



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년02월27일

(11) 등록번호 10-2503868

(24) 등록일자 2023년02월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*B23Q 1/00* (2006.01) *G05B 13/04* (2006.01)

*G05B 19/414* (2006.01) *G05B 19/416* (2006.01)

(52) CPC특허분류

*B23Q 1/0045* (2013.01)

*G05B 13/048* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0163921

(22) 출원일자 2021년11월25일

심사청구일자 2021년11월25일

(65) 공개번호 10-2022-0072792

(43) 공개일자 2022년06월02일

(30) 우선권주장

1020200159798 2020년11월25일 대한민국(KR)

(56) 선행기술조사문헌

JP2000033533 A

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

민병권

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 280호

송원택

서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 산학협동연구관 308호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 12 항

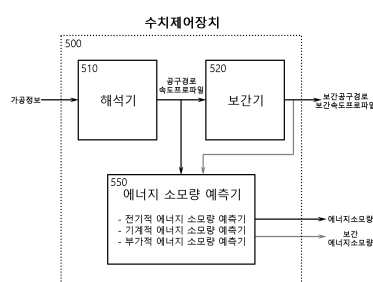
심사관 : 박환수

(54) 발명의 명칭 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법

## (57) 요약

본 발명은 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명의 목적은 공작기계의 요소단위로 에너지 소모량을 예측할 수 있으면서도 특히 고속으로 예측이 가능한, 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법을 제공함에 있다. 보다 상세하게는, 블록 단위의 파트프로그램에 대해 에너지 소모량 예측기를 사용함으로써 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 수행하는, 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법을 제공함에 있다.

대표도 - 도2



- |   |  |
|---|--|
| (52) CPC특허분류<br><b>G05B 19/4145</b> (2013.01)<br><b>G05B 19/416</b> (2013.01)<br><b>G05B 2219/32021</b> (2013.01) | (56) 선행기술조사문헌<br>JP3916260 B2<br>KR101515402 B1<br>KR101634496 B1<br>KR1020160080978 A |
|---|--|

- (72) 발명자
- 이찬영**  
 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 산학협  
 동연구관 308호
- 황순홍**  
 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 산학협  
 동연구관 308호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019112129
과제번호	N0001851
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	산업기술기반구축사업
연구과제명	[RCMS]한국생산기술연구원/첨단소재부품 가공시스템 기술지원 기반조성 사업(5/5,

1단계)

기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국생산기술연구원
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

공지예외적용 : 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

가공대상(200)과 직접 접촉하여 가공을 수행하는 가공유닛(110), 상기 가공대상(200) 및 상기 가공유닛(110)의 상대위치를 변경시키는 이송유닛(120), 냉각유체 분사를 포함하는 부가기능을 수행하는 부가유닛(130)을 포함하는 CNC 공작기계(100)에 구비되어, 상기 가공대상(200)에 대한 가공정보로부터 상기 CNC 공작기계(100)의 동작 제어를 위한 공구경로 및 시간에 대한 속도 그래프로 나타나는 속도프로파일을 생성하는 수치제어장치(500)에 있어서,

가공형상, 가공조건, 가공동작을 포함하는 기초정보에 의해 생성된 이송속도, 이송거리, 회전속도를 포함하는 가공정보를 입력받아 해석하여 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 생성하는 해석기(510);

상기 해석기(510)와 연결되어 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 기입력된 보간알고리즘으로 보간함으로써 보간공구경로 및 보간속도프로파일을 산출하는 보간기(520);

상기 해석기(510)와 연결되어 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일이 적용된 요소별 일률손실을 시간에 대해 적분함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출하는 에너지 소모량 예측기(550);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 수치제어장치.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 에너지 소모량 예측기(550)는,

상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 공구경로에 추종오차가 존재하지 않는다고 가정하고 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일을 그대로 에너지 소모량 산출에 적용하는 것을 특징으로 하는 수치제어장치.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 에너지 소모량 예측기(550)는,

상기 CNC 공작기계(100)에서 발생하는 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 상기 속도프로파일의 함수로 나타나는 상기 요소별 일률손실로 분류하되,

상기 요소별 일률손실은 상기 가공유닛(110) 및 상기 이송유닛(120)에서 발생하는 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 가공유닛(110) 및 상기 이송유닛(120)에서 발생하는 관성력, 마찰력, 절삭력에 의해 발생하는 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가유닛(130)에서 발생하는 부가적 일률손실( $P_p$ )을 포함하는 것을 특징으로 하는 수치제어장치.

#### 청구항 4

제 3항에 있어서, 상기 에너지 소모량 예측기(550)는,

상기 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가적 일률손실( $P_p$ ) 각각을 시간에 대해 적분하여 합함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출하는 것을 특징으로 하는 수치제어장치.

#### 청구항 5

제 3항에 있어서, 상기 에너지 소모량 예측기(550)는,

하기의 식을 사용하여 상기 요소별 일률손실 및 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 산출하는 것을 특징으로 하는 수치제어 장치.

$$P_{total} = P_e + P_m + P_p$$

$$P_e = k_0 + k_1 \dot{X} + k_2 \dot{X}^2$$

$$P_m = M \ddot{X} \dot{X} + F_f \dot{X} + F_d \dot{X}$$

(여기에서,  $P_{total}$  : 전체 일률손실,  $P_e$  : 전기적 일률손실,  $P_m$  : 기계적 일률손실,  $P_p$  : 부가적 일률손실,  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  : 상수 및 계수들,  $M$  : 질량,  $F_f$  : 마찰력,  $F_d$  : 절삭력,  $x$  : 변위,  $\dot{X}$  : 속도,  $\ddot{X}$  : 가속도)

## 청구항 6

가공대상(200)에 대한 가공정보로부터 CNC 공작기계(100)의 동작 제어를 위한 공구경로 및 시간에 대한 속도 그래프로 나타나는 속도 프로파일을 생성하는 수치제어장치(500)를 이용한 수치제어방법에 있어서,

상기 수치제어장치(500)에 포함되는 해석기(510)가 가공형상, 가공조건, 가공동작을 포함하는 기초정보에 의해 생성된 이송속도, 이송거리, 회전속도를 포함하는 가공정보를 입력받아 해석하여 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 생성하는 가공작업해석단계;

상기 수치제어장치(500)에 포함되는 에너지 소모량 예측기(550)가 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일이 적용된 요소별 일률손실을 시간에 대해 적분함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출하는 에너지소모량산출단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 수치제어방법.

## 청구항 7

제 6항에 있어서, 상기 에너지소모량산출단계는,

상기 CNC 공작기계(100)에서 발생하는 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 상기 속도프로파일의 함수로 나타나는 상기 요소별 일률손실로 분류하되,

상기 요소별 일률손실은 상기 CNC 공작기계(100)의 사용전력량으로 구해지는 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 CNC 공작기계(100)의 가공작업에서의 관성력, 마찰력, 절삭력에 의해 발생하는 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 CNC 공작기계(100)의 가공작업 외 부가작업에서 발생하는 부가적 일률손실( $P_p$ )을 포함하는 것을 특징으로 하는 수치제어방법.

## 청구항 8

제 7항에 있어서, 상기 에너지소모량산출단계는,

상기 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가적 일률손실( $P_p$ ) 각각을 시간에 대해 적분하여 합함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출하는 것을 특징으로 하는 수치제어방법.

