



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년04월06일
(11) 등록번호 10-1846793
(24) 등록일자 2018년04월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 19/418 (2006.01) G06Q 50/02 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G05B 19/41885 (2013.01)
G05B 19/41865 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0134300
(22) 출원일자 2017년10월17일
심사청구일자 2017년10월17일
(56) 선행기술조사문헌
KR100683477 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
신승준
부산광역시 남구 분포로 111, 102동 402호(
용호동, 엘지메트로시티)
(74) 대리인
남건필, 박중수, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 강석제

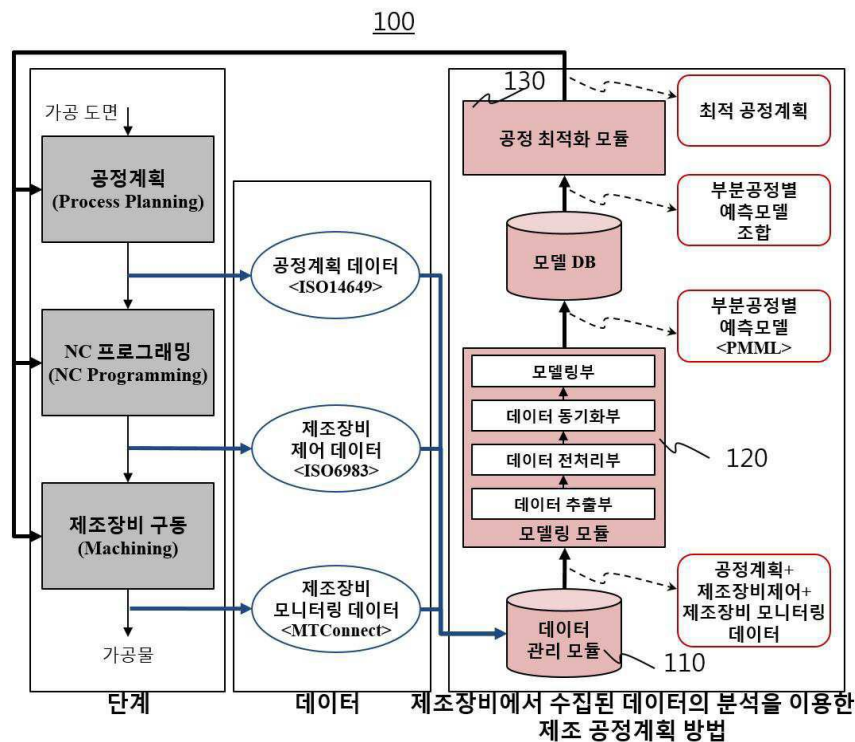
(54) 발명의 명칭 제조 장비에서 수집된 데이터의 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템

(57) 요약

본 발명은 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템에 관한 것으로, 본 발명에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법은 데이터 관리 모듈이 제조 장비를 이용한 제조 과정 도중에 생성된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



비 모니터링 데이터를 수집하여 저장하는 단계, 모델링 모듈이 상기 데이터 관리 모듈에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고, 각 부분 공정별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하여 저장하는 단계 및 적어도 하나 이상의 부분 공정으로 구성된 목표 공정이 입력되면, 공정 최적화 모듈이 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분하고, 각 부분 공정들에 대한 최적 모델을 상기 저장된 예측 모델에서 추출 및 조합하여 상기 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G06Q 10/0631 (2013.01)

G06Q 50/02 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017046437

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업

연구과제명 사이버-물리 제조시스템을 위한 데이터 애널리틱스 클라우드 플랫폼 개발

기 여 율 1/1

주관기관 부경대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2018.05.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

데이터 관리 모듈이 제조 장비를 이용한 제조 과정 도중에 생성된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 수집하여 저장하는 단계;

모델링 모듈이 상기 데이터 관리 모듈에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고, 각 부분 공정별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하여 저장하는 단계; 및

적어도 하나 이상의 부분 공정으로 구성된 목표 공정이 입력되면, 공정 최적화 모듈이 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분하고, 각 부분 공정들에 대한 최적 모델을 상기 저장된 예측 모델에서 추출 및 조합하여 상기 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 단계를 포함하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법으로서,

상기 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 단계는 에너지 소모량이 가장 적은 공정 계획을 생성하되, 하기 수학식 2를 만족하는 공정 계획을 생성하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법:

[수학식 2]

$$E_{\text{machining}} = \int_0^T P_t dt = \sum_{j=1}^N (E_{\text{path},j}) = \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^n e_i \right)_j,$$

$$\arg \min_X E_{\text{machining}} = \sum_{j=1}^N \left(\min \left(\sum_{i=1}^n e_i \right) \right)_j$$

$$\text{subject to } X_j = \{x_{1,j}, x_{2,j}, x_{3,j}, x_{4,j}\},$$

$$\begin{aligned} x_{1,j}^{(L)} &\leq x_{1,j} \leq x_{1,j}^{(U)}, \\ x_{2,j}^{(L)} &\leq x_{2,j} \leq x_{2,j}^{(U)}, \\ x_{3,j}^{(L)} &\leq x_{3,j} \leq x_{3,j}^{(U)}, \\ x_{4,j}^{(L)} &\leq x_{4,j} \leq x_{4,j}^{(U)}, \end{aligned},$$

여기에서, 'Emachining'은 목표 공정에 대한 에너지 소모량, 'Pt'는 구동 동력, 'T'는 시간, 'N'은 부분 공정의 개수, 'Epath,j'는 'j'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'ei'는 'i'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'min'은 최소값 함수, 'Xj'는 'j'번 부분 공정의 원인 데이터 집합(집합 내 원인 데이터의 수는 설정에 의해 변동될 수 있음), x(L)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 하한 값, x(H)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 상한 값.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 공정 최적화 모듈이 상기 생성된 최적 공정 계획을 기초로 상기 제조 장비의 동작을 제어하는 단계를 포함하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제조 장비는 수치제어 프로그램에 의해 제어되는 공작 기계인 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 공정 계획 데이터는 ISO14649 프로그램을 이용하여 수집되고, 상기 제조 장비 제어 데이터는 ISO6983 수치 제어(NC) 프로그램을 이용하여 수집되는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제조 장비에는 MTConnect 에이전트가 구비되며, 상기 데이터 관리 모듈은 상기 MTConnect 에이전트를 통해 수집된 제조 장비 모니터링 데이터를 수신하여 저장하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 모델링 모듈이 예측 모델을 생성하여 저장하는 단계는

부분공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 구성하는 속성 값을 정의하는 단계;

상기 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터에서 부분공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 추출하는 단계;

상기 추출된 원인 데이터와 결과 데이터를 전처리하여 오류 데이터를 제거하는 단계;

상기 원인 데이터와 결과데이터를 시간에 따라 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성하는 단계; 및

상기 훈련 데이터 세트를 기초로 기계학습 또는 회귀분석을 통해 부분 공정별 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하는 단계를 포함하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 부분공정 데이터는

제조 장비 종류, 공구, 윤활제, 가공소재, 가공동작, 가공공정 및 가공 궤적 가운데 적어도 하나를 포함하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 원인 데이터는

가공속도, 스핀들 회전속도, 절삭 깊이 및 절삭 폭 가운데 적어도 하나를 포함하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 결과 데이터는 가공 동력(power), 가공 시간(time) 및 표면 조도 가운데 적어도 하나를 포함하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

청구항 10

제6항에 있어서,

상기 예측 모델을 생성하는 단계는 인공 신경망을 통해 상기 훈련 데이터 세트를 분석하며, 상기 예측 모델은

하기 수학적 식 1에 의해 표현되는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법.

[수학적 식 1]

$$P_t = f_o \left(\sum_{j=0}^p w_{oj} f_h \left(\sum_{i=0}^q w_{ji} x_i \right) \right) + \varepsilon,$$

여기에서, 'x'는 원인 데이터, 'Pt'는 결과 데이터, 'p'와 'q'는 각 layer의 뉴런 개수, 'Woj'와 'Wji'는 각 레이어에 존재하는 각 뉴런의 가중치 값, 'fo'와 'fh'는 시그모이드 함수, 'ε'는 오차값

청구항 11

삭제

청구항 12

제조 장비에서 제조 과정 도중에 생성된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 수집하여 저장하는 데이터 관리 모듈;

상기 데이터 관리 모듈에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고, 각 부분 공정별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하여 저장하는 모델링 모듈; 및

적어도 하나 이상의 부분 공정으로 구성된 목표 공정이 입력되면, 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분하고, 각 부분 공정들에 대한 최적 모델을 상기 저장된 예측 모델에서 추출 및 조합하여 상기 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 공정 최적화 모듈을 포함하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템으로서,

상기 공정 최적화 모듈은 에너지 소모량이 가장 적은 공정 계획을 생성하되, 하기 수학적 식 2를 만족하는 공정 계획을 생성하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템:

[수학적 식 2]

$$E_{\text{machining}} = \int_0^T P_t dt = \sum_{j=1}^N (E_{\text{path},j}) = \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^n e_i \right)_j,$$

$$\arg \min_X E_{\text{machining}} = \sum_{j=1}^N \left(\min \left(\sum_{i=1}^n e_i \right) \right)_j$$

$$\begin{aligned} \text{subject to } X_j &= \{x_{1,j}, x_{2,j}, x_{3,j}, x_{4,j}\}, \\ &\quad x_{1,j}^{(L)} \leq x_{1,j} \leq x_{1,j}^{(U)}, \\ &\quad x_{2,j}^{(L)} \leq x_{2,j} \leq x_{2,j}^{(U)}, \\ &\quad x_{3,j}^{(L)} \leq x_{3,j} \leq x_{3,j}^{(U)}, \\ &\quad x_{4,j}^{(L)} \leq x_{4,j} \leq x_{4,j}^{(U)}, \end{aligned}$$

여기에서, 'Emachining'은 목표 공정에 대한 에너지 소모량, 'Pt'는 구동 동력, 'T'는 시간, 'N'은 부분 공정의 개수, 'Epath,j'는 'j'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'ei'는 'i'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'min'은 최소값 함수, 'Xj'는 'j'번째 부분 공정의 원인 데이터 집합(집합 내 원인 데이터의 수는 설정에 의해 변동될 수 있음), x(L)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 하한 값, x(H)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 상한 값.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 공정 계획 데이터는 ISO14649 프로그램을 이용하여 수집되고, 상기 제조 장비 제어 데이터는 ISO6983 수치 제어(NC) 프로그램을 이용하여 수집되는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 제조 장비에는 MTConnect 에이전트가 구비되며, 상기 데이터 관리 모듈은 상기 MTConnect 에이전트를 통해 수집된 제조 장비 모니터링 데이터를 수신하여 저장하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 모델링 모듈은

원인 데이터와 결과 데이터를 구성하는 속성 값을 정의하고, 상기 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터에서 원인 데이터와 결과 데이터를 추출하며, 상기 추출된 원인 데이터와 결과 데이터를 전처리하여 오류 데이터를 제거하고, 상기 원인 데이터와 결과데이터를 시간에 따라 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성하여 상기 훈련 데이터 세트를 기초로 기계학습 또는 회귀분석을 통해 공정별 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하는 제조장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 모델링 모듈은

인공 신경망을 통해 상기 훈련 데이터 세트를 분석하며, 상기 예측 모델은 하기 수학적 식 1에 의해 표현되는 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템.

[수학적 식 1]

$$P_t = f_o \left(\sum_{j=0}^p w_{oj} f_h \left(\sum_{i=0}^q w_{ji} x_i \right) \right) + \epsilon,$$

여기에서, 'x'는 원인 데이터, 'Pt'는 결과 데이터, 'p'와 'q'는 각 layer의 뉴런 개수, 'Woj'와 'Wji'는 각 레이어에 존재하는 각 뉴런의 가중치 값, 'fo'와 'fh'는 시그모이드 함수, 'ε'는 오차값

청구항 17

제12항에 있어서, 상기 공정 최적화 모듈은

수치제어 프로그램이 실행될 때 수치제어 프로그램의 라인(블록)별로 예측모델을 호출함으로써 부분 공정별 예측모델을 조합하며, 이를 순차적으로 반복함으로써 수치제어 프로그램 한 개에 대한 전체 에너지를 예측하는 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템.

청구항 18

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 제조 장비에서 수집된 데이터의 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 제조 장비를 이용한 제조 과정에서 수집된 데이터를 이용하여 원인 테

이터와 결과 데이터 사이의 연관성을 학습 및 분석하고, 분석 결과를 이용하여 해당 제조 장비에 예측적이고 최적화된 공정 계획을 생성할 수 있는 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 스마트 제조(Smart Manufacturing)는 정보통신기술과 제조기술의 융합을 추구하는 제조 패러다임으로, 스마트 공장(Smart factory)은 스마트 제조의 구현 결과물로 볼 수 있다. 스마트 제조의 핵심기술로는 빅 데이터 분석, 사이버-물리 시스템, 무선 플랫폼, 스마트 로봇틱스, 3D프린팅 적층 제조, 상호 운용성 및 표준 개발 등이 있다.
- [0003] 데이터 분석을 통한 제조 효율화는 스마트 제조에서 중요한 이슈 중 하나이다. 사람들에 의해 만들어진 데이터와 달리 장비에 의해 생산된 데이터는 매우 빠른 시간 안에 방대하게 만들어진다. 데이터의 풍부함과 깊이, 다양성은 기존과 달리 새로운 어려움을 야기하는 반면, 데이터 분석은 과거의 결과에 기반해 미래의 결과를 예측할 수 있는 장점이 있다.
- [0004] 제조업 분야에서는 꾸준히 데이터 분석과 제조실행시스템(MES, Manufacturing Execution System)간 통합을 위한 시도가 있었다. 그러나, 산업분야별 데이터의 생성량, 형태, 사용처, 프로토콜, 무결점 제어 등의 복잡성 및 다양성이 존재하는 제조업 특성상 데이터 분석의 활용은 쉽지 않은 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 10-2015-0056268(2015.05.26), 4쪽 내지 6쪽

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 제조 장비의 제조 과정에서 수집된 데이터를 분석하여, 해당 제조 장비에 대해 최적화된 공정 계획을 수립할 수 있는 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템을 제공한다.
- [0007] 본 발명은 제조 장비의 구동과정에서 생성된 실제 데이터를 수집하고 이를 분석하여 성능 예측 모델을 생성함으로써, 실제 제조 장비 구동 전에 예측 모델을 통해 해당 제조 장비의 성능을 예측할 수 있는 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템을 제공한다.
- [0008] 본 발명은 제조 장비의 에너지 사용 효율화를 통해 선진국을 중심으로 한 친환경 제품 개발 규제에 대응할 수 있는 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법은 데이터 관리 모듈이 제조 장비를 이용한 제조 과정 도중에 생성된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 수집하여 저장하는 단계, 모델링 모듈이 상기 데이터 관리 모듈에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고, 각 부분 공정별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하여 저장하는 단계 및 적어도 하나 이상의 부분 공정으로 구성된 목표 공정이 입력되면, 공정 최적화 모듈이 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분하고, 각 부분 공정들에 대한 최적 모델을 상기 저장된 예측 모델에서 추출 및 조합하여 상기 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0010] 일 실시예에서, 상기 데이터를 이용한 제조 공정 계획 방법은 상기 공정 최적화 모듈이 상기 생성된 최적 공정 계획을 기초로 상기 제조 장비의 동작을 제어하는 단계를 포함한다.

- [0011] 일 실시예에서, 상기 제조 장비는 수치제어 프로그램에 의해 제어되는 공작 기계를 포함한다.
- [0012] 일 실시예에서, 상기 공정 계획 데이터는 ISO14649 프로그램을 이용하여 수집되고, 상기 제조 장비 제어 데이터는 ISO6983 수치제어(NC) 프로그램을 이용하여 수집된다.
- [0013] 일 실시예에서, 상기 제조 장비에는 MTConnect 에이전트가 구비되며, 상기 데이터 관리 모듈은 상기 MTConnect 에이전트를 통해 수집된 제조 장비 모니터링 데이터를 수신하여 저장한다.
- [0014] 일 실시예에서, 상기 모델링 모듈이 예측 모델을 생성하여 저장하는 단계는 부분 공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 구성하는 속성 값을 정의하는 단계, 상기 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터에서 부분 공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 추출하는 단계, 상기 추출된 원인 데이터와 결과 데이터를 전처리하여 오류 데이터를 제거하는 단계, 상기 원인 데이터와 결과데이터를 시간에 따라 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성하는 단계 및 상기 훈련 데이터 세트를 기초로 기계 학습 또는 회귀분석을 통해 부분 공정별 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0015] 일 실시예에서, 상기 부분 공정 데이터는 제조 장비 종류, 공구, 윤활제, 가공소재, 가공공정, 가공명령 및 가공 궤적 가운데 적어도 하나를 포함한다.
- [0016] 일 실시예에서, 상기 원인 데이터는 가공속도, 스핀들 회전속도, 절삭깊이 및 절삭폭 가운데 적어도 하나를 포함한다.
- [0017] 일 실시예에서, 상기 결과 데이터는 가공 동력(power), 가공 시간(time) 및 표면 조도 가운데 적어도 하나를 포함한다.
- [0018] 일 실시예에서, 상기 예측 모델을 생성하는 단계는 인공 신경망을 통해 상기 훈련 데이터 세트를 분석하며, 상기 예측 모델은 하기 수학적 식 1에 의해 표현된다.
- [0019] [수학적 식 1]

$$P_t = f_o \left(\sum_{j=0}^p w_{oj} f_h \left(\sum_{i=0}^q w_{ji} x_i \right) \right) + \varepsilon,$$

