

## 3차원 CAD에서 STEP Part111을 통한 AP224 특징형상 데이터 번역

김 준 환\*

AP224 based Feature Translation from 3D CAD through STEP Part111

Kim, J.H.\*

### ABSTRACT

The exchange of CAD (Computer Aided Design) models between different CAD systems and to downstream applications such as manufacturing has become very important to modern industry. One serious current issue is that the process cannot automatically import existing 3-D solid models in a variety of commercial CAD formats into the process without manually re-mastering the model in current standard including "STEP AP(Application Protocol) 203 Edition 1". To fully integrate technical data from the design agency to the shop floor, design intent and validated 3D geometry of feature based parametric CAD model should be brought into the standardized processes. To overcome this limitation, AP203 Edition 2 (Ed.2) and its related STEP parts such as Part55, Part108, Part109, Part111 and Part112 are starting to be available to handle this problem. The features in Part111 are harmonized with the machining features available in AP224. This paper is focused on two mapping technologies: CAD to Part111 mapping and Part111 to AP224 mapping including case studies and it will provide the guideline about what should be done next in the AP203 Ed.2 to AP224 mapping. The final goal of this project is to integrate technical data from CAD to AP224 based manufacturing information through AP203 Ed.2.

**Key words :** STEP, Manufacturing feature, Parametric CAD model, AP203 Ed.2, Part111, Data exchange

### 1. 서 론

현재의 기업 환경에서는 이질적인 제품설계 시스템 간의 데이터 교환뿐만 아니라 '가공'을 포함한 이후 공정단계(downstream)의 응용 프로그램을 위한 데이터 교환도 중요하다. 그런데, ISO-10303 제품 데이터 교환 표준인 STEP(STandard for the Exchange of Product model data)을 포함한 현재의 국제 표준들은 CAD 시스템들이 지원하는 일반적인 기능인 파라미터, 치수, 제약조건, 특징형상 등을 포함한 '설계 의도'를 전달하는 데 한계점을 갖고 있다.

이질적인 제품설계 시스템간의 데이터 교환 측면에서 보면, 사용자가 생성한(explicitly created) 치수와 파라미터, 형상 제약조건 그리고 수식 제약조건 등을

일반적으로 완벽하게 번역할 수 있는 기술 및 연구는 표준 사용의 여부나 상용인가 연구용인가 여부에 상관없이 아직 이루어지지 못했으며 여러 연구가 현재 진행 중이다. 시스템에 의해 자동으로 생성되는(implicitly created) 정보들을 포함하는 피쳐트리(feature tree)를 받는 시스템(receiving system)에서 재생성하는 연구들은 이루어진 바 있다<sup>1)</sup>.

이후 공정 단계에서 응용 프로그램들과의 데이터 공유 및 교환 측면에서 보면, 설계 초기 단계에서부터 생성된 설계 의도를 이후 공정단계로 전달하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 특히, 자동차 관련 대기업이나 군(military)과 같이 방대한 종류의 3차원 데이터를 다루는 곳에서는 가공을 위한 응용 프로그램까지 표준화된 형식을 이용하여 3차원 모델을 보존 하는 것이 중요하다. 표준화된 3차원 CAD 모델의 저장을 위한 데이터베이스는 PLM(Product Lifecycle Management)에서 중요한 역할을 수행한다. 그런데, 현재 특

\*장희원, WRG 전담기획실  
- 논문투고일: 2005. 12. 19  
- 심사완료일: 2006. 05. 08

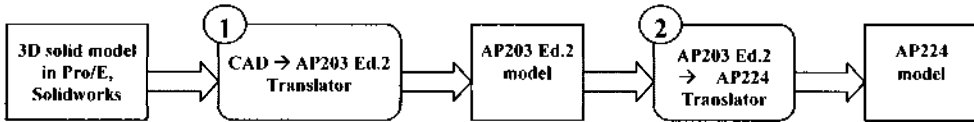


Fig. 1. Overall process for the feature data translation.

칭형상을 포함한 파라메트릭 정보를 가진 3차원 정보를 표준 형식으로 저장하는 것은 물론 저장된 정보를 이후 단계로 재가공 없이 전달할 수 있는 표준과 체계가 부족하다.

설계 단계부터 Shop Floor 단계까지 (DtoS: Design-to-ShopFloor) 프로세스 관점에서 데이터 통합 및 이질적인 시스템간의 데이터 통합을 모두 실현하기 위해서는, 설계 의도와 특징형상을 포함하는 3차원 파라메트릭 CAD 모델이 표준화된 형식으로 DtoS 프로세스에 포함되어야 한다. 그러나, 미국의 M기관에서는 다음과 같은 문제점이 남아 있어서 완전한 자동화가 어려운 상황이다.

- (1) 서로 이질적인 CAD 시스템으로부터 생성된 3차원 솔리드 모델을 저장한 표준화된(예: STEP 응용 프로토콜 203) 데이터베이스로부터, DtoS 프로세스에서 필요한 정보를 수동 재가공(remastering) 없이 자동적으로 추출하지 못한다.
- (2) B-rep (Boundary representation) 모델에서 가공형상 정보를 인식(recognition)해야 한다.
- (3) 초기 단계에서의 설계자의 의도가 중립 형식으로 저장되면서 사라지고 가공 단계까지 전달되지 않는다.
- (4) CAD 모델이 중립포맷을 지지하지 않고 가공을 위한 모델로 직접 전달되는 경우, 특징형상 기반 파라메트릭 CAD 모델이 표준 형식으로 전사 데이터베이스에 저장되지 않는다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 현재 STEP 응용 프로토콜 AP(Application Protocol) 203 Ed.2(Edition 2: 제2판)이 개발중이며, 이 표준에서 중요한 역할을 하는 Part111이 표준화 진행 중에 있다<sup>2)</sup>. 본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이 3차원 CAD로부터 번역된 정보들을 AP203 Ed.2 표준 형식의 설계 특징형상 모델로 저장하고, 가공 단계까지 STEP AP224(Mechanical Product Definition for Process Planning Using Machining Features)<sup>3)</sup> 표준 형식으로 전달할 수 있는 데이터의 흐름을 구현한다. Part111에서 다루는 설계 특징형상(feature)으로부터 가공 특징형상들의 속성을

포함한 관련 정보들이 전달될 수 있는가에 초점을 맞추어, 사례 연구를 통해 얻은 노하우(know-how)를 바탕으로 번역 가이드라인과 기술적인 분체점의 개선 방안들을 기술한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 관련 ISO-10303 표준

본 절에서는 본 연구와 관련된 ISO-10303 표준 중에서 Part111과 AP203 Ed.2에 대해 간단히 설명한다. 아식 개발 중인 Part111은 사용자에게 Part42에서 제공하는 블록(block)이나 실린더(cylinder) 등의 기본 프라미티브보다 높은 수준의 생성(construction) 작업 즉, 특징형상 기반 솔리드 모델의 생성을 지원하기 위해 만들어졌다. Part111의 대부분의 엔티티들은 Part42의 *solid\_model* 엔티티로부터 상속된다. 구멍(hole), 포켓(pocket), 모따기(chamfer) 등의 엔티티를 포함하며, 구멍의 경우 바닥조건에 따라 *flat*, *conical*, *cylindrical* 등 별도의 엔티티를 지원하고, 바닥이 뚫린 경우 관통구멍(through hole)을 지원하며, 카운터보어(counterbore), 카운터싱크(countersunk)를 포함한 다양한 선택 사항을 제공한다. 3장의 Table 6, Fig. 5 등에서 실제 Part111 엔티티가 소개 된다. 현재 가장 널리 쓰이고 있는 STEP 표준 중 하나인 AP203의 다음 버전인 AP203 Ed.2는 AP203 Ed.1에서 지원하지 못한 중요한 다음과 같은 기능을 포함한다<sup>4)</sup>.