## 청구항 9

제 8항에 있어서, 상기 에너지소모량산출단계는,

하기의 식을 사용하여 상기 요소별 일률손실 및 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 산출하는 것을 특징으로 하는 수치제어 방법.

$$P_{total} = P_e + P_m + P_p$$

$$P_e = k_0 + k_1 \dot{x} + k_2 \dot{x}^2$$

$$P_m = M \ddot{x} \dot{x} + F_f \dot{x} + F_d \dot{x}$$

(여기에서,  $P_{total}$  : 전체 일률손실,  $P_e$  : 전기적 일률손실,  $P_m$  : 기계적 일률손실,  $P_p$  : 부가적 일률손실,  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  : 상수 및 계수들,  $M$  : 질량,  $F_f$  : 마찰력,  $F_d$  : 질삭력,  $x$  : 변위,  $\dot{x}$  : 속도,  $\ddot{x}$  : 가속도)

#### 청구항 10

제 9항에 있어서, 상기 에너지소모량산출단계는,

하기의 식을 사용하여 에너지 소모량( $E$ )을 산출하는 것을 특징으로 하는 수치제어방법.

$$\begin{aligned} E &= \int_{t_i}^{t_o} P_{total} dt = \int_{t_i}^{t_o} (P_e + P_m + P_p) dt \\ &= \int_{t_i}^{t_o} \{ (k_0 + k_1 \dot{x} + k_2 \dot{x}^2) + (M \ddot{x} \dot{x} + F_f \dot{x} + F_d \dot{x}) + P_p \} dt \end{aligned}$$

(여기에서,  $t_i$  : 가공작업 시작시간,  $t_o$  : 가공작업 마침시간)

#### 청구항 11

제 6항에 있어서, 상기 가공작업해석단계는,

상기 해석기(510)가 상기 가공정보를 G코드 블록 단위의 파트프로그램 형태로 입력받아 해석하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 수치제어방법.

#### 청구항 12

제 6항에 있어서, 상기 속도프로파일은,

직선형 가감속, S자형 가감속, 블록 오버랩, 코너 블렌딩 중 적어도 하나의 형태를 포함하는 것을 특징으로 하는 수치제어방법.

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 공작기계에서 발생하는 에너지 소모량을 종래에 비해 보다 고속으로 예측할 수 있게 해 주는 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 공작기계(machine tool)란 기계공업의 기초가 되는 중요한 기계로서, 말하자면 기계를 만드는 기계이다. 광의적으로는 단조, 압연, 전단 등과 같은 가공기계까지 포함시키는 경우도 있으나, 일반적으로는 공작기계라고 하면

기계공작의 기초가 되는 절삭, 연삭 등과 같이 절삭 칩(chip)을 내면서 금속 등의 재료를 가공하여 필요한 모양을 만들어 내는 기계를 말한다. 산업혁명 당시부터 제작되어 오던 공작기계는 19세기에 대부분의 원형이 개발 완료되었으며, 다양한 개량과 발전을 거쳐 최근에는 소형 컴퓨터를 내장하여 입력받은 기초정보로부터 공구의 가공정보를 자동 산출하여 가공을 수행하는 CNC 공작기계(Computerized Numerical Controlled machine tool)까지 발전하였다.

[0003] CNC 공작기계는, 가공형상, 가공조건, 가공동작 등의 기초정보를 입력하면 공구경로, 이송속도, 이송거리 등의 가공정보를 자동으로 생성하고, 이 생성된 가공정보에 따라 공구의 동작을 제어함으로써 가공을 수행한다. 이때 CNC 공작기계를 구성하는 각 요소들의 움직임을 보다 상세히 살펴보면, 먼저 공구를 절삭하고자 하는 위치까지 이송시키는 장치, 절삭작업 중 공구를 회전시키는 장치, 절삭부위에 냉각제를 분사해주는 장치 등 다양한 요소들이 서로 연계되어 동작한다.

[0004] 이처럼 공작기계는 매우 다양한 요소들이 연계 동작하는 복잡한 장치로서 상당히 많은 에너지를 소비하는 것이 불가피하다. 따라서 공작기계 에너지 효율 향상에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이에 따라 공작기계 에너지 소비 저감에 활용가능한 시뮬레이션 기반의 에너지 소모량 예측기술이 다양하게 제안되고 있다. 이러한 시뮬레이션 기반의 에너지 소모량 예측기술의 한 예로, 작업 준비시간 최소화, 보조유닛들의 전원제어 등을 이용하여 공작기계 전체의 작업시간 및 에너지 소모량을 예측하는 방식이 있다. 이러한 방식은 물론 공작기계 전체적인 에너지 효율을 향상시키는 데에는 도움이 되겠으나, 공작기계를 구성하는 여러 요소들에 대하여 요소단위의 에너지 소모량을 예측하는 것은 어렵다.

[0005] 이러한 문제를 해소하기 위하여, CNC 공작기계를 이송계, 스피들 등의 요소단위로 모델링한 가상공작기계로 가상가공을 수행하는 시뮬레이션 기술이 제안되었다. 한국특허등록 제1515402호("에너지 소비 효율 향상을 위한 가상 공작기계 시뮬레이션 모델 및 이를 이용한 공작기계 에너지 소비 효율 향상 방법", 2015.04.21.)에 이러한 기술이 잘 개시되어 있다. 이러한 가상가공 시뮬레이션 기술은 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측이 가능하며 에너지 소모량 예측 정확도가 높다는 큰 장점을 가진다. 다만 실제로 가공이 이루어지는 것과 마찬가지로 가상가공을 시뮬레이션으로 수행하는 과정에서 상당히 많은 연산부하가 발생하며, 이에 따라 예측속도가 느린 단점이 있어, 빠른 에너지 소모량 예측에는 조금 불리한 부분이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 1. 한국특허등록 제1515402호("에너지 소비 효율 향상을 위한 가상 공작기계 시뮬레이션 모델 및 이를 이용한 공작기계 에너지 소비 효율 향상 방법", 2015.04.21.)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0007] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 공작기계의 요소단위로 에너지 소모량을 예측할 수 있으면서도 특히 고속으로 예측이 가능한, 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법을 제공함에 있다. 보다 상세하게는, 블록 단위의 파트프로그램에 대해 에너지 소모량 예측기를 사용함으로써 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 수행하는, 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법을 제공함에 있다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치(500)는, 가공대상(200)과 직접 접촉하여 가공을 수행하는 가공유닛(110), 상기 가공대상(200) 및 상기 가공유닛(110)의 상대위치를 변경시키는 이송유닛(120), 냉각유체 분사를 포함하는 부가기능을 수행하는 부가유닛(130)을 포함하는 CNC 공작기계(100)에 구비되어, 상기 가공대상(200)에 대한 가공정보로부터 상기 CNC 공작기계(100)의 동작 제어를 위한 공구경로 및 시간에 대한 속도 그래프로 나타나는 속도프로파일을 생성하는 수치제어장치(500)에 있어서, 가공형상, 가공조건, 가공동작을 포함하는 기초정보에 의해 생성된 이송속도, 이송거리, 회전속도를 포함하는 가공정보를 입력받아 해석하여 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 생성하는 해석기

(510); 상기 해석기(510)와 연결되어 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 기 입력된 보간알고리즘으로 보간함으로써 보간공구경로 및 보간속도프로파일을 산출하는 보간기(520); 상기 해석기(510)와 연결되어 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일이 적용된 요소별 일률손실을 시간에 대해 적분함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출하는 에너지 소모량 예측기(550); 를 포함할 수 있다.

[0009] 이 때 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 공구경로에 추종오차가 존재하지 않는다고 가정하고 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일을 그대로 에너지 소모량 산출에 적용할 수 있다.

[0010] 또한 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 상기 CNC 공작기계(100)에서 발생하는 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 상기 속도프로파일의 함수로 나타나는 상기 요소별 일률손실로 분류하되, 상기 요소별 일률손실은 상기 가공유닛(110) 및 상기 이송유닛(120)에서 발생하는 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 가공유닛(110) 및 상기 이송유닛(120)에서 발생하는 관성력, 마찰력, 절삭력에 의해 발생하는 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가유닛(130)에서 발생하는 부가적 일률손실( $P_p$ )을 포함할 수 있다.

[0011] 보다 구체적으로, 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 상기 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가적 일률손실( $P_p$ ) 각각을 시간에 대해 적분하여 합함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출할 수 있다.

[0012] 더욱 구체적으로, 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 하기의 식을 사용하여 상기 요소별 일률손실 및 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 산출할 수 있다.

