



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. G06F 19/00 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년05월29일 10-0722504 2007년05월21일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2006-0005570 2006년01월18일 2006년01월18일	(65) 공개번호 (43) 공개일자
----------------------------------	---	------------------------

(73) 특허권자 학교법인 포항공과대학교
 경북 포항시 남구 효자동 산31번지

(72) 발명자 서석환
 경북 포항시 남구 지곡동 교수아파트 4동 1404호

 정대혁
 경북 포항시 남구 효자동 산31 포항공대대학원아파트 1동504호

 이병언
 경북 포항시 남구 효자동 산31 포항공대대학원아파트 4동1302

(74) 대리인 강성균
 신운철

(56) 선행기술조사문헌 JP10020921 A KR1020030082797 A	KR100478732 B1 KR1020050071928 A
--	-------------------------------------

심사관 : 김승오

전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 비선형 공정 계획 생성 방법 및 이를 이용한 인터넷 기반 STEP-NC 시스템

(57) 요약

본 발명은 비선형 공정 계획 생성 방법 및 이를 이용한 인터넷 기반 STEP-NC 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 현장 상황을 반영한 다양한 대안 공정과 가공 순서 정보를 포함하는 비선형 공정 계획을 수립함으로써 최적의 가공을 수행 하면서 이상 상황에 자율적으로 대처할 수 있는 비선형 공정 계획을 생성하는 방법과, 수립된 공정 계획으로부터 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램을 작성함으로써 인터넷을 경유하여 타 시스템과 용이하게 공정 정보를 교환할 수 있는 인터넷 기반의 STEP-NC 시스템에 관한 것이다.

본 발명에 따른 비선형 공정 계획 생성 방법은, 입력된 CAD 데이터를 이용하여 NPS(기계 독립적 비선형 공정 계획)를 수립하는 단계와; 상기 NPS 수립 단계에서 생성된 NPS 정보로부터 HPS(기계 종속적 비선형 공정 계획)를 수립하는 단계와; 상기 HPS 수립 단계에서 생성된 HPS 정보로부터 EPS(최적 실행 공정 계획)를 수립하는 단계와; 상기 EPS 수립 단계에서 생성된 EPS 정보로부터 공구 경로를 생성하는 단계;를 포함하여 구성되는 점을 특징으로 한다.

본 발명에 따른 비선형 공정 계획 생성 방법은 다수의 가공 대안을 현장에 제공함으로써, STEP-NC 공작 기계가 현장 상황에 따라 최적화된 가공을 수행할 수 있고, 가공 중에 발생하는 이상 상황에 자율적으로 대처할 수 있게 됨으로써, 가공 지연 등으로 인한 생산성 저하를 방지하고 무인 가공 시스템을 용이하게 구축할 수 있도록 하는 효과가 있다.

대표도

도 6

특허청구의 범위

청구항 1.

비선형 공정 계획을 이용하여 STEP-NC 공작 기계를 제어하는 시스템에 있어서,

CAD 정보, 기계 정보 및 공구 정보를 입력 받고, XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램에 대한 입·출력을 처리하는 인터페이스부와;

상기 인터페이스부로부터 전송되는 CAD 데이터로부터 기계 독립적 공정 계획(Neutral Process Sequence; NPS) 정보를 생성하는 NPS 생성부와;

상기 인터페이스부에서 전송되는 공작 기계 구조 정보 및 공구 정보와 상기 NPS 생성부에서 생성된 NPS 정보로부터 기계 종속적 공정 계획(Hardware-dependent Process Sequence; HPS), 최적 실행 공정 계획(Executive Process Sequence; EPS) 정보 및 공구 경로를 생성하는 EPS 생성부와;

상기 EPS 생성부로부터 전송되는 최적 실행 공정 계획 정보를 기반으로 공작 기계를 제어하여 공작물을 가공하고 이상 상황에 대하여 대처하는 자율 제어부;

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 인터넷 기반 STEP-NC 시스템.

청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 인터페이스부는,

CAD 정보를 입력 받고 이를 해석하는 표준 CAD 인터페이스와;

XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램을 입력 받아 내부 가공 정보로 변환하거나, 내부 가공 정보를 STEP-NC 파트 프로그램으로 변환하여 출력해주는 STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스와;

공작 기계 구성 정보를 입력 받아 해석하는 공작 기계 구성 정보 인터페이스와;

공구 정보를 입력 받아 해석하는 공구 정보 인터페이스; 및

공구 경로 정보를 G 코드로 변경하여 출력하는 G 코드 인터페이스;

로 구성되는 것을 특징으로 하는 인터넷 기반 STEP-NC 시스템.

청구항 3.

제 2항에 있어서,

상기 STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스는,

ISO 14649에서 NPS를 정의하는 엔티티(entity)와 XML 요소를 서로 대응시키고, 상기 엔티티의 속성들을 XML 요소의 속성들로 표현함으로써, NPS 정보가 기술된 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램을 외부 시스템과 교환하는 것을 특징으로 하는 인터넷 기반 STEP-NC 시스템.

청구항 4.

STEP-NC 시스템용 공정 계획을 생성하는 방법에 있어서,

입력된 CAD 데이터를 이용하여 NPS(기계 독립적 비선형 공정 계획)를 수립하는 단계와;

상기 NPS 수립 단계에서 생성된 NPS 정보로부터 HPS(기계 종속적 비선형 공정 계획)를 수립하는 단계와;

상기 HPS 수립 단계에서 생성된 HPS 정보로부터 EPS(최적 실행 공정 계획)를 수립하는 단계와;

상기 EPS 수립 단계에서 생성된 EPS 정보로부터 공구 경로를 생성하는 단계;

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

청구항 5.

제 4항에 있어서,

상기 NPS 수립 단계는,

CAD 정보를 입력 받는 단계와;

상기 CAD 정보를 해석하여 가공 소재의 제거 볼륨을 생성하고 제거 볼륨에 해당하는 특징 형상을 인식하는 단계와;

상기 입력된 CAD 정보에 대한 공차 정보를 사용자로부터 입력 받는 단계와;

상기 인식된 특징 형상에 따라 가공하기 위해 필요한 공정을 계획하고 각 공정의 세부 속성 정보를 생성하는 단계와;

상기 계획된 공정을 대체할 수 있는 대안 공정을 생성하는 단계와;

상기 공정 계획 및 대안 공정 계획 정보로부터 NPS 정보를 생성하는 단계;

로 구성되는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

청구항 6.

제 4항에 있어서,

상기 HPS 수립 단계는,

공작 기계의 스펙 정보와 현장에 구비된 공구 정보를 입력받는 단계와;

상기 입력된 공구 정보 중에서 상기 NPS 수립 단계에서 생성된 NPS 정보를 구성하는 각 작업에 대하여 우선적으로 사용할 주 공구와 상기 주 공구의 파손시 대체 가능한 대체 공구를 결정하는 단계와;

상기 각 작업에 대하여 사용될 스핀들에 대한 셋업을 결정하는 단계와;

상기 각 작업에 대하여 사용될 터렛을 할당하는 단계와;

상기 각 작업에 대하여 복합 가공시에 적용되는 동시 가공의 수행 가능성 여부를 결정하는 단계와;

상기 각 작업에서 생성된 공구 경로로부터 작업별 가공 시간을 계산하는 단계와;

상기 각 작업에 대하여 결정된 주 공구, 대체 공구, 스핀들 셋업, 터렛, 동시 가공 수행 가능성 여부 및 가공 시간에 대한 정보를 이용하여 모든 작업에 대한 HPS 정보를 생성하는 단계;

로 구성되는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

청구항 7.

제 4항에 있어서,

상기 EPS 수립 단계는,

상기 HPS 정보와 공작기계의 스핀들 정보로부터 각 스핀들 셋업에 대한 수행 작업을 할당하는 작업 조합 생성 단계와;

상기 작업 조합 생성 단계에서 생성된 작업 조합으로부터 각 스핀들 셋업에서의 작업 실행 순서를 결정하고, 동시 가공이 가능한 작업들에 대해 동시 가공 적용 여부를 결정한 후, 사이클 타임을 최소화 할 수 있는 최적해를 산출하는 단계와;

상기 산출된 최적해를 이용하여 STEP-NC 시스템용 EPS 정보를 생성하는 단계;

로 구성되는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

청구항 8.

제 7항에 있어서,

상기 최적해 산출 단계는,

상기 작업 조합 생성 단계에서 산출된 작업 조합들 중 특정 작업 조합에 대하여 동시 가공을 고려한 가공 스케줄을 설정함으로써 로컬해를 산출하는 단계와;

상기 로컬해가 최초의 로컬해인 경우 또는 상기 로컬해가 기준해보다 더 작은 사이클 타임을 가지는 경우, 상기 로컬해를 기준해로 설정하는 단계와;

최종적으로 얻어지는 기준해보부터 최적해를 구하는 단계;

로 구성되는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

청구항 9.

제 8항에 있어서,

상기 작업 조합 생성 단계에서는 생성된 각 작업 조합에 대한 예측 사이클 타임을 미리 산출하여 두고,

상기 로컬해 산출 단계에서는 상기 작업 조합 생성 단계에서 생성된 작업 조합들 중 예측 사이클 타임이 작은 순서대로 해당 로컬해를 산출하되, 기준해의 사이클 타임보다 큰 예측 사이클 타임을 가지는 작업 조합은 로컬해 산출 대상에서 제외하는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

청구항 10.

제 8항에 있어서,

상기 로컬해 산출 단계는,

최초에 빈 스케줄인 루트 노드로부터 시작하여, 특정 노드의 작업에 추가 가능한 작업을 선택하고, 상기 선택된 작업을 스케줄 상에 위치시킴으로써 자식 노드로 분기(branching)하는 단계와;

상기 생성된 자식 노드에 대해 사이클 타임을 예측하는 평가(evaluation) 과정을 수행하는 단계와;

상기 평가 결과와 상기 기준해의 사이클 타임을 비교함으로써 기준해의 사이클 타임 보다 큰 사이클 타임을 갖는 노드를 가지치기(pruning)하는 단계와;

가지치기 되지 않고 남은 노드들 중 사이클 타임의 예측값이 가장 작은 노드를 선택하여, 상기 분기, 평가 및 가지치기 단계를 계속적으로 반복함으로써 최종해를 찾는 단계;

로 구성되는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

청구항 11.

제 10항에 있어서,

상기 분기 단계는,

분기 대상 노드에서 각 스핀들 셋업에 스케줄된 작업들의 가공 시간을 비교하여, 가공 시간이 더 적은 스핀들 셋업에서 수행 가능한 작업을 자식 노드로 분기하고, 상기 비교되는 가공 시간이 서로 동일한 경우, 임의의 하나의 스핀들 셋업에서 수행 가능한 작업을 자식 노드로 분기하는 것을 특징으로 하는 비선형 공정 계획 생성 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 비선형 공정 계획 생성 방법 및 이를 이용한 인터넷 기반 STEP-NC 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 현장 상황을 반영한 다양한 대안 공정과 가공 순서 정보를 포함하는 비선형 공정 계획을 수립함으로써 최적의 가공을 수행하면서 이상 상황에 자율적으로 대처할 수 있는 비선형 공정 계획을 생성하는 방법과, 수립된 공정 계획으로부터 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램을 작성함으로써 인터넷을 경유하여 타 시스템과 용이하게 공정 정보를 교환할 수 있는 인터넷 기반의 STEP-NC 시스템에 관한 것이다.