- GSG (Constructive Solid Geometry) 모델
- 형상과 관련된 묘사(예: 주석, 색상 등)
- 형상의 치수 및 공차
- 형상 검증 속성(validation properties) (예: 솔리드 모델의 무게중심, 부피, 겉넓이)
- 더욱 개선된 관리 정보

DIS(Draft International Standard) 표준화 단계 시점을 기준으로 가장 큰 특징은 특징형상, 제약조건 그리고 치수를 포함하는 이력기반 CAD 모델의 전달이다<sup>5)</sup>.

### 2.2 기존 연구

설계와 가공 계획의 공통된 기능들을 포함하는 모

Table 1. Comparison of the related research from the viewpoint of the translation process

	Related Research	3D CAD	AP203 Ed.1	Feature Recognition	AP203Ed.2 (Part111) or other parametric format	AP224
1	RAMP Project <sup>[5]</sup>	O	O	-	-	O
2	IF2 System <sup>[6]</sup> , Nagi <sup>[13]</sup>	O	O	O	-	O
3	Mun <sup>[8]</sup> , CHAPS <sup>[12]</sup>	O	-	-	O	-
4	This Research	O	-	-	O	O

델, 사람과 컴퓨터가 인식할 수 있으면서도 형식화가 잘 되어 동시공학에 적용 가능한 데이터 프로토콜 설계, 그리고 설계로부터 가공까지의 워크 플로우와 상호 작용할 수 있는 설계 및 가공계획 모델에 대한 필요성이 예전부터 제기 되어 왔다<sup>[6]</sup>. 본 절에서는 다음과 같이 세 가지 분야로 관련 연구를 나누어 설명한다.

첫째는, 제품설계 정보로부터 AP224 형식으로 직접 변환하는 연구이다. AP224는 미국해군의 RAMP (Rapid Acquisition of Manufactured Parts) 프로젝트에서 채용된 규격이고 특징형상을 사용한 기계부품의 가공 공정 계획에 관한 제품 모델을 취급하고 있으며, 구체적으로 다음과 같은 정보들을 다룬다.

- (a) 특징형상: 돌기, 구멍, 모따기, 홈 등 (b) 가공정보: 평면도, 형상의 공차, 가공기준위치의 공차 등
- (c) 부품관리: 승인자, 조직, 주문 등 (d) 재질: 재료, 가공특성, 경도 등 (e) 형상정의: 테퍼, 반복형상, 중단 타입 등

RAMP 프로젝트에서는 CALS 시범 무기체계의 정립 및 표준과 통신망 구축정책도 추진하였다. 수요에 대응하는 부품의 생산을 목표로 하여 부품 조달에서 STEP 기반의 기술데이터 패키지(TDPs: Technical Data Packages)를 전자적으로 교환하여 부품의 청구로부터 제작, 분배까지의 기간을 30~42% 단축하고, 비용도 25~40% 절감시켰으며 시기 적절한 부품조달을 실현하였다. 또한, AP203과 AP224 등의 STEP 기반의 기술이 산업체에 적용 가능함을 보였다<sup>[5]</sup>. 이 프로젝트와 관련되어 개발된 소프트웨어 모듈 중 하나인 STEPTrans 번역기의 기능은 입력으로 CAD 파일이나 도면 파일들을 받아들여 기존의 AP203 파일이나 AP224 파일을 출력으로 생성하는 것이다.

두번째는 AP224용 가공 정보를 B-rep 또는 도면에서 인식하는 연구들이다. B-rep 형상 정보에서 특징형상을 인식하여 가공 정보를 전달하는 접근 방식으로, 문종걸 등은 STEP을 사용하여 CAD와 CAPP를 연동하는 IF2 시스템을 구현하였는데, 이 시스템에서는 형상 정보 안에서 CAPP에서 필요로 하는 가공 특징형

상을 추출하기 위해 흔적 기반 알고리즘을 사용하였다<sup>[6,7]</sup>. 구멍, 슬롯(slot), 포켓 등 세가지 특징형상을 번역하였고 AP203을 입력으로 하고 파라솔리드 커널을 이용한 변환과 조작 모듈, 그리고 공차 설정, 인식 모듈 등을 거쳐 AP224 파일을 출력으로 생성하였다. Nagi<sup>[13]</sup> 등은 설계 데이터를 가공 데이터로 변환할 수 있는 표준 기반의 형상 특징형상(form feature) 추출 시스템의 구현을 위해 AP202 정보를 입력으로 하고 AP224 포맷을 출력하는 프로토타입 시스템을 구현하였다.

세번째로, 특징형상기반 파라메트릭 정보를 가진 상용 CAD 모델을 표준 파라메트릭 형식으로 변환하는 연구로는 절차적 파라메트릭 방법론과 STEP Part 112를 사용하여 프로토타입을 구현한 문두환의 연구<sup>[8]</sup>, "Re-Write" 알고리즘을 사용하여 형상은 유지하면서, 변환이 어려운 파라미터를 번역이 가능한 파라미터로 치환으로써 보다 많은 일반적인 특징형상까지 번역할 수 있는 Rapport의 연구<sup>[9]</sup>, 그리고, STEP Part 55<sup>[10]</sup>, Part111, Part 108<sup>[11]</sup> 등의 적용성을 시험하기 위한 CHAPS(Construction History And ParametricS) 프로젝트<sup>[12]</sup> 등이 있다. 데이터 교환 기능을 인터넷에서 제공하는 상용 서비스들도 등장하였다. 현재의 초기 파라메트릭 번역기는 편집의 가능 여부에 초점을 두고 있어서, 종속되지 않은(independent) 파라미터의 수치 값을 바꾸어 '변환 후 수정 가능성' (editibility)을 일부 구현할 수 있으나, 수식 등의 일반적인 제약 조건을 포함한 종속적인(dependent) 파라미터의 변환 시 전체 모델의 기동 및 재생성 실패의 방지 방안 등에 대해서는 고려하지 않고 있으며, 부품 패밀리(part family)를 전달하지 못한다.

### 2.3 기존 연구와의 차이점

본 절에서는 본 연구와 기존 연구들과의 차이점을 2.2절에서 기술한 3가지 측면에서 살펴 본다. Table 1에 관련 연구들을 번역되는 데이터의 흐름과 저장되는 형식의 차이에 따라 정리하였으며, O 표시는 열의

제목이 나타내는 관련 작업이 수행됨을 의미한다.

RAMP 프로젝트와는, CAD에서 AP224로 변환시키는 연구라는 점은 같지만, 번역의 중간 단계에서 표준화된 파라메트릭 정보를 저장하고, 다음 단계로 한번 더 매핑하여 AP224로 저장한다는 점에서 다르다. 이것은 특징형상 기반 파라메트릭 모델을 전사적으로 표준화된 포맷으로 저장한다는 측면에서 의의가 크다.

IF2 시스템이나 Nagi의 연구들과 다른 점은, 본 연구는 3차원 형상정보와 특징형상 정보를 AP203 Ed.2의 특징형상 관련 부분의 STEP 공용 자원인 Part111 호환 형식으로 저장하여, 가공 단계로 전달하므로, B-rep 모델에서 특징형상들을 인식하여 가공 특징형상을 생성해야 할 필요가 없다는 점에서 [6,13]의 연구와 다르다. 기존의 AP203 Ed.1 등의 B-rep 모델에서는 특징형상 정보가 없으므로 인식이 필요했으나, 본 연구에서는 Part111의 설계 특징형상 정보가 저장되므로 인식 과정이 필요없다. 다만, AP203 Ed.2는 현재 완성된 표준이 아니며, 표준을 이용하거나 또는 자체적인 포맷을 가진 번역에 관한 연구도 계속 진행 중이다. 따라서, AP203 Ed.2를 현 시점에서 사용하기 위해서는 관련된 파트들인 Part 55, 108, 111, 112 등의 표준들을 사용한 가상의 응용 프로토타입을 사용해야 하며, 본 연구에서는 이 중에서 Part111에만 초점을 맞춘다. 따라서, 제약조건(constraint)이나 치수(dimension) 등에서 번역되지 못하는 엔터티가 발생한 지만, 현재까지의 연구 중에 모든 종류의 제약조건을 번역하는 일반적인 파라메트릭 번역기나 관련 연구는 아직 없다. CAD 모델에서 AP203 Ed.2 호환 표준을 따르거나 자체 포맷으로의 파라메트릭 번역을 위한 연구들은 진행 중이며, 엔터티 선택에 따르는 고유 명칭(persistent naming) 문제가 아직 해결되지 않았다.

