

◆ 특집 ◆ 고성능 공작기계 수치제어장치

다계통 e-CNC 용 국제표준 모델 기반 e-CAM 구축 기술

Developing an ISO 14649-based e-CAM System Supporting Multi-channel e-CNC for Composite Machine Tools

신승준¹, 엄주명¹, 윤주성¹, 정수호¹, 차재민¹, 서석환^{1,✉}, 하경탁², 정대혁³
Seung-Jun Shin¹, Jumyung Um¹, Joo-Sung Yoon¹, Suho Jeong¹, Jae-Min Cha¹, Suk-Hwan Suh^{1,✉},
Kyeong-Tak Ha² and Dae-Hyuk Chung³

¹ 포항공과대학교 산업경영공학과 u-Manufacturing 연구센터 (Center for u-Manufacturing, Department of Industrial & Management, POSTECH)

² ㈜리얼타임웨이브 (Realtimewave Co., Ltd)

³ 두산인프라코어(주) 공작기계 연구센터(Machine Tools R&D Center, Doosan Infracore Co., Ltd)

✉ Corresponding author: shs@postech.ac.kr, Tel: 054-279-2196

Key Words: Conversational Programming (대화형 프로그래밍), Multi-Channel Composite Machine Tool (다계통 복합 공작기계), Turn-Mill Operation (복합공정), ISO14649 (국제표준 14649), e-Manufacturing (e-제조)

1. 서론

최근 공작기계는 공작기계의 부품소재 기술 및 제어 기술 발전에 힘입어 공작기계의 고속화, 고정밀화, 다기능화가 이루어지고 있다. 특히 다계통 복합 공작기계 (MCCM: Multi-Channel Composite Machine tool)로 대변되는 다기능화는 가공 정밀도를 향상시키고 가공 시간을 단축할 수 있는 고부가가치의 차세대 가공 시스템으로 각광받고 있다. 나아가, 제조 현장은 DA-BA-SA(Design Anywhere - Build Anywhere - Service Anywhere)를 추구하는 e-Manufacturing 환경으로 변화하고 있다. e-Manufacturing 환경에서는 분산 제조 시스템에서도 정보 교환을 통한 원활한 협업이 가능해 진다.

먼저 공작기계 측면에서 살펴보면, 다계통 복합 공작기계는 Fig. 1 과 같이 하나의 기계에서 셋업 변화 없이 다수의 축으로 선반, 밀링의 복합 공정을 수행하여 완전 가공이 가능한 공작기계를 의미한다. 다계통 복합 공작기계는 다양한 축의 개별 제어와 동시 제어가 가능해야 하는 고난이도

기술을 요구하므로, 선진 공작기계 업체를 중심으로 개발, 판매되고 있다. 그러나, 공작기계의 구조와 기능의 다양화 추세화는 달리 공작기계의 효율적인 활용을 위한 기술 개발은 미비한 상태이다.

일반적으로 다계통 복합 공작기계 활용을 위한 공정계획 및 NC 프로그래밍은 Fig. 2 와 같이 한 형상 동시가공, 두 형상 동시가공, 평행 가공 등 다양한 방법으로 가공이 가능하다. 공정계획자가 Fig. 2 와 같은 방식의 활용도에 따라 가공시간의 큰 차이(최대 40%)를 가져올 수 있다. 그러나, 대부분 복수 개의 기계를 작동시키는 방식에 기초하여 개별적인 공정계획과 프로그램을 생성하고, 이를 전문가가 취합하여 수정하는 방식을 취하고 있다. 이러한 방식은 전문가의 경험에 의존하며, 전문가를 찾기 힘들다는 문제가 있다. 무엇보다 큰 문제는 다계통 복합 공작기계의 NC 프로그래밍은 수작업으로 생성하기가 매우 까다롭다는 것이다.

이는 2축 선반, 2.5축 밀링 기계에서 가공되는 형상과는 다르게, 다계통 복합 공작기계에서 가공되는 형상은 Fig. 3 과 같이 선반, 밀링 형상이 공

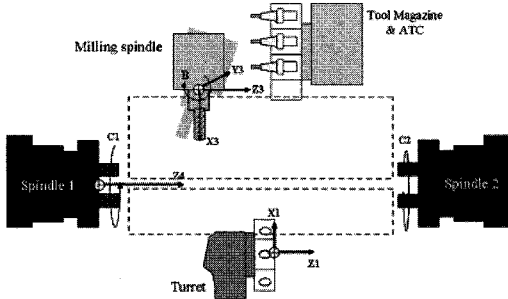


Fig. 1 Configuration of Multi-channel composite machine tool

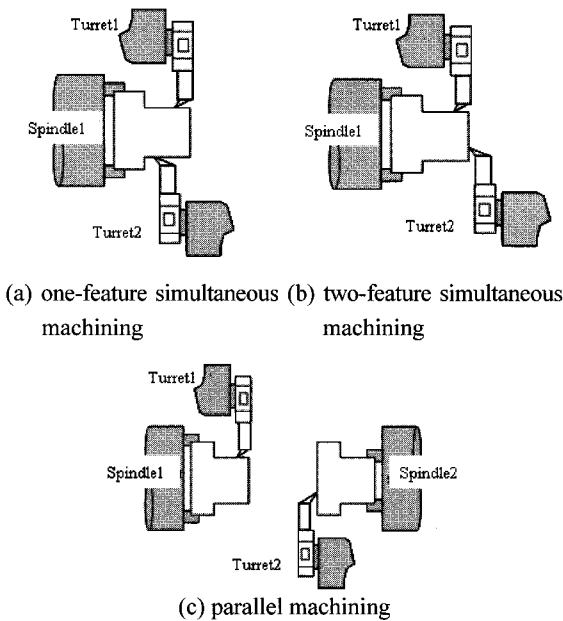


Fig. 2 Three feasible machining modes in MCCM

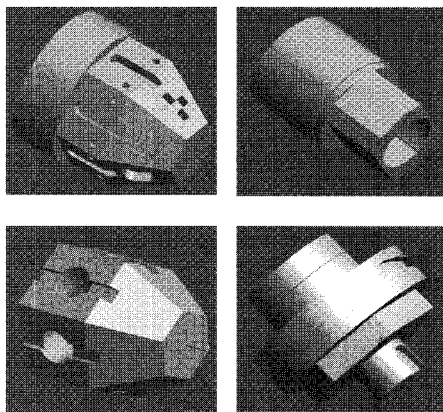


Fig. 3 Turn-Mill part examples

존해 있고, 가공을 위하여 3 축 제어를 수행하고, 계통마다의 프로그래밍을 해야 하기 때문이다. 따라서 컴퓨터를 이용하여 자동적으로 공구경로를 생성할 수 있는 즉, 자동 프로그래밍 시스템 개발이 필요하다.

