

ISO 14649 표준을 위한 신속조형용 설계정보모델

김인배*, 지해성**

A Rapid Prototyping Data Model for ISO 14649

Kim, I. B.* and Jee, H. S.**

ABSTRACT

The primary goal of the study is to provide a newly refined data model, an information exchange foundation of modeling operation for rapid prototyping, as one among non-milling STEP-NC modules. The previous data model has been first modified and refined by reflecting specific user requirements. Second, subsidiary information such as fabrication history as well as traditional process information has been introduced into the newly refined model in order to consolidate the model functionality. In short, the main contribution of the study is to provide a foundation where a newly refined data model is utilized easily and conveniently for practical rapid prototyping fabrication within the newly constructed STEP-NC environment.

Key words : STEP, RP, STEP-NC, Data Model

1. 서 론

STEP(Standard Exchange of Product model)은 현재 우수한 차세대 정보교환 표준체계로서 국제적 인정을 받고 있다. 특히 NC(Numerical Controller) 가공 시스템의 데이터 교환용 STEP표준(ISO 14649)의 개발 필요성에 따라 CAD/CAM내에서의 STEP기반 CNC용 데이터 인터페이스 기술개발, 기계가공 공정의 안정성 및 신속성을 통한 제품품질, 제조속도 향상을 목표로 하는 STEP-NC 연구 과제가 진행 되어 왔다. 한편 RP(Rapid Prototyping) 장비는 컴퓨터에 저장된 디지털형상정보로부터 빠른 시간내에 물리적인 모형형상 및 금형을 제작해 낼 수 있다^[1]. 이에 따라 RP조형작업을 STEP-NC 구성모듈로 포함시키기 위하여 RP용 표준 정보모델의 정의에 관한 필요성이 제기되었다^[2].

RP 분야에서 STL 표현을 다른 표현 체계로 대체하려는 연구가 시작된 이후^[6,7] STEP을 사용하여 현재의

형상 표현체계를 대체하거나 혹은 RP작업에 필요한 각종 부가정보를 여기에 추가로 포함시키려는 여러가지 시도가 계속되어 왔고^[8,9] 국내에서도 일반적인 RP용 조형정보모델이 제안되었다^[10]. 이러한 연구 결과들을 공통적으로 아우르는 주된 연구동향은 실질적인 조형용 형상 설계 변수 및 조형 공정 위리를 하나의 데이터 모델로 구현하는 데에 있다. 동 분야에서의 가장 최신의 연구 보고로는 Pratt^[11]의 논문을 들 수 있는데 이는 이와 같은 연구동향의 연장선상에서 기존의 연구 결과들을 종합적으로 정리한 것이다. 본 논문은 Pratt의 논문에서 제시된 이론적 논점들을 실증적으로 반영, 구현하고자 2001년 본 학회논문집에 기 발표된^[10] 초보적인 조형정보모델을 AP203에서 미리 정의된 여러 가지 데이터 클래스들을 기반으로 하여 ISO 14649의 한 모듈로 새로이 재구성하여 제시하고자 한다.

