

표준형상 매개변수 추출을 이용한 자동공정계획

신동목*

Automatic Process Planning by Parsing the Parameters of Standard Features

Dong Mok Sheen*

ABSTRACT

This paper presents an approach to automate process planning of press dies for manufacturing of car bodies. Considering that the press-dies used at the same press operations regardless of the panels they produce or the car models of which they produce panels have similar shapes except for the forming part of the dies, general approaches to recognize manufacturing features from CAD models are not necessary. Therefore, a hybrid approach is proposed combining feature-based design and feature-extraction approaches. The proposed method recognizes features by parsing the parameters extracted from CAD models and finds proper operations by querying the database by the recognized features. An internet-based process planning system is developed to demonstrate the proposed approach and to suggest a new paradigm of process planning system that utilizes an internet access to the CAD system.

Key Words : Process Planning(공정계획), Feature-based Design(형상기반 설계), Feature Extraction(형상 추출), Parsing(문자열 분석), internet(인터넷)

1. 서론

컴퓨터 이용 공정계획은 부품정보로부터 유사 부품을 찾아 그에 대한 공정계획을 검색 및 편집하는 방법으로 작성하는 변성형(variant type) 공정계획과 부품을 구성하는 형상정보로부터 이들 형상을 완성하기 위하여 필요한 공정을 추론을 통하여 추출하는 방법으로 공정계획을 작성하는 창생형(generative type) 공정계획의 두 가지로 발전되어 왔다. 두 방법 공히 부품 정보 또는 형상정보의 획득방법으로는 사용자가 입력하는 것이 일반적이다. 자동화된 공정계획 시스템은 주로 형상정보 획득을 자동화하는 것으로 CAD 로 설계된 설계정

보로부터 형상정보를 자동으로 추출하는 기능을 포함한다.

형상정보를 자동으로 획득하는 방법으로는 설계 시 가공형상을 조합하여 설계한 후 그 과정을 추적하는 방법으로 공정계획을 작성하는 형상기반 설계(feature-based design) 방법¹과 CAD 모델로 주어진 설계데이터를 분석하여 제품에 존재하는 가공형상을 추출하는 형상 추출(feature extraction)이 대표적인 방법이다.²⁻⁸

형상기반 설계는 형상을 표현하는 데이터 구조를 일관된 형태로 구성토록 함으로써 설계 정보로부터 생산 정보를 자동으로 추출하는 것을 용이하게 한다. 미국의 3 대 자동차 업계의 경우 금형

2002 년 7 월 29 일 접수
* 울산대학교 수송시스템공학부

외주 시 자사의 3 차원 설계형상 라이브러리를 협력업체에 제공하여 표준형상기반 설계가 이루어지도록 하고 있다. 국내에서도 자동차 금형 설계에 표준형상을 이용한 설계 기술이 발표되고 있다.⁹

형상 추출은 설계된 형상모델에 대한 사전 정보 없이 CAD 형상모델의 데이터를 분석하여 형상모델에 존재하는 형상들과 가공 시 나타나는 중간 형상들을 추출하는 방법이다. 현재는 블록형상의 원소재를 가정하지 않고 주물등에 의하여 사전에 기본형상이 만들어진 소재로부터 가공형상을 인식하는 방법으로 발전하고 있다.^{3,7} 그러나 아직도 복합형상 인식의 어려움과 추출된 형상과 생산 지식의 통합이 문제로 대두되어 있다.⁴

본 연구에서는 두 가지 방법을 혼용한 방법으로서 형상 기반 설계에 사용된 형상들을 형상 매개변수 들로부터 추출한 후 형상/공정 데이터베이스에서 관련 공정을 찾는 방법을 제안하고 이를 간단한 적용 예를 통하여 설명한다.

2. 금형가공 공정계획

2.1 표준공정

본 연구는 자동차 차체 금형 공정계획에 관한 선행연구로 표준공정을 이용한 변성형 공정계획 시스템 MP3D¹⁰를 기반으로 하고 있다.

MP3D에서는 자동차 금형들을 공정 유사성에 따라 Table 1 과 같이 15 가지의 금형으로 분류하고, 각 금형 종류별로 표준 공정계획을 정의하였다.