일반적인 프로그래밍 방식에는 별도의 CAM 소프트웨어를 이용하여 프로그래밍한 후 이를 제어기로 전송하는 오프라인 프로그래밍과 제어기에 CAM 기능을 탑재하는 온라인 프로그래밍이 있다. EdgeCAM,¹ MasterCAM² 과 같은 오프라인 방식의 경우, 다양한 동작기계 구성에 맞는 프로그래밍이 가능하며, 사용자가 쉽게 작업할 수 있는 인터페이스를 제공하며, 복잡한 형상에 대해서도 안정적으로 프로그래밍 할 수 있다. 그러나, 각 동작기계 에 맞는 post-processing 이 필요하며, 현장에서의 수정이 어려운 단점이 있다. Manual Guide,³ HPCAPS⁴ 와 같은 온라인 프로그래밍 방식은 특정 동작기계의 성능을 반영한 프로그래밍이 가능하고, 단순한 작업을 하기에 적합하다. 그러나, 복잡한 형상에 대한 프로그래밍 시간이 오래 걸리고, 사용자 숙련도에 많이 좌우되는 단점이 있다. 이러한 온라인 프로그래밍의 문제를 해결하기 위하여 대화형 프로그래밍 방식이 개발되었다. HPCAPS 와 같은 대화형 프로그래밍은 사용자의 편의를 위하여 작업자와 컴퓨터와의 상호 작용을 통하여 프로그래밍 하는 것이다. 작업자는 CNC 콘솔에서 컴퓨터가 유도하는 일련의 질문을 그래픽 화면과 메뉴를 통하여 입력함으로써 쉽게 프로그램이 자동적으로 생성되고, 프로그램에 의한 가공 모습을 시뮬레이터를 통하여 확인한다. 따라서, 이러한 방식은 사용자가 쉽게 프로그래밍 할 수 있고, 복잡한 형상도 컴퓨터의 유도에 의해 프로그래밍이 가능하기 때문에 온라인 방식의 단점을 보완한 강력한 방식이다.

한편, e-Manufacturing 측면에서는 CAD-CAM-CNC 프로세스의 원활한 정보 교환이 e-Manufacturing 의 성공적 실현을 위한 핵심사항이다. CAD-CAM 프로세스의 제품 정보 교환을 위해서는 ISO10303 기반 제품 정보 표준이 개발되었으며, 최근 ISO14649 로 규격화 된 CAM-CNC 프로세스의 정보교환을 위한 새로운 인터페이스 언어가 국제 표준화 되었다. 이와 같이, 제조환경에서의 원활한 정보 교환을 위하여 국제 표준 기반의 정보 모델 활용에 대한 움직임이 활발해 지고 있다. 현재, ISO14649 데이터 모델을 활용한 비선형 공정계획

에 대한 연구나 산업체 보급을 위한 구현이 진행 중이다.^{5,6} 이와 같이, 새로운 국제 표준 규격에 기반한 공작기계, 제어기, CAM 소프트웨어는 e-Manufacturing 환경에서의 필수 제조 장비이며, 이의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 e-CAM 으로 명명된 다계통 복합 공작기계를 위한 ISO14649 기반 대화형 프로그래밍 시스템에 대하여 소개한다. 개발중인 e-CAM 은 다계통 복합 공작기계에서 Fig. 3 과 같은 선반-밀링(Turn-Mill) 형상을 가공 대상으로 하며, NC 프로그램 작성이 매우 까다로운 복합 공작기계를 대상으로 사용자가 쉽고 편하게 최적의 NC 프로그램을 생성해주고 시뮬레이션을 통해 검증해주는 기능을 갖추고 있다. 또한 e-CAM 에서 'e'는 사용되는 일체의 정보가 국제표준 규격에 입각하여 e-Manufacturing 환경을 지원한다는 것을 의미하며, 이러한 점들이 보통의 선반 혹은 밀링 가공을 지원하는 일반 대화형 프로그래밍 장치들과 차별되는 점이다.

2. e-CAM 시스템 설계 요소 및 해결 방법

e-CAM 시스템은 국제 표준 기반 다계통 복합 공작 기계용 대화형 프로그래밍 시스템이라는 특성이 있으며, 이를 위하여 다양한 설계 요소들을 고려하고 이에 대한 기술 개발을 수행하였다. 본 장에서는 e-CAM 시스템 개발을 위한 설계 요소 및 기술적 해결 방법에 대하여 소개한다.

- 다계통 복합 공작기계 지원: Fig. 2 와 같이 다양한 가공 모드를 가지고 있는 다계통 복합 공작기계를 지원할 뿐만 아니라, 밀링 가공까지 지원해야 하므로, 단계통용 프로그래밍 시스템 개발보다 높은 난이도를 요구한다. e-CAM 시스템은 Fig. 1 과 같은 최대 2 터렛 2 스핀들 공작기계를 지원하도록 설계되었다. 하나의 터렛에는 밀링 가공용 공구 스핀들이 장착되어 있어 X, Y, Z, B 축 움직임이 가능하며, C 축 가공까지 포함하여 5 축 제어가 가능해야 한다. 이를 위하여 CL (Contact Location) path 는 5 축 정보를 포함하고 있으며, 5 축 제어를 위한 공구경로 및 좌표 변환 알고리즘을 개발하였다. 그리고, 가공시간 최소화를 위하여 일반적으로 절삭 제거율이 높은 선반 가공 후 밀링 가공을 수행하는데, 선반으로 최대한 제거 가능한 영역을 찾아주는 최대선반형상인식 기능을 구현하였다.

