithm in Micro Punch System with using the Total Capacitance

Guen Hyoung Choi\*, Byeong Hee Kim\*\*, Heon Young Kim\*\* and In Bae Chang#

### ABSTRACT

The aligning between the punch and die governs not only the burr formation characteristics but also the life time of the punch and die in the sheet metal blanking process. There are many ways to adjust the two elements in the general punching systems but in the case of micro punch system, the punch size is reduced to a few tenth of micrometer range and the general aligning methods are almost impossible to apply. The image processing is the most widely used method in micro punch aligning, but in order to apply the method, it needs quite a large space for vision system to approach the punch-die aligning zone. In this paper, the new punch-die aligning method with using the total capacitance between the punch and die hole is proposed. In this method, the tip surface of the punch tool locates at the same plane of the die surface and the capacitance variation between the two elements are measured. When the center of the two elements are coincided, the capacitance is minimized, but when the align is changed to any direction, the capacitance between the two elements increase. In order to verify the feasibility of this method, the aligning and punching tests was performed.

**Key Words** : Micro punch(마이크로펀치), alignment(얼라인먼트), capacitance(정전용량)

### 기호설명

C = capacitance

$\epsilon_0$  = vacuum permittivity

$\epsilon_r$  = relative permittivity

A = area of capacitor plate

d = distance between the plates of a capacitor

$C_R$  = capacitance at the cylinder type

a = outer diameter of cylinder electrode

b = inner diameter of ring electrode

L = overlapped distance of two electrode

\* 접수일: 2003년 1월 23일; 게재승인일: 2003년 3월 25일

\* 강원대학교 대학원 기계·메카트로닉스 공학과

\*\* 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

# 교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

Email: inbae@kangwon.ac.kr, Tel: (033) 250-6375

## 1. 서론

전기, 정보통신 및 메카트로닉스 분야에서 제품 및 부품들이 마이크로미터 수준으로 감소함에 따라 이에 상응하는 밀리 및 마이크로 미터 단위의 소자 생산 및 조립환경에 대한 수요가 급격하게 증가하고 있다. 박판의 미세 펀칭 및 전단은 마이크로 시스템의 외부 구조물을 성형함에 있어 필수적인 가공 요소이다. 대부분의 MEMS 부품 및 시스템들은 다양한 센서 및 작동기 소자들을 내장하고 있기 때문에 박판 상에는 다양한 형상의 구멍들이 성형되어야만 하며, 특히 펀칭 가공 시에 생성되는 버는 미세 가공부품들의 조립에 방해요소이므로 버의 생성을 방지하는데 많은 노력을 기울여야만 한다. 따라서, 마이크로 펀칭 시스템에서는 펀치와 다이 사이의 간극을 능동적으로 조절하여 버의 발생을 최소화할 수 있는 제어형 얼라인먼트 조절 시스템을 필요로 한다.

Joo 등<sup>1</sup>은 45° 각도로 기울어진 투과율 50%인 미러를 사용하여 펀치와 다이를 동시에 관찰하면서 둘의 반사된 이미지가 서로 동심을 이루도록 얼라인먼트를 조절한 후 펀칭을 수행하는 마이크로 펀칭 시스템을 개발하여 30 $\mu$ m 수준의 원형 펀칭을 성공적으로 수행하였다. 그러나 미러의 크기가 상대적으로 매우 커서 얼라인먼트 조절 시 펀치와 다이 사이를 과도하게 벌려야만 하기에 펀칭 시스템의 수직도 변화에 취약한 단점을 안고 있다. 김현영 등<sup>2,3</sup>은 펀치와 다이의 접촉시 발생하는 통전 현상을 이용하여 얼라인먼트 조절을 시도하였다. 그런데, 이 방법은 펀치와 다이 사이의 간섭은 효과적으로 피할 수 있으나 클리어런스 범위 내에서의 중심은 찾을 수 없다는 단점을 안고 있다.