문두환의 연구나 CIAPS 프로젝트와는 CAD로 부터 파라메트릭 정보를 번역한다는 점에서는 같으나, Part111 표준을 사용한 변환은 아직 시도되지 않았다는 점이 우선 다르고, 파라메트릭 정보를 저장한 중립형식의 설계 특징형상인 Part111에서 또다시 가공 특징형상인 AP224 형식까지 변환 한다는 점이 다르다.

본 연구는 설계자의 의도를 표준 형식으로 보존하고 가공 단계까지 연결시켜 완전한 데이터 통합 형태를 구현하기 위한 기부들을 보여준다는 데 의의가 있다.

### 3. 번역을 위한 스키마 매핑

#### 3.1 번역 범위

본 연구에서는 상용 CAD의 스케치 기반 특징형상

에서 Part111의 스케치 기반 특징형상으로 매핑되는 경우(예: *design\_extruded\_face\_with\_end\_condition\_solid*)는 다루지 않았다. 예를 들어, 스케치 기반이면서 볼륨이 제거되는 설계 특징형상은 포켓이나 그루브(groove) 등의 가공 특징형상 중 하나로 매핑되는 경우만을 고려하였다. 또한, 기어(gear)와 같이 가장 최근에 표준화에 반영된 특징형상은 다루지 않았다. Table 2은 본 연구에서 다루고자 하는 특징형상의 범위를 AP224의 UoF(Unit of Functionality)와 응용 객체(application object) 관점에서 보여준다.

Table 2. Research scope with regards to AP224 UoF

Uof	Application Object
Feature_definition_item	Blind_bottom_condition, Chamfer_angle, Conical_hole_bottom, First_offset, Flat_hole_bottom, Flat_slot_end_type, Flat_with_radius_hole_bottom, Path, Planar_pocket_bottom_condition, Pocket_bottom_condition, Spherical_hole_bottom, Through_pocket_bottom_condition,
feature_profile	Circular_closed_profile, Closed_profile, Linear_profile, Rectangular_closed_profile, Rounded_U_profile, Square_U_profile, Vee_profile
manufacturing_feature	Chamfer, Edge_round, Fillet, Constant_radius_fillet, Constant_radius_edge_round, Hole, Round_hole, Counterbore_hole, Pocket, Rectangular_open_pocket, Rectangular_closed_pocket, Groove, Revolved_feature, Outer_round,
shape_representation_for_machining	Base_shape, Block_base_shape, Cylindrical_base_shape, B-rep_shape_representation;

사례 연구를 위한 모델들은 RAMP 프로젝트에서 사용되었던 모델들 중 Fig. 2에서 볼 수 있는 세 개의 모델을 사용하였고, RAMP 웹 사이트와 STEPtools<sup>[15]</sup> 소프트웨어에 포함된 AP224 파일들에 포함된 정보들을 바탕으로 특징형상을 포함한 파라메트릭 CAD 모델들을 Solidworks와 Pro/E에서 작성하여 번역하였다. CAD에서 Part111 매핑뿐만 아니라 Part111에서 AP224 매핑까지가 초점이므로, Part111에서 지원되는 특징형상만으로 생성이 가능한 CAD 모델만을 사례 연구에서 사용하였다. 선, 호, 원의 집합으로 이루어진 프로파일을 가진 제한적인 범위의 모델만을 다루었다.

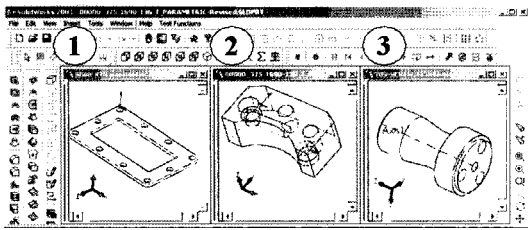


Fig. 2. Feature based CAD model for the case study.

3.2 CAD에서 Part111 매핑

서로 다른 논리적, 물리적 구조를 가진 특징형상기반 파라메트릭 모델을 이기종 시스템 간에 번역할 때, Table 3과 같이 단순히 속성간의 일대일 대응에 의해 모든 정보가 전달되는 경우는 엔터티간 매핑 관계만으로도 명백하므로 자세히 다루지 않는다. CAD와 Part111의 자료구조의 차이점을 바탕으로 번역시 고려해야 할 사항 및 한계점들을 설명하면 다음과 같다.

Table 3. Example of one-to-one mapping

Block in CAD_A	Block in Part42
원점 좌표 (x, y, z) 세개의 방향 성분	Axis2_placement_3d
Width	X
Length	Y
Hcight	Z

첫째, 하나의 자료구조를 사용하여, 여러 구조의 종류를 표현하는 경우 vs 속성에 따른 여러가지 엔터티가 존재하는 경우:

CAD 시스템의 경우 API(Application Programming Interface)를 통해 특징형상에 접근할 수 있는데, 이 때 하나의 특징형상은 수십 개의 속성(attribute)들을 가질 수 있다. Pro/E의 경우는 특징형상의 속성들을 트리구조로 관리하는데, 구멍 특징형상의 경우 On-Off 파라미터를 포함해 50여개의 속성들이 트리구조로 연결되어, 그 조합으로 일반적인 구멍 특징형상까지 나타낼 수 있다. 반면, Part111의 경우 속성의 조합에 따라서 독립된 엔터티를 제공하는 경우가 많은데, 예를 들어 구멍의 바닥조건에 따라 *design flat\_bottom\_holed\_solid* 또는 *design spherical\_bottom\_holed\_solid* 등의 독립된 엔터티가 존재한다.

둘째, 하나의 특징형상과 그와 관련된 데이터들이 하나의 세션(session) 데이터로 합쳐져 있는 경우 vs. 각각 독립된 데이터로 존재하는 경우:

Part111의 특징형상은 제약조건이나 치수 관련 엔터

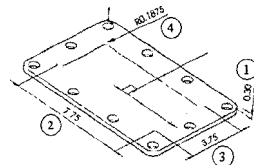
티를 참조하고 있지 않으므로, 참조 관계를 별도로 복원해야 한다. 본 연구의 목적은 CAD로부터 AP224까지의 흐름에 대한 가능성 분석이 복표이기 때문에, Part111 특징형상 엔터티를 생성할 수 있는 최소한의 제약조건만 번역하였다. 즉, 스케치의 세그먼트들(선, 호, 원 등)의 번역으로 Part111 특징형상 엔터티를 만들 수 있다면, 스케치 기반 특징형상 내의 제약조건들을 기술하기 위한 Part108 제약조건 엔터티를 STEP 물리 파일에 추가하지 않았다.

셋째, CAD 파일 전체와 각각의 특징형상들의 파라미터(parameter)의 자유도를 정확하게 보존하는 번역의 경우 vs. 그렇지 않은 경우:

관련 연구들도 모델내의 모든 파라미터의 보존이나 각 파라미터의 의미 보존까지는 신경을 쓰지 않는 것과 같이, 본 연구에서도 파라미터의 보존보다는 피쳐 트리의 전달을 통한 받는 시스템에서의 특징형상의 재생성 가능 여부에만 중점을 둔다. 따라서, AP224 파일 생성에 지장이 없는 한 사용자에게 의해 명시적(explicitly)으로 생성된 파라미터 또는 치수 중에 번역에 고려되지 않는 것들이 발생할 수 있다.