수치제어(Numerical Control;NC) 가공 기술은 1952년 MIT 대학에서 3축 수치제어 밀링 공작 기계를 발명한 이래, 마이크로프로세서 기술을 비롯한 전자공학 기술의 발달과 함께 컴퓨터 지원 수치제어(Computer Numerical Control;CNC) 가공 기술로 진화하여 눈부신 발전을 거듭해 오고 있다.

최근 현장에서 가장 보편적으로 이용되고 CNC 가공 방식은 CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) 소프트웨어를 통하여 가공품의 도면을 비롯한 형상 설계 정보로부터 파트 프로그램(part program)을 생성하고, 이를 CNC 제어기가 탑재된 공작 기계(이하 CNC 공작 기계)에 입력하여 가공하는 방식이다.

일반적인 파트 프로그램은 가공 순서에 따라 미리 수립된 공정 계획을 G 코드(G-code) 형태로 기술한 것으로서, G 코드에 기술된 공정 순서에 따라 순차적인 가공을 할 수 있게 된다.

예컨대, 구멍을 수십 개 가공하는 경우, G 코드로 프로그램하기 위해서는 가공할 구멍의 순서를 공정 계획 과정에서 일일이 지정해주어야 하며, 가공 전에 상황에 맞게 최적화를 시켜야 할 필요가 있는 경우나 가공 도중에 드릴의 파손 등으로 이상 상황이 발생하는 경우에 가공 순서를 변경하기가 용이하지 않은 문제점이 있다. 즉, G 코드 방식의 파트 프로그램을 입력 받은 NC 제어기는 고정된 순서의 축 동작 정보만을 가지고 있기 때문에 공구 파손 등의 이상 상황에서 가공 순서나 가공 조건을 적절히 변경하기 어려우며, 미리 계획된 공구나 고정구가 가공 당시에 존재하지 않는 경우 공정 계획 및 파트 프로그램을 현장에서 즉시 변경하기가 쉽지 않다.

이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 프로그램 언어로서 STEP(STandard for the Exchange of Product model data) 데이터 모델에 기반한 STEP-NC 언어가 대두되고 있다. STEP-NC 언어로 작성된 파트 프로그램은 축 동작 대신 축 동작을 생성할 수 있는 형상 정보, 가공 절차, 가공 방법 및 공구 정보 등의 공정 계획 정보를 정의하고 있어 가공 순서 및 가공 조건에 대한 변경이 용이한 장점이 있다.

그러나, STEP-NC 파트 프로그램은 범용성을 위하여 기계 중립적인 정보로 생성되기 때문에, 현존하는 모든 CNC 공작 기계의 구조를 만족시킬 수는 없다. 따라서, STEP-NC 파트 프로그램을 입력 받은 후 공작 기계의 구조에 맞게 STEP-NC 가공 정보를 수정할 필요가 있으며, 수정 과정에서 기존의 STEP-NC 가공 정보외에 새로운 대안 가공을 생성하여 이를 처리할 수 있는 방법이 필요하다.

한편, IT 기술의 발달로 인해 ERP(Enterprise Resource Planning), CRM(Customer Relation Management) 및 SCM(Supply Chain Management) 등의 비즈니스(business) 지원 시스템과 MES(Manufacturing Execution System) 및 PDM(Product Data Management)와 같은 현장의 생산 시스템을 인터넷으로 연결하여 각 시스템 간에 관련 정보를 공유할 수 있는 e-Manufacturing 환경에 관한 연구가 진행 중에 있다.

이에 따라, 인터넷을 이용하여 다른 시스템끼리 자유롭게 가공 정보를 교환할 수 있고, 현장에서의 상황에 맞게 자율적으로 대처할 수 있는 지능적인 NC 제어기에 대한 개발이 필요하다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기한 문제점 및 요구 사항을 해결하기 위한 것이다. 즉, 현장 상황을 반영한 다양한 대안 공정과 가공 순서 정보를 포함하는 비선형 공정 계획 정보를 STEP-NC 데이터 모델에 기반하여 생성함으로써, 최적의 가공을 수행하면서 이상 상황에 자율적으로 대처할 수 있는 비선형 공정 계획 생성 방법을 제공하는 데에 그 목적이 있다.

또한, 인터넷을 경유하여 타 시스템과 용이하게 교환될 수 있는 공정 정보를 생성함으로써, e-Manufacturing 환경하에서 공정 정보의 교환, 관리 및 저장을 용이하게 할 수 있는 인터넷 기반 STEP-NC 시스템을 제공하는 데에 또 다른 목적이 있다.

상기의 목적을 달성하기 위한 기술적 사상으로서 본 발명은, CAD 정보, 기계 정보 및 공구 정보를 입력 받고, XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램에 대한 입·출력을 처리하는 인터페이스부와; 상기 인터페이스부로부터 전송되는 CAD 데이터로부터 기계 독립적 공정 계획(Neutral Process Sequence; NPS) 정보를 생성하는 NPS 생성부와; 상기 인터페이스부에서 전송되는 공작 기계 구조 정보 및 공구 정보와 상기 NPS 생성부에서 생성된 NPS 정보로부터 기계 종속적 공정 계획(Hardware-dependent Process Sequence; HPS), 최적 실행 공정 계획(Executive Process Sequence; EPS) 정보 및

공구 경로를 생성하는 EPS 생성부와; 상기 EPS 생성부로부터 전송되는 최적 실행 공정 계획 정보를 기반으로 공작 기계를 제어하여 공작물을 가공하고 이상 상황에 대하여 대처하는 자율 제어부;를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 인터넷 기반 STEP-NC 시스템을 제공한다.

발명의 구성

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부 도면에 의거하여 상세히 설명하기로 한다.

본 발명의 일실시예에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템은 STEP NC 데이터 모델에 입각하여, 기계 독립적 공정 계획(Neutral Process Sequence; NPS) 정보, 기계 종속적 공정 계획(Hardware-dependent Process Sequence; HPS) 정보 및 최적 실행 공정 계획(Executive Process Sequence; EPS) 정보로 분류되는 비선형 공정 계획 정보를 생성하고, 이에 따라 가공을 수행한다.

NPS 정보는 공작 기계에 독립적인 공정 계획 정보로서, 실행 순서가 고려되지 않은 모든 수행 가능 작업(workingstep)들에 대한 정보와 선택적으로 수행할 수 있는 대안 작업들에 대한 정보로 구성되며, ISO 14649 데이터 모델 규격을 따르는 STEP-NC 파트 프로그램으로 표현이 가능하다.

HPS 정보는 기계 종속적인 NPS 정보를 이용하여 특정 공작 기계 등의 하드웨어에서 가공을 수행하기 위한 기계 종속적인 중간 단계의 공정 계획 정보로서, 공작 기계의 구성 정보 및 현장 공구 정보를 이용하여 NPS 정보에 포함되어 있는 각 작업에 대하여 해당 작업을 실행하기 위한 하드웨어 리소스와 가공 방법 등의 하드웨어 관련 정보를 부가적인 정보로 포함한다.

EPS 정보는 NPS와 HPS 정보를 생성한 후 최종적으로 생성하는 정보로서, 공작 기계에서 가공에 사용될 수 있도록 HPS 정보의 전체 작업이 최적으로 실행될 수 있는 순차적인 공정 계획 정보이다.

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템의 구성도이다.

도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템은 입·출력되는 정보를 처리하는 인터페이스부(400)와, 공작물의 형상 설계 정보인 CAD 데이터로부터 NPS 정보를 생성하는 NPS 생성부(100)와, NPS로부터 공작 기계의 구조에 맞는 EPS 정보 및 공구 경로를 생성하는 EPS 생성부(200)와, 생성된 EPS 정보를 기반으로 공작 기계를 제어함으로써 공작물을 가공하는 자율 제어부(300)로 구성된다.

인터페이스부(400)는 표준 CAD 인터페이스(410), STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스(420), 공작 기계 구성 정보 인터페이스(430), 공구 정보 인터페이스(440) 및 G 코드 인터페이스(450)로 구성된다.

표준 CAD 인터페이스(410)는 ISO 10303 AP 203 혹은 AP 224로 표현된 CAD 정보를 입력 받고 이를 해석하는 기능을 수행한다. STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스(420)는 입력된 STEP-NC(ISO 14649) 파트 프로그램을 해석하여 가공 정보로 변환하고, 가공 정보를 STEP-NC(ISO 14649) 파트 프로그램으로 변환하여 출력해 준다. 여기서, STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스(420)는 공작 기계 및 제어기에 종속적인 언어로 된 STEP-NC 파트 프로그램을 인터넷을 통해 자유롭게 교환될 수 있도록, ISO 10303 Part 21에 기반한 physical file 형태 뿐만 아니라 XML(Extensible Markup Language) 형식으로 된 STEP-NC 파트 프로그램을 입·출력하도록 구성하는 것이 바람직하며, XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램에 대한 예는 후술하여 설명하기로 한다..

또한, 공작 기계 구성 정보 인터페이스(430) 및 공구 정보 인터페이스(440)는 공작 기계 구성 정보 및 공구 정보를 입력 받아 내부 정보로 변환하거나 내부 정보를 변환하여 공작 기계 구성 정보 및 공구 정보를 출력해 준다. 여기서, 공구 정보 인터페이스(440)는 국제 공구 표준인 ISO 13399 및 ISO 1832와 국제 공구 홀더 표준인 ISO 5602에 기반한 공구 정보를 해석할 수 있다. 끝으로, G 코드 인터페이스(450)는 자율 제어부(300)에서 생성된 CL(Cutting Location) 공구 경로 정보를 G 코드로 변경하여 출력한다.

NPS 생성부(100)는 표준 CAD 인터페이스(410)를 통해 입력 받은 CAD 정보로부터 가공 소재의 제거 볼륨을 생성하여 제거 볼륨에 해당하는 특징 형상을 인식하고 사용자로부터 공차 정보를 입력받아, 인식된 특징 형상과 더불어 공차 정보를 참조하여 NPS 정보를 생성한다. 여기서, 생성된 NPS 정보는 STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스(420)를 통해 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램으로 변환되어 외부 시스템에 제공될 수 있다.