금형을 판넬 성형부와 구조부로 나눌 경우 판넬 성형부는 많은 가공 시간을 필요로 하나 CAM 작업을 통한 자동화가 가능한 반면, 구조부는 일련의 다양한 공정을 필요로 하며 따라서 정교한 공정계획을 필요로 한다. Table 1 은 구조부 형상측, 구조부 가공 공정의 유사성에 근거하여 금형을 분류한 것이다. 표준 공정계획은 셋업을 기준으로 분류된 중공정 단위의 공정계획과 각 중공정을 구성하는 단위공정들로 이루어진다. 중공정을 구성하는 단위 공정들은 총 170 개로 이루어진 단위공정 모음에서 선택된 것들이다.

2.2 MP3D 를 이용한 공정계획

MP3D 를 이용한 공정계획은 먼저 금형의 종류를 선택하고, 해당 금형 종류에 정의된 표준 공정계획을 검색해서 수정하는 방법으로 공정 계획을

Table 1 Part List for Press Dies Grouped by Press Operations

프레스공정 분류	프레스 공정	부품 분류번호	부품구분
10	Draw (Single Action)	11	Lower BH
		12	Lower punch
		13	Upper die
20	Draw (Double Action)	21	Upper BH
		22	Lower die
		23	Upper punch
30	Trim 및 Pierce	31	Lower die
		32	Upper die
		33	Upper pad
40	기타 後공정	41	Lower die
		42	Upper die
		43	Upper pad
		44	Cam driver
		45	Cam slider
		46	Cam pad

수립한다. 표준 공정계획은 순서가 지정된 중공정 리스트와 각 중공정별 단위공정 리스트를 포함하고 있으며, 특정 부품에 대한 공정계획이 아니라 해당 부품군에 대표적으로 발생하는 공정들의 집합이라 할 수 있다. 따라서, 공정계획 작업자는 부품의 특징을 고려하여 표준 공정계획에 나타난 공정 리스트에서 해당 공정만을 선택하는 방법으로 공정계획을 수립한다.

본 연구에서는 변성형 공정계획 시스템 MP3D 를 기반으로 공정계획을 자동화하기 위하여 금형 설계에 나타난 특징형상을 CAD 모델에서 자동 추출하고, 표준 공정계획 검색 및 해당공정 추출을 자동화하는 것을 목표로 하였다.

3. 공정계획 자동화

3.1 형상정보 추출

공정계획을 자동화하기 위해서는 CAD 모델로부터 가공형상들을 자동으로 추출하여야 한다. 3 차원 솔리드 모델로부터 가공형상을 인식하는 방법으로는 형상추출 방법과 형상기반 설계 방법이 있다.

형상추출 방법은 크게 나누어 그래프 기반 방법과 부피 분해법이 있다.⁴ 그래프 기반 인식법은 CAD 모델 데이터를 면 들간의 관계로 이루어진 그래프(attributed adjacency graph)²로 구성한 후, 이를 '선삭면', '포켓', '드릴 구멍' 등 표준형상들에 대한 면들간의 관계 그래프와 비교하여 찾는 방법을 제시하고 있다. 부피 분해법은 셀 기반 부피분해법과 볼록껍질 기반 부피분해법으로 나눌 수 있는데, 최종 형상과 원소재 형상간의 차이는 부피(delta volume)를 가공형상들의 조합으로 구성함으로써 필요한 가공형상들을 인식하게 된다.^{3,8} 이들 형상 인식 방법은 많은 성공적인 연구에도 불구하고 여러 형상이 교차하는 복합 형상의 인식의 어려움, 계산량 과다(고려해야 할 경우의 수 과다) 등의 문제는 아직 연구가 필요한 형편이다. 특히 생산가능성(manufacturability) 측면을 고려한 형상 인식은 아직 연구단계에 머물러 있다. 동일한 형상도 재질, 크기, 정밀도, 공구 접근성 등에 따라 다른 가공 방법이 적용되어야 하며, 하나의 형상도 정밀도, 표면거칠기, 세부 형상 등에 따라 여러 개의 공정으로 분해되어야 한다. 단순한 예로써 드릴 구멍도 크기에 따라 여러 개의 공정으로 분리되며, 크기에 따라서는 포켓가공을 해야만 하는 경우도 있을 것이다. 또한, 공장의 표준 툴링에 해당 직경 드릴이 없는 경우는 드릴링 후 보어링 등 다른 가공 방법을 선택할 필요가 있다. 현재의 형상추출 방법은 형상모델 해석, 형상추출에서 그치고 추출된 형상은 창생형 공정계획 시스템에서 처리해야 하는 바, 이러한 현장 지식을 통합하는 부분이 미흡한 형편이다.