3.3 Part111에서 AP224 매핑

Part111 특징형상들은 대부분의 경우 ISO 국제 표



(1) Solidworks로 모델링

```
#1=BLOCK('block base shape',#7,10.63, 0.30, 6.88);
#7=AXIS2_PLACEMENT_3D('.....'
#10=DESIGN_RECTANGULAR_POCKETED_SOLID('Pocket.1',#1,#1515,0.3,0.0,0.0, 7.75, 3.75, 0.1875 );
#1515=AXIS2_PLACEMENT_3D('.....'
```

(2) 번역된 AP203 Ed.2 파일 중 포켓 관련 부분

```
#74=PROPERTY_DEFINITION_REPRESENTATION(#56, #73);
#56=PROPERTY_DEFINITION('1',#55);
#55=RECTANGULAR_CLOSED_PROFILE('rectangular profile','boundary',
#73=SHAPE_REPRESENTATION_WITH_PARAMETERS('', (#60,#64,#68,#60-AXIS2_PLACEMENT_3D('AXIS', #57, #58, #59);
#60=(LENGTH_MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(7.75),#5)---
#68=(LENGTH_MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(3.75),#5)---
#72=(LENGTH_MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(0.1875),#5)
#11=(GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(3)GLOBAL_UNCERTAIN
#88=PROPERTY_DEFINITION_REPRESENTATION(#78, #87);
#78=PROPERTY_DEFINITION('1',#77);
#87=SHAPE_REPRESENTATION_WITH_PARAMETERS('', (#82, #86), #11
#82=AXIS2_PLACEMENT_3D('AXIS', #79, #80, #81);
#86=(LENGTH_MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(0.3),#5)---
#11=(GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(3)GLOBAL_UNCERTAIN
```

(3) 번역된 AP224 파일 중 관련 부분

Fig. 3. Part111에서 AP224로 번역에서 포켓의 특징형상의 속성의 일대일 매핑.

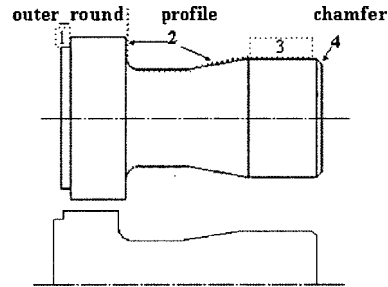
**Table 4.** Mapping between Part111 and AP224 AIM feature

EXPRESS Definition by STEP Part111	AP224 AIM Entity
design_single_offset_chamfered_edge_blend_solid design_double_offset_chamfered_edge_blend_solid design_angle_offset_chamfered_edge_blend_solid	CHAMFER
design_constant_radius_edge_blend_solid design_variable_radius_edge_blend_solid	EDGE ROUND
design_rectangular_pocketed_solid design_circular_pocketed_solid design_general_pocketed_solid	POCKET
design_slotted_solid design_through_slotted_solid design_shaped_slotted_solid design_tapered_slotted_solid	SLOT
swept_face_solid (from part 42) design_revolved_face_with_end_condition_solid	REVOLVED PROFILE
boolean_operation	REMOVAL VOLUME
design_flat_bottom_holed_solid design_spherical_bottom_holed_solid design_conical_bottom_holed_solid design_radiused_bottom_holed_solid design_through_bottom_holed_solid	ROUND HOLE
design_counterbore_holed_solid design_countersunk_holed_solid design_countersunk_counterbore_holed_solid	COMPOSITE F. HOLE
design_rectangular_grooved_solid design_u_section_grooved_solid	OUTER ROUND
right_circular_cylinder (from part 42)	CYLINDRICAL BASE SHAPE
block (from part 42)	BLOCK_BASE_SHAPE

준화 과정에서 이미 다른 표준 파트와간의 조화 (harmonization) 작업을 거쳤기 때문에 Table 4와 같이 매핑되는 AP224 엔티티를 찾을 수 있다. 설계 특징형상은 설계시 CAD 시스템에서 사용하는 특징형상이다. 설계특징형상은 응용 분야에 맞도록 미리 라이브러리에 정의되어 있으며, 이로부터 여러 속성값이 부여되어 초기 설계 단계에서 이용된다<sup>[7]</sup>. CAD 시스템에 미리 정의된 특징형상의 예로 포켓의 경우, Fig. 3의 테스트모델에서와 같이 Part111의 설계특징형상과 AP224의 가공특징형상의 속성이 (1) depth (2) length (3) width (4) corner radius과 같이 일대일 대응이 가능하다. 본 절에서는 번역시 주의가 요구되거나, 노하우가 필요한 경우 그리고 예외적인 상황을 중심으로 설명한다.

첫째, AP224 특징형상을 위한 하나의 데이터 번역 단위를 정의하고 관리해야 한다. 4.2절에서 다룬다.

둘째, 파트내의 첫번째 특징형상은 AP224로 변환 시 *\_base shape* 접미사를 가진 엔티티로 변환되는 경우가 많아 예외적인 알고리즘을 적용한다. Fig. 2에서 (1)번과 (2)번 테스트 모델은 블록, (3)번은 원통 기반 형상(base shape)으로부터 가공된다. 상용 CAD 중 Unigraphics의 경우 블록과 원통 프리미티브 형상을 지원하지만, Pro/E나 Solidworks의 경우는 갖고 있지 않아서 돌출(extrusion)이나 회전돌출(revolve)를 사용해서 블록이나 원통 형상을 생성해야 한다. 이 과정에서 'First Feature'라고 부르는 특징형상 즉, 첫번째 생성되는 특징형상은 전체(global) 좌표계가 존재하지 않은 상태에서도 생성될 수 있는 등 일반 특징형상과 다르기 때문에 CAD API를 써서 액세스할 때도 별도의 사례로 분류해서 처리해야 한다.



**Fig. 4.** Test model with sketch-based feature.

셋째, 설계 과정에서 AP224에 정의된 하나의 프로파일보다 복잡한 스케치 특징형상을 가지는 회전돌출의 프로파일의 경우에는 일반적인 처리 알고리즘이 아직 없다. 설계자가 가공 단계까지 완벽하게 고려해서 설계를 한다면, 한 개의 가공 특징형상에 대응하는 설계특징형상을 사용해서 설계한 것이다. 예를 들어, 설계자가 Fig. 4의 아래쪽 그림처럼 하나의 스케치로 전체 모델을 설계하고, 가공 정보를 명시하지 않는다면, 변환 단계에서 가공 정보를 인식하는 것은 본 연구의 범위 밖이다.

스케치 기반 특징형상(sketch-based feature)는 특징형상은 스케치가 돌출 제거(cut-extrusion)로 사용된 경우 *pocket*, *slot* 등으로 매핑되고, 회전돌출-제거(cut-revolve)를 위해 사용된 경우에는 *groove* 등의 특징형상으로 매핑될 수 있다.

**3.4 Case Study**

사례연구를 위한 구현 환경은 Table 5와 같다. 테스트 모델인 Fig. 5의 모델은 블록 기반형상과 6개의 구멍, 2개의 모따기로 이루어졌다. Solidworks가 블록

Table 5. Implementation environment

Operating System	Windows 2000
CAD system API	- Pro/Toolkit & Pro/Develop ver. 2001 - Solidworks API Ver. 2003 (OLE automation version)
C++ Compiler	Visual C++ .net

프리미티브 형상을 제공하지 않아서 기반형상을 표현하기 위해 돌출 특징형상을 사용하였다.

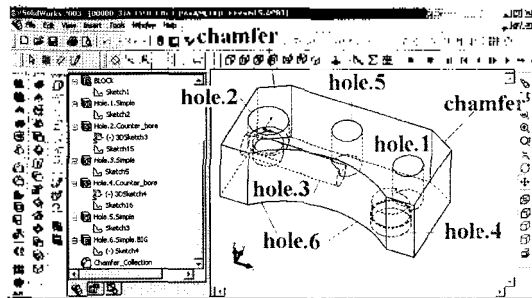


Fig. 5. First test model of case study.