EPS 생성부(200)는 NPS 정보와 공작 기계의 구성 정보 및 현장 공구 정보를 입력 받아 각 수행 작업들에 대해 가공시 사용 가능한 하드웨어 리소스(스핀들, 터렛 및 공구) 정보와 동시 가공(one-feature 동시 가공, two-feature 동시 가공) 수행 가능성 정보를 추가한 HPS 정보를 생성하고, 생성된 HPS 정보로부터 가공 시간을 최소화할 수 있는 작업의 진행 순서와 동시 가공 적용 여부 및 대안 작업 중의 실행 작업을 결정함으로써 EPS 정보를 생성한다.

여기서, NPS 생성부(100)와 EPS 생성부(200)에서 각 비선형 공정 계획(NPS, HPS, EPS) 정보를 생성하는 방법은 후술하여 상세히 설명하기로 한다.

자율 제어부(300)는 EPS 생성부(200)에서 생성한 HPS 및 EPS 정보에 따라 가공을 집행하는 가공 집행부(310)와, 이상 상황에서 대안 공구 또는 대안 작업을 찾고, 공구 경로를 재생성하는 이상 상황 대처부(320)와, 가공중 또는 가공 완료시의 파트에 대한 공차 및 가공 오차를 측정하고 측정 결과를 분석하여 사용자에게 통지하는 기상(on-machine) 측정 및 분석부(330), 그리고 기상 측정 및 분석부(330)에서 측정된 가공 오차를 바탕으로 미절삭 부분을 다시 가공하는 재가공부(340)로 구성된다.

이와 같이 구성된 본 실시예에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템은 전체를 일체의 시스템으로 구성할 수도 있으며, 또한 인터페이스부(400), NPS 생성부(100) 및 EPS 생성부(200)를 자율 제어부(300)와 별도로 오프라인 CAM 소프트웨어의 내부에 구성할 수도 있다.

도 2는 전술한 STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스(420)를 통하여 입출력되는 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램에 대한 예를 나타내는 도면인데, XML 형식으로 표현된 STEP-NC 파트 프로그램은 ISO 14649에서 정의된 데이터 모델에 기반한 NPS 정보를 XML로 표현한 것이다.

도 2를 참조하여 XML로 표현된 STEP-NC 파트 프로그램의 문단 구조를 설명하면 다음과 같다.

XML 요소(element) e1은 피삭재 정보를 정의하는 것으로서, 그 이름인 "workpiece"는 ISO 14649에서 피삭재를 정의하는 엔티티(entity)의 이름이다. 또한 요소 내의 속성인 "id"는 XML에서의 instance id를 의미하며, "its_id", "its_material", "global_tolerance" 및 "its_bounding_geometry"는 ISO 14649에서 정의된 피삭재의 속성들이다. 이러한 규칙에 의해서 해석하면, e1 요소는 가공에 사용하는 workpiece의 id는 "Complex Workpiece"이며, 파트 형상에 별도로 공차가 지정되지 않는 부분(global tolerance)에서의 기본 공차는 "0.01mm", material과 bounding geometry는 각각 "ref_1"과 "ref_2"를 참조하라는 것을 의미한다.

e2 요소는 ISO 14649에서 재질을 정의하는 엔티티에 대응하는 "material"을 정의하는 요소로서, e1 요소에서 참조하는 material id인 "ref_1"에 대해 언급하고 있다. 여기서, "standard_identifier"와 "material_identifier"는 material의 속성을 정의한 것이며, 해당 workpiece의 재질은 ISO 14649에서 정의된 재질 중 ALLOYED STEEL이라는 것을 의미한다.

e3 요소는 e1 요소에서 참조하는 bounding geometry id인 "ref_2"에 대해 정의하고 있다. 이를 해석하면, workpiece의 "bounding geometry"는 "right circular cylinder"로서 높이(height)는 "100mm", 반경(radius)은 "55mm", 위치(position)는 id가 "ref_3"인 XML 요소를 참조하라는 것을 의미한다.

이와 같이, 각 XML 요소를 ISO 14649에서 NPS를 정의하는 엔티티에 대응시키고 XML 요소의 속성들과 대응하는 엔티티의 속성들을 동일하게 표현함으로써, 기계에 중립적인 NPS 정보가 기술된 STEP-NC 파트 프로그램을 MES이나 PDM 등의 외부 시스템과 인터넷을 통해 용이하게 교환할 수 있고, 인터넷 기반 STEP-NC 시스템이 구비된 생산 시스템의 실제 가공 상황에 대한 정보를 다양한 생산 시스템 및 지원 시스템에서 실시간으로 활용할 수 있게 된다.

이하, 본 발명의 일실시예에 따른 비선형 공정 계획 생성 방법에 대하여 상세히 설명하기로 한다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 비선형 공정 계획 방법이 적용되는 가공 소재의 최종 형상을 나타내는 도면이고, 도 4 및 도 5는 도 3에 도시된 형상을 가공하기 위한 볼륨 제거의 예를 보여주는 도면이다.

도 3에 도시된 최종 형상은 turn-mill 공작 기계에서 가공되어지며, 다양한 볼륨 제거 방법으로 해석되어 가공될 수 있다.

예를 들면, 도 4에서는 도 1에 도시된 형상의 좌측 부분에 대하여 2번의 외경 형상과 3번의 그루빙 형상으로 제거 볼륨을 분할 하였으며, 도 5에서는 12번의 외경 형상과 13번의 외경 형상으로 제거 볼륨을 분할하였다.

또한 도 4에 도시된 6번 제거 볼륨을 내경 작업하는 경우, 사용자에게 따라 먼저 드릴링 가공을 수행한 후에, 내경 가공이나 보링 가공을 선택적으로 수행하여 해당 형상을 가공할 수 있다.

따라서, 절삭 가공에서는 명확히 구분되는 하나의 공정 계획만 있는 것이 아니라 다양한 제거 볼륨의 설정과 작업의 할당에 따라 다양한 가공 대안이 존재할 수 있다. 또한 반복되는 다수의 드릴링 가공이 존재하는 경우, 이들의 가공 순서를 결정하는 방법도 여러 가지가 존재할 수 있다.

이와 같이 동일한 가공 형상에 대해서 다양한 가공 방법과 가공 순서를 적용할 수 있으며, 일반적으로 순차적인 형태의 가공 순서와 미리 정해진 한 가지 종류의 가공 방법으로만 구성된 기존의 선형적인 공정 계획을 적용하여 가공하는 방법에 비하여, 다양한 가공 방법과 가공 순서를 포함한 비선형 공정 계획을 수립하여 가공하는 방법이 돌발적으로 발생할 수 있는 이상 상황에 보다 효율적으로 대처할 수 있다.

도 6은 본 실시예에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템을 이용하여 비선형 공정 계획을 생성하는 방법을 보여주는 순서도이다.

먼저, NPS 생성부(100)에서 표준 CAD 인터페이스(410)을 통해 입력된 CAD 데이터를 이용하여 기계 독립적인 비선형 공정 계획인 NPS를 수립하고(S100), 상기 NPS 수립 단계(S100)에서 생성된 NPS 정보로부터 기계 종속적인 비선형 공정 계획인 HPS를 수립한다(S200).

이후, 상기 HPS 수립 단계(S200)에서 생성된 HPS 정보로부터 실행을 위해 최적화된 비선형 공정 계획인 EPS를 수립하고(S300), 수립된 EPS 정보로부터 공구 경로를 생성하며(S400), 생성된 공구 경로를 이용하여 시뮬레이션 가공을 수행함으로써 공구 경로의 이상 유무를 검증한다(S500).

최종적으로 자율 제어부(300)는 상기 생성된 EPS와 공구 경로에 따라 공작 기계를 제어함으로써 공작물을 가공한다(S600).

이하, 도 7을 참조하여 도 6에 도시된 NPS 수립 단계(S100)를 상세하게 설명하기로 한다.

먼저, CAD 정보를 입력 받고(S110), 이를 해석하여 가공 소재의 제거 볼륨을 생성하고 제거 볼륨에 해당하는 특징 형상을 인식하며(S120), 상기 입력된 CAD 정보에 대한 공차 정보를 사용자에게서 입력 받는다(S130). 여기서, 인식된 형상 정보는 ISO 14649 Part 10과 Part 12에서 정의하고 있는 밀링 및 선반용 특징 형상 규격을 따르는 특징 형상 정보로 저장된다.

이후, 상기 인식된 특징 형상에 따라 가공하기 위해 필요한 공정을 계획하고 각 공정의 세부 속성 정보를 생성하고(S140), 계획된 공정을 대체할 수 있는 대안 공정을 생성한다(S150). 여기서, 공정 정보는 ISO 14649 Part 10, Part 11 및 Part 12에서 정의하고 있는 밀링, 선반, 드릴링 공정 규격에 따르는 공정 종류, 가공 조건, 가공 전략, 공구 등에 관한 속성 정보를 포함하도록 생성된다.

이후, 공정 계획 및 대안 공정 계획 정보로부터 NPS 정보를 생성하고(S160), 사용자나 외부 시스템의 요청이 있는 경우 생성된 NPS 정보를 이용하여 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램을 작성한다(S170).

도 8은 도 7의 절차를 통해 생성된 NPS 정보를 도식적으로 나타낸 NPSG(Neutral Process Sequence Graph)로서, 도 4와 도 5의 제거 볼륨 분해 결과를 이용하여 작성한 NPSG의 예를 보여주는 도면이다.

도 8에 도시된 바와 같이, NPSG는 아크와 노드로 구성되며, 각각의 노드는 노드의 성격 (AND, OR, PARALLEL, MARK 등), 또는 작업 단위 정보(제거 볼륨, 가공조건 및 공구 등)를 갖고 있다.

작업 단위 정보는 숫자와 영문 글자의 조합으로 표기된 노드(예: 4FR, 4FF, 5CR,...)에 의해 표기되는데, 숫자는 도 4 및 도 5에서 표기된 제거 볼륨의 번호를 의미하며, 영문 글자는 수행 작업의 종류를 나타낸다. 수행 작업에서 영문 표기 FR은 황삭 면삭 가공, FF는 정삭 면삭 가공, CR은 황삭 외곽 가공, CF는 외곽 정삭 가공, CD는 센터 드릴링, D는 드릴링, B는 보링, PR은 평면 황삭 가공, PF는 평면 정삭 가공, GR은 황삭 그루빙 가공, GF는 정삭 그루빙을 의미한다. 예를 들어, 4FR은 도 4에 도시된 4번 제거 볼륨에 대해 황삭 면삭 가공을 수행함을 의미한다.

이외에도 SA, JA, SO 및 JO로 표기된 노드는 노드의 성격을 의미한다. 노드의 성격 중 AND는 하위 노드들이 순서에 상관없이 실행될 수 있음을 나타내며, SA(Split AND)와 JA (Joint AND)에 의해 표현된다. 노드 중 처음으로 나타나는 SA와 JA 사이에는 5CR, 7CR, 7CF, 6CD, 6D, 6B, 6CR, 6CF의 작업들이 포함되고 있으며, SA에서 갈라진 하나의 분기(branch)에 존재하는 5CR, 7CR, 7CF들과 6CD, 6D, 6B, 6CR, 6CF 작업들간에는 순서에 상관없이 작업 수행이 가능함을 의미한다. 여기서, 아크에 의해 연결된 작업들, 예를 들어 5CR, 7CR의 작업의 경우 앞서 존재하는 작업들이 먼저 수행되어야 함을 의미한다. 이에 따라 5CR 작업 이후 6CD라는 작업이 수행 가능하며, 또한 6CD라는 작업이 5CR보다 먼저 수행되는 것이 가능함을 의미한다.