2. IMS STEP-NC 국제공동 연구프로젝트와 ISO 14649기반 신속조형용 설계정보모델

기존의 일반적인 NC공정에는 ISO 6983과 같은 표

*학생회원, (주)만도기계

**중신회원, 홍익대학교 기계공학과

- 논문투고일: 2004. 10. 04

- 심사완료일: 2005. 02. 07

준이 존재하여 NC 장비의 프로그램 형태와 어드레스 워드의 정의를 담당하고 있는 까닭에 현재 기계 공구를 위한 파트 프로그래밍들이 대부분 ISO6983 기반 위에서 수행된다. 그러나 ISO 6983은 단지 축의 움직임(G-mode)과 스위칭 명령(M-mode)들만 담고 있어 고급수준의 국제규격으로 간주하기 어렵다. 즉 표면이 밀링 처리가 되어야 하는지 혹은 구멍이 추가될 것인지 등에 관한 정보가 포함되어 있지 않는데 이러한 저급수준의 명령을 처리하기 위해서는 후 처리기가 상당한 크기의 파트 프로그램을 별도로 생성시켜야 할 뿐만 아니라 이를 실제로 다루거나 이해하는 작업이 난해하다. ISO 14649는 ISO 6393에서 제기된 여러 문제들에서 비롯된 경비와 시간손실을 보전하기 위해 새롭게 제시되고 있는 데이터 인터페이스에 대한 표준규격이다. 현재 ISO에서는 STEP 표준을(ISO 10303) 이용한 STEP-NC용 국제 규격(ISO/DIS 14649: Data Model for CNC Controller)이 제정 단계를 밟고 있으며, 그 중 밀링가공(milling)용 데이터 모델에 관한 연구는 거의 완성 단계에 있다. 이 연구는 ISO 14649의 데이터 모델을 지원하는 기존의 밀링용 STEP-NC 시스템을 구현하여 테스트함과 동시에 여기에 RP에 대한 데이터 모델을 새로이 추가하여 제안함을 그 목표로 한다. 즉 Fig. 1, 2과 같이 IMS(Intelligent Manufacturing System) 국제공동연구의

하나인 STEP-NC 프로젝트를 통해 현재 단계의 ISO 14649 규격에 기반을 둔 밀링, 선삭, 그라인딩, 방전가공, 목재 및 유리의 윤곽가공, 그리고 전술한 RP를 포함하는 STEP 기반 가공데이터모델의 정의를 새로이 확정하고자 하는 것이다.

ISO 14649 표준으로의 편입을 목표로, 본 논문에서 제시하고자 하는 RP용 설계정보모델의 구현 개념은 '사용자기반 정보모델'과 '기능성 정보모델', 이렇게 두 가지로 대별된다. 이것은 정보모델의 사용자를 모델 운용의 근간으로 생각하여 기능적인 부가정보 제공 역할을 극대화하고, 작업환경의 편의성을 도모함으로써 조형작업의 효율성을 높이려는 것이다. 본 정보모델에서는 조형될 파트의 용도에 따라서 조형작업에 필요한 정보를 제공 받을 수 있도록 하여 사용자 중심의 기능적 조형정보모델로서의 완성도를 높이려 했다. 또한 조형정보모델의 개발 과정에서 표준이라는 연구 목적에 부합되도록 대부분의 RP장비가 갖고 있는 공정 변수들에 공통적으로 정보모델이 적용될 수 있도록 하였으며, 개념적인 정보모델을 정의와 생성 과정의 기술을 위한 tool로서는 정보 모델링 언어(Information Modeling Language)인 EXPRESS 언어를 사용하였다.

3. 신속조형용 설계정보모델

Fig. 3는 본 논문에서 제시할 RP용 설계정보모델의 전체 구성도를 보여준다. 본 논문에서 개발된 조형정보모델의 중심 역할은 다음과 같이 두 가지로 요약된다.

첫째, 기능적이고도 실질적인 정보모델로서의 역할을 들 수 있다. 이를 위해 기존 연구들에서 일반적으로 제시되었던 RP 공정에 필요한 조형 정보들을 토대로 조형서비스 업체에 종사하는 실무 사용자들에 대한 설문작업을 통하여 얻어진 사용자 요구 사항을 정보모델에 반영하는 방식을 취하였다. 설문 대상 업체의 선별기준은 현재 인터넷을 통하여 조형서비스를 의뢰 받는 총 8개 업체를 선별하였으며 조사 장비의 종류는 SLA, SLS, FDM, Quadra, Z406를 대상으로 하였다. 설문 조사 내용을 간략히 살펴보면 조형서비스를 의뢰하기 위해 반드시 필요한 조형정보의 유형(Fig. 4), 실제 조형공정을 수행하기 위해 필요한 조형공정정보(Fig. 5), 단면정보 생성을 위해 참고가 되어야 할 조형부가정보(Fig. 6), 단면정보 재사용여부(Fig. 7), 조형 공간 내에서의 layout 방법(Fig. 8), 그리고 조형 장치로 입력 가능한 형상정보

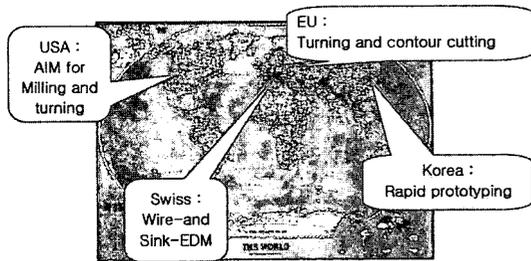


Fig. 1. IMS STEP-NC의 참가 국가 및 해당업무.