Table 6은 Fig. 5의 테스트 모델을 Part111기반 STEP 파일로 번역한 결과의 일부분을 보여주며, Fig. 6는 테스트 모델의 전체 특징형상들의 부모 자식 관계를 트리구조로 보여준다. 가장 마지막에 생성된 특징형상 #90 모따기가 가장 첫 줄에 있고, 가장 처음 생성된 특징형상인 #1엔터티 block을 #10 구멍 특징형상 엔터티가 부모 특징형상으로서 참조(reference)하고 있다.

블록과 구멍 특징형상들은 자체 지역 좌표계 표현을 위해 axis\_placement\_3d를 가진다는 것을 볼 수 있다. Part111의 design\_edge\_blend\_solid로부터 상속된 특징형상들을 포함한 트랜지언트(transient) 특징형상 중 일부는 Part111의 다른 특징형상과 달리 사용자가 모델링시 선택한 형상(picking geometry)을 속성으로 갖고, 상속된 일부 엔터티는 특징형상이 갖고 있는 B-rep 형상인 관련형상(relevant geometry)까지 속성으로 갖는다. 모따기 관련 엔터티들도 Fig. 6의 #90의 예에서 보듯이 사용자가 모델링시 선택한 모서리(#359)와 그 결과로 생성된 면(#418)을 모두 저장한다. 구멍, 돌출, 포켓 등 일반적인 특징형상들은 관련형상을 저장하지 않는다. 관련형상과 같은 의미로 특징형상별 형상(GPF: Geometry Per Feature)라는 용어도 사용하기도 하고<sup>[1]</sup> 4장에서 자세히 설명한다.

블록과 모따기 이외에 AP224의 구멍 표현은 4.2절에서 자세히 설명한다. STEP 파일 내에서 하나의 특

Table 6. Virtual AP based STEP file of model in Fig.4

Feature	Portion of Physical File
Block	#1=BLOCK('BLOCK_BASE_SHAPE', #7, 4.50, 2.25, 1.50); #4=CARTESIAN_POINT(",(0,0,0,0,0)); #5=DIRECTION(",(0,0,0,0,1,0)); #6=DIRECTION(",(1,0,0,0,0,0)); #7=AXIS2_PLACEMENT_3D(",#4,#5,#6);
Hole.1	#10=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.1', #1, #14, 0.328125, 1.00000); #11=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000)); #12=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0)); #13=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0)); #14=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#11,#12,#13);
CHAMFER	#80=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402); #60=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.6', #50, #64, 2.380000, 1.500000); #259=EDGE_CURVE(",#299,#255,#258,1); #402=ADVANCED_FACE(",(#396),#401,1,1);

```

#90=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID(chamfer.#90, (#399), 0.62, 30.0, #418);
#1=BLOCK('BLOCK_BASE_SHAPE', #7, 4.50, 2.25, 1.50);
#4=CARTESIAN_POINT(",(0,0,0,0,0,0));
#5=DIRECTION(",(0,0,0,0,1,0);
#6=DIRECTION(",(1,0,0,0,0,0);
#7=AXIS2_PLACEMENT_3D(",#4,#5,#6);
#10=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.1', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#11=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#12=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#13=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#14=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#11,#12,#13);
#15=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.2', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#16=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#17=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#18=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#19=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#16,#17,#18);
#20=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.3', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#21=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#22=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#23=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#24=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#21,#22,#23);
#25=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.4', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#26=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#27=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#28=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#29=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#26,#27,#28);
#30=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.5', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#31=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#32=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#33=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#34=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#31,#32,#33);
#35=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.6', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#36=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#37=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#38=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#39=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#36,#37,#38);
#40=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.7', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#41=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#42=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#43=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#44=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#41,#42,#43);
#45=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.8', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#46=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#47=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#48=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#49=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#46,#47,#48);
#50=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.9', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#51=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#52=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#53=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#54=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#51,#52,#53);
#55=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.10', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#56=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#57=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#58=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#59=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#56,#57,#58);
#60=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.11', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#61=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#62=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#63=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#64=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#61,#62,#63);
#65=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.12', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#66=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#67=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#68=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#69=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#66,#67,#68);
#70=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.13', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#71=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#72=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#73=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#74=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#71,#72,#73);
#75=DESIGN_FLAT_BOTTOM_HOLED_SOLID('Hole.14', #1, #14, 0.328125, 1.00000);
#76=CARTESIAN_POINT(",(3.880000, -1.190000, 1.50000);
#77=DIRECTION(",(0,0,0,0,-1,0);
#78=DIRECTION(",-(1,0,0,0,0,0);
#79=AXIS2_PLACEMENT_3D('orientation',#76,#77,#78);
#80=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#81=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#82=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#83=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#84=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#85=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#86=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#87=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#88=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#89=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#90=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#91=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#92=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#93=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#94=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#95=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#96=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#97=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#98=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#99=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);
#100=DESIGN_ANGLE_OFFSET_CHAMFERED_EDGE_BLEND_SOLID('CH', #60, (#259), 0.62, 30.0, #402);

```

Fig. 6. Part111 feature tree structure of test model in Fig. 4.

징형상은 수백 라인으로 이루어질 수도 있기 때문에, 특징형상을 직관적으로 제한된 지면 내에 표현하기 위해번역의 단일 단위로 표현한 모따기 특징형상의 AP224 파일내에서의 표현을 다음과 같은 트리 구조를 사용하여 나타내었다.

```

PROPERTY_DEFINITION_REPRESENTATION
→PROPERTY_DEFINITION
→CHAMFER
→FACE_SHAPE_REPRESENTATION
→ADVANCED_FACE
PROPERTY_DEFINITION_REPRESENTATION
→PROPERTY_DEFINITION
→CHAMFER_OFFSET
→SHAPE_REPRESENTATION_WITH_PARAMETERS
→MEASURE_REPRESENTATION_ITEM
FEATURE_COMPONENT_RELATIONSHIP
→CHAMFER
→CHAMFER_OFFSET

```

Table 7. Block\_base\_shape in the AP224 based physical file

	Portion of the AP224 Physical File
BLOCK_BASE_SHAPE	#1166=BLOCK_SHAPE_REPRESENTATION('base shape', (#1138,#1147,#1156,#1165),#34); #34= GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(생략 .....); #1138=AXIS2_PLACEMENT_3d(생략 .....); #1147=(LENGTH_MEASURE_WITH_UNIT() MEASURE_REPRESENTATION_ITEM() MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(1.500000000000000),#15) QUALIFIED_REPRESENTATION_ITEM(#1139,#1140,#1141)) REPRESENTATION_ITEM('length'); #1156=(LENGTH_MEASURE_WITH_UNIT() MEASURE_REPRESENTATION_ITEM() MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(4.500000000000000),#15) QUALIFIED_REPRESENTATION_ITEM(#1148,#1149,#1150)) REPRESENTATION_ITEM('width'); #1165=(LENGTH_MEASURE_WITH_UNIT() MEASURE_REPRESENTATION_ITEM() MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(2.250000000000000),#15) QUALIFIED_REPRESENTATION_ITEM(#1157,#1158,#1159)) REPRESENTATION_ITEM('height');

AP203 Ed.2에서 Fig. 6의 #90과 같이 특정형상 엔터티 내에 속성으로 들어있던 *chamfer\_offset* 관련 정보는 AP224에서는 별도로 표시되고 *chamfer*와 *chamfer\_offset*의 관계는 *feature\_component\_relationship* 엔터티를 통해 연결된다. 블록 특정형상을 *block\_shape\_representation*로 번역한 AP224 기반 물리 파일의 일부분을 Table 7에 나타내었다.

## 4. 번역기 구현을 위한 문제들의 처리 방안

### 4.1 데이터 매핑

CAD 데이터 번역시 보내는(sending) 시스템의 엔터티들과 받는 시스템의 모든 엔터티들의 관계가 일대일 매핑으로 기술될 수 있다면, 각각의 엔터티의 번역 결과들을 합하면 전체의 번역 결과가 될 수 있다. 하지만 많은 경우에 그렇지 않기 때문에 서로 다른 알고리즘이 필요한 경우의 수를 줄여서 일반화할 수 있는 방법론이 필요하다.