[0013] 
$$P_{total} = P_e + P_m + P_p$$

[0014] 
$$P_e = k_0 + k_1 \dot{x} + k_2 \dot{x}^2$$

[0015] 
$$P_m = M \ddot{x} \dot{x} + F_f \dot{x} + F_d \dot{x}$$

[0016] (여기에서,  $P_{total}$  : 전체 일률손실,  $P_e$  : 전기적 일률손실,  $P_m$  : 기계적 일률손실,  $P_p$  : 부가적 일률손실,  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  : 상수 및 계수들,  $M$  : 질량,  $F_f$  : 마찰력,  $F_d$  : 절삭력,  $x$  : 변위,  $\dot{x}$  : 속도,  $\ddot{x}$  : 가속도)

[0017] 또한 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 상기 보간기(520)와 더 연결되어 상기 보간기(520)로부터 산출된 상기 보간속도프로파일이 적용된 상기 요소별 일률손실을 시간에 대해 적분함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 보간된 에너지 소모량을 더 산출할 수 있다.

[0018] 또한 본 발명의 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어방법은, 가공대상(200)에 대한 가공정보로부터 CNC 공작기계(100)의 동작 제어를 위한 공구경로 및 시간에 대한 속도 그래프로 나타나는 속도 프로파일을 생성하는 수치제어장치(500)를 이용한 수치제어방법에 있어서, 상기 수치제어장치(500)에 포함되는 해석기(510)가 가공형상, 가공조건, 가공동작을 포함하는 기초정보에 의해 생성된 이송속도, 이송거리, 회전속도를 포함하는 가공정보를 입력받아 해석하여 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 생성하는 가공작업해석단계; 상기 수치제어장치(500)에 포함되는 에너지 소모량 예측기(550)가 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일이 적용된 요소별 일률손실을 시간에 대해 적분함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출하는 에너지소모량산출단계; 를 포함할 수 있다.

[0019] 이 때 상기 에너지소모량산출단계는, 상기 CNC 공작기계(100)에서 발생하는 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 상기 속도프로파일의 함수로 나타나는 상기 요소별 일률손실로 분류하되, 상기 요소별 일률손실은 상기 CNC 공작기계(100)의 사용전력량으로 구해지는 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 CNC 공작기계(100)의 가공작업에서의 관성력, 마찰력, 절삭력에 의해 발생하는 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 CNC 공작기계(100)의 가공작업 외 부가작업에서 발생하는 부가적 일률손실( $P_p$ )을 포함할 수 있다.

[0020] 이 때 상기 에너지소모량산출단계는, 상기 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가적 일률손

실( $P_p$ ) 각각을 시간에 대해 적분하여 합함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출할 수 있다.

[0021] 보다 구체적으로, 상기 에너지소모량산출단계는, 하기의 식을 사용하여 상기 요소별 일률손실 및 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 산출할 수 있다.

[0022] 
$$P_{total} = P_e + P_m + P_p$$

[0023] 
$$P_e = k_0 + k_1 \dot{x} + k_2 \dot{x}^2$$

[0024] 
$$P_m = M \ddot{x} \dot{x} + F_f \dot{x} + F_d \dot{x}$$

[0025] (여기에서,  $P_{total}$  : 전체 일률손실,  $P_e$  : 전기적 일률손실,  $P_m$  : 기계적 일률손실,  $P_p$  : 부가적 일률손실,  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  : 상수 및 계수들,  $M$  : 질량,  $F_f$  : 마찰력,  $F_d$  : 절삭력,  $x$  : 변위,  $\dot{x}$  : 속도,  $\ddot{x}$  : 가속도)

[0026] 또한 상기 에너지소모량산출단계는, 하기의 식을 사용하여 에너지 소모량( $E$ )을 산출할 수 있다.

[0027] 
$$\begin{aligned} E &= \int_{t_i}^{t_o} P_{total} dt = \int_{t_i}^{t_o} (P_e + P_m + P_p) dt \\ &= \int_{t_i}^{t_o} \{ (k_0 + k_1 \dot{x} + k_2 \dot{x}^2) + (M \ddot{x} \dot{x} + F_f \dot{x} + F_d \dot{x}) + P_p \} dt \end{aligned}$$

[0028] (여기에서,  $t_i$  : 가공작업 시작시간,  $t_o$  : 가공작업 마침시간)

[0029] 또한 상기 가공작업해석단계는, 상기 해석기(510)가 상기 가공정보를 G코드 블록 단위의 파트프로그램 형태로 입력받아 해석하도록 형성될 수 있다.

[0030] 또한 상기 속도프로파일은, 직선형 가감속, S자형 가감속, 블록 오버랩, 코너 블렌딩 중 적어도 하나의 형태를 포함할 수 있다.

### 발명의 효과

[0031] 본 발명에 의하면, 블록 단위의 파트프로그램에 대해 에너지 소모량 예측기를 사용함으로써 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 수행할 수 있는 효과가 있다. 종래의 공작기계 전체의 작업시간 및 에너지 소모량을 예측하는 방식의 경우 요소단위의 에너지 소모량 예측이 불가능하였고, 공작기계를 요소단위로 모델링한 가상공작기계로 가상가공 시뮬레이션을 하여 요소단위의 에너지 소모량을 예측하는 방식의 경우 연산부하가 과도하여 고속 예측이 어려운 문제가 있었다. 그러나 본 발명에 의하면, 가상가공을 수행하지 않고 에너지 소모량 예측기만을 사용하여 요소단위의 에너지 소모량을 예측하되, 에너지 소모량 예측기가 가공경로의 추종오차를 배제한 속도프로파일이 적용되며 시간에 대한 적분함수 형태로 형성되도록 함으로써, 종래에 비해 연산속도를 비약적으로 향상시키는 효과가 있다.

[0032] 또한 본 발명에 의하면 상술한 바와 같이 요소단위 에너지 소모량 예측을 고속으로 수행할 수 있기 때문에, 최적화 기법과 같이 많은 연산시간 및 부하가 요구되는 에너지 소비저감 기술에 본 발명의 기술을 적용함으로써 연산시간 및 부하를 저감해 줄 수 있는 효과 또한 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 CNC 공작기계의 에너지 소모원을 나타내는 구성도.

도 2는 본 발명의 수치제어장치의 구성도.

도 3은 종래의 수치제어장치에서의 에너지 소모량 산출방식.

도 4는 본 발명의 수치제어장치에서의 에너지 소모량 산출방식.

도 5는 본 발명의 수치제어장치에서의 에너지 소모량 산출의 일실시예.



도 6은 본 발명의 수치제어장치의 실제 실험장치 구성 및 실험에 사용된 가공대상의 가공결과물.

도 7은 속도프로파일 및 에너지 소모량 예측값의 예시.