- 선반, 밀링 형상 지정 방법 및 교차문제 해결: 일반적인 대화형 프로그래밍 시스템은 형상을 사용자가 가공영역에 대하여 일일이 점 정보를 입력해야 하므로 사용자가 어렵고 불편하게 느끼는 요인이다. 또한 Fig. 3 과 같은 선반-밀링 형상은 서로 교차되어 영향을 미치는 현상이 발생할 수 있으므로 형상 지정에 어려움이 있을 수 있다. e-CAM 시스템에서는 선반 형상의 경우, 자동 형상 인식 알고리즘을 개발하였으며, 밀링 형상의 경우, 사용자가 화면을 통하여 형상을 직접 지정하면 추론 알고리즘을 통하여 정의된 형상을 생성해 주도록 하였다. 또한 생성된 형상을 가시화하여 확인 및 수정이 가능하도록 구현하였다.

- 동시가공 공구경로 생성: 동시가공을 통한 가공시간 단축은 복합 공작기계를 사용하는 주요 이유이다. 이를 위해서 e-CAM 시스템에서는 각 공정에 대하여 터렛을 선택하게 하고, 특정 공정에 대해서는 평행 가공을 선택할 수 있도록 하여 Fig. 2 의 세가지 가공 모드를 지원하도록 개발하였다. 때때로, 동시가공 공정계획간 교호작용으로 인하여 공구 충돌과 같은 문제가 발생할 수 있다. e-CAM 시스템에서는 공구경로 확인용 시뮬레이터 뿐만 아니라 복합 공작기계를 포함하는 기계 충돌 검증용 시뮬레이터를 개발하였다. 사용자는 시뮬레이터를 통하여 동시가공 공정계획 및 공구경로에 대한 검증을 수행하고, 이상이 있으면 이를 수정할 수 있게끔 하였다.

- 공구경로의 정확성 보장: 어렵고 복잡한 양상을 가지고 있는 선반-밀링 가공의 공구경로에 대해서도 정확성을 보장할 수 있어야 하는 것이 NC 프로그래밍 시스템의 기본 요구사항이다. e-CAM 시스템에서는 공구경로 정확도를 주요 성능 지표로 관리하고 있으며, 형상 지정이나 알고리즘 계산시 오차를 모두 1 μm 이하가 되도록 개발하였다. 또한 공구경로의 과절삭, 미절삭 정도를 확인할 수 있는 기능을 시뮬레이터 상에 구현하고, 이를 수정할 수 있도록 개발되었다.

- 사용하기 쉬운 사용자 인터페이스: 대화형 프로그래밍 시스템은 사용자가 쉽게 프로그래밍할 수 있어야 하며, 특히 복합 가공의 어려운 공정 정의도 쉽게 할 수 있도록 지원하는 것이 필수 설계요소이다. 일반적으로 오프라인 프로그래밍 시스템이 사용하기 쉽고 다양한 정보를 제공해주는 인터페이스로 구성되어 있는데, e-CAM 시스템에서는 이를 벤치마킹하여 사용자 인터페이스 부분을

강화하였다. e-CAM 시스템에서는 선반 혹은 밀링 가공 등의 가공종류에 상관없이 필요한 공정을 정의할 수 있도록 통합된 사용자 인터페이스를 개발하였다. 이를 통하여 사용자는 넓은 그래픽 화면을 통하여 선반 형상 및 밀링 형상을 자유롭게 정의할 수 있으며, 각 형상에 맞는 공정 계획이 나타나도록 하였다. 또한 wizard 형식의 공정계획 GUI 를 통하여 해당 공정에 맞는 공정계획 정보를 순차적으로 입력할 수 있게 하였고, 알림 창을 통하여 불필요하거나 잘못된 입력을 방지하도록 개발되었다.

- 인터넷 기반 국제표준 정보 교환: 제조현장이 빠르게 인터넷화 되고 있음에도, 현존하는 온라인 프로그래밍 시스템은 이를 지원하지 않는다. e-CAM 시스템은 이러한 인터넷 기반 제조현장에서도 사용할 수 있도록 국제표준 기반의 정보교환이 가능하도록 국제표준 인터페이스를 개발하였다. 또한 원격지에서 파일들을 읽고 저장할 수 있도록 국제표준 데이터베이스를 RDB(Relational Data Base) 형태로 개발하였으며, FTP(File Transfer Protocol)를 통한 파일전송이 가능하도록 하였다.

3. e-CAM 시스템

e-CAM 시스템은 e-Manufacturing 지원을 위한 국제 표준 호환성을 기반으로 하며, 계통 수에 따라 여러 가공 작업을 동시에 수행하는 다계통 복합 공작기계를 대상으로 한다. 또한 사용자로 하여금 쉽게 공구 경로와 파트 프로그램을 생성하도록 도와주는 대화형 프로그래밍 시스템의 특성을 가진다. 본 장에서는 e-CAM 시스템 구조와 주요 모듈들에 대하여 설명한다.

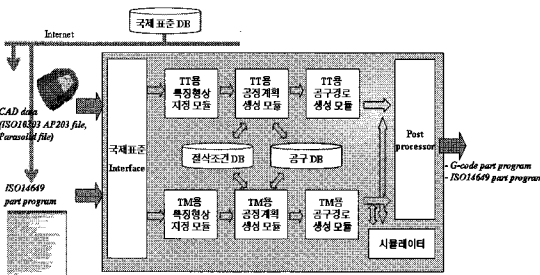


Fig. 4 System architecture of e-CAM

3.1 e-CAM 시스템 구조

e-CAM 시스템은 ISO 10303 AP 203 파일이나

Parasolid(상용 기하 모델 커널) 파일 형태의 CAD 데이터 혹은 ISO 14649 파트프로그램을 입력 받아 G-code 혹은 ISO 14649 형태의 파트프로그램을 출력한다. e-CAM 시스템은 Fig. 4 와 같이 국제 표준 인터페이스 모듈, 형상 인식 모듈, 공정 계획 생성 모듈, 공구 경로 생성 모듈, 시뮬레이터 모듈, 포스트프로세서 모듈로 구성된다. 아래는 각 모듈의 기능에 대한 설명이다.

- 국제 표준 인터페이스 모듈: 국제 표준 호환성을 만족시키기 위해 모든 입출력 정보가 국제 표준에 기반할 수 있도록 ISO14649 와의 인터페이스 기능이 포함된다.

