

## PNN을 이용한 가공오차 보상에 관한 연구

서태일, 박동삼(인천대 기계공학과), 홍연찬(인천대 전자공학과), 조명우(인하대 기계공학과),  
배종석\*(인천대 대학원 기계공학과), 신장순, 김유진((주)JMP)

### A Study of Machining Error Compensation Using PNN Approach

T.I. Seo, D.S. Park (Mecha. Eng. Dept. UI), Y.C. Hong (Elect. Eng. Dept., UI),  
M.W. Cho (Mecha. Eng. Dept. Inha Univ.), J.S. Bae (Mecha. Eng. Dept. UI), J.S. Shin, E.G. Kim (JMP)

#### ABSTRACT

This paper presents an integrated machining error compensation method based on PNN(Polynomial Neural Network) approach and inspection database of OMM(On-Machine-Measurement) system. To efficiently analyze the machining errors, two machining error parameters are defined and modeled using the PNN approach, which is used to determine machining errors for the considered cutting conditions. Experiments are carried out to validate the approaches proposed in this paper. In result, the proposed methods can be effectively implemented in a real machining situation, producing much fewer errors.

Key Words : 가공오차보상(Machining error compensation), PNN(Polynomial Neural Network), CAD/CAM/CAI integration, OMM (On-Machine-Measurement)

#### 1. 서론

금형과 같이 복합곡면이 함께 존재하는 형상의 가공은 지름보다 상대적으로 길이가 긴 공구의 이용이 요구되며 따라서 공구변형의 문제는 가공품질과 밀접한 관계를 갖게 된다. 본 연구에서는 절삭가공 오차의 보상을 위한 불필요한 반복 공정 소요를 줄이고 고가의 가공, 측정비용의 소용없이 가공 오차를 현저하게 감소시킬 수 있는 방법으로 OMM system 데이터와 수정된 PNN 알고리즘에 기초를 둔 효율적인 가공 오차 보상 방법에 대하여 제안하고자 한다. 제안된 방법에서는 OMM system의 측정 데이터를 활용하여 PNN 알고리즘<sup>1</sup>을 학습시키고 이를 공구 변형량에 따른 가공 오차를 최소화 할 수 있는 수정된 공구 경로를 반복 계산에 이용하였다. 이를 증명하기 위한 실험을 수행하였으며 실험 결과를 통하여 제안된 방법론의 효율성을 입증하였다.

#### 2. PNN을 이용한 절삭가공오차의 보상

정밀하고 효율적인 절삭가공오차 보상을 위하여 오차들의 분포를 2개의 특징적인 가공 오차 파라미터를 정의함으로써 효율적으로 예측하고자 하였다. 이 파라미터를 정의하기 위하여 먼저 OMM system의 측정 데이터를 활용하여 PNN 알고리즘을 학습시킨 후 이를 통하여 공구 변형에 의한 오차를 최소화 하는 수정된 공구 경로를 산출한다.

#### 2.1 절삭가공오차의 특성화

밀링 가공 시 동일한 가공 조건 하에서도 회전하는 공구의 절삭날 위치에 따라 절삭력이 변화한다. 따라서 공구 변형량도 공구의 회전 위치에 따라 변화함으로써 가공 곡면 상의 오차들도 일정하지 않다. 이러한 가공 오차의 분포 형태의 비선형적 특징 때문에 주어진 허용 공차와 비교하기 위하여 가공오차를 특성화할 필요가 있다. 본 논문에서 제안된 방법에서는 주어진 허용 공차와 절삭가공오차를 비교하기 위하여 특성화된 가공 오차 파라미터들을 정의한다. 이를 위하여 먼저 가공 오차의 분포를 정량적으로 분석하기 위하여 공구 변형량의 의해 발생한 언더컷이나 오버컷에 의해 발생한 최대 오차( $E_{max}$ )와 최소 오차( $E_{min}$ )을 정의한다. 이 파라미터들을 기본으로 오차 영역(Error zone)을 정한다. 이는 표면의 형상과 관계없이 절삭표면 전체를 포함하는 최소폭의 영역을 의미한다. 이 경우 오차영역폭( $W_{err}$ )과 오차영역편차( $D_{err}$ )을 정의할 수 있다. 이들은 표면오차의 정량적 분석과 비교를 합리적으로 수행할 수 있도록 한다.

#### 2.2 공구 경로 수정법

본 논문에서 제안된 절삭가공오차를 최소화하는 공구 경로 수정법은 앞서 정의한 특성화된 가공오차 파라미터를 허용공차와 비교, 분석하여 반복계산에 의하여 공구 경로를 수정한다<sup>2</sup>. 즉, 공구 경로 수정

시 생기는 절삭가공조건에 따른 변동을 공구경로 수정에 재고려 시키는 반복계산의 형태로서 실제로 설계 형상이 변경되더라도 반복적인 가공이나 측정 공정이 소요되지 않는다. 또한 PNN 모델을 이용하여 공구경로 수정법의 반복계산을 빠르고 정확하게 수행할 수 있도록 구현되어 있다.