도 8은 스핀들 및 모터에서의 에너지 소모량 측정값 및 예측값 비교.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 공작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어장치 및 방법을 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.
- [0035] 도 1은 CNC 공작기계의 에너지 소모원을 나타내는 구성도를 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, CNC 공작기계(100)를 크게 나누자면 가공유닛(110), 이송유닛(120), 부가유닛(130)으로 나눌 수 있다. 상기 가공유닛(110)은 가공대상(200)과 직접 접촉하여 가공을 수행하는 유닛으로서, 직접 상기 가공대상(200)에 접촉하여 절삭 등의 가공을 수행하는 공구(111) 및 상기 공구(111)를 회전시켜 절삭력을 인가하는 가공모터(112)를 포함한다. 상기 이송유닛(120)은 상기 가공대상(200) 및 상기 가공유닛(110)의 상대위치를 변경시키는 유닛으로서, 가공이 이루어져야 하는 위치로 상기 공구(111)를 이동시키거나 기결정된 궤적에 따라 가공을 수행하는 등의 역할을 한다. 상기 이송유닛(120)은 다양한 형태로 형성될 수 있는데, 매우 간단한 예시로서 도 1에는 상기 이송유닛(120)이 상기 가공대상(200)을 지지하는 프레임(121) 및 상기 프레임(121)을 움직이는 이송모터(122)로 이루어지는 예시가 도시된다. 물론 상기 이송유닛(120)은 상기 공구(111)를 이송시킬 수도 있고, 3차원적으로 여러 방향으로 상기 공구(111) 또는 상기 가공대상(200)을 이송시키기 위해 보다 복잡한 구조를 가질 수도 있는 등 다양한 변경 실시가 이루어진다. 상기 부가유닛(130)은, 도 1의 예시에 도시된 바와 같이 절삭부위에 냉각유체를 분사하는 등과 같은 부가기능을 수행하는 유닛이다. 도 1에는 냉각유체 분사용의 상기 부가유닛(130)만이 도시되어 있으나 이는 하나의 예시일 뿐으로, 일반적으로 상용화되어 사용되는 상기 CNC 공작기계(100)에는 필요에 따라 다양한 형태의 상기 부가유닛(130)이 구비된다. 본 발명의 수치제어장치(500)는 이와 같은 상기 CNC 공작기계(100)에 구비되는 것으로, 간략한 구성도가 도 2에 도시되어 있다.
- [0036] 잘 알려진 바와 같이 상기 CNC 공작기계(100)는, 상기 가공대상(200)에 구멍을 뚫는다든가, 어떠한 궤적으로 절삭한다든가 등과 같은 기계적인 가공을 수행한다. 즉 원하는 가공형태에 따라, 가공형상(ex. 가공대상에 나사홀을 뚫음), 가공조건(ex. 나사홀의 규격, 위치, 배치), 가공동작(ex. 나사홀 형성용 공구를 회전시킴) 등과 같은 기초정보가 기결정될 수 있다. 이러한 기초정보로부터, 공구를 어떤 방향으로 어떻게 움직여서 가공을 수행할 것인지가 가공정보에 해당하며, 이러한 가공정보는 이송속도, 이송거리, 회전속도 등을 포함한다. 현재 상용화되어 사용되고 있는 일반적인 CNC 공작기계에서는 이러한 가공정보를 나타내는 파르트프로그램이 이미 규격화되어 있으며, 공구의 동작을 제어하는 코드의 어드레스로 "G"를 사용하므로 "G코드"라고 불린다. 예를 들면 G00은 위치결정, 급속이동을 나타내는 코드로서 공구가 지령된 좌표로 급속이동하며, G01은 직선보간을 나타내는 코드로서 공구가 지령된 좌표까지 절삭이동한다. 이와 같이 공구를 제어하기 위한 정보로서 이미 당업자 사이에서 규격화된 G코드가 통용되고 있으며, 따라서 상기 가공정보는 이러한 G코드 형태로 이루어지는 것이 바람직하다.
- [0037] 상기 수치제어장치(500)는, 이러한 G코드 형태로 된 가공정보를 해석하여 공구가 어떤 궤적을 그리면서 시간에 따라 어떤 속도로 이송하는지를 자동으로 생성하는 기능을 기본적으로 탑재한다. 즉 수치제어장치(500)는, 기본적으로 상기 가공대상(200)에 대한 가공정보로부터 상기 CNC 공작기계(100)의 동작 제어를 위한 공구경로 및 시간에 대한 속도 그래프로 나타나는 속도프로파일을 생성할 수 있다. 보다 구체적으로는, 상기 수치제어장치(500)는 도 2에 도시된 바와 같이, 기본적으로 해석기(510) 및 보간기(520)를 포함한다. 상기 해석기(510)는 가공형상, 가공조건, 가공동작을 포함하는 기초정보에 의해 생성된 이송속도, 이송거리, 회전속도를 포함하는 가공정보를 입력받아 해석하여 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 생성하는 역할을 한다. 상기 보간기(520)는 상기 해석기(510)와 연결되어 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 기입력된 보간알고리즘으로 보간함으로써 보간공구경로 및 보간속도프로파일을 산출한다. 이러한 상기 해석기(510) 및 상기 보간기(520)의 구체적인 기능, 즉 가공정보로부터 공구경로, 속도프로파일을 어떻게 생성하는지, 이를 어떻게 보간하는지 등은 이미 다양하게 공지되어 있는 기술내용이므로 여기에서는 상세히 다루지 않는다.
- [0038] 본 발명에서 상기 수치제어장치(500)는, 상기 공작기계(100)의 에너지 소모량을 예측하기 위한 에너지 소모량 예측기(550)를 포함한다. 본 발명의 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 간략히 설명하자면, 상기 해석기(510)와 연결되어 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일이 적용된 요소별 일률손실을 시간에 대해 적분함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출한다.
- [0039] 본 발명의 상기 에너지 소모량 예측기(550)에 대한 이해를 높일 수 있도록, 먼저 종래의 에너지 소모량 산출방

식에 대하여 간략히 설명하면 다음과 같다. 도 3은 종래의 수치제어장치에서의 에너지 소모량 산출방식을 도시한 것이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 종래의 수치제어장치에서는 해석기에서 가공정보를 해석하여 공구경로를 산출하고, 보간기에서 보간공구경로를 산출한다. 이렇게 산출된 공구경로가 위치제어기에 입력되면, 위치제어기에서 산출된 정보를 사용하여 마찰력 모델 및 절삭공정 모델을 통해 가상가공을 수행한다. 이렇게 가상가공을 수행하는 과정에서, 마찰력이나 절삭력 등의 작용에 의하여 공구가 원래 설계된 공구경로를 그대로 추종하지 못할 수 있다. 이러한 추종오차가 발생하면, 이를 피드백하여 공구경로를 수정하고, 수정된 공구경로를 사용하여 다시 가상가공을 수행한다. 이러한 과정이 반복적으로 이루어지면서 가상가공이 완료되면, 가상가공 중에 얻어진 다양한 측정값들을 이용하여 에너지 소모량을 산출해 내게 된다.

[0040] 그런데 이러한 방식은, 가상가공이 선행되어야만 하기 때문에 가상가공이 이루어지는 만큼의 시간이 반드시 필요하며, 또한 가상가공 중에 공구경로를 계속 피드백하여 수정하는 반복연산을 수행하여야 하기 때문에 연산부하가 과도하게 상승하는 문제가 있었다. 물론 이처럼 과도한 연산부하는 연산시간 또한 지나치게 늘리는 경향이 있어, 에너지 소모량 예측을 신속하게 수행하기가 어려운 문제가 있었다.

[0041] 그러나 본 발명에서는, 상기 에너지 소모량 예측기(550)가 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 공구경로에 추종오차가 존재하지 않는다고 가정하고 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 속도프로파일을 그대로 에너지 소모량 산출에 적용함으로써, 선행 가상가공이나 피드백으로 인한 반복연산을 원천적으로 배제한다. 도 4는 본 발명의 수치제어장치에서의 에너지 소모량 산출방식을 도시한 것으로, 직관적으로 비교할 수 있도록 도 3의 종래에 덧그리는 식으로 도시하였다. 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명에서는 가상가공을 수행하지 않고 상기 해석기(510)에서 산출된 공구경로를 그대로 상기 에너지 소모량 예측기(550)에 직접 집어넣어 그대로 에너지소모량을 산출한다. 즉 종래에 가상가공을 수행하기 위해 필요하였던 마찰력 모델, 절삭공정 모델 등이 원천적으로 제거될 수 있는 것이다. 이러한 가상가공을 위한 모델들이 제거됨에 따라, 이러한 모델들을 사용하여 가상가공을 수행하면서 필연적으로 발생되는 피드백에 따른 공구경로 수정과정도 자연히 제거되며, 즉 종래에 필연적으로 이루어졌던 반복연산이 본 발명에서는 전혀 이루어질 필요가 없게 된다.

[0042] 이처럼 도 4에 따른 본 발명의 동작기계의 요소단위 에너지 소모량 예측을 위한 수치제어방법을 단계적으로 간략히 설명하면 다음과 같다. 본 발명의 수치제어방법은, 가공작업해석단계 및 에너지소모량산출단계를 포함한다.