노드의 성격 중 OR는 하위 작업들 중 한 가지만을 선택해서 실행 될 수 있음을 나타내며, SO(Split OR)와 JO(Joint OR)에 의해 표현된다. 노드 중 처음으로 나타나는 SO와 JO 사이에는 6B, 6CR, 6CF가 포함되어 있으며, 6B는 SO에서 갈라지는 하나의 분기를 구성하며, 6CR과 6CF는 또 다른 분기를 구성한다. 이 때, OR는 6B 혹은 6CR과 6CF 중 하나의 분기를 선택하고, 이를 실행하는 것을 의미한다.

이와 같이, NPSG는 AND와 OR를 이용하여 실행 순서에 상관없이 수행 가능한 작업들과 선택적으로 수행 가능한 대안 작업들을 표현할 수 있다.

이하, 도 9을 참조하여 도 6에 도시된 HPS 수립 단계(S200)를 상세하게 설명하기로 한다.

먼저, 공작 기계 구성 정보 인터페이스(430) 및 공구 정보 인터페이스(440)를 통하여 공작 기계의 스펙 정보와 현장에 구비된 공구 정보를 입력받는다(S210). 여기서, 기계 정보는 공작 기계의 축, 터렛(turret) 및 스핀들(spindle)의 구조와 성능을 정의하는 정보, 절삭유 사용등의 부가 기능, 공작 기계에 부착된 터치 프로브(touch probe) 등의 측정 장비 정보 및 공작 기계에 부착된 테일스톡(tail stock) 등의 클램핑 장비 정보를 포함한다.

이후, 입력된 공구 중에서 상기 NPS 수립 단계(S100)에서 생성된 NPS의 각 작업에 대하여 공구 파손 혹은 마모로 인해 사용이 불가능해 질 때까지 사용될 주 공구와 주 공구의 파손시 대체 가능한 대체 공구를 결정한다(S220). 주 공구의 선택을 위해서는 작업에 필요한 공구의 강성, 수명, 가공 조건과 함께, 작업을 통해 제거해야 할 제거 볼륨의 형태와 공정의 종류가 고려되어야 한다. 대체 공구는 주 공구가 제거해야 하는 동일 제거 볼륨과 동일 공정의 수행이 가능한 공구로 결정된다.

이후, 상기 NPS 수립 단계(S100)에서 생성된 NPS의 각 작업에 대하여 사용될 스핀들에 대한 셋업을 결정하는데(S230), 스핀들 셋업은 최종 형상의 형태, 기계적인 성질, 품질등에 따라 사용 가능하도록 결정되어야 한다.

선반과 복합 공작 기계에서는 척에 의해 공작물을 고정시키며, 척의 무는 힘에 의해 공작물의 형태의 변형과 가공 표면의 품질 저하가 발생한다. 이로 인해 가공 표면의 고품질이 요구되는 부분과 쉽게 휘는 박막 형상에 대해서는 척이 물리지 않도록 스핀들 셋업 순서를 결정한다. 또한 경사진 형상등과 같이 척이 쉽게 물지 못하는 부분에 대해서도 다른 부분보다 늦게 가공되어야 하며, 이를 고려하여 스핀들 셋업 순서를 결정한다. 일반적으로, 스핀들이 두 개인 복합 가공기의 경우 각 스핀들 당 하나의 스핀들 셋업이 할당되므로 두 개의 스핀들로 가공되는 각 작업은 두 번의 스핀들 셋업을 통하여 가공된다.(이하, 수행 순서에 따라 먼저 수행하는 스핀들 셋업을 스핀들 셋업 1으로 정의하고, 뒤에 수행하는 스핀들 셋업을 스핀들 셋업 2로 정의하기로 한다.)

상기 스핀들 셋업 결정 단계(S230)를 통하여 각 작업들은 특정 스핀들 셋업에 대해서만 수행 가능한 작업과 스핀들 셋업에 상관없이 수행 가능한 작업으로 분류될 수 있다.

이후, 상기 NPS 수립 단계(S100)에서 생성된 NPS의 각 작업에 대하여 사용될 터렛을 할당한다(S240). 복합 가공기에서 터렛은 척의 움직임 구현하는 요소이며, 터렛의 성능에 따라 사용 가능한 축과 가공 영역이 결정되는데, 터렛에서 움직임이 가능한 축과 가공 영역을 수행해야 할 작업의 종류 및 제거 볼륨의 위치를 비교함으로써 사용 가능한 터렛을 결정하게 된다.

이후, 각 작업에 대하여 복합 가공시에 적용되는 동시 가공(one-feature 동시 가공, two-feature 동시 가공)의 수행 가능성 여부를 결정한다(S250).

One-feature 동시 가공(벨런스 가공)은 가공 품질을 높일 수 있는 가공 방법으로서, 선반의 외경 형상(그루빙 포함)에 대하여 one-feature 동시 가공이 가능하도록 결정하는 것이 바람직하다. Two-feature 동시 가공은 두 터렛이 동일한 파트

의 서로 다른 부위를 가공하는 것으로서, two-feature 동시 가공으로 수행해야 할 작업들 간에는 동일한 스핀들 스피드가 적용되어야 한다. 이에 따라 two-feature 동시 가공의 결정을 위해서는 두 작업간의 스핀들 스피드를 동일하게 조정할 경우, 각 작업에 할당된 주 공구의 사용 가능한 절삭 속도 내에서 작업이 가능한 지 여부를 검토하여, 이에 따라 two-feature 동시 가공 여부를 결정한다.

이후, 각 작업에 정의된 가공 전략과 가공 조건 및 제거 볼륨을 고려하여 공구 경로를 생성하고, 생성된 공구 경로를 통해 작업별 가공 시간을 계산한다(S260).

최종적으로, 상기 S220 단계 내지 S260 단계에서 생성된 각 정보를 이용하여 모든 작업에 대한 HPS 정보를 생성한다(S270). HPS 정보는 ISO 14649 Part 10에 정의된 가공 실행단계(machining workingstep) 정보에 작업 수행시 사용할 현장 공구 정보, 공구 파손시 대체할 대안 공구 정보, 작업 수행시 사용 가능한 터렛 및 스핀들 정보, one-feature 동시 가공 가능 여부, one-feature 동시 가공시 가공 조건 정보, two-feature 동시 가공 가능 여부, two-feature 동시 가공시 가공 조건 정보, 일반 가공시 소요되는 가공 시간, one-feature 동시 가공시 소요되는 가공 시간 및 two-feature 동시 가공시 소요되는 가공 시간의 정보를 추가한 작업 정보이다.

도 10은 도 9의 절차를 통해 생성된 HPS 정보를 도식적으로 나타낸 HPSG(Process Sequence Graph)로서, 스핀들이 두 개인 복합 공작 기계에서 가공하는 경우에 대하여 도 8에 도시된 NPS로부터 작성한 HPSG의 예를 보여주는 도면이다.

HPSG는 NPSG와 동일한 작업으로 구성되고 작업 간의 순서도 동일하게 적용되는데, 노드가 포함하는 작업 정보가 NPSG와 다르게 구성된다.

도 10에 도시된 바와 같이 4FR, 4FF, 5CR, 7CR, 7CF, 6CD, 6D, 6B, 6CR, 6CF는 수행 가능한 스핀들 셋업이 스핀들 셋업 1, 즉 좌측 스핀들에서만 수행될 수 있으며, 1FR, 1FF, 2CR, 3GR, 2CF, 3GF, 12CR, 13CR, 12CF, 13GF는 사용 가능한 스핀들 셋업이 스핀들 셋업 2, 즉 우측 스핀들에서만 수행될 수 있다. 한편, 8PR, 8PF, 9PR, 9PF, 10PR, 10PF, 11PR, 11PF는 스핀들 셋업에 상관 없이 어느 스핀들에서도 수행될 수 있는 작업이다.

한편, EPS는 상기 HPS 수립 단계(S200)에서 생성된 HPS 정보로부터 스핀들 셋업에 상관없이 수행 가능한 작업에 대해 적용될 스핀들 셋업을 결정하고, 대안 작업 중 수행할 작업을 결정하고, 무순서 작업들의 실행 순서를 결정하며, 동시 가공이 적용 가능한 작업의 동시 가공 적용 여부를 결정함으로써 수립될 수 있다.

EPS를 수립하는 단계를 세부적으로 설명하기에 앞서, 먼저 EPS 정보를 생성하기 위한 기준이 되는 수행도 지표에 대해 설명하기로 한다.

HPS로부터 EPS를 결정하기 위해서는 다양한 수행도 지표가 사용 가능하며, 본 실시예에서는 가공 시간을 최소로 할 수 있는 수행도 지표를 설정하였다. 가공 시간은 보다 구체적으로 사이클 타임(cycle time)으로 정의할 수 있는데, 사이클 타임은 하나의 공작물이 공작 기계로부터 생성되는데 소요되는 시간을 의미하며, 한 사이클은 하나의 공작물이 기계로부터 생성되기까지 수행되는 작업들을 의미한다.

예를 들어, 선반이나 밀링 기계에서와 같이 한번에 하나의 작업만이 수행 가능한 공작 기계에서의 사이클 타임은 공작물의 로딩 시간, 가공 시간, 셋업 교환 시간 및 언로딩 시간들의 합으로 계산된다. 또한, 2개의 터렛과 2개의 스핀들을 갖는 복합 공작 기계인 경우에는 두 개의 공작물을 동시에 가공하는 병렬 가공이 가능한데, 이 경우 일반 가공시와는 다른 방식으로 사이클 타임을 계산해야 한다.

도 11은 2개의 터렛과 2개의 스핀들을 갖는 복합 공작 기계에서 병렬 가공을 수행하는 경우, 하나의 사이클이 수행되는 단계 즉 하나의 공작물이 생성되는 단계를 보여주는 도면이다.

복합 공작 기계에서는 좌측 스핀들에서 먼저 가공을 수행한 후 우측 스핀들로 공작물을 이송하여 나머지 가공을 수행한다. 이에 따라 공작물 로딩은 좌측 스핀들에서 이루어지며, 공작물의 언로딩은 우측 스핀들에서 이루어진다.

도 11에 도시된 바와 같이, 하나의 사이클은 우측 스핀들에 장착된 공작물을 언로딩하는 1단계와, 좌측 스핀들에 장착된 공작물을 우측 스핀들로 이송하는 2단계와, 좌측 스핀들에 새로운 공작물을 로딩하는 3단계와, 양측 스핀들에 장착된 공작물에 대한 가공을 시작하는 4단계 및 가공이 완료되는 5단계로 이루어진다.