- 특징 형상 지정 모듈: e-CAM 시스템은 특징 형상을 기반으로 공정계획 및 공구경로를 생성한다. 따라서, 가공 대상인 복합 가공 형상을 정의하기 위해서 CAD 에서 정의된 3 차원 형상 정보로부터 쉬운 특징 형상 지정을 돕는 사용자 인터페이스를 제공하며, 제거 볼륨 계산 기능 등이 포함된다.

- 공정 계획 생성 모듈: 사용자에게 의해 지정된 특징 형상에 대한 가공 종류 및 순서, 가공 방법 등을 정의하기 위한 사용자 인터페이스를 제공하며, 공정 정보는 ISO14649 정보 모델에 의거하여 정의된다.

- 공구 경로 생성 모듈: 특징 형상 정보와 공정 계획 정보를 기반으로 CL(Contact Location) 공구 경로를 생성하는 모듈로서, 밀링과 선반 가공용 공구 경로를 생성한다.

- 시뮬레이터 모듈: 생성된 CL 공구 경로의 검증을 위해, 공구경로 시뮬레이션 및 기계 시뮬레이션을 수행한다.

- 포스트 프로세서(Post processor) 모듈: 생성된 CL 공구 경로를 공작 기계에서 수행할 수 있는 G-code 로 변환하는 기능을 수행한다. 또한 ISO14649 파트 프로그램을 생성하는 기능을 포함한다.

3.2 국제 표준 인터페이스 모듈

국제 표준 호환성은 e-CAM 시스템의 중요한 특징 중 하나이며, 형상 정보인 ISO10303 AP203 과 가공 정보인 ISO14649 와의 국제 표준 인터페이스 기능을 제공하게 된다. 국제 표준 인터페이스 장치는 국제표준 기반의 설계 정보, Process Planning & Manufacturing 정보, 그리고 이와 관련된 제품 및

가공 정보 공유를 위해 데이터 변환 기능, 저장 기능, 검색 기능 등 여러 기능을 제공하는 장치로서, Fig. 5 과 같이 크게 국제 표준 인터프리터와 국제 표준 정보 데이터베이스로 나뉜다.

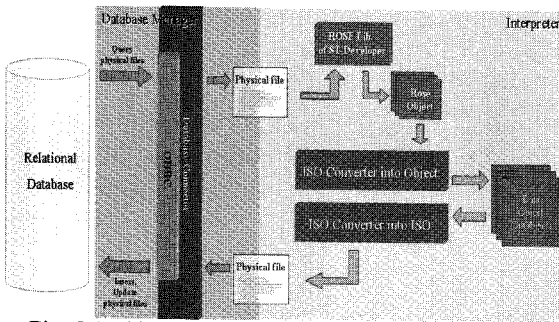


Fig. 5 Architecture of international standard interface

- 국제 표준 인터프리터: ISO10303 과 ISO14649 에는 Clear-text encoding 이라는 표준 파일 저장 방식이 있으며, 이렇게 저장된 파일을 STEP physical file 이라 부르는데, 국제 표준 인터프리터는 이러한 physical file 데이터를 읽어 해석 하고, 시스템에서 사용할 수 있는 자료 구조 형태로 바꾸며, 반대로 시스템의 자료 구조를 physical file 형식으로 변환하는 기능을 수행한다. 이 때, 변환된 데이터의 효과적인 공유를 위해 시스템 플랫폼에 상관 없는 데이터 형식을 지원함으로써 e-Manufacturing 환경을 가능케 한다. 이를 위해 국제 표준의 각 Entity 에 대한 클래스화가 용이하고 Win32 환경에서 최적의 개발 용이성과 대중적 인터페이스를 제공하는 C++을 이용하여 개발하였으며, 분산 환경에서 e-CAM 시스템의 호환성을 보장받기 위하여 객체 지향적 개발 방식을 사용하였다.

- 국제 표준 정보 데이터베이스: 국제 표준 정보의 교환을 지원할 수 있도록 인터넷 기반의 데이터베이스이다. 데이터의 효과적인 공유 및 관리를 위하여 데이터베이스에 저장하고, 사용자(또는 시스템)들이 쉽게 데이터를 찾을 수 있도록 keywords 또는 query 구문을 통한 검색 기능과 다양한 사용자 관점에 따라 데이터를 탐색할 수 있는 분류 기능을 제공한다. 그리고 국제 표준 정보 데이터베이스에 저장되는 데이터는 서로 간의 복잡한 연관관계를 가지고 있고 여러 사용자들에 의해 공유되기 때문에 version 관리 기능과 configuration 관리 기능을 제공한다. 이러한 기능을 제공하기 위해서 국제 표준 정보 데이터베이스는

RDB 로 구축되어 physical file data 를 관리하며, 특정 벤더에 종속적이지 않고 모든 데이터베이스를 지원하기 위해 데이터베이스의 표준 개방형 응용 프로그램 인터페이스인 ODBC(Open Data Base Connectivity)를 통해 접근한다. ODBC 를 사용함으로써 특정 데이터베이스의 독점적인 인터페이스를 알지 못하더라도 해당 데이터베이스에 접속 및 제어가 가능하게 된다.

3.3 특징 형상 지정 모듈

e-CAM 시스템에서는 국제 표준에 의거하여, 가공의 기본 단위인 특징 형상 지정 기능을 제공하며, ISO 10303 AP203 파일 또는 Parasolid 파일이 입력되면, 가공 제거 영역(delta volume)과 특징형상 정보 목록이 출력되어 가공경로 생성 기능으로 전달된다. 이를 위해 필요한 핵심 기능으로는 최대 선반 형상 인식 기능, 선반 특징 형상 자동 인식 기능, 밀링 특징 형상 반자동 지정 기능을 들 수 있다.

3.3.1 TT(Turn-Turn)용 특징형상 지정 모듈

이 모듈은 선반 특징형상을 지정함에 있어서 자동화 수준을 높이고 사용자 편의성을 증진시키기 위하여 형상 기반 delta volume 분해 알고리즘⁷을 적용한 특징형상 지정 기능의 핵심 중 하나이다. 이는 파트의 edge 들을 cylinder, face, cone, arc 등 4 가지 종류로 구분하고, 이들의 연결 조합에 따라 ISO14649 에서 정의하는 선반 특징형상인 general revolution, hole, groove, revolved flat (ISO14649 에 정의된 엔티티)을 생성한다. 자세한 내용은 참고 문헌⁷을 참고 바란다. 또한, 사용자는 출력 결과를 검토하여 형상 지정을 완료하거나 수정이 필요한 부분은 수동 인식 기능을 이용하여 편집할 수 있다.