- [0020]
- [0021] 여기에서, 'x'는 원인 데이터, 'Pt'는 결과 데이터, 'p'와 'q'는 각 layer의 뉴런 개수, 'Woj'와 'Wji'는 각 레이어에 존재하는 각 뉴런의 가중치 값, 'fo'와 'fh'는 시그모이드 함수, 'ε'는 오차값
- [0022] 일 실시예에서, 상기 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 단계는 에너지 소모량이 가장 적은 공정 계획을 생성하되, 하기 수학적 식 2를 만족하는 공정 계획을 생성한다.
- [0023] [수학적 식 2]

$$E_{\text{machining}} = \int_0^T P_t dt = \sum_{j=1}^N (E_{\text{path},j}) = \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^n e_i \right)_j,$$

$$\arg \min_X E_{\text{machining}} = \sum_{j=1}^N \left(\min \left(\sum_{i=1}^n e_i \right) \right)_j$$

$$\text{subject to } X_j = \{x_{1,j}, x_{2,j}, x_{3,j}, x_{4,j}\},$$

$$\begin{aligned} x_{1,j}^{(L)} &\leq x_{1,j} \leq x_{1,j}^{(U)}, \\ x_{2,j}^{(L)} &\leq x_{2,j} \leq x_{2,j}^{(U)}, \\ x_{3,j}^{(L)} &\leq x_{3,j} \leq x_{3,j}^{(U)}, \\ x_{4,j}^{(L)} &\leq x_{4,j} \leq x_{4,j}^{(U)}, \end{aligned}$$

[0024]

[0025]

여기에서, 'Emachining'은 목표 공정에 대한 에너지 소모량, 'Pt'는 구동 동력, 'T'는 시간, 'N'은 부분 공정의 개수, 'Epath,j'는 'j'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'ei'는 'i'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'min'은 최소값 함수, 'Xj'는 'j'번 부분 공정의 원인 데이터 집합(집합 내 원인 데이터의 수는 설정에 의해 변동될 수 있음), x(L)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 하한 값, x(H)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 상한 값

[0026]

본 발명에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템은 제조 장비에서 제조 과정에서 생성된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 수집하여 저장하는 데이터 관리 모듈, 상기 데이터 관리 모듈에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고, 각 부분 공정별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하여 저장하는 모델링 모듈 및 적어도 하나 이상의 부분 공정으로 구성된 목표 공정이 입력되면, 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분하고, 각 부분 공정들에 대한 최적 모델을 상기 저장된 예측 모델에서 추출 및 조합하여 상기 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 공정 최적화 모듈을 포함한다.

[0027]

일 실시예에서, 상기 공정 계획 데이터는 ISO14649 프로그램을 이용하여 수집되고, 상기 제조 장비 제어 데이터는 ISO6983 프로그램을 이용하여 수집된다.

[0028]

일 실시예에서, 상기 제조 장비에는 MTConnect 에이전트가 구비되며, 상기 데이터 관리 모듈은 상기 MTConnect 에이전트를 통해 수집된 제조 장비 모니터링 데이터를 수신하여 저장한다.

[0029]

일 실시예에서, 상기 모델링 모듈은 부분 공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 구성하는 속성 값을 정의하고, 상기 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터에서 부분 공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 추출하며, 상기 추출된 원인 데이터와 결과 데이터를 전처리하여 오류 데이터를 제거하고, 상기 원인 데이터와 결과데이터를 시간에 따라 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성하여 상기 훈련 데이터 세트를 기초로 학습을 통해 부분 공정별 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성한다.

[0030]

일 실시예에서, 상기 모델링 모듈은 인공 신경망을 통해 상기 훈련 데이터 세트를 분석하며, 상기 예측 모델은 하기 수학적 1에 의해 표현된다.

[0031]

[수학적 1]

$$P_t = f_o \left(\sum_{j=0}^p w_{oj} f_h \left(\sum_{i=0}^q w_{ji} x_i \right) \right) + \varepsilon,$$

[0032]

[0033]

여기에서, 'x'는 원인 데이터, 'Pt'는 결과 데이터, 'p'와 'q'는 각 layer의 뉴런 개수, 'Woj'와 'Wji'는 각

레이어에 존재하는 각 뉴런의 가중치 값, 'fo'와 'fh'는 시그모이드 함수, 'ε'는 오차값

[0034] 일 실시예에서, 상기 공정 최적화 모듈은 수치제어 프로그램이 실행될 때 수치제어 프로그램의 라인(블록)별로 예측모델을 호출함으로써 부분 공정별 예측모델을 조합하며, 이를 순차적으로 반복함으로써 수치제어 프로그램 한 개에 대한 전체 에너지를 예측한다.

[0035] 일 실시예에서, 상기 공정 최적화 모듈은 에너지 소모량이 가장 적은 공정 계획을 생성하되, 하기 수학적 2를 만족하는 공정 계획을 생성한다.

[0036] [수학적 2]

$$E_{\text{machining}} = \int_0^T P_t dt = \sum_{j=1}^N (E_{\text{path},j}) = \sum_{j=1}^N \left(\sum_{t=1}^n e_t \right)_j,$$

$$\begin{aligned} \arg \min_X E_{\text{machining}} &= \sum_{j=1}^N \left(\min \left(\sum_{i=1}^n e_i \right) \right)_j \\ \text{subject to } X_j &= \{x_{1,j}, x_{2,j}, x_{3,j}, x_{4,j}\}, \\ &\quad x_{1,j}^{(L)} \leq x_{1,j} \leq x_{1,j}^{(U)}, \\ &\quad x_{2,j}^{(L)} \leq x_{2,j} \leq x_{2,j}^{(U)}, \\ &\quad x_{3,j}^{(L)} \leq x_{3,j} \leq x_{3,j}^{(U)}, \\ &\quad x_{4,j}^{(L)} \leq x_{4,j} \leq x_{4,j}^{(U)}, \end{aligned}$$

[0037]

[0038] 여기에서, 'Emachining'은 목표 공정에 대한 에너지 소모량, 'Pt'는 구동 동력, 'T'는 시간, 'N'은 부분 공정의 개수, 'Epath,j'는 'j'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'ei'는 'i'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'min'은 최소값 함수, 'Xj'는 'j'번 부분 공정의 원인 데이터 집합(집합 내 원인 데이터의 수는 설정에 의해 변동될 수 있음), x(L)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 하한 값, x(H)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 상한 값

발명의 효과

[0039] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템은 제조 장비의 제조 과정에서 수집된 데이터를 분석하여, 해당 제조 장비에 대해 최적화된 공정 계획을 수립할 수 있다.

[0040] 본 발명에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템은 제조 장비의 구동과정에서 생성된 실제 데이터를 수집하고 이를 분석하여 성능 예측 모델을 생성함으로써, 실제 장비 구동 전에 예측 모델을 통해 해당 제조 장비의 성능을 예측할 수 있다.

[0041] 본 발명에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템은 제조 장비의 에너지 사용 효율화를 통해 선진국을 중심으로 한 친환경 제품 개발 규제에 대응할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템의 구성도

도 2는 도 1의 공정 계획 데이터의 일 예를 나타내는 도면

도 3은 도 1의 제조장비 제어 데이터의 일 예를 나타내는 도면

도 4는 도 1의 제조장비 모니터링 데이터의 일 예를 나타내는 도면

도 5는 부분공정 데이터의 일 예를 나타내는 도면

도 6은 부분공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 시간에 따라 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성하는 과정을 설명하는 도면

도 7은 인공지능망을 이용하여 원인 데이터와 결과 데이터간의 예측 모델을 산출하는 과정을 설명하는 도면

도 8은 각 부분공정(프로그램 라인)에 대해 상응하는 예측 모델을 추출 및 조합하여 하나의 수치제어(NC) 프로그램에 대하여 에너지 소모량을 예측하는 과정을 설명하는 도면

도 9는 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 과정을 설명하는 도면

도 10은 각 부분공정에 대해 도 9를 통해 최적 파라미터를 추적함으로써 최적 공정 계획을 생성하는 과정을 그래프 형태로 설명하는 도면

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 이하, 본 발명에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터의 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법 및 이를 이용한 제조 공정 계획 시스템을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

[0044] 선진국을 중심으로 환경규제가 점차 강화됨에 따라, 제조 장비를 이용한 제조업 분야에서는 친환경 제품 개발이 더 이상 선택이 아닌 필수로 자리매김하고 있다. 예를 들어, 유럽연합의 Energy-related Products(ErP) 규정은 에너지 사용 제품에 대한 친환경설계 의무화, 에너지 효율성 증대 의무 등을 제조자에게 부여하여, 이를 만족하지 않는 제품은 시장에서의 판매를 금지하고 있다. 이하에서는, 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 제조 공정 계획의 최적화를 통해 제조 장비의 효율성을 향상시킬 수 있는 제조 장비에서 수집된 데이터의 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템을 설명하기로 한다.

[0045] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터의 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템의 구성도이다.

[0046] 도 1을 참조하면, 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템(100)은 데이터 관리 모듈(110), 모델링 모듈(120) 및 공정 최적화 모듈(130)을 포함할 수 있다.

[0047] 물리적 공장에는 제품의 제조에 필요한 제조 객체(Man, Machine, Material)가 제조 공정에 따라 적어도 하나 이상 구비될 수 있다. 제조 장비(Machine)는 설정된 제조 공정에 따라 재료(Material)를 가공하여 제품(중간재 또는 최종재)을 생산할 수 있다.