따라서, 2개의 터렛과 2개의 스핀들을 갖는 복합 공작 기계의 사이클 타임은 아래의 식 (1)과 같이 구해질 수 있다.

$$\text{Max} [(LL+LR+LU+ML), (LL+LR+LU+MR)] \quad (1)$$

(LL: 왼쪽 스핀들에서의 공작물의 로딩 시간, LR: 왼쪽 스핀들에서 오른쪽 스핀들로 공작물의 이송 시간, LU: 오른쪽 스핀들에서 공작물의 언로딩 시간, ML: 왼쪽 스핀들에서 공작물의 가공 시간, MR: 오른쪽 스핀들에서 공작물의 가공 시간)

식 (1)에서 공작물의 로딩 시간, 언로딩 시간 및 이송 시간들은 일정하기 때문에 사이클 타임은 ML 또는 MR 중의 최대 값에 비례하게 되며, 가공 시간에 관련된 수행도 지표를 아래의 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$\text{Max} [ML, MR] \quad (2)$$

이와 같이, 수행도 지표인 식(2)를 최소화 할 수 있는 EPS를 생성하게 된다.

이하, 도 12를 참조하여 도 6에 도시된 EPS 수립 단계(S300)를 상세하게 설명하기로 한다.

먼저, 각 스핀들 셋업에 수행 작업을 할당할 수 있는 모든 작업 조합을 생성하는데, 스핀들 셋업에 상관없이 수행 가능한 작업들을 특정 스핀들 셋업에 할당하고, 대안 실행 작업들 중에서 수행할 작업을 선택하여 작업 조합을 생성함으로써 가능한 모든 작업 조합들에 대한 목록을 작성한다(S310). 바람직하게는 모든 작업 조합을 나열하여 각 조합에 대한 사이클 타임을 예측하는 ETAWS(Evaluation Table for Assigning Workingstep to each Setup)을 이용하는 것이 좋다.

ETAWS에서는 스핀들 셋업에 상관 없이 수행 가능한 작업들은 그들이 수행되는 스핀들 셋업에 따라 사이클 타임을 크게 변화시킨다. 이에 따라, 스핀들 셋업에 상관 없는 작업들을 각 스핀들 셋업에 할당 시킬 수 있는 모든 경우의 수를 찾아내어 각 경우에 대해 사이클 타임을 예측한다.

또한, HPSG에서 OR로 표현된 대안 작업 역시 선택된 작업에 따라 사이클 타임이 크게 변할 수 있으므로, 이들이 선택되는 모든 경우를 찾아내어 각 경우에 대해 사이클 타임을 예측한다.

도 13은 도 10에 도시된 HPSG로부터 생성된 ETAWS를 나타내는 도면이다.

도 13에서, A 열은 스핀들 셋업에 상관없이 수행 가능한 작업들 중 스핀들 셋업 1에서 수행하는 작업을 나타내며, B 열은 스핀들 셋업 2에서 수행하는 작업을, C 열은 대안 작업들 중 실행 되는 작업을, 열 D는 해당 행의 사이클 타임 예측값을 나타낸다.

도 10에 도시된 HPSG에서 스핀들 셋업에 상관없이 수행 가능한 작업들은 8PR, 8PF, 9PR, 9PF, 10PR, 10PF, 11PR, 11PF이며, 대안 작업은 6B, 6CR, 6CF, 2CR, 3GR, 2CF, 3GF, 12CR, 13CR, 12CF, 13GF이다. ETAWS에서 첫번째 행은 8PR이 스핀들 셋업 1에서 수행되며, 8PF, 9PR, 9PF, 10PR, 10PF, 11PR, 11PF가 스핀들 셋업 2에서 수행되며, 대안 작업들 중 6B, 2CR, 3GR, 2CF, 3GF가 실행 작업으로 선택된 경우를 나타낸다. 이 때의 사이클 타임의 예측값은 3.15분임을 나타낸다. ETAWS에서 하나의 행은 스핀들 셋업 할당 및 실행 작업 선택의 하나의 경우를 의미하며, 모든 가능한 경우에 대해서 행을 생성해 나간다. 이와 같이 생성된 행들을 사이클 타임의 예측값이 작은 순서대로 정렬되며, 사이클 타임의 예측값이 작을수록 최적해가 얻어질 확률이 큰 것으로 간주된다.

여기서, 중간 단계의 작업 스케줄에 대한 사이클 타임을 예측하는 방법은 후술하여 상세히 설명하기로 한다.

상기 작업 조합 생성 단계(S310)에서 작업 조합이 생성되면, 생성된 작업 조합으로부터 각 스핀들 셋업에서의 무순서 실행 작업들의 실행 순서를 결정하고 동시 가공이 가능한 작업들에 대해 동시 가공 적용 여부를 결정한 후, 상기 식(2)의 수행도 지표를 평가하여 최적해를 산출한다(S320). 최적해를 산출하기 위한 방법에 대해서는 후술하여 설명하기로 한다.

최종적으로, 상기 단계(S320)에서 산출된 최적해로부터 EPS 정보를 생성하게 되는데(S330), 생성된 EPS 정보는 상기 S200 단계에서 생성된 HPS 정보에 실제 작업 수행시 사용할 터렛과 스핀들 정보, 동시 가공 실행 여부, two-feature 동시 가공 수행시 함께 수행될 작업, 작업 수행시 사용할 공구, 공구 경로, 가공 소요 시간 및 전체 스케줄 상에서 작업 시작 시간에 관한 정보들이 속성으로 추가된 정보이다.

도 14는 도 12의 절차를 통해 생성된 EPS 정보를 도식적으로 나타낸 EPSG(Executive Process Sequence Graph)로서, 도 10에 도시된 HPS로부터 작성한 EPSG의 예를 보여주는 도면이다.

도 14에 도시된 바와 같이, EPSG는 실시간 실행을 목적으로 하여 NPSG와 HPSG에서 나타나고 있는 AND(SA-JA), OR(SO-JO) 등으로 표기된 무순서 실행, 대안 실행등이 모두 제거된 형태를 갖는다. 또한, EPSG에서는 NPSG 및 HPSG에서와는 달리 AND와 OR 속성의 노드가 사용되지 않으며, PARALLEL과 MARK 속성을 가지는 노드가 사용된다.

PARALLEL 노드는 SP(Split Parallel)과 JP(Joint Parallel)로 표현되고 SP에 의해 분기된 branch상의 작업들이 시간적으로 동시에 수행됨을 의미하며, 복수개의 터렛을 갖는 복합 공작 기계에서는 두 개 이상의 터렛이 동시에 작업을 시작하는 것을 의미한다. 예를 들어, 도 14의 스핀들 셋업 1에 정의된 PARALLEL 노드는 5CR 작업이 두 개의 터렛에 의해 동시에 진행되는 one-feature 동시 가공을 수행함을 나타낸다.

MARK 노드는 복수 터렛 혹은 복수 채널(channel)을 갖는 공작 기계에서 터렛 간의 동기화 여부를 정의하는 노드이다. MARK 노드는 SM(Set Mark)와 WM(Wait Mark)으로 표기되며, WM은 상대 셋업에서 SM이 수행될 때까지 자신이 속해 있는 스핀들 셋업에서의 작업 수행을 잠시 중지시키는 역할을 수행한다. 예를 들어, 도 14의 스핀들 셋업 1의 두번째 노드는 WM으로서 4FR이 종료된 후, 스핀들 셋업 2에서 1FR과 2CR의 수행이 종료될 때까지 스핀들 셋업 2에서의 작업 수행을 잠시 중단시키는 것을 의미한다.

EPSG에서 서로 연관된 WM과 SM은 점선으로 연결되는데, SM이 수행되는 순간 그와 점선으로 연결된 WM은 대기 상태를 해제하고 이후의 작업을 수행하게 된다. WM과 SM의 사용을 통해 EPSG에서는 동시 가공 등을 위한 셋업 간의 동기화를 수행할 수 있다.

이하, CTEM(Cycle Time Effect Map)을 통하여 중간 단계의 스케줄에 대한 사이클 타임을 예측하는 방법에 대해 설명하기로 한다.

복합 공작기계에서 동시 가공은 일반 가공(하나의 터렛과 스핀들을 사용하여 다른 작업과 독립적으로 수행되는 가공)과 비교하여 가공 시간의 단축을 가져올 수 있는데, one-feature 동시 가공은 동시 가공이 적용된 작업에 대해 가공 시간의 단축을 가능케 하며, two-feature 동시 가공은 동시 가공이 적용된 작업 보다는 동시 가공이 적용된 작업이 포함된 셋업에서의 총 가공 시간(machining span time)을 단축시키게 된다. 그러나, 동시 가공은 상대 셋업에 포함된 작업을 수행할 터렛을 동시 가공에 사용케 함으로써 상대 셋업에서의 작업 진행을 방해하며, 이로 인해 상대 셋업에서의 총 가공 시간은 증가하게 되므로, 동시 가공을 적용했을 때 각 스핀들 셋업에서의 가공 시간 증감량을 모두 고려할 필요가 있다. 여기서, 기본 가공 대비 동시 가공의 적용으로 인한 각 셋업에서의 가공 시간의 증감량을 "동시 가공 효과"라고 정의하기로 한다.

CTEM은 동시 가공이 가능한 작업들에 대해서 일부는 동시 가공을 적용하고, 나머지 일부에 대해서 일반 가공 방식을 적용했을 때의 각 셋업에 미치는 동시 가공 효과를 나타내며, CTEM을 구성하는 하나의 행은 동시 가공이 적용되는 한 가지 경우를 의미한다.

도 15는 one-feature 동시 가공이 가능한 작업이 WS3, WS5, WS6이고, two-feature 동시 가공이 가능한 작업의 쌍은 (WS4, WS7), (WS5, WS8)이며, 이들 중 WS3, WS5, WS6, WS8은 셋업 1에서 수행하는 작업이고, WS4, WS7은 셋업 2에서 수행하는 작업인 경우에 대해 작성된 CTEM의 예를 나타낸 것이다.

도 15에 도시된 CTEM에서 첫 번째 행은 WS3만이 동시 가공 방식에 의해 수행되며, 나머지 동시 가공이 가능한 작업들은 일반 가공 방식에 의해 수행되는 경우에서의 셋업 1과 셋업 2에서의 동시 가공 효과를 나타낸 것이다. 또한, 21번째 행의 경우에는 WS3와 WS6들이 one-feature 동시 가공 방식에 의해 수행되고, (WS4, WS7), (WS5, WS8)들이 two-feature 동시 가공에 의해 수행될 때의 셋업 1과 셋업 2에서의 동시 가공 효과를 나타낸 것이다.