Fig. 1에 나타난 본 연구의 데이터 흐름의 단계 중에서 Part111 특정형상과 AP224<sup>[3]</sup> ARM(Application Reference Model) 특정형상간의 매핑의 경우에는 국제 표준화 과정에서 서로 조화 절차를 거쳤으므로 일대일 매핑되는 경우가 많다. 예를들어, Part111의

*design\_counterbore\_holed\_solid*와 *design\_countersunk\_holed\_solid*는 각각 AP224 ARM의 *Counterbore\_hole*, *Countersunk\_hole* 응용 객체와 일대일 대응될 수 있다.

ARM은 응용 프로토타입을 사용하는 입장에서 응용 프로토타입에 대한 요구사항을 기술한 것으로, ARM에는 변환대상을 표현하는 응용 객체, 제한사항, 응용 객체의 구조 및 응용 객체간의 관련 등이 기술된다. AIM(Application Interpreted Model)은 ARM과 AP가 필요로 하는 통합자원(IR: Integrated Resource)의 부분집합 사이의 매핑으로 이루어진다. 이 매핑은 표준 문서의 매핑표에 기술되어 있으며, AIM 스키마는 물리파일의 내용을 정의한다. 하나의 IR은 여러개의 AP에서 쓰여질 수 있으며, 각각의 AP내에서는 각각 다른 의미를 지닐 수도 있다.

ARM과 AIM의 활용 예로써 구멍 특징형상 관련하여 살펴보면, AP224의 AIM에서는 *counterbore\_hole*라는 엔터티가 없다. 그러나, AP224 표준 문서의 매핑 표에서 "*counterbore\_hole to round\_hole*"과 같이 명시된 부분을 찾을 수 있는데, 이로부터 AP224의 ARM 단계에서의 *counterbore\_hole*은 AIM을 써서 실제 구현할 경우, *round\_hole*로 매핑된다는 것을 알 수 있다.

ARM과 AIM의 차이점에 관한 다른 예로써, 포켓 특징형상의 종류와 관련해서 살펴보면, AP224의 ARM은 *Pocket*, *Rectangular\_closed\_pocket* 그리고 *Rectangular\_open\_pocket*과 같은 엔터티들을 포함하고 있다. 하지만, AP224의 AIM은 포켓을 표현할 때 *pocket* 한 가지만 지원하며, 포켓의 종류를 표현하기 위해서는 아래와 같이 AIM의 *pocket* 엔터티의 WRI에 정의된 규칙과 같이 조상 엔터티인 *characterized\_object*에서 상속받은 속성인 *description*에 사용되는 문자열을 사용하여 표현한다.

ENTITY pocket

SUBTYPE OF (feature\_definition);

WHERE

WRI: SELF.description IN ['closed rectangular', 'open rectangular', 'non-rectangular']; ... 이하 생략

실제 AIM으로 구현할 때는 속성들이 서로 STEP 물리 파일 내에 하나의 의미를 가지면서 분산되어 있으므로, 번역기는 이를 하나의 번역 단위로 처리하는 것이 좋다. 물리 파일의 참조 관계에서 가장 루트 위치에는 주로 *property\_definition\_representation*으로 표현되며, 이는 AIM 스키마의 규칙 부분에서 찾아



볼 수 있다. 여러가지 표현(representation), 예를 들면 형상 정보를 포함하는 *geometric\_representation*이나 또는 파라미터를 가진 *shape\_representation* 등의 표현들을 관리할 수 있는데, 이 루트들이 여러 개 모여서 하나의 특징형상을 위한 가공 정보를 이룬다.

CAD 시스템에서 돌출 혹은 회전돌출로 작성된 파트내의 첫번째 특징형상은 가공 방법에 따라 다르겠지만 블록, 원통 형상을 비롯한 기반형상으로 전달되는 경우가 많기 때문에 가장 적절한 기반형상으로 매핑해야 한다. 또한, 특징형상을 전체 좌표계 또는 부모 특징형상에 기준하여 위치시키는 좌표 형식은 설계하는 입장과 가공하는 입장에서 다를 수 있다. 또한, AP224 가공 특징형상의 원점이 설계 특징형상의 원점과 다를 수 있다. 간단한 예로는 *block\_base\_shape*을 들 수 있는데, AP224 스키마에서의 *block\_base\_shape*의 원점은 여섯 개의 면 중에서 XY평면에 위치한 면의 정 중앙 무게중심이고, AP203을 지원하는 Part42스키마에서의 *block*의 원점은 8개 중 하나의 꼭지점(vertex)을 가리킨다.

회전에 의한 특징형상 중 회전돌출-제거 등의 특징형상은 설계 단계에서는 닫힌(closed) 프로파일인 경우도 있겠지만, 가공 단계에서는 가공물과 관련된 부분의 정보만 중요하므로, 열린(open) 프로파일로 전달해 주어야 하는 경우도 생긴다. 더우기 현재의 Part111은 열린 스케치를 다루지 않고, 제거될 볼륨을 정의한 후 불리안 조작으로 처리한다. 또한, 폐곡선이 아닌 열린 스케치(open-sketch)를 사용하여 제거(negative) 특징형상을 생성하는 경우를 상용 CAD 시스템에서 허용하지 않는 경우가 있다. 예를 들어, Fig. 4에서 *vee\_profile*과 같은 제거 특징형상을 생성하는 경우 스케치를 닫아 주어야 하는 경우가 발생하는데, 가공 단계에서는 다시 열린 *vee\_profile*로 매핑해 주어야 한다. CAD 시스템상에서 단순히 제거 특징형상으로 처리된 것을 상황에 맞게 슬롯, 포켓, 그루브 등으로 처리하는 알고리즘이 필요하다. 가공 단계의 특징형상을 고려하지 않고 설계자에 의해 스케치 기반 특징형상이 생성되어 여러 개의 가공 특징형상으로 매핑되는 경우에 대한 일반적인 해결 방안은 본 연구에서는 찾지 못했다.

#### 4.2 번역을 위한 단위 구조 및 GPF

번역을 위한 단위 구조는 상용 CAD의 특징형상, Part111 특징형상, AP224의 특징형상의 처리를 위해 모두 필요하며, 각 경우에 대해 기술하면 다음과 같다.

첫째, 상용 CAD 시스템에서 API를 사용하여 특징

형상 정보를 추출하는 경우 특징형상과 관련된 모든 제약조건, 치수 등이 특징형상 자료구조를 나타내는 포인터(예: Solidworks의 IFeature)로부터 구해지는 경우도 있으나, 그렇지 않은 경우(예: Pro/E의 경우 ProFeature와 ProDimension)도 있다.

둘째, Part111로 설계 특징형상을 기술하는 경우 STEP 물리 파일에서 특징형상 엔터티와 관련된 제약조건들과의 직접적인 링크가 없다. 예를 들면, Part111 STEP 파일에서 *design\_flat\_bottom\_holed\_solid*는 구멍위치 정보를 나타내기 위해 *axis2\_placement\_3d*를 속성으로 갖지만, 구멍과 부모관계에 있는 특징형상과의 상대적인 위치를 나타내는 치수(positioning dimension)은 이 한 개의 엔터티로는 나타내지 못한다.