3.3.2 TM(Turn-Mill)용 특징형상 지정 모듈

- 최대 선반 형상 인식 기능: 이 기능은 turn-mill 가공을 수행할 때, 최대한의 선반 가공이 가능한 영역을 찾아주는 기능이다. 일반적으로 turn-mill 형상은 복잡하거나 비대칭으로 이루어져 있어 선반 가공 영역과 밀링 가공 영역을 작업자가 결정하기 어렵기 때문에 사용자의 편의성을 고려하여 자동적으로 선반 가공이 가능한 최대 영역을 찾아주는 기능이 반드시 필요하다. 최대 선반 가공 가능 영역 생성 알고리즘은 1) 먼저, 가공 파트

를 가공 축을 기준으로 하여 잘게 자르고, 2) 자른 단면(slice)에서 생긴 loop 와 가공 축 간의 거리를 계산하여 MTS(Maximum Turnable State) profile point 를 생성하고, 3) 각 slice 의 MTS profile point 사이를 직선 보간함으로써 결정된다.⁸ 구현결과는 Fig. 6(c) 에서 확인할 수 있다.

- 밀링 특징 형상 반자동 지정 기능: 일반적으로 선반-밀링(Turn-Mill)는 선반 작업을 수행 후 밀링 가공을 수행하게 되는데, 이 경우 선반 작업 후의 형상이 가공소재 형상이 되어 결국 주물형상이 가공소재인 것과 같으므로 delta volume 을 계산하는 것이 어렵다. 따라서 자동 인식이 적용 가능한 특징형상 (hole), 약간의 사용자 입력이 필요한 반자동 인식 특징 형상(planar face, 2.5D slot, pocket, general profile 등), 완전한 사용자 입력에 의한 수동 인식 특징 형상(C-axis slot)으로 구분하여 지정한다. 선반 잔여 가공 프로파일과 surface 정보를 이용하여 자동 인식 가능한 밀링 형상들을 생성하고, 나머지 부분은 사용자에게 의해 특징형상을 지정한 후 선택된 면들과 주위 면들의 교호관계와 요철 여부 등의 추론을 통하여 관련된 surface 들을 파악하며, 이로부터 delta volume 과 밀링 형상 정보를 생성한다. 구현결과는 Fig. 6(e)에서 확인할 수 있다.

3.4 공구 경로 생성 모듈

e-CAM 시스템에서는 특징 형상 정보와 공정 계획 정보를 기반으로 CL(Contact Location) 공구 경로를 생성하며, 밀링과 선반 가공용 공구 경로를 생성한다.

3.4.1 TT(Turn-Turn)용 공구 경로 생성 모듈

사용자에 의해 지정된 TT 용 특징 형상 정보와 가공 공정 정보를 통해 CL 공구 경로를 생성한다. 세부적으로는 가공 가능 영역을 나누고, 오프셋을 수행하고, 가공 방향과 공구를 고려하여 스캔 라인을 생성하고, 오프셋과 스캔라인을 바탕으로 net cut path 를 생성하고, 각 path 를 연결하는 transition path 를 생성함으로써 CL path 를 생성한다.

본 모듈에서는 revolved flat 형상을 위한 facing 공정, general revolution 형상을 위한 contouring 공정, groove 형상을 위한 grooving 공정에 대한 공구 경로 생성을 지원하며, 바이트와 가공 영역의 충돌을 방지하기 위해서 ECEA(end cutting edge angle), SCEA (side cutting edge angle)와 같은 공구 형상과

접근 방향을 고려하여 제거 가능한 가공 영역 (machining area)을 찾아 이에 대한 공구 경로를 생성할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 다계통 복합 공작기계에 맞는 파트 프로그램을 생성하기 위해서 일반 가공을 위한 공구 경로를 두 개의 터렛에 교대로 나누어 할당함으로써 동시 가공용 공구 경로를 생성할 수 있는 기능을 제공한다.

3.4.2 TM(Turn-Mill)용 공구 경로 생성 모듈

TM 용 공구경로 생성 모듈은 특징 형상 지정 기능에서 입력 받은 TM 용 형상을 가공하기 위한 공구경로 CL path 를 생성하는 기능이다. 세부적으로는 특징 형상으로 입력 받은 delta volume 를 가공 깊이에 따라 여러 개의 층으로 나누고, 사용자가 입력한 공정 계획 정보를 바탕으로 각 층의 profile 을 추출하여 offset 함수를 통해 여러 개의 profile 로 나눈다. 각 offset 한 profile 으로부터 net cut path 로 사용될 edge 를 추출한 후에 서로 연결하기 위한 transition path 를 생성하여 최종 CL path 를 생성한다.

본 모듈에서는 planar face 형상에 대한 plane milling 공정, closed/open pocket 형상에 대한 bottom and side milling 공정, slot 형상에 대한 center milling 공정, general outside profile 형상에 대한 side milling 공정, round hole 형상에 대한 drilling 공정에 대한 공구 경로 생성을 지원하며, 그 밖에도 compound feature, replicate feature, transition feature 와 같은 복합 형상에 대한 공구 경로나 C-axis slot 형상과 같이 C 축 제어가 필요한 형상에 대한 공구 경로 생성까지 지원한다. Turn-Mill 파트의 경우 3 차원 상의 임의의 평면에서 특징 형상들이 정의되기 때문에, 본 모듈에서는 이러한 특징 형상들을 가공하기 위한 공구 회전 각과 스핀들 회전 각을 고려하여 공구 경로를 생성할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 워킹 스텝 단위로 공정을 관리하여 다계통 복합 공작기계에 맞게 터렛 별로 공구 경로를 출력할 수 있는 기능을 제공한다.