[0048] 예를 들어, 목적 제품(part design)이 정해지면, 해당 목적 제품을 생산하기 위한 공정 계획(Process planning)이 설정된다. 공정 계획 모듈은 공정 계획을 설정할 수 있으며, 공정 계획에는 적어도 하나 이상의 부분 공정과 해당 부분 공정을 수행하는 제조 장비가 포함될 수 있다. 공정 계획은 사용자에게 의해 설정될 수도 있고, 어플리케이션에 의해 자동으로 설정될 수도 있다. 공정 계획이 설정된 경우, 해당 공정을 수행하는 제조 장비를 구동하기 위한 명령이 프로그래밍(Programming) 된다. 프로그래밍 모듈은 각 제조 장비에 대응되는 명령을 프로그래밍할 수 있다. 제조 장비는 프로그래밍 모듈로부터 명령을 수신하여 구동을 시작하고 재료를 가공하여 제품(machined part)을 생산한다.

[0049] 공정 계획 모듈, 프로그래밍 모듈 및 제조 장비에는 각각 에이전트(agent)가 구비될 수 있다. 에이전트는 동적인 환경에서 작동하고, 자율적이고 지능적인 행위를 수행할 수 있는 컴퓨팅 시스템을 포함한다. 각 에이전트는 공정 최적화 모듈(130)로부터 수신된 데이터를 기초로 공정 계획을 설정하거나 프로그래밍을 수행하거나 또는 제조 장비를 제어할 수 있다.

- [0050] 일 실시예에서, 각 에이전트는 해당 모듈 또는 제조 장비의 동작 과정에서 생성된 데이터를 수집하여 데이터 관리 모듈(110)로 전송한다. 동작 과정에서 생성된 데이터는 축적되어 해당 제조 장비의 특성을 분석하기 위한 데이터로 사용될 수 있다.
- [0051] 일 실시예에서, 모듈 또는 장비에 임베디드된 에이전트는 동작 과정에서 생성된 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 네트워크 통해 데이터 관리 모듈(110)에 전송할 수 있다. 예를 들어, 공정 계획 모듈에 임베디드된 에이전트는 ISO14649 프로그램을 통해 공정 계획 데이터를 수집한다. ISO14649는 객체(Entity)와 속성(Attribute)을 이용하여 공정 계획 데이터를 계층적으로 표현할 수 있다. 도 2는 ISO14649에 의해 표현되는 공정 계획 데이터의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0052] 도 2를 참조하면, 공정 계획 데이터는 제조 장비(machining tool), 제조 장비 하위 시스템(machining tool sub-systems), 가공 워킹 스텝(machining workingstep), 제조 형상(machining feature), 가공소재(workpiece), 가공 공정(machining operation), 가공 공구(tool), 가공 기술(technology) (e.g., spindle, speed, feed.. etc), 가공 전략(strategy) (e.g., cutting, depth. etc) 및 공구 경로(tool path) 가운데 적어도 하나 이상을 객체로 포함하며, 각 객체에는 속성이 정의될 수 있다. 도 2의 공정 계획 데이터의 객체 및 속성의 종류나 개수, 계층 표현은 일 예이며 구현예에 따라 달라질 수 있다.
- [0053] 일 실시예에서, 프로그래밍 모듈에 임베디드된 에이전트는 동작 과정에서 생성된 제조장비 제어 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 네트워크 통해 데이터 관리 모듈(110)에 전송할 수 있다. 예를 들어, 제조 장비가 수치 제어(NC, Numerical Control) 프로그램에 의해 제어되는 공작기계인 경우, 에이전트는 ISO6983 프로그램을 이용하여 제조장비 제어 데이터를 수집할 수 있다. ISO6983은 NC 코드 및 코드유형 속성을 이용하여 NC 프로그래밍 데이터를 계층적으로 표현할 수 있다. 도 3은 ISO6983에 의해 표현되는 제조장비 제어 데이터의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0054] 도 3을 참조하면, 제조장비 제어 데이터는 프로그램(program), 준비 기능(preparatory function) (G 코드), 위치 기능(dimension function) (X/Y/Z 코드), 피드 기능(feed function) (F 코드), 보조 기능(auxiliary function) (M 코드) 및 스핀들 회전 기능(spindle speed function) (S 코드) 가운데 적어도 하나 이상을 NC 코드로 포함하며, 각각 속성이 정의될 수 있다. 도 3의 제조장비 제어 데이터의 NC 코드 및 속성의 종류나 개수, 계층 표현은 일 예이며 구현 예에 따라 달라질 수 있다.
- [0055] 일 실시예에서, 제조 장비에 임베디드된 에이전트는 해당 장비의 동작 과정에서 생성된 제조장비 모니터링 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 네트워크 통해 데이터 관리 모듈(110)에 전송할 수 있다. 예를 들어, 제조 장비가 수치 제어(NC, Numerical Control) 프로그램에 의해 제어되는 공작기계인 경우, 에이전트는 MTConnect 프로그램을 이용하여 제조장비 모니터링 데이터를 수집할 수 있다. MTConnect는 장비 내 구성 시스템의 구동에 관한 측정 데이터를 계층적으로 표현할 수 있다. MTConnect 데이터는 타임스탬프(Timestamp)가 존재하는 시계열 형태의 동적인 데이터로써, 에이전트는 제조장비 제어기 및 측정기들로부터 수집된 원시 데이터를 기초로 기 정의된 포맷의 MTConnect 데이터를 생성할 수 있다. 도 4는 MTConnect에 의해 표현되는 제조장비 모니터링 데이터의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0056] 도 4를 참조하면, 제조장비 모니터링 데이터는 제조 장비(device), 축(axes), 시스템(system), 컨트롤러(controller), X축(Linear X-axis), Y축(Linear Y-axis), Z축(Linear Z-axis), C축(Rotary C-axis) 및 경로(Path) 가운데 적어도 하나 이상의 데이터를 포함하며, 각각 속성이 정의될 수 있다. 예를 들어, 시스템(system)에는 제조 장비에서 측정된 가공 동력(power)이 포함되며, X축(Linear X-axis), Y축(Linear Y-axis), Z축(Linear Z-axis) 및 C축(Rotary C-axis)에는 각각 제조 장비에서 측정된 x축, y축, z축 및 c축 좌표 위치가 포함될 수 있다. 도 4의 제조장비 모니터링 데이터의 종류나 개수, 계층 표현은 일 예이며 구현 예에 따라 달라질 수 있다.
- [0057] 다시 도 1을 참조하면, 데이터 관리 모듈(110)은 제조 장비를 이용한 제조 과정 도중에 생성된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 수집하여 저장한다. 데이터 관리 모듈(110)에 저장된 데이터는 축적되어 해당 제조 장비의 특성 및 성능을 분석하기 위한 데이터로 사용될 수 있다. 이하에서는, 설명의 편의를 위해 제조 장비가 수치 제어(NC, Numerical Control) 프로그램에 의해 제어되는 공작기계인 경우를 가정하여 설명하기로 한다.
- [0058] 모델링 모듈(120)은 데이터 관리 모듈(110)에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비

모니터링 데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고, 각 부분 공정별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하여 저장한다. 모델링 모듈(120)은 데이터 추출부, 데이터 전처리부, 데이터 동기화부 및 모델링부를 포함할 수 있다.

[0059] 데이터 추출부는 데이터 관리 모듈(110)에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터에서 모델링에 필요한 데이터를 추출한다. 예를 들어, 데이터 추출부는 데이터 관리 모듈(110)에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터에서 부분공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 추출할 수 있다. 원인 데이터와 결과 데이터를 구성하는 속성은 사용자에게 의해 미리 설정될 수 있다. 또는, 원인 데이터와 결과 데이터를 구성하는 속성은 사전에 수행된 데이터 사이의 연관성 분석 결과를 기초로 결과 데이터에 영향을 주는 원인 데이터를 분석하여 자동으로 설정될 수도 있다.

[0060] 도 5는 부분공정 데이터의 일 예를 나타내는 도면이다.

[0061] 도 5를 참조하면, 부분공정 데이터를 구성하는 속성은 제조 장비(Machine), 가공 공구(Tool), 윤활제(Cooling), 가공소재(Material), 가공공정(Operation), 가공명령(또는, NC 코드)(Command) 및 가공 궤적(Trajectory)을 포함할 수 있다. 도 5의 부분공정 데이터를 구성하는 속성은 일 예이며 구현 예에 따라 달라질 수 있다. 부분공정을 정의하는 이유는 부분공정의 속성에 따라 원인 데이터에 대한 결과 데이터 값이 다르게 나타나기 때문에 각기 다른 예측 모델을 만들어야 하기 때문이다. 예를 들어, 각기 다른 제조 장비 A, B는 각기 다른 성능을 가지고 있다. 따라서 제조 장비 A에서 생성된 예측 모델을 제조 장비 B에 그대로 적용한다면 예측의 정확성이 낮아지기 때문이다. 마찬가지로, NC 프로그램을 순차적으로 쪼개보면, 가공공정, 가공명령 및 가공궤적 등에 따라 원인 데이터에 대한 결과 데이터 값이 다를 수 있으므로, 이들의 집합을 부분공정으로 정의할 필요가 있다.

[0062] 도 5와 같은 부분공정 데이터의 속성이 정해진 경우, 데이터 추출부는 데이터 관리 모듈(110)에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터에서 해당 속성 값을 추출할 수 있다.