마이크로 펀칭 공정에서 펀치와 다이가 실제 펀칭 시와 같이 최대한 근접한 상태에서 얼라인먼트 조절을 시행하기 위하여 본 논문에서는 펀치와 다이 사이에 형성되는 총 정전 용량을 측정하여 이 값의 변화상태로부터 얼라인먼트를 조절하는 새로운 방안을 제시하였다. 전기적으로 절연된 금속 물체가 가까운 거리에서 서로 접근하면 금속 내부에는 상반된 극성의 전하가 축적되면서 공간에는 전기장이 형성된다. 이를 정전용량이라 부르며, 양자간의 거리가 가까울수록 공간에 형성되는 전기장의 강도는 강해지며, 정전용량도 증가하게 된다. 이를 측정하면 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트 변화를

감지할 수 있으며, 직경 0.5mm인 원형 펀치를 사용하여 얼라인먼트 조절 및 펀칭 시험을 수행한 결과 매우 효과적으로 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트를 조절할 수 있었다.

## 2. 이론적 배경

공간상에서 서로 접촉하지 않는 도체 사이에 전위차가 발생하면 두 전극 주변의 공간에는 전기장이 생성되며 그 크기는 전극간의 거리에 반비례하고, 서로 마주보는 전극의 면적에 비례한다.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (1)$$

여기서  $\epsilon_0$ 는 진공 중에서의 유전율 상수(8.854  $\times 10^{-12}$ ),  $\epsilon_r$ 은 비유전율,  $A$ 는 마주보는 전극의 면적, 그리고  $d$ 는 전극간의 거리이다. 실린더형 전극과 링형 전극이 마이크론 단위의 간극 하에서 서로 동심을 이루고 마주보고 있는 경우, 간극 변화에 따라 총 정전용량은 다음과 같이 변화한다<sup>4</sup>.

$$C_R = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(b/a)} L \quad (2)$$

여기서  $a$ 는 실린더 전극의 외경,  $b$ 는 링형 전극의 내경, 그리고  $L$ 은 두 전극이 겹쳐진 거리이다. 그런데, 양자간의 동심이 어긋나면 편심량의 증가에 따라 정전용량은 증가한다. 최재권<sup>5</sup>은 이를 이용

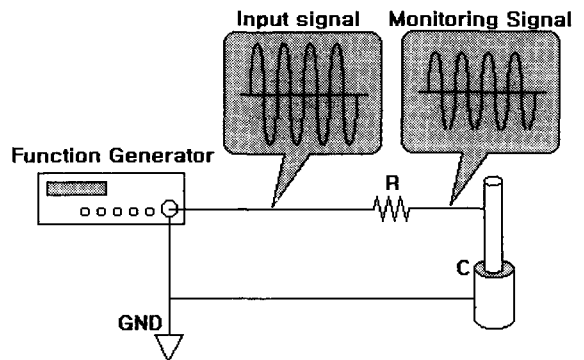


Fig. 1 The RC circuit for monitoring the capacitance variation

하여 자동차 크랭크축과 커넥팅로드의 대단부 베어링 사이의 유막 간극 변화를 성공적으로 측정하였다.

전극간의 정전용량을 정량적으로 측정하기 위해서는 일반적으로 Fig. 1 에서와 같이 함수 발생기를 사용하여 고주파 정현 신호를 생성한 후 이를 저항을 통해 전극 중 한 쪽으로 유입시켜 RC 회로를 구성하여야 한다. 두 전극의 동심이 일치한 경우, 일정한 진폭의 정현 입력신호에 대해 정전 용량은 최소이며, 모니터링 신호의 진폭은 최대가 된다. 임의의 방향으로 두 전극간의 편심이 발생하면 정전용량은 증가하고 이에 따라 앞서와 동일한 진폭의 입력 신호에 대해 모니터링 신호의 진폭은 감소하게 된다. 이는 RC 회로의 전형적인 필터링 현상에 의한 것으로, 정전용량의 증가는 전압신호의 변화를 억제하는 성질을 이용한 것이다<sup>4</sup>.

총 정전용량을 이용한 간극 측정방법은 간극의 변화에 대한 정확한 정보를 주지만 편심 방향에 대해서는 아무런 정보도 주지 못한다. 따라서, 마이크로 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트 조절에 이 방법을 적용하기 위해서는 펀치를 다이 상부에 근접시켜 높이를 고정한 후 펀치를 다이에 대해 x 및 y 방향으로 이송하면서 신호 전압의 진폭 변화 추이를 관찰하여 이 진폭이 최대가 되는 위치를 찾아내야 한다. 고주파 정현신호의 진폭을 측정하기 위하여 Fig. 2에서와 같은 피크 감지회로를 구성하였다.