형상기반 설계에서는 표준형상 라이브러리를 이용하여 설계를 하게 된다. 표준형상은 설계형상(design feature)과 가공형상(machining feature)으로 나누어 볼 수 있는데, 설계형상은 제품의 기능 및 외관을 중심으로 구성되며, 가공형상은 가공측면에서 인식하는 형상을 말한다. 예를 들면, 설계 측면에서 볼 때는 두 개의 물체의 결합 또는 동작을 위한 '키홈' 이나 '가이드웨이' 등이 가공 측면에서 보면 '슬롯'이라는 하나의 형상으로 표현될 수 있다. Fig. 1은 동일한 형태의 형상에 대하여 설계자의 관점과 공정계획자의 관점이 어떻게 다른가를 예시하고 있다.

설계형상을 이용한 설계에서는 생산이 어려운 형상들이 설계형상으로 정의될 수도 있는 문제점

을 갖고 있다. 일반적으로 공정계획 자동화를 위한 형상 기반 설계는 가공형상을 설계 작업에 이용하는 것을 말한다. 이 경우 설계자는 원소재에 가공형상을 가공순서를 따라서 설계(실제로는 가상가공)함으로써 제품형상을 설계하게 된다. 예를 들어 Fig. 2 와 같이 스텝에 보어링 구멍이 있는 형상을 설계할 경우 밀링, 드릴링, 보어링의 순서로 형상을 설계해야 된다. 이 경우 공정계획 과정은 설계과정 자체가 공정계획이 되므로 공정계획을 자동화 할 수 있는 반면, 설계자 입장에서 매우 불편한 일이다.

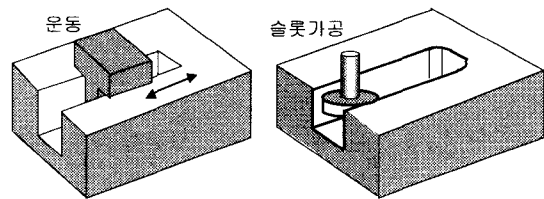


Fig. 1 Design feature vs. machining feature

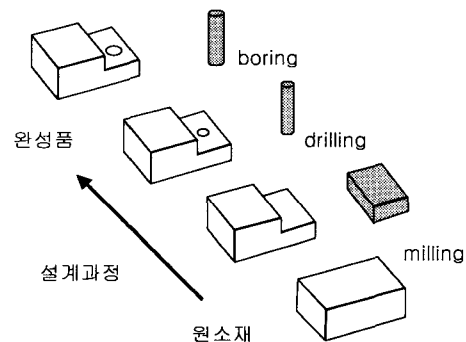


Fig. 2 Feature-based design

그런데, 대부분의 설계가 기존 설계를 복사하거나 수정하는 방법으로 이루어지고 극 소수의 제품만이 완전히 창의적인 설계임을 감안하면⁽¹¹⁾, 하나의 공장을 기준으로 볼 때 설계형상과 가공형상을 연관짓는 일이 가능하다. 예를 들어, 대부분의 가공 공장에서는 포켓, 스텝, 슬롯 등의 일반 가공형상 보다는 제품과 연계된 가공형상을 기준으로 공정계획이 이루어지며, 이들 가공형상들은 제품형상 또는 설계형상과 직접적인 관련이 있다. 자