3.5 시뮬레이터 모듈

e-CAM 시스템은 사용자의 편의성을 높이기 위해 사용자의 입력을 최소화하도록 설계되었으나, 특징 형상 지정, 공정 계획 부분에서 사용자의 입력은 필수적이다. 실제적으로 사용자의 입력 오류로 인해 사용자가 의도하지 않은 공구 경로가 생성될 수 있으며, 이 때문에 공구 경로 생성 후, 반

드시 생성된 공구 경로에 대한 검증이 필요하다. 이에 따라, 생성된 공구 경로 검증을 위한 시뮬레이션 모듈을 개발하였다. 특히, e-CAM 시스템의 목적이 복합 공작기계를 이용한 임의 평면상의 2.5D 밀링 가공과 선반 가공(C 축 가공 포함)을 위한 공구 경로 생성이며, 이들의 가공 결과를 사용자가 직관적으로 예측하는 것이 불가능함을 고려한다면, 3 차원 모델을 통한 가상 가공의 수행과 미절삭/과절삭 등의 시각적인 가공 결과의 확인은 반드시 필요한 기능이라 할 수 있다.

4. e-CAM 시스템 구현 및 성능

본 장에서는 개발중인 e-CAM 시스템의 사용 절차에 따른 구현결과를 설명하고, e-CAM 시스템의 효과를 분석한다.

4.1 사용 절차 및 구현 결과

e-CAM 시스템을 이용하여 파트 프로그램을 작성하는 과정은 다음과 같이 크게 3 단계를 거친다: 1) CAD 파일 입력 및 특징 형상 지정, 2) 공정 계획 정보 입력 및 공구 경로 생성, 3) 시뮬레이션 및 파트프로그램 출력.

4.1.1 CAD 파일 입력 및 특징형상 지정

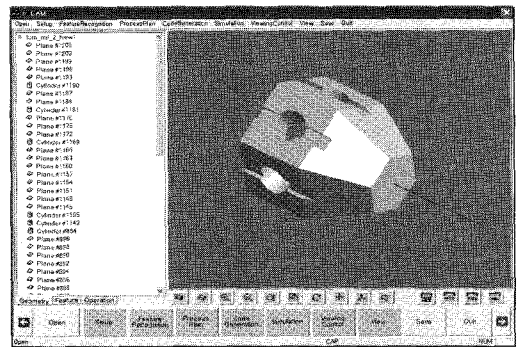
CAD 파일을 열어 공작물을 설정하고 공작물을 스핀들에 물리기 위해 셋업을 분할한 후 특징 형상을 지정한다. 특징 형상 지정 과정은 먼저 선반 가공으로 제거 가능한 영역을 구하는 최대 선반 형상을 계산하고, 최대 선반 형상에 대해서 모든 선반 특징 형상을 자동 혹은 수동 지정한 후, 밀링 특징 형상을 반자동으로 지정하는 것을 반복함으로써 완료된다. Fig. 6은 파일 입력부터 특징형상 지정 기능에 대한 구현 결과이다.

(a) CAD 파일 or ISO14649 파트 프로그램 입력: e-CAM은 상용 CAD 툴에서 사용하는 형상 파일과 파트 프로그램의 국제 표준인 ISO14649를 입력 정보를 받을 수 있다. 또한 외부 데이터 베이스로부터 인터넷을 통해 입력 형상 정보를 전달하는 기능을 포함하고 있다.

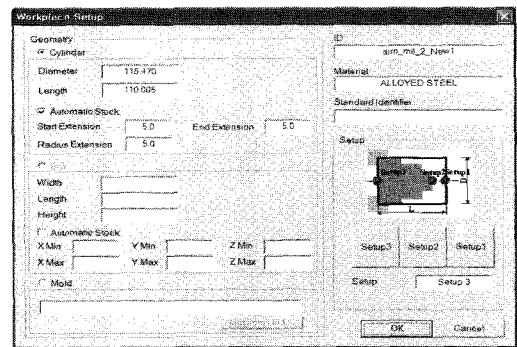
(b) 공작물 및 셋업 결정: 다계통 복합 공작기계에서는 일반적으로 Cylinder 형태의 Workpiece를 사용하기 때문에 이에 대한 공작물 결정 기능이 있으며, 공구경로 생성 작업에 사용할 Setup 좌표를 선정하는 기능이 있다.

(c) 최대 선반형상 profile 생성: 선반 가공과 밀링 가공을 구분하기 위해서 최대 선반형상 인식 기능을 수행한다. 일차적으로는 자동으로 최대 선반형상 profile을 추출하는 기능을 구현하였다. 경우에 따라 수동으로 수정할 수 있도록 기능을 추가하고 있다.

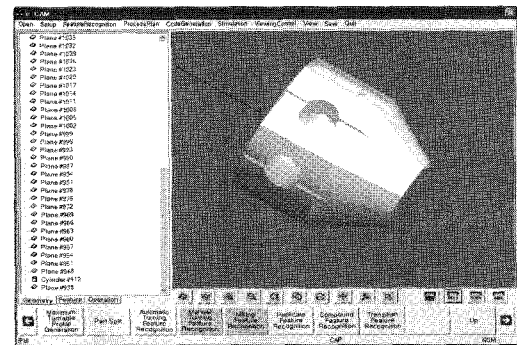
(d) 선반형상 지정: 선반 형상 지정 방법은 자동으로 추출하거나 작업자가 수동으로 추출하는 방법을 모두 사용하고 있다. 본 방법을 통하여



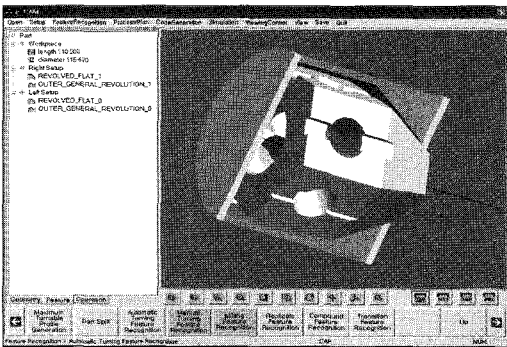
(a) Open CAD or ISO14649 file



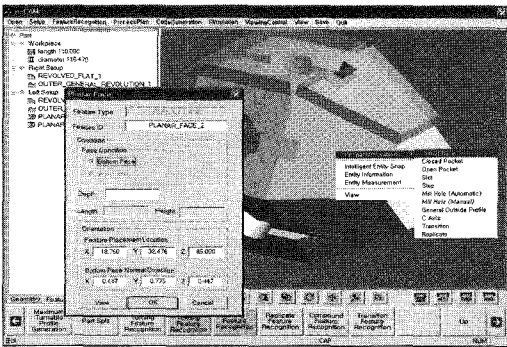
(b) Specify a workpiece and setup



(c) Calculate MTS profile



(d) Specify turning features (Manual, Auto)



(e) Specify milling features (Semi-Auto)

Fig. 6 Operation sequence to select input file and specify machining features

ISO14649 에서 정의하고 있는 특징 형상을 지정하게 된다.