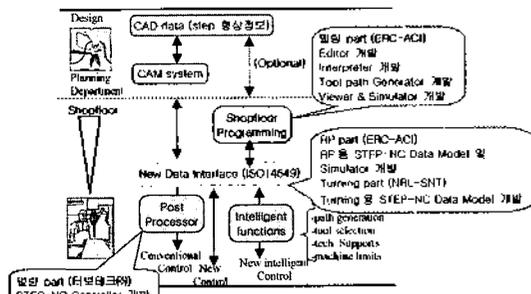


Fig. 2. IMS STEP-NC에서의 새로운 인터페이스의 흐름과 RP 조형용 설계정보모델의 추가.

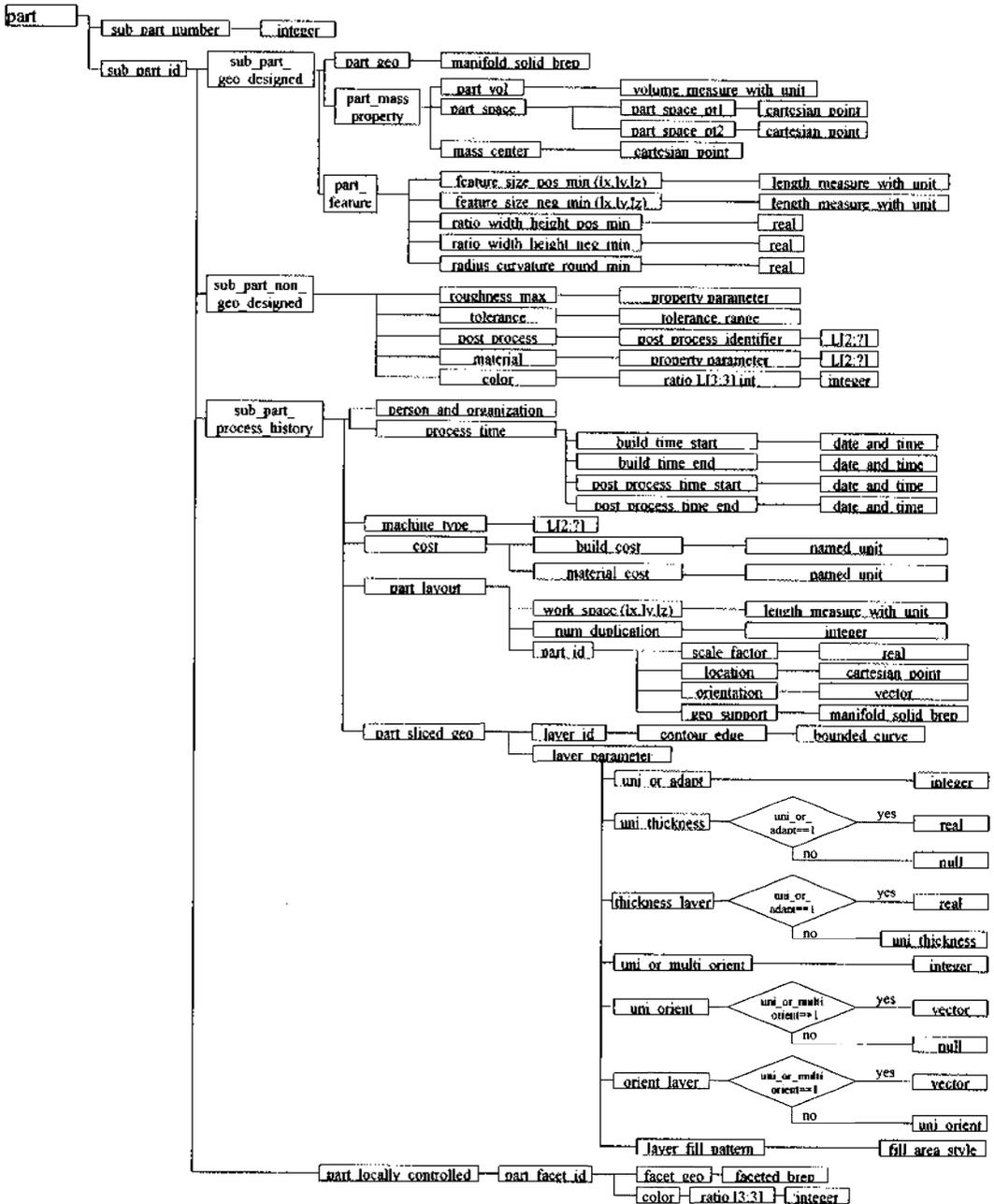


Fig. 3. ISO14649기반 신속조형용 설계정보모델의 구성.

파일의 유형(Fig. 9)등에 대한 것들이다. 이 설문 조사 결과를 토대로 하여 정보모델의 구성 정보를 제공하는 정보 제공자와 구성/정의된 정보들을 사용하는 정보 사용자의 요구에 각각 적합한 환경을 제공하는 데에 도움이 될 수 있는 설계정보모델을 제시하고자 하였다.

둘째, 작업환경의 기록 및 이를 통한 RP공정의 최적화를 위해서 CAD 설계자가 입력한 형상정보는 물론 이때 사용된 조형공정정보를 함께 연계하여 정의하였다. 