동차 금형공장의 경우 ‘웨어 플레이트 좌 가공’, ‘U-홈 가공’ 등의 단위가공을 기준으로 공정계획이 이루어지며 이들 단위가공들은 설계형상과 밀접한 관계가 있다. 하나의 단위가공은 여러 개의 일반 가공형상들의 조합일 수도 있고, 다른 종류의 단위가공 형상이 일반 가공형상으로는 동일하게 분류되는 것도 있다. 예를 들어 ‘웨어 플레이트 좌 가공’이나 ‘U-홈 가공’은 면 가공이라는 점에서는 같으나 공장에서는 가공기, 사용 공구, 공구 접근 방향 등이 다른 별개의 가공형상으로 취급한다. 이러한 공정분류는 단순히 기하학적 추론 (geometric reasoning)을 이용한 가공형상 인식방법만으로는 어려우며, 공정에 관한 지식이 같이 적용되어야만 가능하다. 또한, 표준형상 라이브러리를 이용한 설계가 일반화 되는 추세를 고려할 때, 형상 기반 설계를 형상추출과 조합된 형태가 자동 공정계획의 실용적 방안이라 여겨진다. 이 경우 설계형상은 가공방법, 공구 접근방향, 가공면 크기, 공차, 표면거칠기 등 가공에 관련된 기술적 정보를 제공하거나 이를 검색할 수 있는 단서를 제공하여야 하며, 설계 단계에서는 공정순서가 구속조건이 되지 말아야 한다.

3.2 형상 라이브러리

금형설계는 가상생산을 위하여 3 차원 솔리드 형상 라이브러리를 이용하여 설계하는 추세이다. 공정계획 자동화 측면에서 보면 형상 라이브러리를 이용할 경우 형상 추출을 용이하게 할 수 있고, 가공방법, 공구 접근 방향, 가공면 면적 등 공정에 대한 상세한 정보 또는 이를 데이터베이스에서 추출하는 데 필요한 단서를 설계 단계에서 제공할 수 있다.

본 연구에서는 공정계획을 자동화하기 위해서 ‘U-홈’, ‘웨어 플레이트 좌’ 등 기능 및 구조 형상들을 표준 라이브러리 정의 대상으로 정하여 이를 CATIA V5R6 에서 power copy 형태로 저장하였다. 각 표준형상 라이브러리는 매개변수를 이용하여 설계된 형상요소, 매개변수(parameters), 매개변수와 각종 치수간 관계식(relations)으로 구성되며, 가공면, 공구접근 방향 등의 가공 관련 정보도 매개변수 정보로 정의된다. Fig. 3 은 U-홈 형상을 정의한 라이브러리 내용을 예로 보여주고 있다.

표준형상의 속성은 일정한 규칙에 따라 명명된 매개변수에 그 값이 저장된다. 매개변수 이름

들은 [형상]#[속성]의 형태를 따르며, 동일한 형상이 추가될 경우는 매개변수 이름에 일련번호를 붙여 [형상]#[속성].[일련번호]의 형태를 갖게 된다 (여기서 중괄호는 명칭의 일부가 아니며, 중괄호 안의 값이 실제 값으로 대체됨을 표기한다). 예를 들어 U 홈의 경우 ‘uhole#length’, ‘uhole#winner radius’, ‘uhole#wouter radius’, ‘uhole#height’와 같이 정의되며 U 홈이 하나 추가되면 추가된 U 홈에 대한 매개변수들은 ‘uhole#length.1’, ‘uhole#winner radius.1’, ‘uhole#wouter radius.1’, ‘uhole#height.1’의 이름을 갖게 된다. 이 후 추가되는 U 홈들의 매개변수 들은 2, 3, 4 등의 일련번호가 붙게 된다.

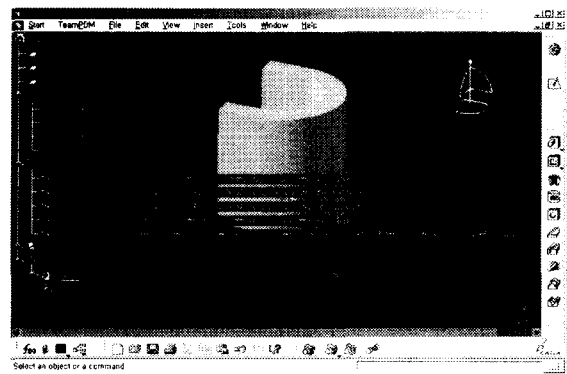


Fig. 3 Definition of Uhole

형상 라이브러리를 이용한 설계과정에서는 필요한 형상을 형상 라이브러리로부터 추가한 후 형상 라이브러리에 설정된 기준면이 놓일 위치를 제품모델 면상에 지정하고 치수, 위치 및 기타 관련 정보를 수정하면 된다.