[0063] 데이터 전처리부는 추출된 원인 데이터와 결과 데이터를 전처리하여 해당 데이터에서 오류 데이터를 제거한다. 데이터 관리 모듈(110)에 저장된 원시 데이터에는 누락된 데이터 또는 오류 데이터가 포함될 수 있다. 이러한 오류 데이터는 예측 모델의 불확실성을 가중시킬 수 있으므로 모델링 전에 제거되어야 한다.

[0064] 데이터 전처리부는 데이터 클리닝(cleaning), 정규화(normalization), 변형화(transformation) 및 이상치(outlier) 제거 가운데 적어도 하나의 전처리 과정을 통해 비신뢰적이거나 노이즈가 존재하는 데이터를 제거하여 데이터 불확실성을 줄일 수 있다. 예를 들어, 제조 장비의 최소 기계동력보다 작은 가공동력 값은 오류 데이터로 제거될 수 있다. 또한, 제조 장비의 최대 기계동력보다 큰 가공동력 값은 오류 데이터로 제거될 수 있다.

[0065] 데이터 동기화부는 원인 데이터와 결과데이터를 시간에 따라 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성한다. 일 실시예에서, 데이터 동기화부는 원인 데이터와 결과데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성할 수 있다.

[0066] 예를 들어, 1개의 NC 프로그램에 36개의 다른 부분 공정이 존재한다면 각각의 부분 공정에 대해 예측 모델을 생성하기 위한 각각의 즉, 36개의 훈련 데이터 세트가 필요하다. 이러한 경우, 데이터 동기화부는 각 부분 공정에 대한 원인 데이터와 결과 데이터를 추출하여 훈련 데이터 세트를 생성할 수 있다. 이하에서는 설명의 편의를 위해, 도 5에 정의된 데이터를 부분공정 데이터로 하고, 이송속도(feedrate), 스핀들 회전속도(spindle speed), 절삭 깊이(cutting depth), 절삭 폭(cutting width)를 원인 데이터로 하며, 제조 장비의 가공 동력(power)을 결과 데이터로 하여 에너지 소모 예측 모델을 생성하는 경우를 가정하여 설명하기로 한다. 결과 데이터는 가공 동력(power) 외에 가공 시간(time) 또는 표면 조도가 될 수도 있으며, 정해진 결과 데이터의 종류에 따라 원인 데이터의 종류도 다르게 정해질 수도 있다.

[0067] 도 6은 부분공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 시간에 따라 동기화하여 훈련 데이터 세트를 생성하는 과정을 설명하는 도면이다.

[0068] 도 6을 참조하면, 데이터 동기화부는 타임스탬프를 이용하여 공정 계획 데이터(예를 들어, MTConnect 데이터), 제조 장비 제어 데이터(예를 들어, ISO6983 데이터) 및 제조 장비 모니터링 데이터(예를 들어, ISO14649 데이터)에서 추출된 부분공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 동기화할 수 있다. 데이터 동기화부는 MTConnect 데이터 상의 축 위치 데이터를 이용하여 부분공정 데이터, 원인 데이터 및 결과 데이터를 동기화할 수 있다. MTConnect 데이터 상에 가공 동력(power)이 측정된 타임스탬프가 존재하고, 해당 타임스탬프와 일치하거나 근접했을 때의 축 위치 데이터가 존재하며, 데이터 동기화부는 해당 축 위치를 지령한 제조 장비 제어 데이터(예를 들어, ISO6983 데이터) 내의 블록을 역추적할 수 있다. 또한, 수치제어(NC) 프로그램에 의해 제어되

는 공작 기계의 경우, NC 프로그램은 공정 계획 모듈로부터 생성되므로, 데이터 동기화부는 제조 장비 제어 데이터 내의 해당 블록이 공정 계획 데이터 내 어떤 가공 형상, 가공 동작 및 가공 전략(예를 들어, 가공 명령 및 가공 궤적)에 의해 생성된 것인지 역추적할 수 있다.

[0069] 예를 들어, 도 6에서 MTConnect 데이터에서 2,811.5(W)의 가공 동력이 측정된 동일 타임스탬프에서의 축 위치는 (x,y,z = -6.071, 47.808, -1.500)이며, 이는 ISO6983 데이터의 N101 블록 수행 중 발생한 측정 값을 알 수 있다. ISO6983 데이터의 N101 블록은 ISO14649 데이터의 슬롯 형상(#3400)을 위한 가공공정(#500)을 위해 생성되었음을 추적할 수 있다. 상기와 같은 과정을 통해 원인 데이터와 결과 데이터를 동기화할 수 있으며, 데이터 동기화부는 도 6의 하단 표와 같은 훈련 데이터 세트를 생성할 수 있다. 데이터 동기화부는 각 부분 공정에 대해 훈련 데이터 세트를 생성한다.

[0070] 모델링부는 생성된 훈련 데이터 세트를 기초로 학습을 통해 각 부분 공정 별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성한다. 예를 들어, 모델링부는 제조 장비의 가공 동력(power)을 결과 데이터로 하는 에너지 소모 예측 모델을 생성할 수 있다. 모델링부는 데이터 마이닝 그룹에서 제정한 예측 모델 표현방식 표준인 PMML(Predictive Model Markup Language)를 이용하여 예측 모델을 표현할 수 있다.

[0071] 모델링부는 훈련 데이터 세트를 학습하여 각 부분 공정에 대해 수학적 모형으로 표현되는 예측 모델을 생성한다. 모델링부는 기계학습 또는 회귀 분석을 통해 훈련 데이터 세트를 학습할 수 있다. 예를 들어, 모델링부는 인공신경망(Artificial Neural Network) 기법을 통해 훈련 데이터 세트를 학습할 수 있다. 인공신경망으로부터 원인 데이터와 결과 데이터간의 관련성을 수학적 모델로 산출할 수 있다. 하나의 부분공정은 이러한 수학적 모델을 최소 한 개 이상 갖게 되며, 어떤 원인 속성 값들이 정해졌을 때(예를 들어, 입력됐을 때), 예측 결과 속성 값이 해당 수학적 모델에 의해 계산될 수 있다.

[0072] 도 7은 인공신경망을 이용하여 원인 데이터와 결과 데이터간의 예측 모델을 산출하는 과정을 설명하는 도면이다.

[0073] 하기 수식식 1은 예측 모델을 수학적 모델로 표현한 것이다. 여기서, x는 원인속성 변수, y는 결과속성 변수, p와 q는 각 레이어의 뉴런 개수, w_{oj} 와 w_{ji} 는 각 레이어에 존재하는 각 뉴런의 가중치값, f_o 와 f_h 는 시그모이드 함수, ε 는 오차값을 의미한다.

[0074] [수식식 1]

$$P_t = f_o \left(\sum_{j=0}^p w_{oj} f_h \left(\sum_{i=0}^q w_{ji} x_i \right) \right) + \varepsilon,$$

[0075]

[0076] 여기에서, 'x'는 원인 데이터, 'P_t'(또는, 'y')는 결과 데이터, 'p'와 'q'는 각 layer의 뉴런 개수, 'W_{oj}'와 'W_{ji}'는 각 레이어에 존재하는 각 뉴런의 가중치 값, 'f_o'와 'f_h'는 시그모이드 함수, 'ε'는 오차값

[0077] 모델링 모듈(120)은 생성된 예측 모델을 모델 데이터베이스(DB)에 저장한다. 데이터베이스에 저장된 예측 모델들은 추후 최적 공정 계획을 생성하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 데이터베이스에 저장된 에너지 소모 예측 모델들은 추후 에너지 최소화 공정 계획을 생성하는 데 사용될 수 있다.

[0078] 다시 도 1을 참조하면, 적어도 하나 이상의 부분 공정으로 구성된 목표 공정이 입력되면, 공정 최적화 모듈(130)은 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분한다. 일 실시예에서, 각 부분 공정은 사용자에게 의해 구분되어 입력될 수도 있고, 일부 부분 공정은 자동 공정 계획 프로그램에 의해 자동으로 구분될 수도 있다. 공정 최적화 모듈(130)은 각 부분 공정들에 대한 최적 모델을 데이터베이스에 저장된 예측 모델에서 추출 및 조합하여 해당 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성한다.

[0079] 예를 들어, 에너지 최소화 공정 계획을 생성하는 경우, 공정 최적화 모듈(130)은 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분하고, 각 부분 공정마다 에너지 소모 예측 모델들 가운데 에너지 소모량이 가장 적은 예측 모델을 추출할 수 있다. 공정 최적화 모듈(130)은 추출된 예측 모델들을 조합하여 목표 공정에 대해 에너지 소모량이 가장 적은 공정 계획을 생성할 수 있다.

[0080] 예를 들어, 공정 최적화 모듈(130)은 에너지 소모량이 가장 적은 공정 계획을 생성하되, 하기 수학적 2를 만족하는 공정 계획을 생성할 수 있다.