[0043] 상기 가공작업해석단계에서는, 상기 해석기(510)가 상기 공구경로 및 상기 속도프로파일을 생성한다. 이 때 상기 해석기(510)는 상기 가공정보를 입력받아 해석함으로써 공구경로 및 속도프로파일을 생성한다. 이 때 앞서도 설명한 바와 같이 상기 가공정보는 일반적인 CNC 동작기계에서 사용하는 규격화된 코드인 G코드를 사용한다. G코드에는 이동궤적 형태(직선, 시계방향 원호, 반시계방향 원호 등), 이동을 위한 위치좌표, 이동 시 가공여부 등이 모두 이미 통용되는 약속된 규칙으로 기재된다. 상기 해석기(510)는 상기 가공정보를 이러한 G코드 블록단위의 파트프로그램 형태로 입력받아 해석하므로, 가공경로나 속도프로파일을 매우 신속하게 산출해낼 수 있다.

[0044] 상기 에너지소모량산출단계에서는, 상기 에너지 소모량 예측기(550)가 상기 속도프로파일을 기반으로 시간적분을 이용하여 상기 CNC 동작기계(100)의 에너지 소모량을 산출하는 에너지소모량산출단계를 포함한다. 이 때 본 발명에서는, 앞서 설명한 바와 같이 상기 가공작업해석단계에서 구해진 상기 속도프로파일을 그대로 사용하여, 보간이나 피드백 등의 반복계산과정 없이 단번에 에너지 소모량을 산출한다. 다시 말해 상기 에너지 소모량 예측기(550)가 상기 해석기(510)로부터 산출된 상기 공구경로에 추종오차가 존재하지 않는다고 가정함으로써, 선행 가상가공이나 피드백으로 인한 반복연산을 원천적으로 배제하여, 종래에 비해 연산부하 및 연산시간을 비약적으로 저감할 수 있게 된다. 즉 본 발명의 상기 수치제어장치(500)는 고속으로 에너지 소모량을 예측하는 것이 가능한 것이다.

[0045] 본 발명에서는 이처럼 에너지 소모량을 고속으로 예측할 뿐만 아니라, 요소별로 예측할 수도 있다. 도 2에는 상기 에너지 소모량 예측기(550)가 간략하게 전기적/기계적/부가적 에너지 소모량 예측기를 포함하는 것으로 도시되어 있는데, 이를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0046] 잘 알려진 바와 같이 에너지(energy)는 일률(power)을 시간으로 적분하면 나오는 물리량이다. 따라서 에너지 소모량을 산출함에 있어서 시간에 따른 일률손실 정보를 사용할 수 있다. 본 발명에서 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 상기 CNC 동작기계(100)에서 발생하는 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 상기 속도프로파일의 함수로 나타나는 상기 요소별 일률손실로 분류한다. 상기 요소별 일률손실은 상기 가공유닛(110) 및 상기 이송유닛(120)에서 발

생되는 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 가공유닛(110) 및 상기 이송유닛(120)에서 발생하는 관성력, 마찰력, 절삭력에 의해 발생하는 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가유닛(130)에서 발생하는 부가적 일률손실( $P_p$ )을 포함할 수 있다. 가공작업의 종류에 따라서는 상기 부가유닛(130)이 작동하지 않을 수도 있는데, 이러한 경우 상기 부가적 일률손실( $P_p$ ) 값은 0이 될 수도 있다.

[0047] 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 이처럼 요소별로 분류된 요소별 일률손실 즉 상기 전기적 일률손실( $P_e$ ), 상기 기계적 일률손실( $P_m$ ), 상기 부가적 일률손실( $P_p$ ) 각각을 시간에 대해 적분하여 합함으로써 상기 CNC 공작기계(100)의 에너지 소모량을 산출한다. 전체 일률손실( $P_{total}$ ) 및 요소별 일률손실을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

[0048] 
$$P_{total} = P_e + P_m + P_p$$

[0049] 
$$P_e = k_0 + k_1 \dot{x} + k_2 \dot{x}^2$$

[0050] 
$$P_m = M \ddot{x} \dot{x} + F_f \dot{x} + F_d \dot{x}$$

[0051] (여기에서,  $P_{total}$  : 전체 일률손실,  $P_e$  : 전기적 일률손실,  $P_m$  : 기계적 일률손실,  $P_p$  : 부가적 일률손실,  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  : 상수 및 계수들,  $M$  : 질량,  $F_f$  : 마찰력,  $F_d$  : 절삭력,  $x$  : 변위,  $\dot{x}$  : 속도,  $\ddot{x}$  : 가속도)

[0052] 전기적 일률손실( $P_e$ ) 수식에서  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ 와 같은 상수 및 계수들은, 기본적으로 공작기계의 구동에 필요한 전력량에 따라 미리 알려진 값이다. 기계적 일률손실( $P_m$ ) 수식에서,  $M \ddot{x} \dot{x}$ 는 관성력에 의한 일률손실을,  $F_f \dot{x}$ 는 마찰력에 의한 일률손실을,  $F_d \dot{x}$ 는 절삭력에 의한 일률손실을 각각 나타내며, 질량, 마찰력, 절삭력 등은 가공정보에 따라 미리 알려진 값이다. 부가적 일률손실( $P_p$ )은 예를 들어 냉각유체 분사장치가 소모하는 전력량 같은 것으로서 시간에 따라 달라지는 값이 아니며, 또한 역시 미리 알려진 값이다. 따라서 속도프로파일만 결정되어 있다면, 상기 수식들로 나타나는 요소별 일률손실을 시간에 대해 적분하기만 하면 에너지 소모량이 구해질 수 있게 되는 것이다.

[0053] 도 5는 본 발명의 수치제어장치에서의 에너지 소모량 산출의 일실시예를 도시하고 있다. 도 5 최우측에 속도프로파일이 도시되어 있는데, 도시된 바와 같이 시간이 0~ $t_1$  범위에서는 속도가 일정하게 증가하고(등가속),  $t_1$ ~ $t_2$  범위에서는 속도가 일정하게 유지되고(등속),  $t_2$ ~ $t_3$  범위에서는 속도가 일정하게 감소한다(등감속). 즉 이 경우 도 5 최우측에 기재된 바와 같이 속도( $\dot{x}$ ) 및 가속도( $\ddot{x}$ )가 모두 간단한 상수식 또는 일차식으로 나타난다.

[0054] 앞서 설명한 바와 같이, 에너지 소모량( $E$ )은 전체 일률손실( $P_{total}$ )을 시간에 대해 적분하여 구할 수 있으며, 전체 일률손실( $P_{total}$ )은 요소별로 분류될 수 있고 서로가 연관되어 있지 않으므로, 각각을 시간에 대해 적분하여 합하기만 하면 쉽게 에너지 소모량을 구할 수 있다. 도 5에서는 시간을 0에서  $t$ 까지로 하였으나, 가공작업 시작시간을  $t_i$ , 가공작업 마침시간을  $t_o$ 라고 일반화하면, 에너지 소모량( $E$ )을 구하는 수식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

[0055] 
$$\begin{aligned} E &= \int_{t_i}^{t_o} P_{total} dt = \int_{t_i}^{t_o} (P_e + P_m + P_p) dt \\ &= \int_{t_i}^{t_o} \{ (k_0 + k_1 \dot{x} + k_2 \dot{x}^2) + (M \ddot{x} \dot{x} + F_f \dot{x} + F_d \dot{x}) + P_p \} dt \end{aligned}$$

[0056] 상기 에너지 소모량( $E$ ) 산출 수식에 시간에 따른 속도( $\dot{x}$ ) 및 가속도( $\ddot{x}$ ) 관계식을 적용함으로써 쉽게 에너지 소모량을 산출할 수 있다. 더구나 도 5의 실시예에서 속도( $\dot{x}$ ) 및 가속도( $\ddot{x}$ ) 관계식은 간단한 상수식 또는 일차식으로 나타나는 바, 이 경우 에너지 소모량은 수동으로도 쉽게 계산할 수 있을 만큼 비약적으로 적은 연산부하를

요구한다. 즉 본 발명과 같은 방식으로 에너지 소모량을 산출할 경우, 종래에 비해 엄청나게 빠른 속도로 에너지 소모량을 산출해 낼 수 있음을 직관적으로 확인할 수 있는 것이다.