아래의 식 (3)은 one-feature 동시 가공을 적용할 경우, 동시 가공을 수행하는 셋업의 가공 시간의 감소량을 계산하는 수식이며, 식 (4)는 동시 가공을 수행하지 않는 셋업의 가공 시간의 증가량을 계산하는 수식이다.

$$E_{s1}(j) = T_O(WS_i) - T_I(WS_i) \quad (3)$$

$$E_{s2}(j) = T_O(WS_i) \quad (4)$$

($E_{s1}(j)$): CTEM의 j번째 행에 대하여 스핀들 셋업 1에서의 동시 가공 효과, $E_{s2}(j)$: CTEM의 j번째 행에 대하여 스핀들 셋업 2에서의 동시 가공 효과, $T_O(WS_i)$: 작업 WS_i 이 one-feature 동시 가공으로 수행될 때의 가공 시간, $T_I(WS_i)$: 작업 WS_i 가 일반 가공 방식으로 수행될 때의 가공 시간)

아래의 식 (5)는 two-feature 동시 가공을 적용할 경우, 동시 가공을 수행하는 셋업의 가공 시간의 감소량을 계산하는 수식이며, 식 (6)은 동시 가공을 수행하지 않는 셋업의 가공 시간의 증가량을 계산하는 수식이다.

$$E_{s1}(j) = T_I(WS_i) + T_I(WS_j) - \text{MAX}(T_T(WS_i, WS_j), T_T(WS_j, WS_i)) \quad (5)$$

($T_T(WS_i, WS_j)$): 작업 WS_i 와 작업 WS_j 가 two-feature 동시 가공을 수행하는 경우의 WS_i 의 가공 시간, $T_T(WS_j, WS_i)$: 작업 WS_i 와 작업 WS_j 가 two-feature 동시 가공을 수행하는 경우의 WS_j 의 가공 시간)

$$E_{s2}(j) = \text{MAX}(T_T(WS_i, WS_j)) \quad (6)$$

이와 같이 작성된 CTEM과 아래의 식 (7)을 이용하여 가장 효율적으로 동시 가공을 적용한 사이클 타임을 예측할 수 있다.

$$CT_E = \text{MIN}\{\text{MAX}(ET_{S1}(j), ET_{S2}(j))\} \text{ for } \forall j \quad (7)$$

(CT_E : 사이클 타임, $ET_{S1}(j)$: CTEM의 j번째 행의 동시 가공을 적용한 경우에 셋업 1의 가공 시간, $ET_{S2}(j)$: CTEM의 j번째 행의 동시 가공을 적용한 경우에 셋업 2의 가공 시간)

상기 식 (7)에서 $ET_{S1}(j)$ 와 $ET_{S2}(j)$ 는 각각 식 (8) 내지 식(10)를 통해 얻을 수 있다.

$$ET_{s1}(j) = DT_{S1} + T_L(R_{S1}) + E_{S1}(j) \quad (8)$$

$$ET_{s2}(j) = DT_{S2} + T_L(R_{S2}) + E_{S2}(j) \quad (9)$$

$$T_L(R) = \sum_{WS_i \in R} T_I(WS_i) \quad (10)$$

(DT_{S1} : 스핀들 셋업 1에서 스케줄이 결정된 작업들의 가공 시간, DT_{S2} : 스핀들 셋업 2에서 스케줄이 결정된 작업들의 가공 시간, $E_{S1}(j)$: CTEM에서 j번째 행의 스핀들 셋업 1에 대한 동시 가공 효과, $E_{S2}(j)$: CTEM에서 j번째 행의 스핀들 셋업 2에 대한 동시 가공 효과, R: 특정 스핀들 셋업에서 순차적으로 수행해야 할 작업들의 집합, $T_L(R)$: 집합내의 작업들이 순차적으로 수행 되는 경우의 가공 시간)

이하, 도 16를 참조하여 상기 최적해 산출 단계(S320)에서 최적해를 산출하는 방법에 대하여 설명하기로 한다.

먼저, 상기 작업 조합 생성 단계(S310)에서 산출된 ETAWS에 포함된 작업 조합들 중 특정 작업 조합에 대하여 branch-and-bound 알고리즘을 적용함으로써 해당 작업 조합에 가공 스케줄이 설정된 로컬해를 구한다(S321).

이후, 로컬해와 기준해의 사이클 타임을 비교하여 로컬해의 사이클 타임이 더 작은 경우 기준해를 해당 로컬해로 대체하여 설정한다(S323). 단, 최초로 계산되는 로컬해의 경우는 기존에 존재하는 기준해가 없으므로 해당 로컬해를 기준해로 설정한다.

상기 단계들을 ETAWS에 포함된 모든 작업 조합에 대해 반복 수행하여 최종적으로 얻어지는 기준해를 최적해로 설정한다(S324). 여기서, ETAWS의 사이클 타임 예측값이 작은 작업 조합 순으로 상기 단계들을 반복 수행하되, 기준해의 사이클 타임보다 큰 사이클 타임 예측값을 가지는 작업 조합은 로컬해 산출 대상에서 제외함으로써 최적해 산출 시간을 단축시키는 것이 바람직하다.

도 17은 상기 S321 단계에서 branch-and-bound 알고리즘을 적용하여 로컬해를 구하기 위한 해 탐색 트리의 예를 보여주는 도면이다.

도 17에서 Root로 표시되는 루트 노드(root node)는 빈 스케줄을 의미하는 노드로서 $N_{Root}[CT_R]$ 로 표현되는 속성을 가지는데, CT_R 은 기준 사이클 타임을 의미하며 상기 S323 단계에서 구해지는 기준해의 사이클 타임에 해당한다.

루트 노드로부터 해 탐색 트리를 구성해 나가는 과정은, 먼저 빈 스케줄을 의미하는 루트 노드로부터 시작하여, 빈 스케줄에 추가 가능한 하나의 작업을 선택하고, 이를 스케줄상에 위치시키는 분기(branching) 과정을 거침으로써 중간해를 찾는 방식으로 진행된다.

이 때, 중간해는 루트 노드의 자식 노드로서 표현이 되며, 각 노드는 별도의 스케줄 정보를 갖는다. 이렇게 생성된 자식 노드들에 대해 사이클 타임을 예측하는 평가(evaluation) 과정을 수행하게 되며, 평가 결과와 기준 사이클 타임을 비교함으로써 기준 사이클 타임 보다 큰 평가 결과를 갖는 노드를 가지치기(pruning)하게 된다. 이와 같이, 기준 사이클 타임은 가지치기의 기준이 되는 값으로서, branch-and-bound 알고리즘을 효율적으로 수행할 수 있는 중요한 변수로 작용하게 된다.

이어서, 가지치기 되지 않고 남은 노드들 중 사이클 타임의 예측값이 가장 작은 노드를 선택하여, 분기, 평가, 가지치기 과정을 계속적으로 반복함으로써 최종해를 찾게 된다.

분기에 의해 생성되는 자식 노드는 도 17에서 1, 2, 11, 12등의 숫자로 표현된 중간 스케줄에 해당하는데, 123번 노드와 같이 $N_{123}[CT_E, DT_{S1}, DT_{S2}]$ 에 의해 표현되는 속성을 가지고 있다. 여기서, CT_E 는 사이클 타임의 예측값을 의미하며, DT_{S1} 과 DT_{S2} 는 노드에 포함된 스케줄 상에서 스케줄이 결정된 모든 작업들이 각각 스핀들 셋업 1과 스핀들 셋업 2에서 종료되는 시간을 의미한다. 또한, 트리를 구성하는 아크는 $A[WS_i, S_j, T_k]$ 로 표현되며, 이는 작업 WS_i 를 셋업 j에서 터렛 k를 이용하여 수행하는 것을 나타낸다. 즉, 노드 123의 스케줄은 먼저 작업 1FF를 셋업 1과 터렛 1에 위치시키고, 작업 4FR을 셋업 2와 터렛 2에 위치시키고, 1FF를 셋업 2와 터렛 2에 위치시킴으로써 만들어지며, 이에 대한 스케줄은 도 17에 도시된 스케줄표로 표현될 수 있다.

이하, 상술하여 설명한 분기 방법을 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

분기는 특정 노드에 포함된 스케줄에 추가가 가능한 작업들 중 하나를 선택하고, 이를 스케줄상의 적당한 위치(특정 셋업, 터렛)에 할당하는 것으로서, HPSG의 아크로 연결되는 노드(작업) 중 가공 우선 순위가 높은 작업을 선택하여 할당하게 된다. 이 때, 생성되는 자식 노드의 수는 부모 노드에 포함된 스케줄에 추가 가능한 작업의 수와 동일하다.

그러나, 부모 노드로부터 가능한 모든 자식 노드를 분기할 필요는 없으며, 바람직하게는 효율적인 분기를 하기 위하여 일정한 분기 규칙(branching rule)을 적용하는 것이 좋다. 분기 규칙에는 branch-and-bound 알고리즘의 수행을 통해 해를 찾아나가는 과정에서 스케줄이 결정된 스핀들 셋업간의 가공 시간 차이를 최소화 하는 규칙(분기 규칙 1)과 EPSG의 생성 도중 동일한 스케줄을 반복적으로 찾는 것을 사전에 막기 위한 규칙(Branching rule 2)이 있는데 각 규칙은 아래와 같이 표현될 수 있다.

(분기 규칙 1)

$DT_{S1} < DT_{S2}$ 인 경우에는 스핀들 셋업 1에서 수행 가능한 작업을 자식 노드로 분기하며, $DT_{S1}(K) > DT_{S2}(K)$ 인 경우에는 스핀들 셋업 2에서 수행 가능한 작업을 자식 노드로 분기한다. 단, 동시 가공으로 수행해야 할 작업은 스핀들 셋업에 상관없이 분기를 수행한다.

(분기 규칙 2)

DT_{S1} 와 DT_{S2} 가 동일한 경우, 자식 노드의 대상이 되는 작업들 중 임의의 하나의 스핀들 셋업에서 수행 가능한 작업들만을 선택하고, 이들에 대해서 분기를 수행한다. 이때 동시 가공으로 수행하는 작업들은 스핀들 셋업에 상관없이 분기를 수행한다.

복합 가공기에서 동시 가공은 하나의 스핀들 셋업 수행을 중지시키고, 두 터렛이 동일 작업(one-feature 동시가공)혹은 다른 작업(two-feature 동시 가공)을 동시에 수행하기 위한 동기화가 필요하며, 동기화를 위해서는 불가피하게 한쪽 터렛의 idle time이 발생한다. idle time은 사이클 타임을 증가시키는 역할을 하며, EPSG의 효율을 높이기 위해서는 idle time을 최대한 줄이도록 해야 한다. 이에 따라 상기 분기 규칙 1은 EPSG를 생성하는 중간 단계에서 당장 동시 가공이 수행되더라도 idle time을 최소화 할 수 있도록 두 스핀들 셋업간의 가공 시간 차이를 최소화시키기 위해 적용된다.