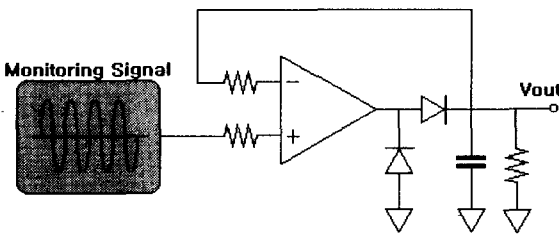


Fig. 2 Peak detector circuit

### 3. 실험장치의 구성

본 논문에서 제안된 총 정전용량 방식의 얼라인먼트 조절방법의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 3 에서와 같이 2 $\mu$ m 눈금의 정밀 마이크로미터로 이송되는 X-Y-Z 테이블을 사용하여 간단한 마이크로 펀치 시스템을 구성하였다. 전극의 절연을 위해서 펀치와 다이 홀더는 아크릴로 가공하였으며, 펀치

에는 함수 발생기로부터의 측정용 고주파 정현신호를 입력하였고 다이는 접지시켰다. 정현신호는 115kHz 에 교류 진폭은  $\pm 14$  Volt로 고정시켰다. 함수발생기로부터의 정현신호 출력과 RC회로의 구성 및 신호 추출을 위한 계측 시스템의 구성은 Fig. 4의 블록 선도와 같이 구성하였다.

제안된 얼라인먼트 조절 시스템의 유효성을 검증하기 위하여 펀치와 다이 사이의 동심도 변화에 따른 피크 전압의 변화를 측정하여 펀치를 다이의 중앙에 위치시킨 후 z 축을 수동으로 이송하여 50  $\mu$ m 두께의 동판에 대한 펀칭 실험을 수행하였다.



Fig. 3 Test rig for micropunch alignment

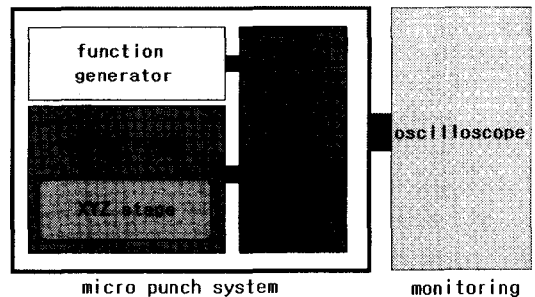


Fig. 4 Block diagram for the Micro punch system

### 4. 결과의 고찰

펀치와 다이 사이에서 형성되는 정전용량은 펀치와 다이 사이의 동심도와 상호간의 높이차이에 지배를 받는다. 특히, 펀치와 다이 사이의 높이에 크게 의존하는데, 펀치의 하단면과 다이의 상단면 사이가 유격이 있는 경우, 서로 일치하는 경우 및 펀치가 다이 속으로 겹쳐 들어간 경우 등 높이의 변화에 따라 정전 용량은 가장 크게 변화한다. 따

라서, 펀치와 다이 사이의 수직방향 높이 차이를 구속한 후, x 및 y 방향으로 펀치를 이송하면서 정전 용량의 변화를 고찰하였다.

실험 결과, 펀치의 높이에 따라 펀치와 다이 사이에서 발생하는 정전용량 값의 차이가 발생하였는데, 이는 식(1)과 같이 두 단면적에 비례하는 정전용량 C 값이 발생하게 되는 원리로부터 도출할 수 있다. 펀치가 다이의 기준면 위로 올라갈수록 펀치와 다이에 작용하게될 면적이 줄어들고 아울러 정전용량값 C는 비례적으로 줄어든다. 반대로 펀치가 다이 기준면 아래로 들어갈수록 다이와 펀치 구멍 사이에 작용하게될 정전용량면적이 커지게 되고 동시에 C값이 커지게 된다.

마이크로 펀칭 가공의 경우, 펀치와 다이의 얼라인먼트는 온도나 여타 환경적인 인자의 변화에 따라 심각한 영향을 받는다. 또한 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트는 펀치의 수직방향 이송 정밀도에 도 심각하게 의존하기 때문에 펀치의 하단면과 다이의 상단면이 일치하는 경우에 대하여 얼라인먼트를 조절하는 것이 가장 이상적이다. 따라서, 본 연구에서는 펀치 하단면과 다이 상단면 사이의 높이 변화를 기본 인자로 하고, 수평방향의 동심도 변화에 따른 정전용량의 변화를 계측하였다.