[0081] [수학적 2]

$$E_{\text{machining}} = \int_0^T P_t dt = \sum_{j=1}^N (E_{\text{path},j}) = \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^n e_i \right)_j,$$

$$\arg \min_X E_{\text{machining}} = \sum_{j=1}^N \left(\min \left(\sum_{i=1}^n e_i \right) \right)_j$$

$$\text{subject to } X_j = \{x_{1,j}, x_{2,j}, x_{3,j}, x_{4,j}\},$$

$$\begin{aligned} x_{1,j}^{(L)} &\leq x_{1,j} \leq x_{1,j}^{(U)}, \\ x_{2,j}^{(L)} &\leq x_{2,j} \leq x_{2,j}^{(U)}, \\ x_{3,j}^{(L)} &\leq x_{3,j} \leq x_{3,j}^{(U)}, \\ x_{4,j}^{(L)} &\leq x_{4,j} \leq x_{4,j}^{(U)}, \end{aligned},$$

[0082]

[0083] 여기에서, 'Emachining'은 목표 공정에 대한 에너지 소모량, 'Pt'는 구동 동력, 'T'는 시간, 'N'은 부분 공정의 개수, 'Epath,j'는 'j'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'ei'는 'i'번째 부분 공정의 에너지 소모량, 'min'은 최소값 함수, 'Xj'는 'j'번 부분 공정의 원인 데이터 집합(집합 내 원인 데이터의 수는 설정에 의해 변동될 수 있음), x(L)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 하한 값, x(H)1,j는 집합 내 첫번째 원인 데이터의 상한 값

[0084] 도 8은 각 부분공정(프로그램 라인)에 대해 상응하는 예측 모델을 추출 및 조합하여 하나의 수치제어(NC) 프로그램에 대하여 에너지 소모량을 예측하는 과정을 설명하는 도면이다.

[0085] 도 8을 통해 예측 모델 집합(model hypercube)(Mk는 'k'번째 예측 모델)에서 각 부분 공정별 에너지 예측 모델을 추출하여 조합하는 과정을 도면으로 확인할 수 있다. 예를 들어, 공정 최적화 모듈(130)은 수치제어 프로그램이 실행될 때 수치제어 프로그램의 라인(블록)별로 예측모델을 호출함으로써 부분 공정별 예측모델을 조합하며, 이를 순차적으로 반복함으로써 수치제어 프로그램 한 개에 대한 전체 에너지를 예측한다.

[0086] 도 8을 참조하면, 목표 공정은 Tool path 1을 갖는 Contouring 공정, Tool path 2를 갖는 Contouring 공정, Tool path 3을 갖는 Contouring 공정, ~, Tool path N-1을 갖는 Pocketing 공정, Tool path N을 갖는 Pocketing 공정으로 구분될 수 있다. Tool path 1을 갖는 Contouring 공정, Tool path 2를 갖는 Contouring 공정, Tool path 3을 갖는 Contouring 공정, ~, Tool path N-1을 갖는 Pocketing 공정, Tool path N을 갖는 Pocketing 공정 각각의 에너지 예측 모델은 M1, Mk-2, Mk-2, ~, Mk-1, Mk이다.

[0087] 이와 같이, Tool path별로 에너지 예측모델을 호출하였다면, 각 tool path별로 [수학적 1]과 같은 수학적함수가 주어지게 되므로, x값인 원인 값(cutting parameters)을 입력하면 y값인 출력 값(power)을 얻게 된다. 이러한 방식을 통해서 모든 tool path에 대한 y값을 출력하고 이를 합산하여 수치제어 프로그램 한 개에 대한 에너지를 예측하는 것이다. 이 때, y값은 가공동력 값인데, 구하고자 하는 최종 출력값은 에너지이다. 에너지는 시간에 따른 가공동력의 적분 값이므로 시간X가공동력의 합을 이용하여 산출할 수 있다.

[0088] 도 9는 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 과정을 설명하는 도면으로, 도 9의 과정을 통해 수학적 2를 만족하는 각 부분 공정에 대한 예측 모델(component model), 목표 공정에 대한 최소 에너지 소모량(Emachining) 및 각 부분 공정에서 최소 에너지를 소모하는 원인 데이터 집합(X*)이 산출될 수 있다. 공정 최적화 모듈(130)은 원인 데이터를 이산 값(discrete value)을 갖는 데이터와 연속 값(continuous value)을 갖는 데이터로 구분하고, 연속 값을 갖는 데이터에는 값의 범위를 설정할 수 있다. 그리고, 공정 최적화 모듈(130)은 해당 부분 공정에 대해 에너지 소모 예측 모델(component model)을 추출하고, 이산 값을 갖는 원인 데이터 및

연속 값을 갖는 원인 데이터 각각에 대해 값을 반복적으로(iteration) 늘려가면서 해당 부분 공정에 대한 에너지 소모량(Epath)를 생성할 수 있다. 공정 최적화 모듈(130)은 각 원인 데이터 값에 의한 해당 부분 공정의 에너지 소모량을 비교하여 최소 에너지 소모 예측 모델, 최소 에너지 소모량과 해당 최소 에너지 소모량을 산출하는 원인 데이터 집합을 산출할 수 있다. 공정 최적화 모듈(130)은 상기 과정을 부분 공정의 개수(N)만큼 반복(iteration)하여 각 부분 공정에 대해 최소 에너지 소모 예측 모델, 최소 에너지 소모량과 해당 최소 에너지 소모량을 산출하는 원인 데이터 집합을 산출할 수 있다.

[0089] 공정 최적화 모듈(130)은 상기과 같은 과정을 통해 목표 공정의 각 부분 공정에 대한 최소 에너지 소모 예측 모델, 최소 에너지 소모량과 해당 최소 에너지 소모량을 산출하는 원인 데이터 집합을 산출할 수 있다. 공정 최적화 모듈(130)은 각 부분 공정에 대한 최소 에너지 소모 예측 모델을 조합하여 최적 공정 계획을 생성한다.

[0090] 도 10은 각 부분공정에 대해 도 9를 통해 최적 파라미터를 추적함으로써 최적 공정 계획을 생성하는 과정을 그래프 형태로 설명하는 도면이다. 최적 해(예를 들어, 절삭 파라미터: 이송속도, 스핀들 회전속도, 절삭깊이)를 찾아가는 방법은 동적계획법(Dynamic Programming)을 적용한다. 예를 들어, Tool path 1에서 이송속도의 최적해를 찾아가는 방법은 스핀들 회전속도 및 절삭깊이가 중간 값일 때, 에너지를 가장 적게 소비할 수 있는 이송속도의 값을 찾는다. 그 후, 찾아진 이송속도 값 및 절삭깊이 중간값이 주어졌을 때, 에너지를 가장 적게 소비할 수 있는 스핀들 회전속도의 값을 찾는다. 마지막으로, 찾아진 이송속도 값, 스핀들 회전속도 값이 주어졌을 때, 에너지를 가장 적게 소비할 수 있는 절삭깊이 값을 찾는다. 이러한 방법을 통해 tool path 1에 대한 최적 절삭 파라미터를 결정하게 되는 것이다. tool path 2 ~ tool path N에 대하여 동일한 방법을 적용하면 각 tool path에 대한 최적 절삭 파라미터 값을 구할 수 있다.

[0091] 공정 최적화 모듈(130)은 생성된 최적 공정 계획을 기초로 제조 장비의 동작을 제어할 수 있다. 예를 들어, 공정 최적화 모듈(130)은 생성된 공정 계획과 최소 에너지 소모량을 산출하는 원인 데이터 집합을 공정 계획 모듈, 프로그래밍 모듈 및 제조 장비에 구비된 에이전트에 전송하여 제조 장비의 동작을 제어할 수 있다.

[0092] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 제조 장비에서 수집된 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 방법을 설명하는 흐름도이다.

[0093] 도 11을 참조하면, 데이터 관리 모듈(110)은 제조 장비를 이용한 제조 과정 도중에 생성된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 수집하여 저장한다(단계 S1110). 데이터를 수집하여 저장하는 과정은 도 1 내지 도 4를 참조하여 설명한 바와 같다.

[0094] 모델링 모듈(120)은 데이터 관리 모듈(110)에 저장된 공정 계획 데이터, 제조 장비 제어 데이터 및 제조 장비 모니터링 데이터를 연계하여 부분 공정별로 구분하고, 각 부분 공정별로 원인 데이터와 결과 데이터 사이의 예측 모델을 생성하여 저장한다(단계 S1120). 예측 모델을 생성하여 저장하는 과정은 도 5 내지 도 8을 참조하여 설명한 바와 같다.

[0095] 적어도 하나 이상의 부분 공정으로 구성된 목표 공정이 입력되면, 공정 최적화 모듈(130)은 해당 목표 공정을 부분 공정들로 구분하고, 각 부분 공정들에 대한 최적 모델을 저장된 예측 모델에서 추출 및 조합하여 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성한다(단계 S1130). 목표 공정에 대한 최적 공정 계획을 생성하는 과정은 도 9 내지 도 10을 참조하여 설명한 바와 같다.

[0096] 최적 공정 계획이 생성되면, 공정 최적화 모듈(130)은 생성된 최적 공정 계획을 기초로 제조 장비의 동작을 제어한다(단계 S1140).

[0097] 도 1 내지 도 11을 통해 설명된 시스템 및 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 애플리케이션이나 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다.

[0098] 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

다.