### 2.3 수정된 PNN 알고리즘

공구변형량과 가공오차와의 관계는 비선형적인 형태로 단순하게 정의되는 것이 불가능하다. 이러한 비선형적인 관계의 체계적인 규명을 하기 위한 알고리즘으로서 GMDH(Group Method of Data Handling) 이라고 할 수 있는 PNN이 있다. 이는 다층 구조의 퍼셉트론(Perceptron) 형태의 인공지능 네트워크라고 할 수 있다. 본 연구에서는 특성화된 가공오차 파라미터와 가공조건 사이의 비선형적인 관계를 규명하기 위하여 PNN 접근법을 이용하였다. PNN 알고리즘을 적용하기 위하여 절삭조건(절입량, 절삭깊이, 이송속도)과  $W_{err}$ ,  $D_{err}$ 의 관계를 입력과 출력 관계로 수립하고 이를 OMM system의 측정 데이터를 기본으로 학습과정을 수행하였다. 결과적으로 PNN을 통하여 주어진 가공조건에 따라  $W_{err}$ 과  $D_{err}$ 이 계산되고, 수정된 공구 경로가 산출된다.

### 3. 실험결과 및 고찰

먼저 측면절삭깊이가 점진적으로 변하는 2개의 시편을 가공한 후  $W_{err}$ 과  $D_{err}$ 의 변화 양상을 확인한다. 사용된 공구와 가공 조건은 Table 1에 나타낸 것과 같다. 이때 절삭가공오차는 OMM system을 이용하여 측정을 한 후  $W_{err}$ 과  $D_{err}$ 를 결정함으로써 각 측정점 위치마다  $W_{err}$ 과  $D_{err}$ 에 대응되는 공구의 절입량을 분석할 수 있다. 이러한 데이터를 이용하여 수정된 PNN 알고리즘을 학습시키고 절삭오차를 예측한다.

Table 1 Specifications of machining process

| Tool              |      | Machining conditions |              |
|-------------------|------|----------------------|--------------|
| Flute part        | 6mm  | Spindle speed        | 1500rpm      |
| Cylindrical part  | 8mm  | Feedrate             | 30mm/min     |
| Used length       | 50mm | Milling mode         | Down milling |
| Flute part length | 30mm | Radial depth         | 0~2.5mm      |
| Flute number      | 4    | Axial depth          | 6mm(fixed)   |
| Helix angle       | 30   | Workpiece            | Mild steel   |

### 3.3 실험결과

본 논문에서 제안된 공구경로수정 방법의 효율성을 검증하기 위하여 Fig. 1에 나타나 있는 직선구간과 원호구간이 복합되어 있는 형상으로 2mm의 균일한 offset이 주어져 있는데 공구경로에 따라서 측면

절삭깊이의 변동이 발생한다. 오차보상의 정량적 비교를 위하여 공칭공구경로와 수정된 공구경로를 이용하여 절삭가공을 수행하고 가공오차를 측정하여 비교하였다. Fig. 2은 이들의 측정 결과를 보여주는 것이며 약 90%의 가공오차감소 효과를 얻을 수 있었다.

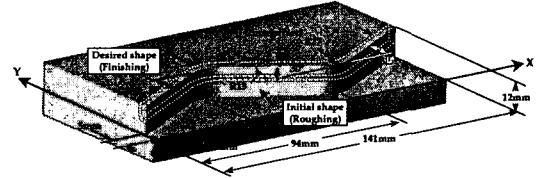


Fig. 1 Desired shape of machining part

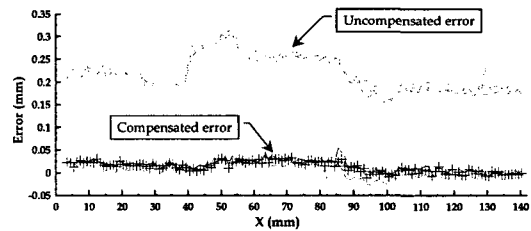


Fig. 2 Compensated machining error distributions

### 4. 결론

본 연구의 목적은 OMM system의 측정데이터를 활용하여 학습된 PNN 모델을 기초로 평 앤드밀링 공정 시 효율적인 절삭가공오차 보상 프로세스를 구현하는 것이다. 수정된 PNN 모델을 이용하여 임의의 가공조건에 대한 가공오차의 직접적인 관계를 규명하였고, 오차를 감소시키기 위한 공구경로수정을 위하여 공구 위치를 반복 계산하는 프로세스를 적용하였다. 제안된 방법을 검증하기 위한 실험결과로부터 제안된 방법을 이용하여 수정된 공구경로를 적용할 경우 보상전 공구 경로에 비해 약 90%의 오차가 감소됨을 알 수 있었다.

### 후기

본 연구는 2005년도 우수제조기술연구센터사업 연구비 지원에 의해 수행되었음.

### 참고문헌

1. Y.C. Hong, and S.S. Ohm, "Modeling of Nonlinear Dynamic Systems Using a Modified GMDH Algorithm," Journal of Korea Fuzzy and Intelligent System Society, Vol. 8, No. 3, pp. 50~55, 1998.
2. M.W. Cho, S.H. Lee, and T.I. Seo, "On-Machine Measurement of Sculptured Surfaces on Based in CAD/CAM/CAI Integration: I. Measurement Error Modeling," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 10, pp. 172~181, 1999.