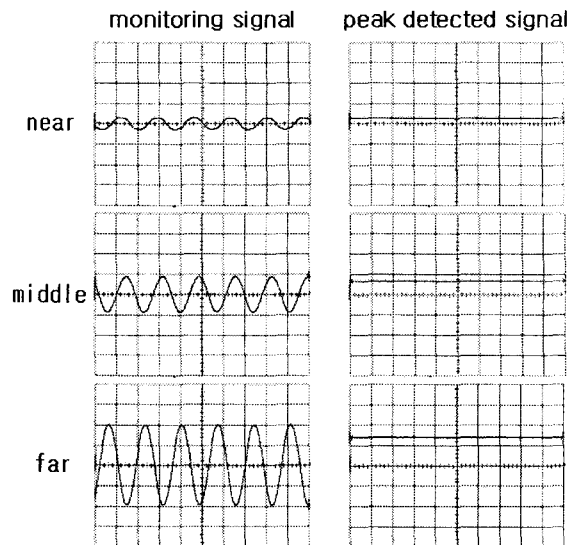
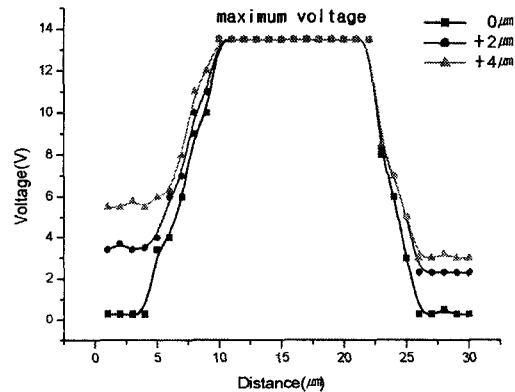


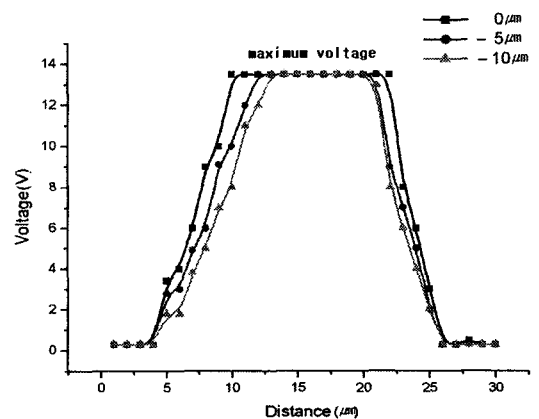
Fig. 5 Capacitance variation due to the alignment change between the punch and die

Fig. 5에서는 펀치와 다이 사이의 동심도 변화에 따른 정현파 신호의 진폭 변화와 그에 따른 피크 전압의 변화를 도시하고 있다. 그림에 따르면, 펀치와 다이가 동심을 이루고 있을 때 정전용량은 최소가 되며, 따라서, 정현신호의 진폭도 최대가 됨을 알 수 있다. 또한 펀치와 다이 사이의 거리가 좁아짐에 따라서 정전용량은 증가하여 정현신호의 진폭이 감소함을 확인할 수 있다.

Fig. 6에서는 펀치의 하단면과 다이의 상단면 사이의 수직방향 거리 변화를 기본 계측 인자로 하여 수평방향으로의 동심도 변화에 따른 정전용량의 변화를 계측한 결과를 도시하고 있다.



(a)



(b)

Fig. 6 The variation of the peak voltage due to overlap between the punch and die (a) positive gap, (b) negative gap