[0099] 모듈(module)이라 함은 명세서에서 설명되는 각각의 명칭에 따른 기능과 동작을 수행할 수 있는 하드웨어를 의미할 수도 있고, 또한 특정한 기능과 동작을 수행할 수 있는 컴퓨터 프로그램 코드를 의미할 수도 있고, 또한 특정한 기능과 동작을 수행시킬 수 있는 컴퓨터 프로그램 코드가 탑재된 전자적 기록 매체, 예컨대 프로세서를 의미할 수 있다.

[0100] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 제조 공정 계획 방법 및 그 시스템으로 구현할 수 있다.

부호의 설명

[0101] 100 : 데이터 분석을 이용한 제조 공정 계획 시스템

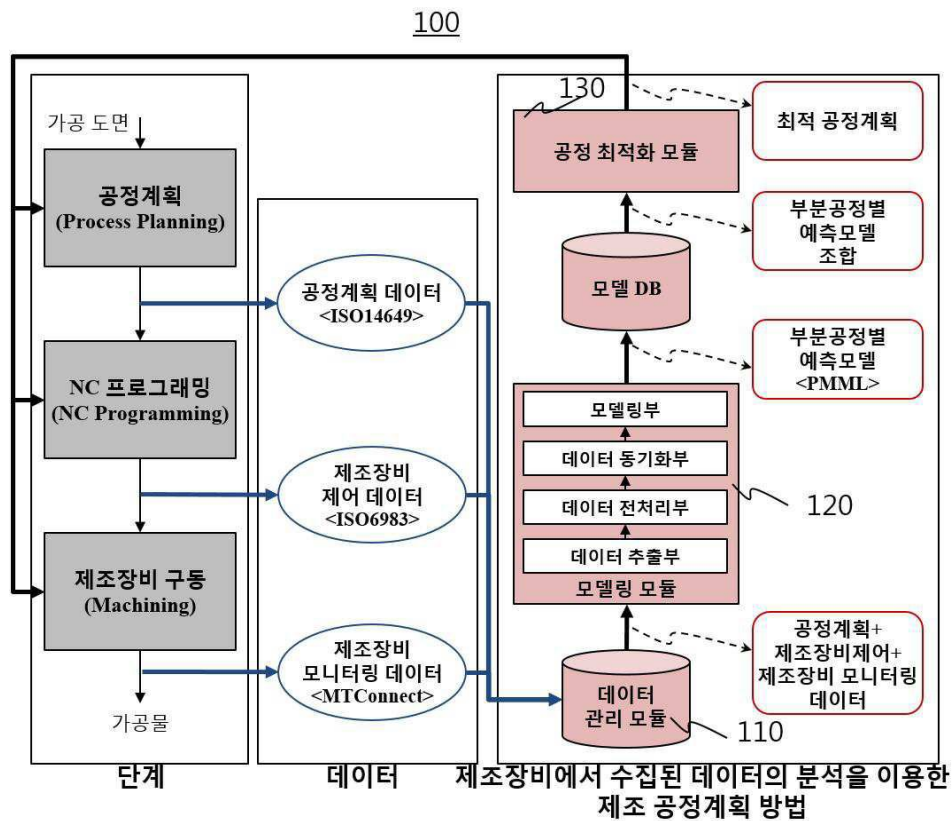
110 : 데이터 관리 모듈

120 : 모델링 모듈

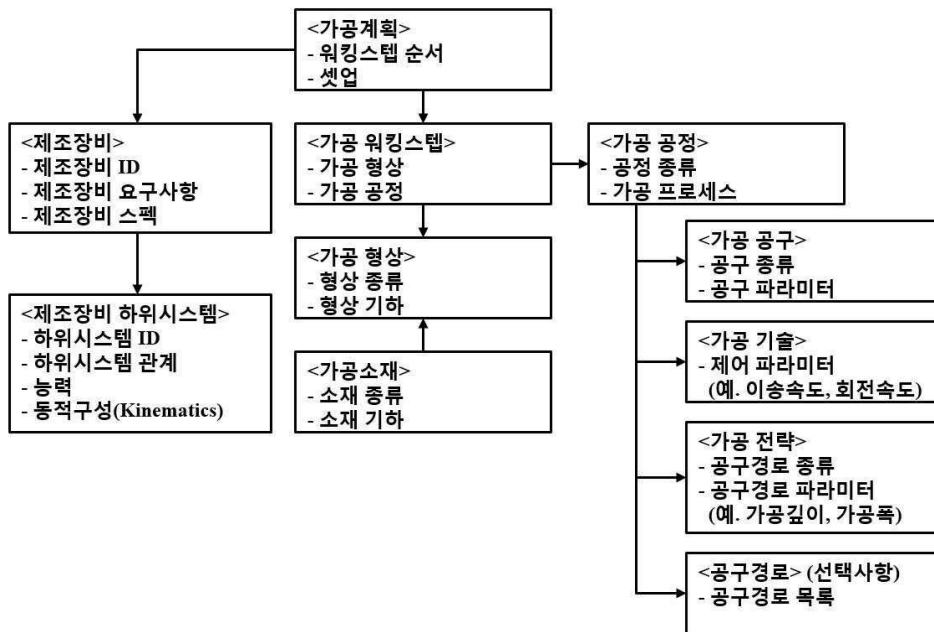
130 : 공정 최적화 모듈

도면

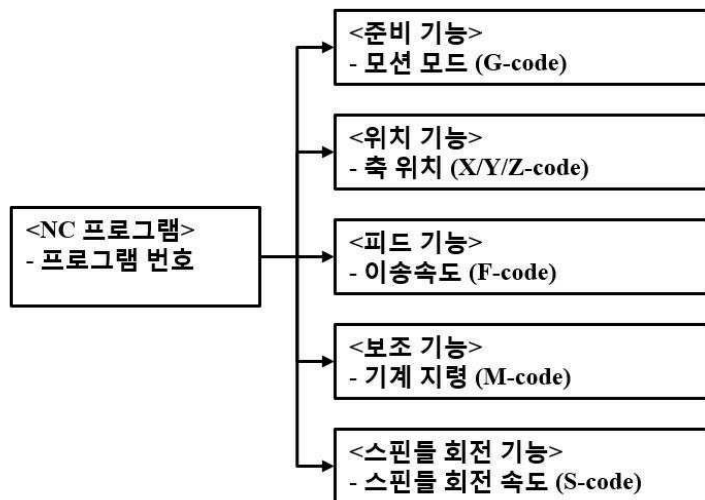
도면1



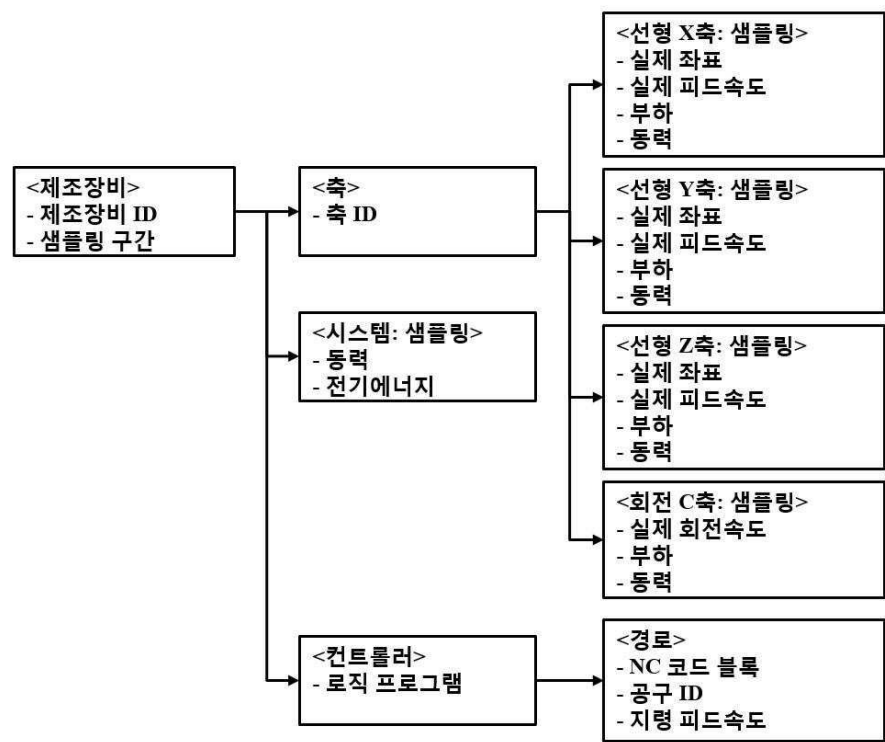
도면2



도면3