분기 규칙 2는 분기 규칙 1이 적용되지 않는 경우, 즉 $DTS1 = DTS2$ 인 상황에서 적용한다. 이 경우, branch-and-bound 알고리즘을 적용하게 되면 동일한 해를 반복적으로 찾는 비효율적인 문제가 발생하는데, 분기 규칙 2를 적용하여 이러한 문제를 회피할 수 있다.

이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백하다 할 것이다.

발명의 효과

이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 비선형 공정 계획 생성 방법은 다수의 가공 대안을 현장에 제공함으로써, STEP-NC 공작 기계가 현장 상황에 따라 최적화된 가공을 수행할 수 있고, 가공 중에 발생하는 이상 상황에 자율적으로 대처할 수 있게 됨으로써, 가공 지연 등으로 인한 생산성 저하를 방지하고 무인 가공 시스템을 용이하게 구축할 수 있도록 하는 효과가 있다.

또한, 복합 가공기에 최적화된 실행 공정 계획 생성을 제공함으로써 복합 가공 효율을 대폭 향상시킬 수 있는 효과도 있다.

한편, 본 발명에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템은 CAD, CAM, MES 및 PDM 등의 외부 시스템과 인터넷으로 연결된 환경에서 손실 없는 효율적 정보 전달을 가능하게 하고, 현장의 기계 정보 및 가공 정보 등을 다양한 시스템에서 활용함으로써 생산성 향상에 기여할 수 있는 효과가 있다.

또한, 본 발명에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템을 구비한 공작 기계 들끼리 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램을 인터넷을 통해 자유롭게 교환할 수 있게 함으로써 공작 기계의 종류에 무관한 글로벌 제조가 가능해지고, 다양한 STEP-NC 파트 프로그램의 공유를 통해 가공 준비 시간을 단축할 수 있는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템의 구성도.

도 2는 도 1에 도시된 STEP-NC 인터페이스부를 통하여 입출력되는 XML 형식의 STEP-NC 파트 프로그램에 대한 예를 나타내는 도면.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 비선형 공정 계획 방법이 적용되는 가공 소재의 최종 형상을 나타내는 도면.

도 4 및 도 5는 도 3에 도시된 형상을 가공하기 위한 볼륨 제거의 예를 보여주는 도면.

도 6은 본 실시예에 따른 인터넷 기반 STEP-NC 시스템을 이용하여 비선형 공정 계획을 생성하는 방법을 보여주는 순서도.

도 7은 도 6에 도시된 NPS 수립 단계에 대한 세부 순서도.

도 8은 도 7의 절차를 통해 생성된 NPS 정보에 대한 NPSG를 보여주는 도면.

도 9는 도 6에 도시된 HPS 수립 단계에 대한 세부 순서도.

도 10은 도 9의 절차를 통해 생성된 HPS 정보에 대한 HPSG를 보여주는 도면.

도 11은 복합 공작 기계에서 병렬 가공시 하나의 사이클이 수행되는 단계를 보여주는 도면.

도 12는 도 6에 도시된 EPS 수립 단계에 대한 세부 순서도.

도 13은 도 10에 도시된 HPSG로부터 생성된 ETAWS를 나타내는 도면.

도 14는 도 12의 절차를 통해 생성된 EPS 정보에 대한 EPSG를 보여주는 도면.

도 15는 CTEM을 설명하기 위한 도면.

도 16은 도 12에 도시된 최적해 산출 단계에 대한 세부 순서도.

도 17은 도 16에 도시된 로컬해를 구하기 위한 해 탐색 트리의 예를 보여주는 도면.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