이 경우 다른 RP 작업자가 동일한 조형작업을 설계할 때 보다 나은 편의성을 부여함과 동시에 최적의 조형작업을 위한 조형정보 기록을 참고하는 것

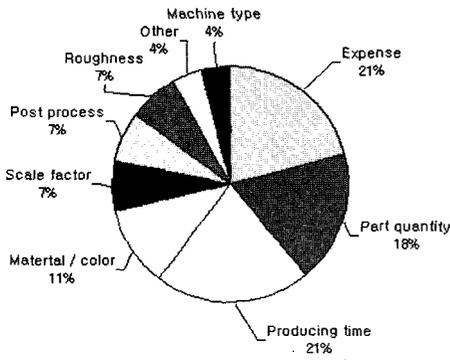


Fig. 4. RP 조형서비스를 의뢰하기 위해 필요한 정보.

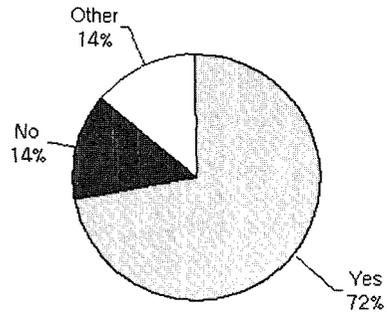


Fig. 7. 단면정보의 재사용 여부.

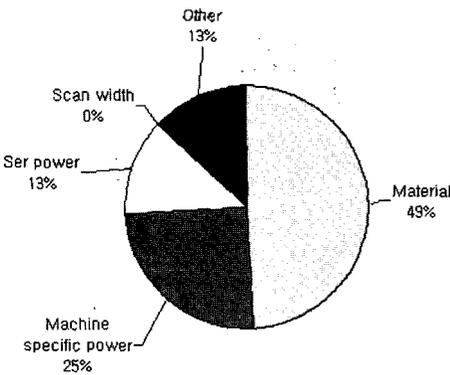


Fig. 5. RP 조형공정을 수행하기 위한 공정정보.

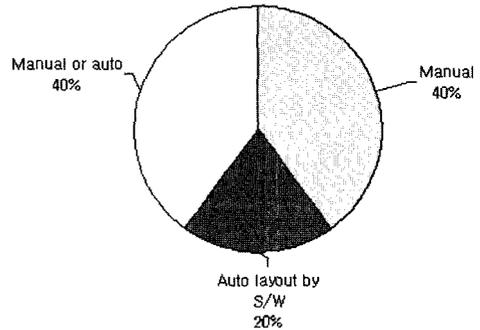


Fig. 8. 조형공간내에서의 Layout 방법.