[0057] 본 발명에서 상기 에너지 소모량 예측기(550)는, 기본적으로 상술한 바와 같이 상기 해석기(510)로부터 산출된 속도프로파일을 사용하여 에너지 소모량을 산출하나, 조금 더 나아가 상기 보간기(520)로부터 산출된 상기 보간 속도프로파일을 사용하여 에너지 소모량을 산출할 수도 있다. 상기 보간기(520)로부터 산출되는 정보는 상기 해석기(510)로부터 산출된 정보를 보다 실제 동작에 근사하도록 보간한 것이기 때문에 실질적으로 상기 해석기(510)로부터 산출된 정보와 크게 다르지는 않으나, 이와 같이 함으로써 실제 가공 시의 에너지 소모량에 보다 근접한 에너지 소모량을 산출할 수 있다. 일반적으로 상기 해석기(510)로부터 산출된 속도프로파일은 직선형 가감속, S자형 가감속 등의 형태이며, 상기 보간기(520)까지 거쳐 산출된 속도프로파일은 블록 오버랩(block overlap), 코너 블렌딩(corner blending) 등의 형태일 수 있다. 물론 이 모두가 시간함수 형태로 나타나며 상기 에너지 소모량 예측기(550)는 이를 시간적분하여 에너지 소모량을 산출하므로, 상기 해석기(510) 또는 상기 보간기(520) 어디에서 산출된 속도프로파일이든 문제없이 사용할 수 있다.

[0058] 도 6은 본 발명의 수치제어장치의 실제 실험장치 구성 및 실험에 사용된 가공대상의 가공결과물을 도시하고 있다. 도 6 상측도면에 도시된 실제 실험장치에 사용된 CNC 공작기계에서, 카바이드 재질, 직경 1mm, 홈 개수 2개인 공구를 사용하여, 작업조건은 절삭깊이 1mm, 이송속도 120mm/min, 스핀들속도 10000RPM으로 하였다. 또한 가공대상은 SUS 303 재질인 것을 사용하여, 도 6 하측도면에 도시된 바와 같은 형상의 홈을 만드는 가공작업을 수행하였다.

[0059] 도 7은 속도프로파일 및 에너지 소모량 예측값의 예시를 도시한 것이다. 도 7 상측그래프는 도 6 하측도면과 같은 가공을 수행하기 위한 Y축방향의 속도프로파일을 나타낸 것이다. 속도가 일정 상수값에서 다른 상수값으로 바뀔 때, 도 7 상측그래프 상에서는 속도값 변화가 수직하게 이루어지는 것처럼 보일 수 있지만, 실질적으로는 최상측에 도시된 확대그래프에 보이는 바와 같이 급격한 기울기이기는 하지만 선형으로 변화하는 양상으로 속도값 변화가 이루어진다. 도 7 하측그래프는 이러한 속도프로파일을 기반으로 하여 앞서 설명한 바와 같은 여러 수식들을 이용해 에너지 소모량을 실시간으로 산출하여 예측한 것이다.

[0060] 도 8은 스핀들 및 모터에서의 에너지 소모량 측정값 및 예측값을 비교한 그래프이다. 도 6의 실험장치는 실험자에 의해 완전히 통제되고 있으므로 에너지 소모량을 실제로 측정할 수도 있으며, 그렇게 실제로 측정된 에너지 소모량 측정값("Measured")이 파란색 실선으로 표시되어 있다. 또한 앞서 설명한 바와 같은 본 발명의 수치제어장치 및 방법을 사용하여 예측한 에너지 소모량 예측값("Estimated")이 빨간색 점선으로 표시되어 있다. 도 8의 그래프로도 직관적으로 확인할 수 있는 바와 같이, 본 발명의 수치제어장치 및 방법을 사용하여 산출한 에너지 소모량 예측값은 실제 측정값을 상당히 비슷하게 추종하는 것을 알 수 있다. 보다 구체적으로는, 하기의 표 1에 나타난 바와 같이, 본 발명에 의한 예측값은 측정값과 비교하여 전체적으로 94% 정도의 정확도를 보였다.

표 1

	Measurement [J]	Estimation [J]	Accuracy [%]
Spindle	1154.2	1226.1	93.7
Motor	50.8	48.2	94.8
Total	1205.1	1274.3	94.2

[0061]

[0062] 한편 이러한 예측값을 산출해 내기 위하여 걸린 시간은 MATLAB R2020a를 사용하여 단지 0.5초밖에 걸리지 않았다. 즉 본 발명에 의하면, 도 8의 그래프 및 표 1의 결과로 확인되는 바와 같이 에너지 소모량 예측값이 94% 이상의 높은 정확도를 가질 뿐만 아니라, 종래와 비교하였을 때 엄청나게 고속으로 에너지 소모량을 예측해 낼 수 있음을 확인할 수 있다.

[0063] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실

시가 가능한 것은 물론이다.

**부호의 설명**

[0064]