(e) 밀링형상 지정: 밀링형상은 가공이 이루어질 최종 가공 형상의 면을 선택함으로써 정의된다. 예를 들어 *planar face* 의 경우 가공 영역 하단 면을 선택하고, 가공 높이를 입력한다. 이때 작업 화면에서 MTS profile 과 선반 가공영역을 비교해가면서, 미가공 영역 발생여부를 확인할 수 있다.

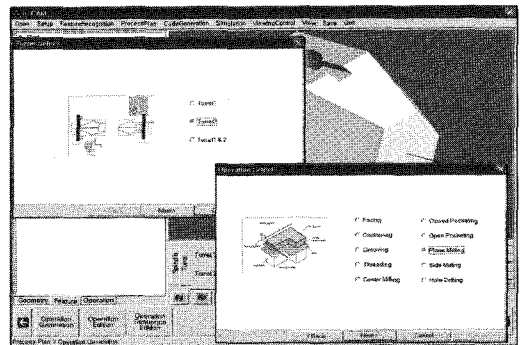
4.1.2 공정계획 입력 및 공구경로 생성

형상 지정을 통해 인식된 특징 형상 리스트를 받아서 하나의 특징 형상에 대하여 가공단위인 위킹시스템을 생성하고 터렛 선택, 공정 종류 선택, 공정 계획 정보 입력을 차례로 수행한다. 여기서 공정 계획 정보는 strategy 정보, technology 정보, 공구 정보, 진입 및 후퇴 전략 정보를 차례로 입력하게 된다. 입력이 완료되면 공구 경로를 생성하게 되며, 모든 형상에 대하여 이 과정을 반복함으로써 완료된다. Fig. 7 은 공정계획 입력 및 공구경로 생

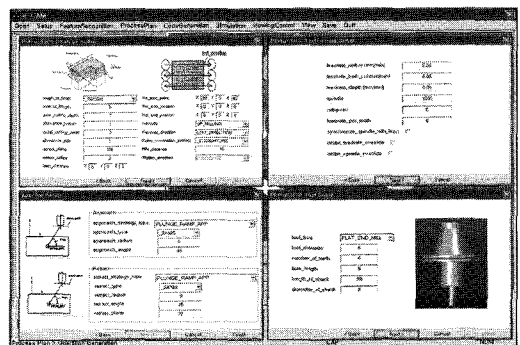
성 기능에 대한 구현 결과이다.

(a) 터렛, 오퍼레이션 입력: 지정된 가공 형상에 가공을 수행할 터렛을 선정한다. 다계통 복합기에서는 동시 가공이 가능하기 때문에, e-CAM 은 Turret 1 과 Turret 2 를 동시에 할당할 수 있다. 터렛이 선정이 되면, 형상에 적합한 오퍼레이션을 입력한다.

(b) 공정계획 정보 입력: 가공전략, 절삭조건, 전진 후퇴 전략, 공구에 대한 정보를 순차적으로 입력한다. 작업자의 편의를 고려하여 Wizard 형태의 GUI 로 구축하였다. 모든 공정계획 정보가 입력되면, e-CAM 은 공구경로를 생성하고 가공 시간을 계산하여, 전체 공정계획에 반영한다.



(a) Specify turret and operation



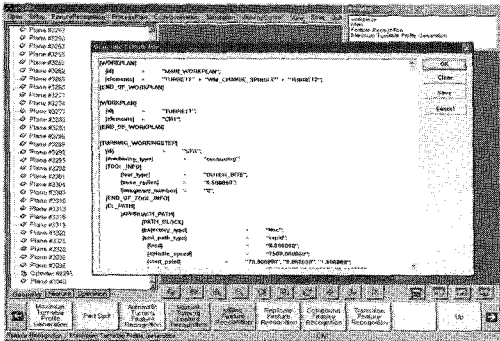
(b) Specify process plan

Fig. 7 Operation sequence to input the information on turret, operation, process plan

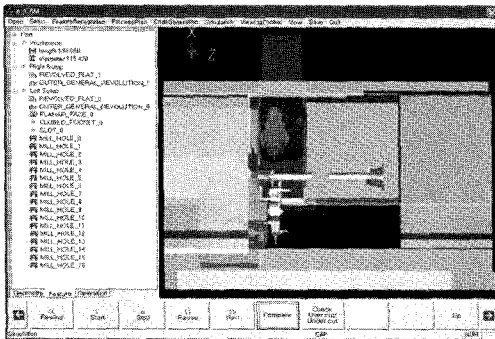
4.1.3 시뮬레이션 및 파트 프로그램 출력

시뮬레이터를 통해 생성된 공구 경로를 확인하고 오류가 발견되면 앞으로 돌아 가서 수정하는 작업을 반복할 수 있다. 공구 경로 검증이 완료되면 파트 프로그램을 출력하게 되는데, ISO14649

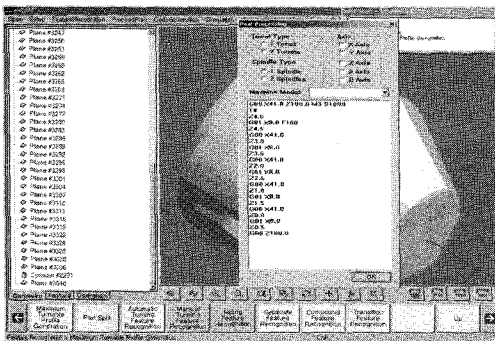
writer 를 통해 ISO14649 파일 형태로 출력하거나 포스트 프로세서를 통해 G-code 파일 형태로 출력할 수 있다. Fig. 8 은 시뮬레이션 및 파트 프로그램 출력 기능에 대한 구현 결과이다.