100 : NPS 생성부 200 : EPS 생성부

300 : 자율 제어부 310 : 가공 집행부

320 : 이상상황 대처부 330 : On-machine 측정 및 분석부

340 : 재가공부 400 : 인터페이스부

410 : 표준 CAD 인터페이스

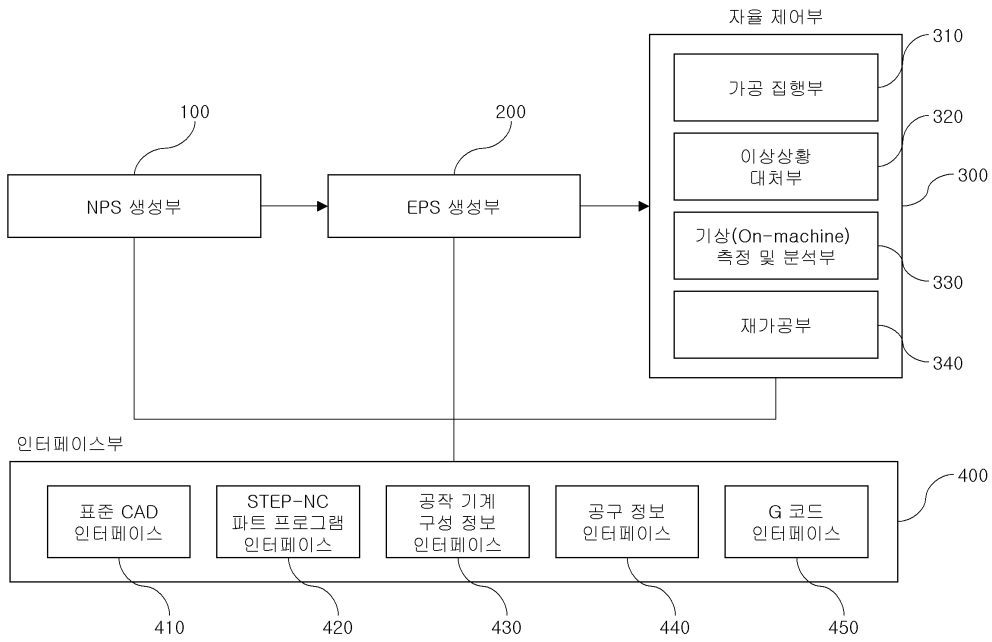
420 : STEP-NC 파트 프로그램 인터페이스

430 : 공작 기계 구성 정보 인터페이스

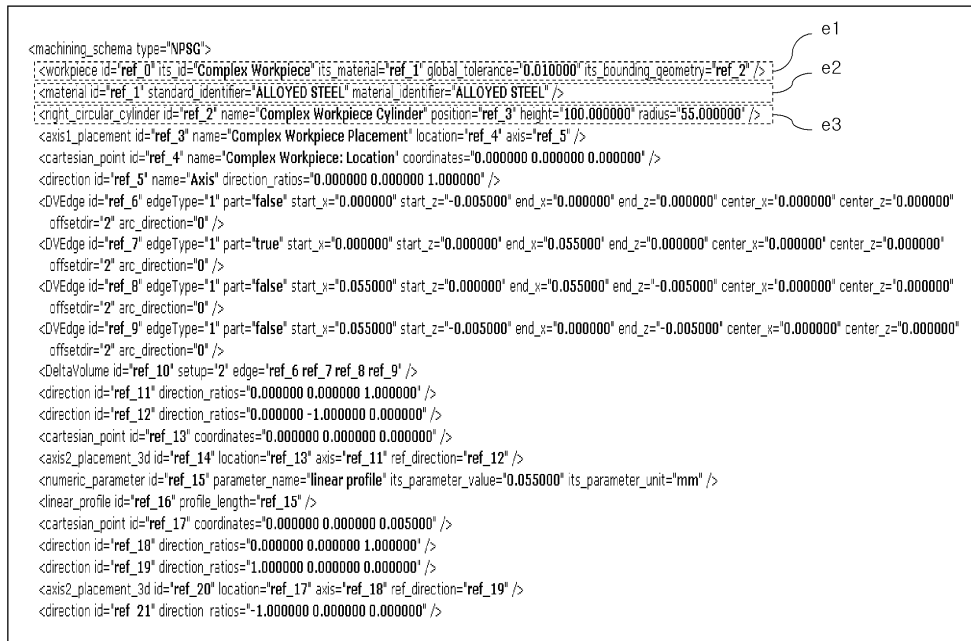
440 : 공구 정보 인터페이스 450 : G 코드 인터페이스

도면

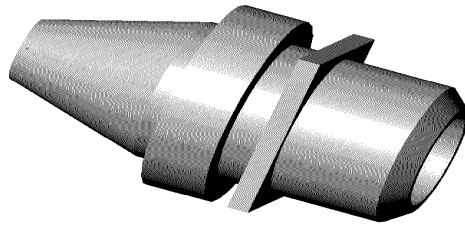
도면1



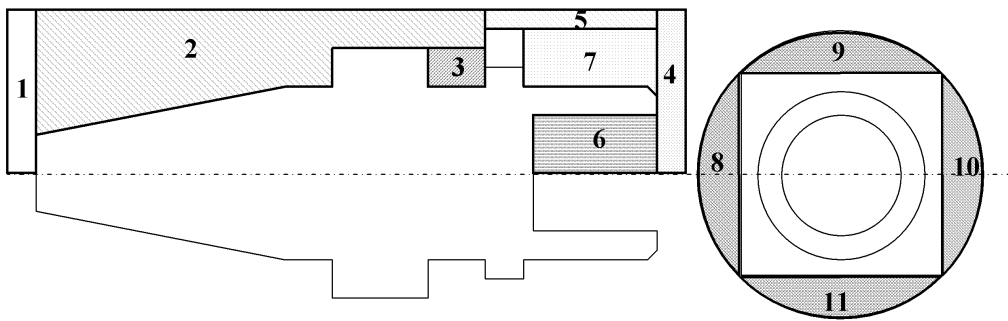
도면2



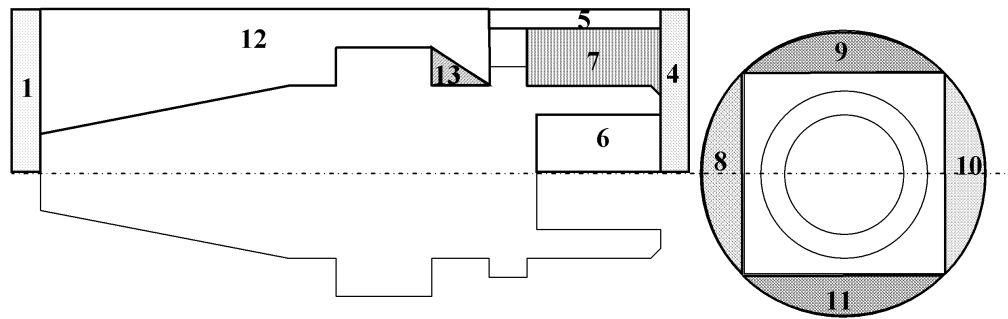
도면3



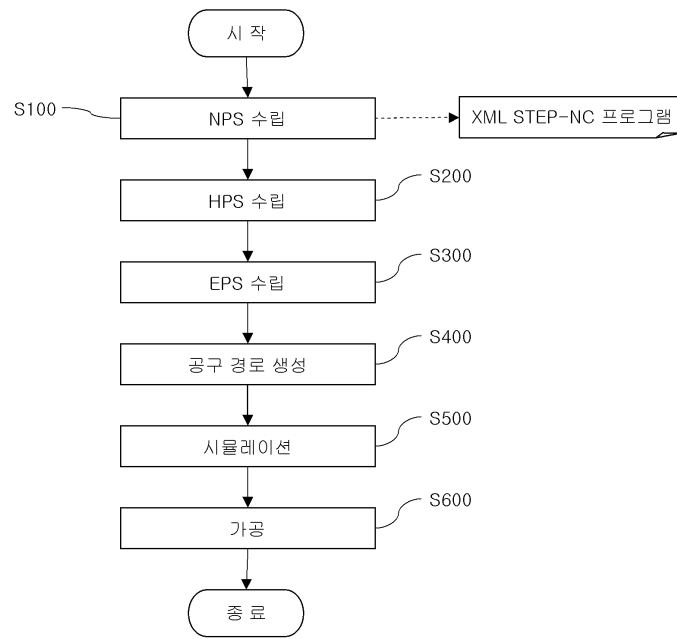
도면4



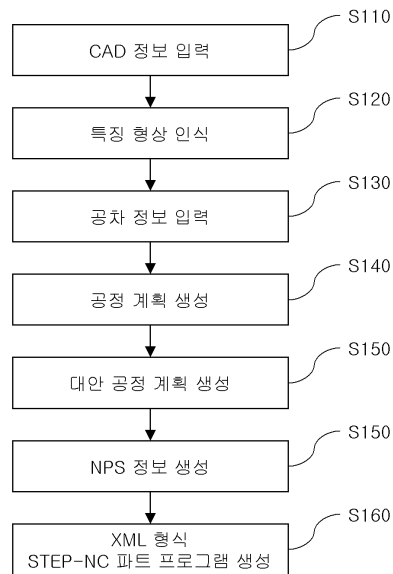
도면5



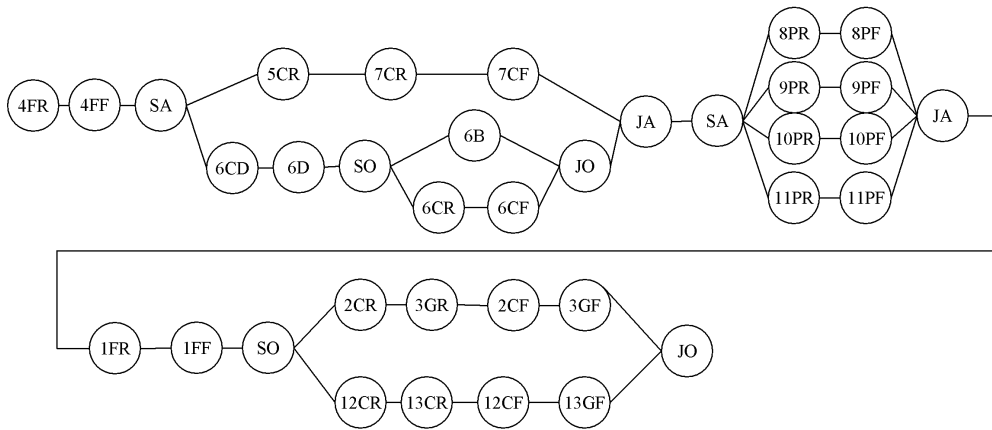
도면6



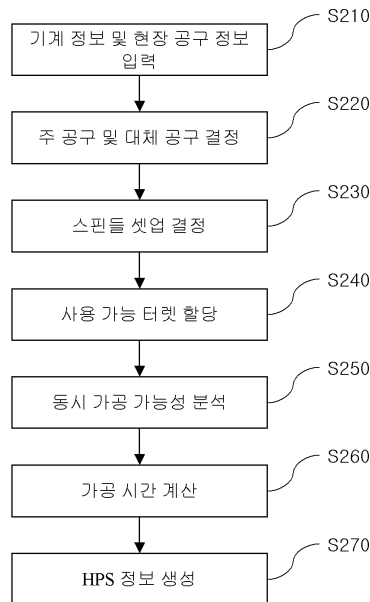
도면7



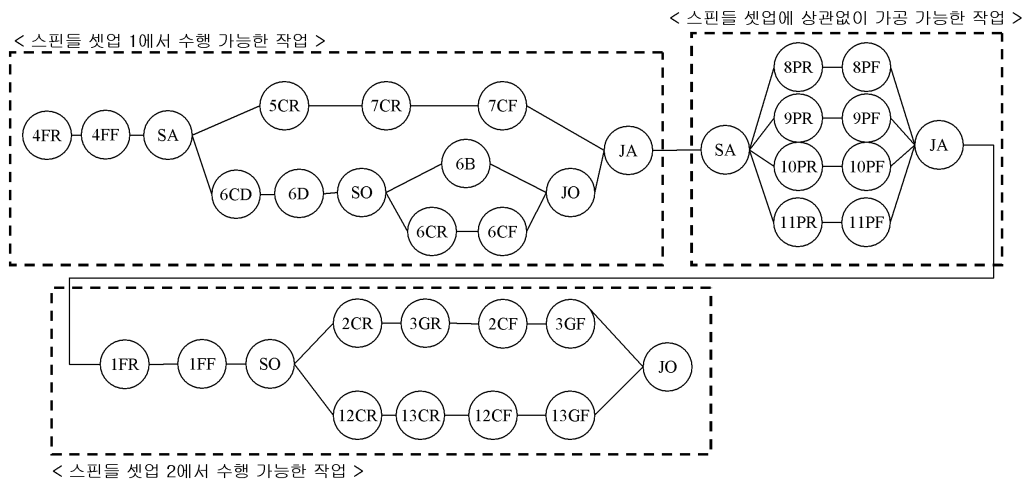
도면8



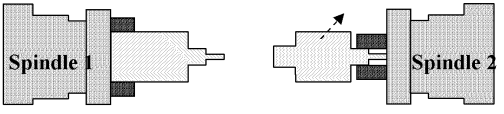
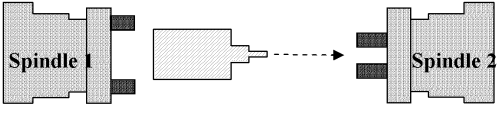
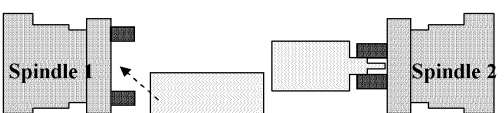
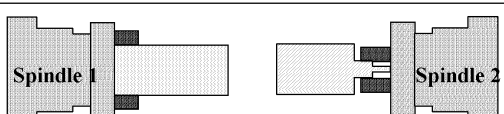
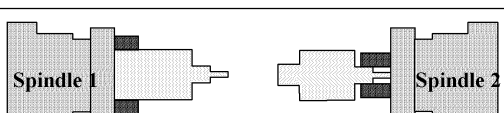
도면9



도면10

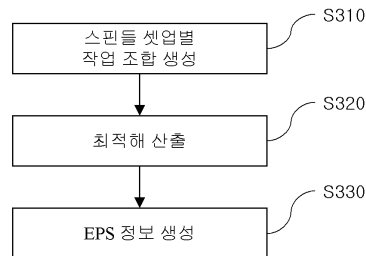


도면11

단계	작업 상태	*T1	*T2
1 단계		L_U	L_U
2 단계		L_R	L_R
3 단계		L_L	L_L
4 단계		M_L	M_R
5 단계			

*T1: 스피들 1에서 각 단계별 소요 시간
*T2: 스피들 2에서 각 단계별 소요 시간

도면12



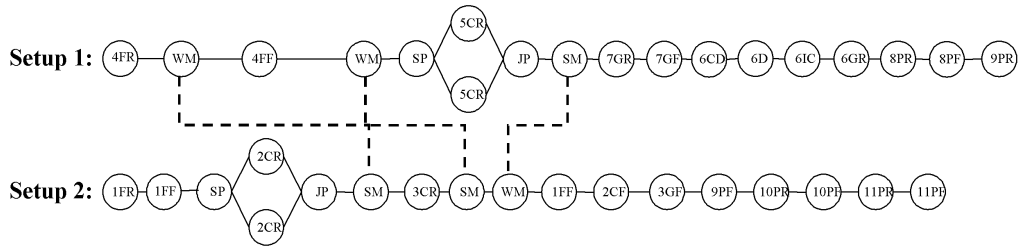
도면13

<Evaluation Table for Assigned Workingstep to Each Setup (ETAWS)>

Index	A	B	C	D
1	8PR	8PF, 9PR, 9PF, 10PR, 10PF, 11PR, 11PF	6B,2CR,3GR,2CF,3GF	3.15
2	8PR, 8PF	9PR, 9PF, 10PR, 10PF, 11PR, 11PF	6B,2CR,3GR,2CF,3GF	3.16
3	8PR, 8PF, 9PR	9PR, 9PF, 10PR, 10PF, 11PR, 11PF	6B,12CR,13CR, 12CF,13GF	3.42
	None	8PF, 9PR, 9PF, 10PR, 10PF, 11PR, 11PF	6IC, 2CR, 3GR, 2CF, 3GF	3.38
		⋮		
		⋮		

A: 셋업에 상관없이 수행 가능한 작업들 중 setup 1에서 수행되는 작업
B: 셋업에 상관없이 수행 가능한 작업들 중 setup 2에서 수행되는 작업
C: 대안 작업들 중 실제 수행할 작업
D: 예측된 사이클 타임

도면14

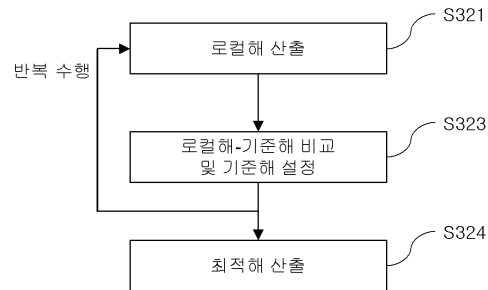


도면15

index	A	B	C
0	None	0	0
1	WS_3	$T_O(WS_3) - T_I(WS_3)$	$T_O(WS_3)$
2	(WS_4, WS_7)	$\text{MAX}\{T_T(WS_4, WS_7), T_I(WS_7, WS_4)\}$	$T_I(WS_4) + T_I(WS_7) - \text{MAX}\{T_T(WS_4, WS_7), T_I(WS_7, WS_4)\}$
:			
12	$WS_6, (WS_5, WS_8)$	$E_{s1}(1) + E_{s1}(5)$	$E_{s2}(1) + E_{s2}(5)$
:			

A : 동시 가공을 적용한 작업
 B: 동시 가공 적용을 통해 발생한 셋업 1에서의 가공 시간의 증감량 ($E_{s1}(j)$)
 C: 동시 가공 적용을 통해 발생한 셋업 2에서의 가공 시간의 증감량 ($E_{s2}(j)$)

도면16



도면17