100 : CNC 공작기계

110 : 가공유닛

111 : 공구

112 : 가공모터

120 : 이송유닛

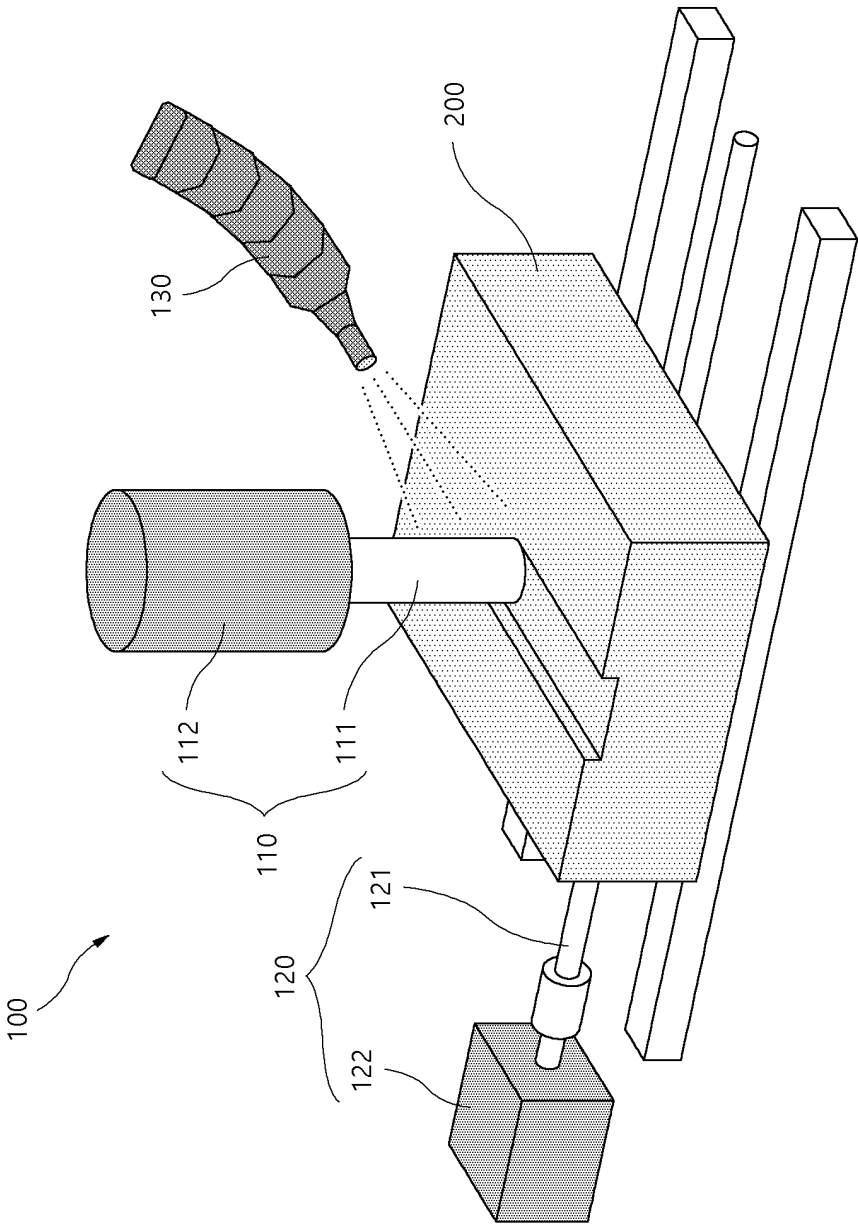
121 : 프레임

122 : 이송모터

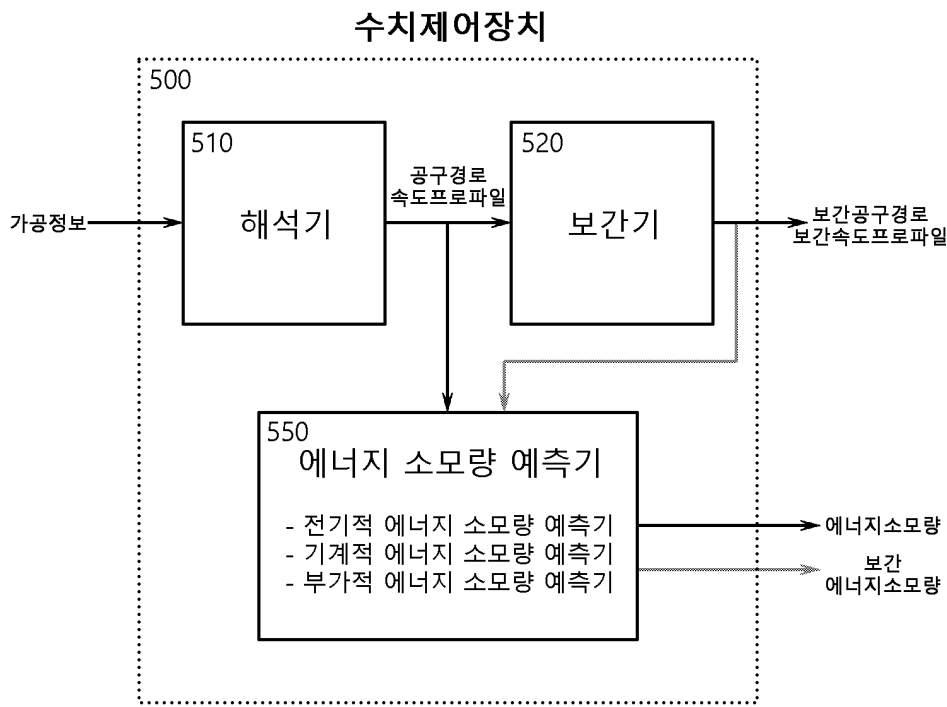
130 : 부가유닛

도면

도면1

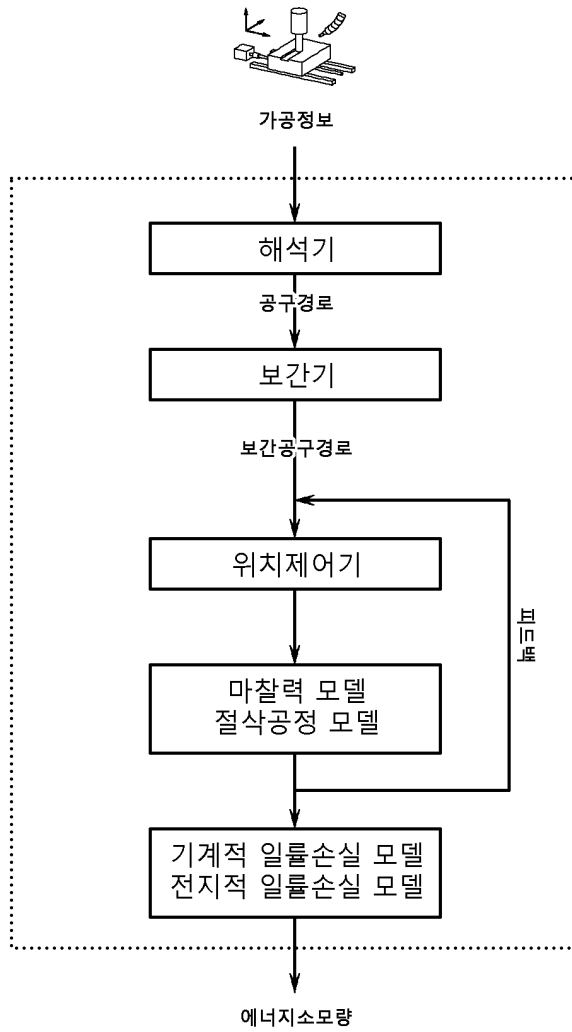


도면2