Table 8. AP224 AIM based feature information in STEP file (hole and pocket case)

Contents	
1	GPF (Geometry Per Feature)
2	Coordinate system for positioning
3	Profile (in case of hole, it's circular)
4	Path
5	Direction
6	Bottom condition
etc	feature_component_relationship dimensional_characteristic_representation plus_minus_tolerance

셋째, AP224로 가공 특징형상을 기술하는 경우 하나의 특징형상과 관련된 속성 정보들이 여러 개의 *property\_definition*으로 나누어 표현된다. 예를 들면, 구멍과 포켓의 경우 STEP 물리 파일에 기술되는 정보들은 Table 8과 같이 여러개의 섹션으로 표현된다. Table 8에서 GPF(1)란 특징형상이 생성되었을 때 함께 새롭게 생성된 B-rep 형상(plane, line 등)과 토폴로지(face, edge 등) 정보를 말한다. 위치 정보(2)는 주로 AXIS2\_PLACEMENT\_3D를 사용해서 기술된다. 프로파일(3)은 설계 단계에서 스케치로 표현되는 포켓 프로파일(circular 혹은 rectangular 등), 구멍의 경우는 원(circular) 프로파일을 가질 것이다. 프로파일과 관련된 모든 수치값이 이 부분에 기술된다. 구멍의 경우는 원형 프로파일의 반지름이 곧 구멍의 반지름을 나타낸다. 포켓이나 구멍의 깊이는 경로(4)와 함께 기술된다. 방향(5)과 바닥조건(6)들도 각각 독립된 속성으로 다루어진다. 이 외에 특징형상 엔터티와 속성 엔터티의 관계를 나타내거나, 치수 정보, 공차 정보

들을 나타내는 색선이 있다.

이 중 GPF에 대한 예를 들어보면, 바닥면이 평평한 (flat) 막힌 단순(blind simple) 구멍을 생성했을 때, 평평한 평면과 구멍의 옆면을 구성하는 원통형 곡면 (cylindrical surface) 2개를 합하여 새로운 면(face) 세개가 생긴다.

Fig. 7-1의 카운터보어 구멍은 관통구멍인 경우는 원통형곡면 4개와 중간에 평면을 더해 5개이고, 막힌 구멍인 경우 밑 부분 평면이 더해져 6개의 면을 갖는다. 관통구멍인 경우, Fig. 7-2는 원추형(conical surface) 곡면 2개, 원통형 곡면 2개를 갖고, Fig. 7-3은 원통형 곡면 4개와 원추형 곡면 2개, 그리고, 평면까지 총 7개의 면을 갖는다. 이 GPF들은 Part111은 다루지 않지만, AP224에서는 필요하며, 더 많은 예제들을 Table 9에 나타내었다.

Table 9. Example of relevant geometry surface instance #

#	Feature	Related Geometry
0	Base Shape	Not necessary
2	Simple Through hole	2 cylindrical surface
3*	Double offset Chamfer*	1 Plane* + 2 offset plane
3	Simple Blind hole	2 cylindrical & 1 plane
4	Through Countersunk hole	2 Conical & 2 cylindrical
4	Through rectangular pocket without corner radius and floor radius	4 (side) plane
5	Through Counterbore hole	4 cylindrical & 1 plane
6	Blind Counterbore hole	4 cylindrical & 2 plane
9	Rectangular pocket with corner radius and zero floor radius and blind bottom on the plane	4 cylindrical, 4 side plane and 1 bottom plane

Table 9은 블록에 특징형상을 생성할 경우의 특징형상이 갖는 GPF의 개수를 예로 보여주는 것으로, 블록의 크기보다 자식으로 생성되는 특징형상의 크기가 현저하게 작은 경우만을 가정한 것이다. 이 가정이 성립하지 않는 경우 예로는 Fig. 5의 hole.6과 같은 경우가 해당되는데, 이때는 구멍 특징형상의 지름이 부모 특징형상인 블록의 모서리보다 길어서 GPF가 원통형 곡면 단 한 개인 경우이다.

기반형상의 경우 AP224 물리 파일에 GPF가 나타내지 않지만 필요한 경우 `_base_shape` 엔터티를 가진 정보 (예: `block_shape_representation`)로부터 계산될 수 있다. 예외적인 경우로 표에서 \*표시된 더블 옴

셋 모따기의 경우를 들 수 있는데, `design_double_offset_chamfered_edge_blend_solid`의 경우 면(face) 엔터티의 배열을 속성으로 가져서, Part111로부터 1개의 모따기면이 전달되고, 두개의 옴셋 평면이 더해져서 총 3개의 면을 GPF로 갖는다.

Table 9의 나머지 부분을 설명하면, 단순 관통 구멍의 경우 2개의 반 원통형 곡면을, 바닥을 가진 단순 구멍의 경우 바닥 평면까지 3개의 면을 갖는다. 관통 카운터싱크 구멍의 경우는 Fig. 7-2의 경우로 위에 설명되었다. 코너 반지름과 플로어 반지름이 모두 없는 관통 사각 포켓의 경우 밑바닥이 없고, 네 개의 옆 평면으로 이루어진다. 카운터보어 구멍의 경우는 Fig. 7-1 경우로 위에 설명되었다. 사각 포켓이 바닥을 갖고, 코너 반지름(corer radius)을 갖는 경우, 라운드 된 사각형(rouned rectangle) 형태의 프로파일을 갖고 이 프로파일이 3차원으로 스위프(sweep)되어 4개의 평면과 4개의 원통형면을 갖게 된다. 바닥 평면까지 합하면 총 9개가 된다.

Part111에서 지원하는 구멍 특징형상은 한계가 있다. 예를 들어, Fig. 7의 1~3번 구멍은 지원하지만 4번의 경우 Part111에서 지원하는 구멍의 단면 프로파일에 약간의 변형(R0.3) 형태를 가진 경우를 지원하지 않는다. 본 연구에서는 Part111에서 지원하지 않는 형태의 특징형상은 일단 고려하지 않는다.

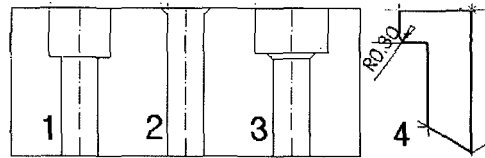


Fig. 7. Hole supported by Part111 (#1,2,3) and not (#4).

### 4.3 속성 파라미터의 처리

특징형상이 위치한 좌표계, 속성, 파라미터들을 한 개의 엔터티 안에서 직접적인 참조관계로 처리하지 않는다. 예를 들어, Table 10에서 보는 바와 같이 구멍과 구멍의 바닥조건간의 관계를 나타내는 엔터티 (#1)를 통해 특징형상 엔터티가 간접적으로 연결되어 있음을 볼 수 있다. #1은 #2, 구멍의 바닥조건과 #3, `SHAPE_ASPECT`를 속성으로 가지며, 이로부터 특징형상의 정보(#5)와의 참조 관계도 추적할 수 있다.

또한, 바닥조건 등의 파라미터는 Part111에서는 독립된 엔터티를 제공하지만, AP224에서는 속성과 관련된 엔터티를 제공한다. 예를 들어 바닥조건이 다른 구멍을 표시할 때 Part111에서는 평평한 바닥의 표현

을 위해 *design\_flat\_bottom\_holed\_solid*을 사용하고, “\_flat\_” 대신에 *\_spherical\_*, *\_conical\_*, *\_radiused\_*, *\_through\_* 등이 사용되어 Table 4에서 볼 수 있는 것처럼 바닥조건에 따라 다른 특징형상 엔터티가 제공된다. Part111에서 AP224로의 번역기에서는 특징형상 엔터티와 관련된 엔터티간의 ‘관계’들을 4.2절에서 기술한 하나의 번역단위 내에서 관리하였다.

**Table 10.** Relation between hole and its bottom condition

```
#1=FEATURE_COMPONENT_RELATIONSHIP('hole
bottom usage', #2, #3 );
#2=HOLE_BOTTOM('bottom condition':'flat', ..생략.);
#3=SHAPE_ASPECT('bottom condition occurrence', #4,
.T. );
#4=PRODUCT_DEFINITION_SHAPE(',$, #5 );
#5=(CHARACTERIZED_OBJECT(',$)FEATURE_DEFI
NITION()INSTANCED_FEATURE(ROUND_HOLE()S
HAPE_ASPECT(',$,#43,.T.);
```

카운터보어 구멍 특징형상은 AP224에서는 두 개의 가공 특징형상이 복합된 것으로 처리한다. 예를 들어, Fig. 7-1의 카운터보어 구멍의 경우는 Part111에서 한 개의 카운터보어 구멍으로 기술되었다가 AP224로 매핑될 때는 Table 11처럼 한 개의 작은 단순 구멍과 한 개의 큰 단순 구멍을 갖는 복합(composite) 구멍으로 처리된다. 단면의 스케치가 동반 되는 복잡한 구멍 특징형상 등 두 개의 특징형상의 조합으로 처리해야 하는 경우에도 *composite\_hole* 엔터티를 이용한다.