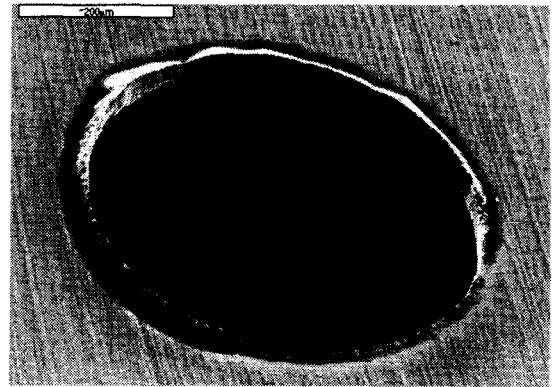
Fig. 6에서는 펀치의 하단면과 다이의 상단면 사이의 수직방향 거리 변화를 기본 계측 인자로 하여 수평방향으로의 동심도 변화에 따른 정전용량의 변화를 계측한 결과를 도시하고 있다. 그림에 따르면 펀치와 다이 사이에 겹침이 있는 경우, 즉 펀치가 다이 속으로 관통하여 들어간 경우에 정전용량이 증가형 보다 정확한 동심도 계측이 가능함을 알 수 있다. 그러나, 펀치와 다이 사이에 높이방향으로의 유격이 있는 경우조차도 펀치가 다이의 측벽 쪽으로 접근함에 따라 정전용량의 명확한 변화 양상이 관찰되므로, 펀치의 손상에 대한 위험을 감수하면서 까지 펀치를 다이 속으로 관통시켜서 얼라인먼트 조절을 수행하지 않고 오히려 유격을 갖고도 성공적으로 양자간의 동심도를 계측할 수 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 6에 따르면 펀치와 다이 사이의 동심도가 일정 수준 이상으로 맞는 경우에는 정전용량이 계측할 수 있는 수준 이하로 감소하여 피크 전압의 변화양상이 관찰되지 않는 영역이 존재함을 알 수 있다. 이는 Fig. 1의 RC 회로에서 R을 증가시키거나, 입력 신호의 주파수를 높임으로 민감도를 원하는 수준으로 조절할 수 있다. 따라서, 펀치의 직경 감소에 따른 민감도 저하에 대해 효과적으로 대응할 수 있음을 예상할 수 있다.

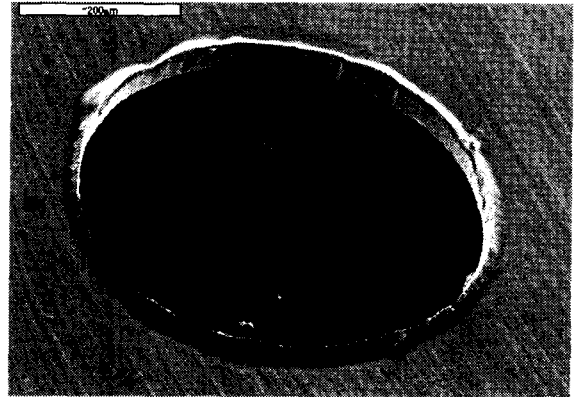
본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트 보정을 완료한 후에 두께 50  $\mu\text{m}$ 인 황동 박판에 대해 펀칭 실험을 수행하였다. Fig. 7에 따르면, 보정 전에는 펀치가 다이의 한 쪽 측면으로 편심되어 버가 치우쳐 나타나고 있는데 반해, 얼라인먼트 보정을 수행한 결과 동심원상으로 균일하게 버가 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

마이크로펀치의 직경이 감소함에 따라 미스얼라인먼트에 의한 펀치 파손의 위험성이 급격하게 높아지므로 펀치와 다이 사이의 얼라인먼트 조절의 필요성이 매우 높아진다. 현재까지 다양한 얼라인먼트 조절 기법들이 시도되었지만 그 효용성에 대한 일관된 호응을 얻지 못하였다. 본 논문에서는 총 정전용량의 변화를 토대로 하여 마이크로 펀치의 얼라인먼트 보정을 시도하였다. 실험결과 펀치와 다이의 계면이 서로 겹치지 않은 상태에서도 성



(a)



(b)

Fig. 7 Burr formations characteristics  
(a) before alignment correction  
(b) after alignment correction

공적으로 양자간의 동심도 조절이 가능함을 확인할 수 있었으며, 그 효용성을 박판 펀칭실험을 통하여 검증하였다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 지원 차세대 신기술 개발 사업 중 Milli-Structure 생산기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Joo, B. Y., Oh, S. I. and Jeon, B. H.,

- "Development of micro punching system," *Annals of the CIRP*, Vol. 50/1, pp. 191-194, 2001.
2. Kim, H. Y., Kim, B. H., Chang, I. B., Shin, Y. S., Oh, S. I., "The development of precision punching system and burr minimization technology," 3rd Workshop on Milli Structure Manufacturing Technology, pp. 44-51, 2002.
  3. Hong, N. P., Shin, Y. S., Choi, K. H., Kim, B. H., Chang, I. B., Kim, H. Y., "The development of micro NCT for micro blanking/punching of thin plates," 2001 Fall Conference of the KSPE, pp. 300-304, 2001.
  4. Baxter, L. K., *Capacitive Sensors*, IEEE Press, pp. 15, 1997.
  5. Choi Jae Kwon, "A study on the minimum oil film thickness of crankshaft bearings in engine," Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 1992.