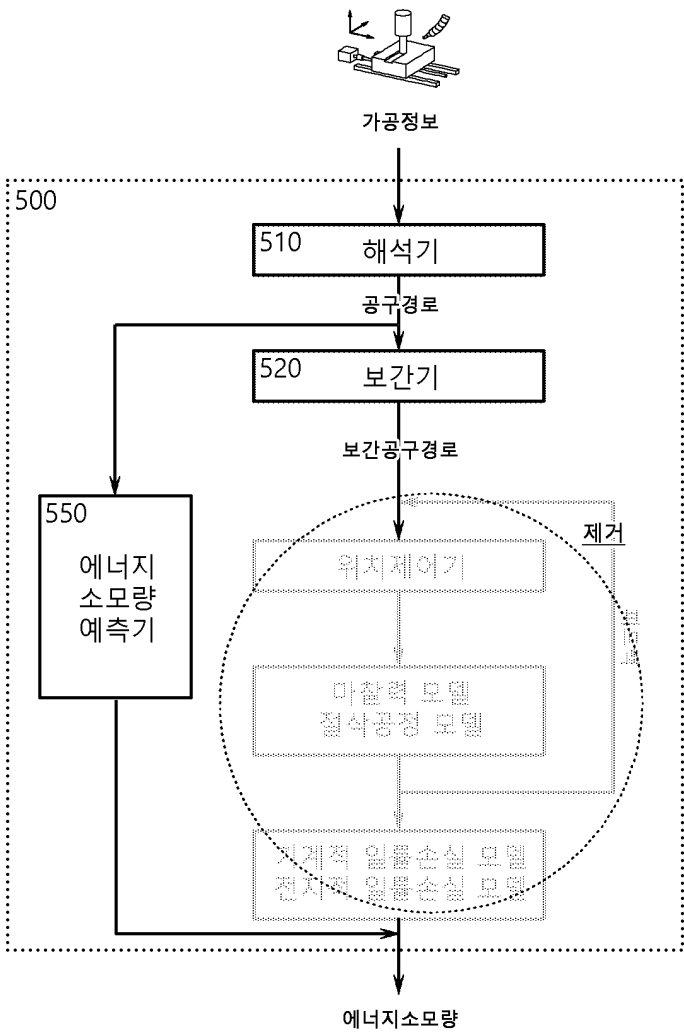


도면3

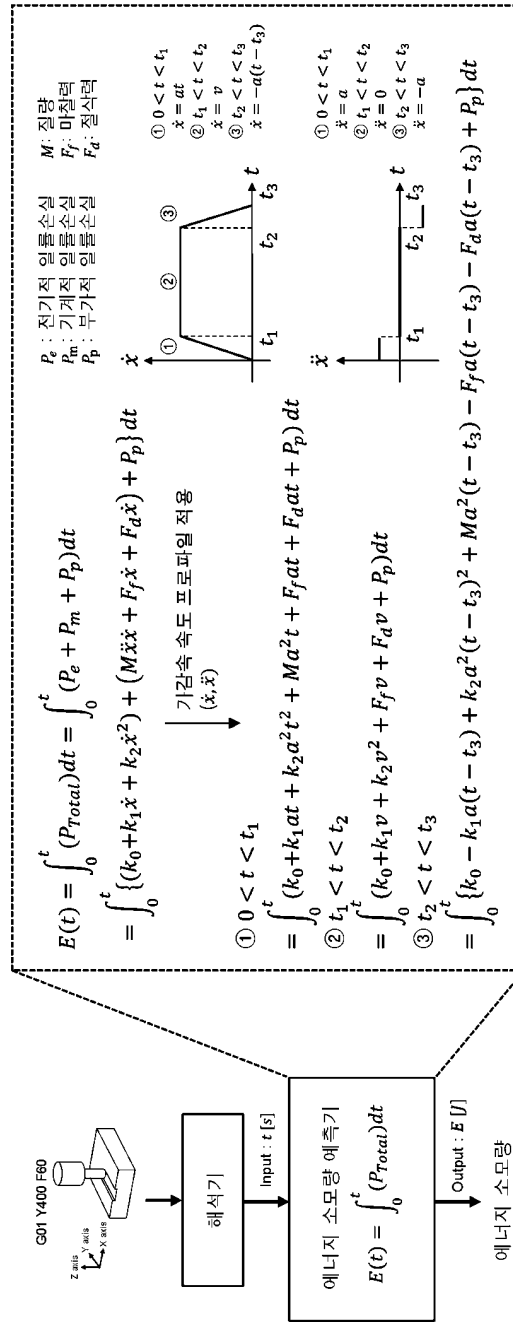




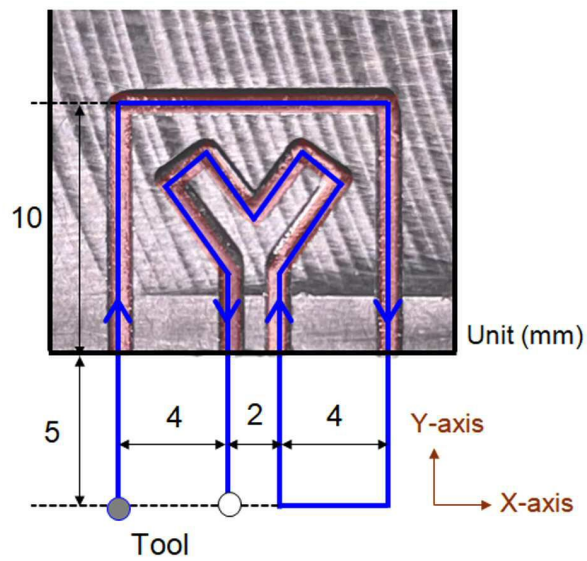
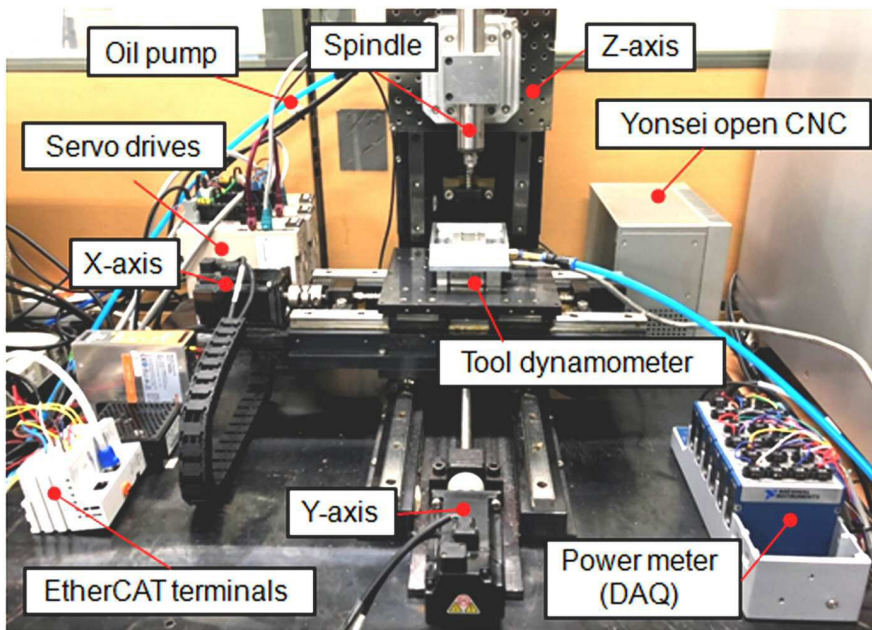
도면4



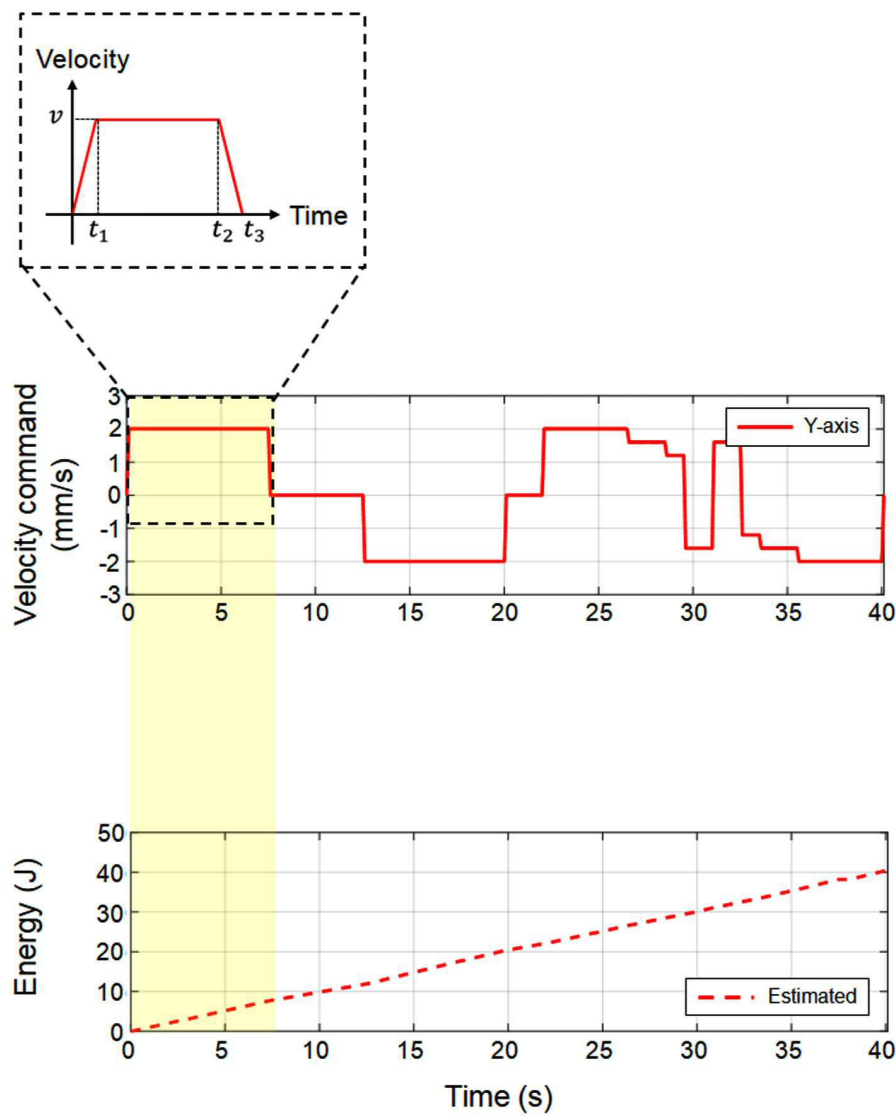
도면5



도면6



도면7



도면8