3.3 매개변수 추출을 이용한 형상인식

제품설계 시 사용된 표준형상들의 매개변수 명칭들은 정해진 규칙에 따라 명명되어 있으므로 매개변수 명칭을 분석하여 형상의 종류, 종류별 형상의 수, 형상별 매개변수를 추출한다.

형상정보 추출 단계는 다음과 같다.

(1) CAD 모델로부터 매개변수 추출

본 연구에서는 인터넷을 통하여 CATIA 개체를 외부 접속(out-process running)하여 대상 제품모델의 속성들 중 하나인 부품 파라미터 속성을 가져오는 방법으로 제품 모델의

- 매개변수를 추출한다.
- (2) 매개변수리스트에서 형상 종류 추출
[형상]#[속성].[일련번호]로 표현된 리스트에서 [형상]들 리스트를 추출하고 리스트에서 중복된 형상들을 제거한다.
 - (3) 각 형상 종류별 형상리스트 추출
추출된 [형상]별로 [형상]#[속성].[일련번호]에서 [형상].[일련번호]를 추출하여 각 형상 종류별 형상 리스트 작성한다.
 - (4) 각 형상별 매개변수 리스트 구성
[형상].[일련번호]별로 매개변수를 모은다.

형상정보 추출단계를 거친 매개변수들은 Fig. 4의 예와 같이 트리형으로 구성된다. <형상종류>로부터 필요한 단위공정을 추출하고, 각 형상별 매개변수로부터 공수계산에 필요한 정보를 추출하게 된다. 이를 위하여 형상/공정 데이터베이스를 구성하였다.

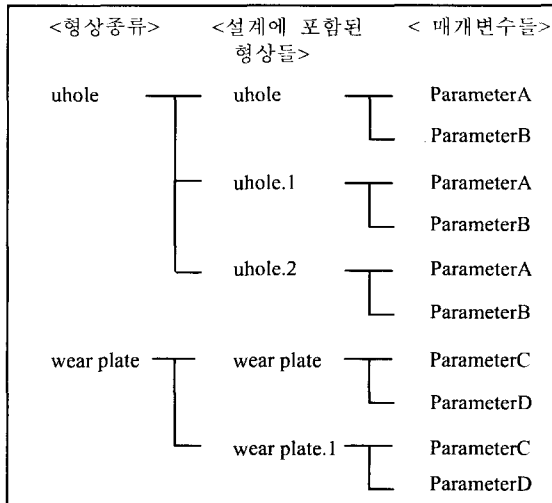


Fig. 4 A tree structure for extracted Parameters

3.4 형상/공정 데이터베이스

Fig. 5는 본 연구를 위하여 간단히 구성된 형상/공정 데이터베이스를 나타낸다. 설계형상으로부터 가공형상(단위가공)들을 추출할 수 있도록 구성되어 있으며, 동일한 셋업 하에서 가공되는 단위공정들은 중공정 단위로 그룹화되어 있다.

각 테이블 및 필드는 다음과 같다. 밑줄을 그은 필드는 각 테이블의 key 필드를 나타낸다.

- fg(표준형상) 테이블:
 - feature: 표준형상
 - Press_op: 프레스공정
- unit_process(단위공정) 테이블:
 - unit_proc: 단위공정
 - fg: 표준형상
 - eqn: 가공시간 계산 식
- process(중공정) 테이블:
 - process: 중공정
 - machine: 장비
- process_up(중공정-단위공정 관계) 테이블:
 - feature: 표준형상
 - process: 중공정

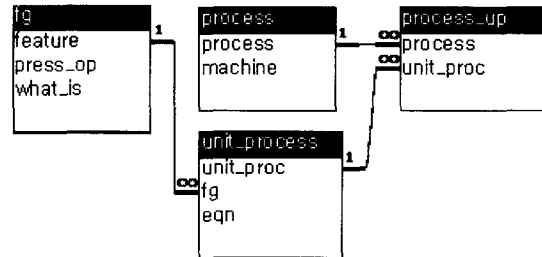


Fig. 5 Feature/Process mapping database

일반적으로 하나의 표준 설계형상을 가공하기 위해서는 여러 개의 단위공정이 필요하다. 하나의 단위공정은 여러 개의 중공정의 일부가 될 수 있으며, 반대로 하나의 중공정은 여러 개의 단위공정을 포함함을 알 수 있다.