**Table 11.** AP224 Composite hole example

```
#1=FEATURE_COMPONENT_RELATIONSHIP('small
hole', #11, #4);
#2=FEATURE_COMPONENT_RELATIONSHIP('large
hole', #12, #4);
#4=COMPOSITE_HOLE(*,*,',counterbore', ..... );
#11=ROUND_HOLE(..... );
#12=ROUND_HOLE(..... );
```

#### 4.4 GPF (Geometry Per Feature) 처리

AP224는 특징형상의 GPF를 다루지만 AP203 Ed.2는 다루지 않으며, 이것이 구현 측면에 있어서는 가장 큰 문제 중 하나이다. AP203 Ed.2 물리 파일은 B-rep 모델과 절차적 특징형상기반(procedural feature-based) 파라메트릭 모델 두가지의 정보를 가지며, AP203 Ed.2에 포함될 공통 자원인 Part108에서는 각각 1<sup>차</sup> 모델, 2<sup>차</sup> 모델이라고 부른다. 이 두 개의 모델을 함께 다룬다는 것은 항상 두 개의 모델간에 일관성(consistency)을 유지시켜야 하는 부담이 있는데, 완벽

한 일관성의 유지는 현재 수준에서는 어려우며, 추후 계속 연구되어야 하는 부분이다. AP203 Ed.2는 포켓, 슬롯, 구멍 등의 특징형상들의 GPF를 AP203 Ed.2 기반 물리 파일에 보존하지 않는다. 다만, AP203 Ed.2의 트랜지언트 특징형상들 중 모따기등은 제한적으로 이를 나눈다.

본 논문에서는 이 부분에 대해서는 자세히 다루지 않는다. AP203 Ed.2가 아직 확정되지 않았고, 표준 자체에 대해 수정안을 내는 것은 본 연구의 범위를 벗어나기 때문이다. 현재 상태의 Part111은 GPF를 다루지 않으므로 CAD에서 AP203 Ed.2을 통한 AP224 매핑을 위해서는 Part111의 개선 또는 특징형상 관련 엔터티로부터 B-rep 형상 정보를 계산하여 생성하는 모듈이 필요하다. CAD에서 AP224로 직접 변환할 경우에는 이 정보들을 CAD API가 제공한다면, 그대로 사용하면 되지만, AP203 Ed.2에서의 파라메트릭 정보를 가지고 특징형상의 GPF를 생성하게 되면, 파트 전체의 B-rep 모델과 각 특징형상의 B-rep(즉 GPF)간의 수치적 비일관성(numerical inconsistency)을 피할 수 없다.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 설계 단계에서 생성된 CAD 모델을 표준 형식으로 저장하면서, 생산 단계까지 표준화된 정보를 전달하고 저장할 수 있도록, 상용 CAD 시스템에서 STEP의 Part111 특징형상 기반 파라메트릭 모델로 매핑하고, 이로부터 가공 정보를 생성하기 위한 과정인 AP224로의 매핑을 시도하였다. 연구의 구현 범위를 AP224 ARM의 응용 객체의 수준에서 선택적으로 정하고 번역을 위한 단위 구조를 정의하였으며, 사례 연구를 통해 검증하고 이에 따른 번역 가이드 라인을 제시하였다. 프로토타입 번역기를 구현하여, 논문에서 제시한 방법에 의해 AP203 Ed.2 물리 파일로부터 AP224 물리 파일이 올바르게 변환된 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 이질적인 CAD로부터 생성된 3차원의 솔리드 모델을 저장한 표준화된 데이터베이스로부터 가공 특징형상 정보를 추가없이 추출할 수 있는 골격에 대한 가능성을 보였다. 이에 따르면, B-rep 모델에서 가공 형상 정보를 인식하는 과정이 필요없으며, 초기 단계에서의 특징형상 정보가 중립 표준 형식으로 제품 데이터베이스에 저장되어 가공 단계까지 전달될 수 있다.

향후에는, 스케치 기반 특징형상의 일대다 또는 다

대일 매핑 및 열린 스케치 기반 특징형상의 처리, 관련형상과 토폴로지의 처리 및 데이텀의 처리, 공차 처리 등이 수행될 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2003년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(No. M01-2003-000-20351-0).

## 참고문헌

1. 문두환, 김병철, 한순홍, "피쳐 트리와 매크로 과일을 이용하는 하이브리드 파라메트릭 번역기", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제7권, 제4호, pp. 240-247, 2002. 12.
2. ISO TC184/SC4/WG12 N2234, ISO/CD 10303-111, Product Data Representation and Exchange: Integrated Application Resource: Construction History Features, 2003-09-08.
3. ISO TC184/SC4/WG03 N1850, ISO/DIS 10303-224.3, Product Data Representation and Exchange: Application Protocol: Mechanical Product Definition for Process Planning Using Machining Features, 2005-05-25.
4. Mary Elizabeth A. Algeo, Shaw C. Feng, Steven R. Ray, A State-of-the-Art Survey on Product Design and Process Planning Integration Mechanisms, NISTIR 5548, 1994.
5. <http://www.isg-scr.org/STEP/http://ramp.isg-scr.org/>
6. 분종길, 강부진, 한인호, 한정현, "CAD/CAPP연계를 위한 STEP Processor", 2000년 CAD/CAM 학회 학술 발표회 논문집.
7. 강무진, "STEP AP224를 이용한 특징형상의 가공 순서 계획", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제9권, 제2호, pp. 175-182, 2004. 6.
8. Mun, D. W. Han, S. H. Kim, J. H. and Oh, Y. C. "A Set of Standard Modeling Commands for the History-based Parametric Approach", *Computer-aided Design*, Vol. 35, Issue 13, pp. 1171-1179, 2003.
9. Ari Rappoport, An Architecture for Universal CAD Data Exchange, in Proc. 2003 ACM Solid Modeling Symposium, Seattle, WA, USA, pp. 266-269, ACM Press, June 2003.
10. ISO 10303-55, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange: Integrated Generic Resource: Procedural and Hybrid Representation, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2005.
11. ISO 10303-108 Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange: Integrated Application Resource: Parameterization and Constraints for Explicit Geometric Product Models, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2005.
12. Stiteler, M., Construction History And ParametricS: Improving Affordability through Intelligent CAD Data Exchange, CHAPS Program Final Report, Advanced Technology Institute, 5300 International Boulevard, North Charleston, SC 29418, USA, January 2004.
13. Mangesh P. Bhandarkar, Raksh Nagi? STEP-based Feature Extraction from STEP Geometry for Agile Manufacturing, *Computers in Industry* 41, pp. 3-24, 2000
14. Michael J. Pratt, Bill D. Anderson, Tony Ranger, "Towards the Standardized Exchange of Parameterized Feature-based CAD Models", *Computer-Aided Design*, Vol.37, Issue 12, pp. 1251-1265, 2005.
15. <http://www.steptools.com/>
16. 한순홍, 천상욱 외 9명, "제품모델 기술용어집", 산업자원부 기술표준원, 2005년 7월, 인터넷 버전, <http://kstep.or.kr/sub2-3.htm>
17. 이재열, 김광수, "특징형상 접근방법에 의한 가공특징형상 추출", 한국CAD/CAM학회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 139-152, 1999. 6.

## 김 준 환



1995년 KAIST 정밀공학과 학사  
 1998년 KAIST 기계공학과 석사  
 2003년 KAIST 기계공학과 박사  
 1997년~1998년 ETRI 위촉연구원  
 2003년~현재 NIST (美 표준기술연구소) 생산시스템통합 디비전(MSID) 객원연구원  
 2005년~현재 WRG 전략기획실  
 관심분야: CAD database, Knowledge-based Design, Virtual Reality, Ubiquitous Computing