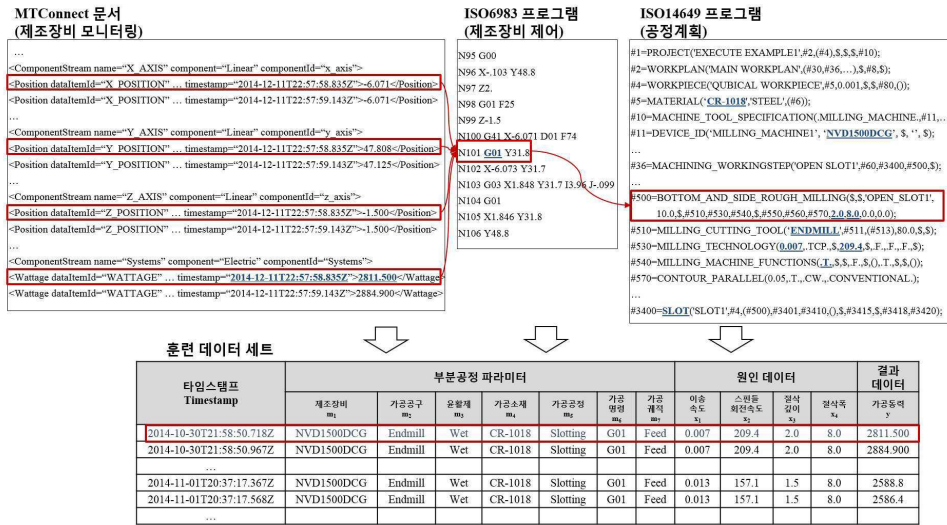
도면4



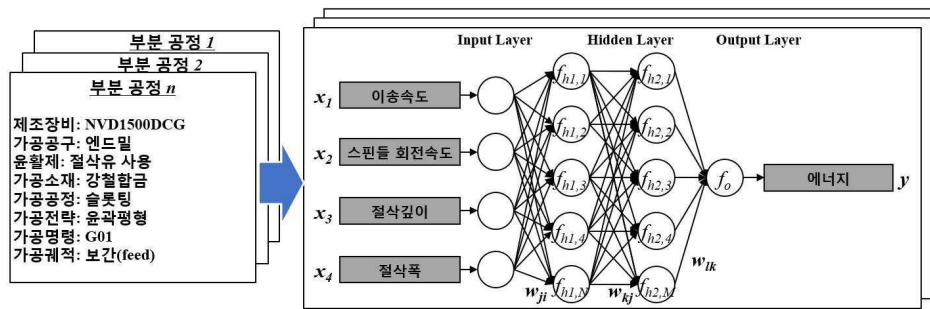
도면5

ID	속성	예시
m1	제조장비 종류 (Machine)	NVD 1500 DCG, PUMA GT2100, EC500
m2	가공공구 (Tool)	엔드밀, 페이스밀, 드릴
m3	윤활제 (Cooling)	에어, 절삭유, 건식, MQL, Cryogenic
m4	가공소재 (Material)	알루미늄, 스틸, 티타늄
m5	가공공정 (Operation)	외경황삭, 포켓팅, 슬롯팅, 드릴링
m6	가공명령 (Command)	급속(G00), 선형보간(G01), 시계방향 회전보간(G02), 반시계방향 회전보간(G03)
m7	가공궤적 (Trajectory)	보간(feed), 후퇴, 스텝오버, 접근, 후퇴

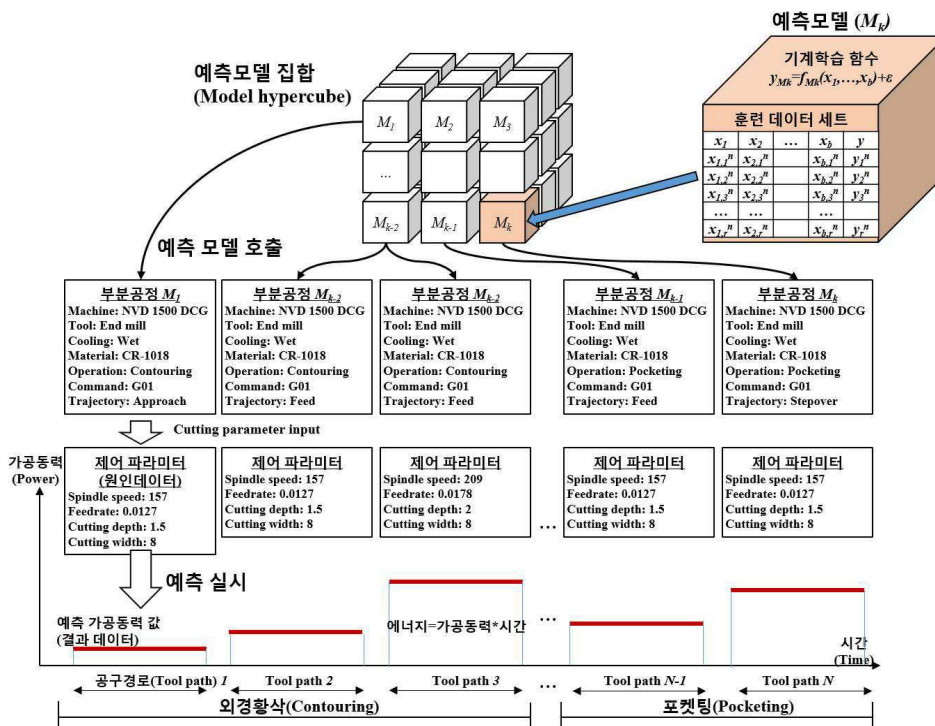
도면6



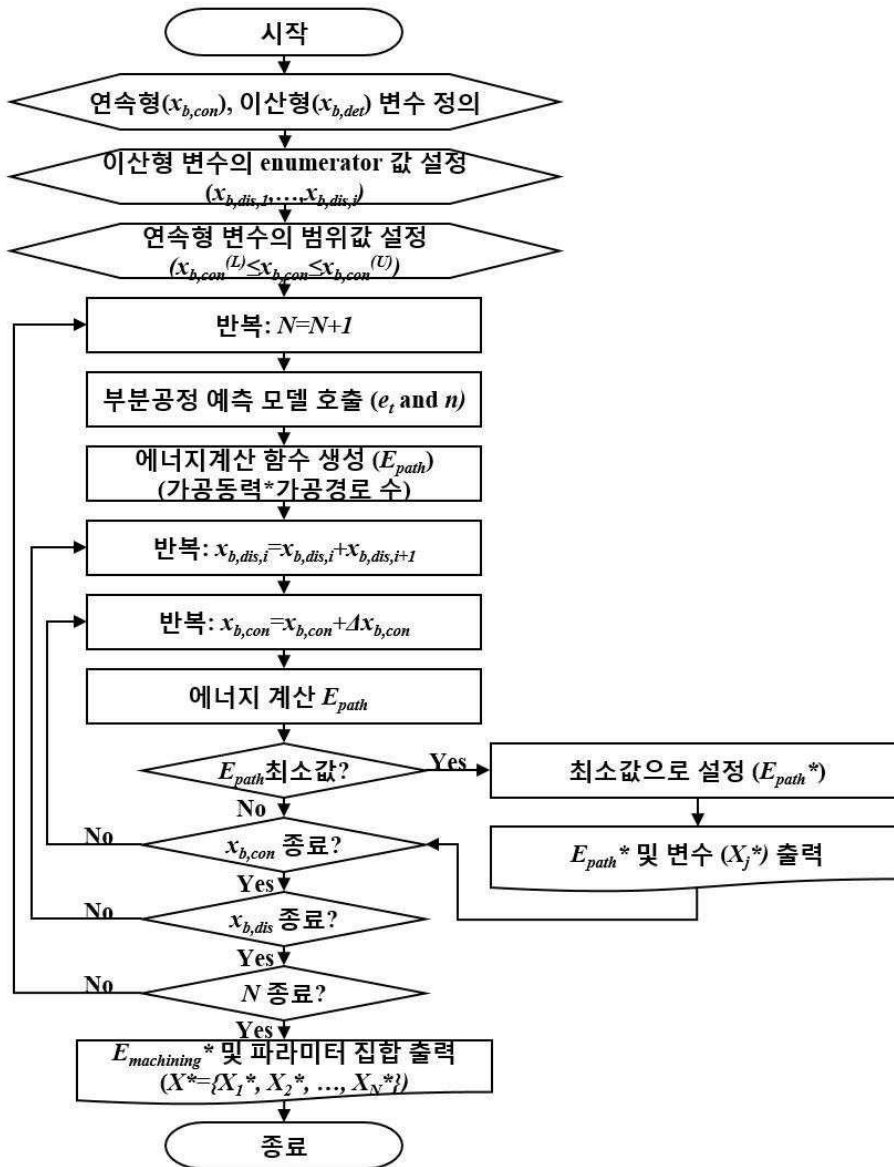
도면7



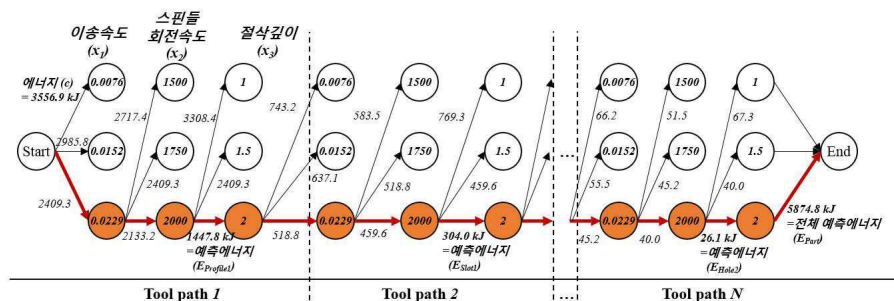
도면8



도면9



도면10



도면11