웹 서버에 ASP와 Visual Basic Script를 이용하여 구현된 공정계획 프로그램은 MS-Access로 구현된 DB를 ODBC를 이용하여 자동 접속하며, 형상정보로부터 자동으로 작성되는 SQL 질의문을 수행하여 해당 공정 및 장비정보를 검색한다.

4. 실행 예

제안한 방법을 이용하여 개발한 인터넷 기반 공정계획 시스템의 구성 및 실행 절차는 Fig. 6과 같다. 특정 금형에 대한 공정계획을 인터넷을 통하여 요청하면 웹 서버에서는 CATIA를 외부 실행(out-process running)하여 매개변수를 추출한 후 이로부터 형상을 추출한다. 추출된 형상정보로부터 형상/공정 데이터베이스를 참조하여 공정계획

을 작성한다. 본 시스템은 형상정보를 DB 에 저장된 형상/공정 변환 데이터에 따라 공정계획 정보로 변환한다는 점에서 준 창생형 공정계획 방법이라고 할 수 있다. CATIA 가 설치된 서버의 부하를 줄이기 위해서는 매개변수 추출 부분을 제외한 형상추출 및 공정계획 부분을 별도의 공정계획 시스템 서버에서 실행하는 구조로 구축할 수도 있다.

정되었고, 각 중공정은 단위공정들로 나누어 저있음을 볼 수 있다. 공정계획 결과에 대한 이해를 돕기 위하여 공정계획 시스템에서는 CATIA 에서 VRML 형식으로 저장한 모델화일을 호출하여 Fig. 7에서와 같이 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 형상기반 설계와 형상 추출 방법을 혼용한 방법으로 형상기반 설계에 사용된 형상들의 매개변수를 추출, 분석함으로써 공정계획을 자동화하는 방법을 제시하였다. 많은 기계가공공장에서 설계는 기존의 형상을 변형시키는 방법으로 이루어진다. 따라서, 형상기반 설계기법이 많이 사용되며, 이 경우 CAD 모델의 데이터 구조를 직접 분석하는 일반적인 기하학적 추론(geometric reasoning) 방법을 적용하는 대신 본 연구와 같이 CAD 시스템의 인터페이스 기능을 이용하여 설계에 사용된 형상 라이브러리 매개변수를 추출, 분석하는 방법이 효과적일 수 있다.

본 연구는 공정계획 자동화 방법을 제시하기 위한 것으로 자동차 금형설계용 형상 일부를 라이브러리로 구축하여 적용하였다. 정의된 표준 설계형상들은 상호 독립적이며 이것은 설계 및 생산 관점에서 볼 때 비현실적인 것은 아니다. 그러나, 금형 설계를 효율화하는 관점에서 볼 때는 여러 개의 형상들을 조합하여 하나의 형상그룹으로 정의하는 것이 유리할 수 있다. 예를 들어 조립되는 부품 전체 또는 서로 구속하는 부품세트를 하나의 표준 형상그룹으로 정의하면 설계시간을 단축하고 설계오류를 방지할 수 있다.

표준형상 라이브러리로 설계되지 않은 경우는 CATIA 의 API 를 이용하여 기본 형상 속성들을 추출할 수 있으나, 형상인식을 위해서는 기하학적 추론과정을 추가로 거쳐야 한다. 따라서, 표준 형상을 이용한 설계부위와 일반 설계 형상을 이용한 설계 부위를 구별 인식하여 별도의 알고리즘을 적용하면 효율적이고 실용적인 형상인식 방법이 될 수 있다. 이는 향후 연구과제의 하나이다. 그러나, 금형 설계 등 많은 설계 업무가 자동화를 지향하면서 형상기반 설계가 추세인 점을 감안하면, 표준형상을 이용하지 않은 형상설계 및 이에 대한 기하학적 추론은 극소화 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