(a) Generate CL path



(b) Do simulation



(c) Post-processing

Fig. 8 Operation sequence for generating CL path and for simulation and post processing

(a) CL path 출력: 필요한 공구경로를 모두 생성하면 시뮬레이션과 포스트 프로세서에 전달한 CL

path 를 텍스트 형식으로 출력한다.

(b) 시뮬레이션: CL path 를 확인하고 시뮬레이션을 호출하면, e-CAM 에 장착된 동작기계를 이용한 가상 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 시뮬레이터는 가공 시 충돌을 감지하고, 미절삭/과절삭 부분을 확인할 수 있다.

(c) 포스트 프로세싱: 동작기계에서 가공할 수 있도록 포스트 프로세싱을 수행한다. e-CAM 은 대상 동작기계에 커스터마이징 된 시스템이기 때문에, 해당 동작기계에 대한 라이브러리 형식의 포스트 프로세서를 사용한다.

4.2 성능

e-CAM 시스템은 사용자가 편하게 NC 프로그램을 작성할 수 있도록 하는 것과 다계통 복합 동작기계에 대하여 빠른 사이클 타임으로 가공할 수 있도록 하는 것이 중요하다. e-CAM 시스템의 성능을 평가하기 위하여 작업자의 NC 프로그램 생성 시간을 단축시키는 자동화 수준과 다계통 복합 동작기계의 성능을 최대로 발휘할 때 가공 시간의 최적화를 평가하는 최적화 수준을 주요 성능지표로 두고, 이에 대한 테스트를 수행하고 있다. 두 성능지표는 대상 예제, 사용자의 숙련도 등에 따라 측정값이 다양하게 나올 수 있으므로, 절대적인 수치라고 보기 어렵다. 하지만, 계량화된 수식에 의하여 정량적인 측정이 가능하므로 e-CAM 시스템의 성능을 표현하기에 적절하다.

4.2.1 자동화 수준

자동화 수준은 수작업에 비해 e-CAM 시스템을 사용하면 얼마나 공정계획 수립시간이 단축되는지를 비율로 나타내는 성능지표이다.

Fig. 3 과 같은 선반-밀링 형상 4 개를 소정의 피실험 작업자를 통하여 30 회씩 테스트 하였을 때, 27~28% 정도의 자동화 수준이 향상되었다. 이 수준은 Manual Guide³ 와 같은 일반 대화형 프로그래밍 시스템 보다 훨씬 높은 수준으로써, 이는 본 연구를 통해 개발된 다양한 알고리즘(선반 특징형상 및 최대 선반형상과 같은 자동 인식 기능 등)에 기인하는 것이다. 아울러, 상용 오프라인 CAM 시스템과 같이 형상인식부터 공구경로 생성, 시뮬레이션 및 포스트 프로세싱 등 일련의 과정을 쉽게 수행할 수 있도록 개발되었으며, 사용자 편의성을 고려하여 wizard 형식의 공정계획 생성 기능과 설정 데이터 저장 기능 등을 구현하였기 때

문으로 풀이된다.

4.2.2 최적화 수준

최적화 수준은 단계통 공작기계를 통해 수행된 가공시간 대비 e-CAM 시스템에 의해 생성된 다계통 공정계획과 공구경로를 사용한 경우의 가공시간을 비교함으로써 나타나는 성능 지표이다.

“자동화 수준” 검증과 같이, Fig. 3 과 같은 선반-밀링 형상 4 개를 대상으로 소정의 피실험자를 통하여 테스트 해 본 결과, 단계통 대비 42~59% 정도의 최적화 수준이 향상된 것으로 나타났다. 이 결과 역시 본 연구를 통해 개발된 비선형 공정계획 알고리즘의 효능을 보여주는 단적으로 보여주는 것이며, 또 한편으로는 단계통 보다 다계통 복합 공작기계를 사용함으로써, 사이클 타임의 대폭 단축 및 생산성 향상에 이바지 할 수 있다는 것을 계량적으로 보여주는 단적인 사례이다.

5. 결론

본 논문에서는 CNC 콘솔 상에서 NC 프로그램을 국제표준규격에 따라 작성하도록 지원하는 일종의 대화형 프로그래밍 시스템인 e-CAM 시스템의 구조, 개발 현황에 대하여 소개하였다. 개발 중인 e-CAM 시스템은 선반-밀링 복합형상을 지원하고 있으며, 시스템 개발을 위한 구조 설계와 모듈별 알고리즘 연구 및 구현을 수행하고 있다. e-CAM 시스템의 성공적인 개발을 위하여 개발주체들의 전문성을 살려 핵심 모듈 개발팀, 인터페이스 개발팀, 시뮬레이션 및 제어기 장착팀으로 구분하여 개발하고 있다. 향후, e-CAM 시스템은 필드 테스트를 통하여 모듈별 알고리즘 강건성 및 정밀성 향상, 사용자 편의를 위한 인터페이스 개선을 수행하고, e-CNC 와 통합할 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제부에서 추진하는 10 대 부품소재기술개발사업의 하나로 수행되고 있는 ‘다계통 e-CNC 모듈개발’ 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Planit Inc., <http://www.edgcam.com>
2. CNC Software Inc., <http://www.mastercam.com>
3. FANUC Ltd., “FANUC manual guide I-operator’s manual,” FANUC Ltd, 2002.
4. Suh, S. H., Lee, J. J., Cho, J. H., Shin, Y. S., Kang, D. H., Kim, S. K., Kim, T. I. and Song, J. I., “Developing Automatic Programming System for High Performance CNC Machining Centers,” Proc. of IEEK, Vol. 1, pp. 13-17, 1994.
5. Chung, D. H. and Suh, S. H., “ISO14649-based nonlinear process planning implementation for complex machining,” Computer-Aided Design, Vol. 40, No. 5, pp. 521-536, 2008.
6. STEP Tools, Inc., <http://www.steptools.com>
7. Lee, B. E., Chung, D. H. and Suh, S. H., “Turning STEP-NC Paradigm and Delta Volume Decomposition,” Proc. of KORMS & KHE Joint Conference, pp. 217-224, 2003.
8. Yip-Hoi, D. and Dutta, D., “Finding the maximum turnable state for mill/turn parts,” Computer-Aided Design, Vol. 29, No. 12, pp. 879-894, 1997.