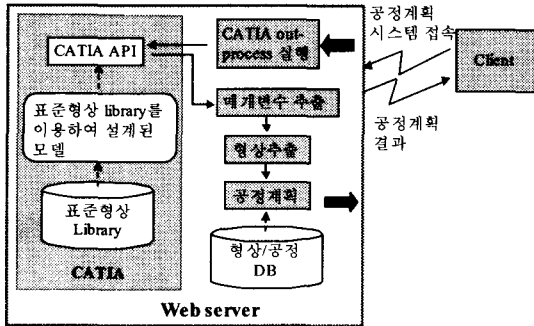


Fig. 6 Execution of process planning system

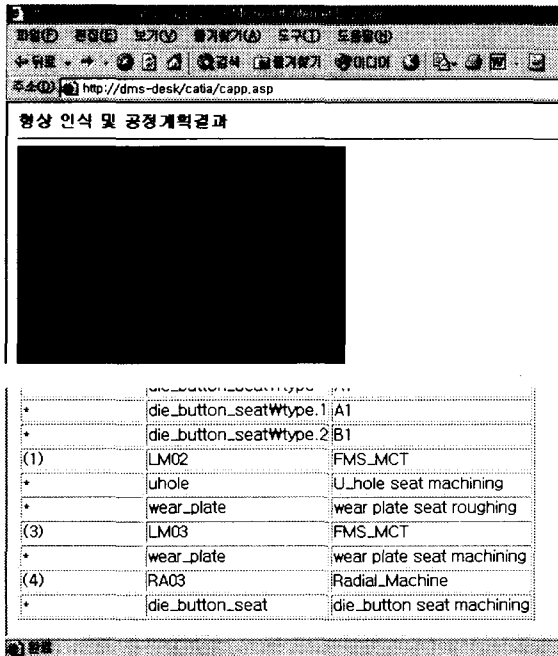


Fig. 7 An example process plan

Fig. 7 은 공정계획을 실행한 결과를 보여준다. LM02, LM03, RA03 등 중공정 단위로 장비들이 결

개발된 방법은 CATIA V5R6 에서 모델링된 제품을 대상으로 ASP 와 Visual Basic Script 를 이용하여 시스템을 개발하였고, 형상/공정 데이터베이스는 MS-Access 로 구현하였다. 본 연구에서 제안된 시스템은 인터넷을 통하여 CAD 시스템에 접속하여 공정계획을 실행하므로 공정계획 부서에 추가로 고가의 CAD 시스템을 설치할 필요가 없다. 따라서, 추가적으로 CAD 시스템에 대한 투자 없이 공정계획 자동화 시스템을 구축할 수 있다.

후 기

본 논문은 (사)고등기술연구원 산학연구비로 지원 받아 수행한 결과입니다.

참고문헌

1. Smith, C. S., Wright, P. K., "A World Wide Web Based Design To Fabrication Tool," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 15, No. 6, pp. 432-442, 1996.
2. Joshi, S. and Chang, T. C., "Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model," *Computer-aided design*, Vol. 20, No. 2, pp. 58-66, 1988.
3. Kim, Y. S. and Wang, E., "Recognition of Machining Features for the Domain of Cast Then Machined Parts," *the Proceedings of Spring KSPE Conference*, pp. 1075-1080, 1999.
4. Han, J., "Feature Recognition: the State of he Art," *한국 CAD/CAM 학회 논문집*, 제 3 권, 제 1 호, pp. 68-85, 1998.
5. Nagaraj, H. S., Gurumoorthy, B., "Automatic Extraction of Machining Primitives with Respect to Preformed Stock for Process Planning," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 20, No. 3, pp. 210-222, 2001.
6. Yang, Z., Joneja, A., Zhu, S., "Recognizing Generalized Pockets for Optimizing Machining Time in Process Planning – Part I," *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 15, pp. 3377-3397, 2001.
7. Shah, J. J., Mäntylä, M., Nau, D. S., "Advances in Feature-based Manufacturing," Elsevier, 1994.
8. Kim, Y. S., Wang, E., Rho, H. M., "Geometry-based Machining Precedence Reasoning for Feature-based Process Planning," *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 10, pp. 2077-2103, 2001.
9. 정효상, 이성수, "자동차 프레스 금형 자동 설계 지원 시스템," *한국정밀공학회지*, 제 19 권, 제 8 호, pp. 194-202, 2002.
10. 신동목, 이창호, 이기우, "자동차 차체금형 가공용 공정계획 시스템," *한국정밀공학회지*, 제 17 권, 제 5 호, pp. 108-115, 2000.
11. 서영성 외 12 인 공역, *창의적 공학설계(1)*, 피어슨 에듀케이션 코리아, pp. 251-252, 2001.