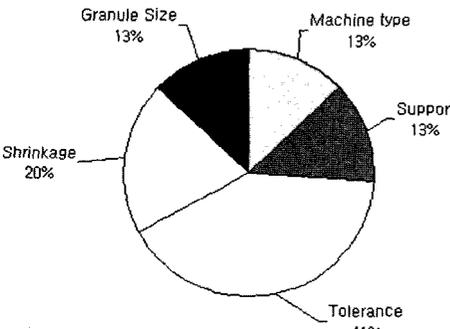


Fig. 6. 단면정보 생성을 위해 필요한 부가정보.

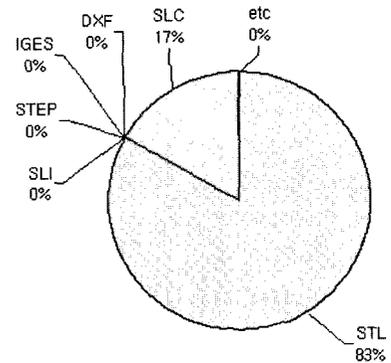


Fig. 9. 조형장치로의 입력가능 형상정보 파일유형.

이 가능하게 되므로 반복되는 조형작업에서 조형작업의 최적화를 고려한 모델 체계라고 하겠다. 또한 조형작업과 관련된 사용자(설계자, 작업자)만을 위한 정보 모델이라는 기존의 개념에서 한 발 더 나아가 공정의 관리자계층, 즉 이종의 사용자들도 본 정보모델을 활용하여 조형비용과 조형시간과 같은 정보를 제공받는 것이 가능하도록 모델체계를 구성하여 정보의 범용성과 활용성을 높이고자 하였다.

3.1 신속조형용 설계정보모델의 정의

STEP-NC를 위한 RP용 조형정보모델을 구성하는 주요 요소들은 크게 기하학적 정보인 CAD데이터와 이를 기반으로 한 설계자 정보, 그리고 다양한 RP장비의 특성을 아우를 수 있는 RP조형 공정 정보, 이렇게 세 가지로 대별된다. 이 절에서는 EXPRESS 언어로 정의된 정보모델의 구성요소(entity)들의 정의방식에 대하여 기술하고자 한다.

3.2.1 sub_part_geo_designed

본 요소는 파트의 설계 형상정보와 이와 관련된 조형용 지지대와 같은 부가적인 형상 정보들을 추가하여 저장하기 위한 entity들을 다룬다. Fig. 10에서 보듯 형상 정보를 표현하기 위한 part_geo 항목은 ISO 10303-42의 geometry_schema에 정의되어 있는 manifold_solid_brep의 기하학적 형상 정보의 표현 방법을 상속받아 정의되었으며 이때 part_mass_property (Fig. 11)와 part_feature(Fig. 13)는 파트의 설계에 관련된 여러 가지 속성들을 표현하는 entity이다.

```

REFERENCE FROM geometry_schema
(* ISO 10303-42 *)
(manifold_solid_brep);
ENTITY sub_part_geo_designed
    SUPERTYPE OF (ONEOF
        (part_mass_property, part_feature))
    SUBTYPE OF(sub_part_id);
    its_geo: manifold_solid_brep;
END ENTITY;
    
```

Fig. 10. sub_part_geo_design entity의 EXPRESS 표현.

Fig. 11의 part_mass_property entity는 설계 형상의 부피(part_vol)와 part의 공간에서의 위치(part_space) 그리고 무게 중심(mass_center) 등의 정보를 기술하고 있다. 부피는 ISO 10303-41의 representation_schema에 있는 volume_measure_with_unit의 표현을 기반으로 정의되며 RP작업공간 내에서 part의 위치 정보와 무게 중심은 ISO 10303-42의 geometry_schema에 있는 cartesian_point의 표현을 기반으로 정의된다. 조형공간내의 각 파트의 위치 정보는 lower left corner는 part_space_pt1으로, upper right corner는 part_space_pt2로 각각 정의된다. Fig. 12에서는 이와 같은 위치정보를 그림으로 도시하고 있다.

```

REFERENCE FROM geometry_schema (* ISO 10303-42 *)
(cartesian_point);
REFERENCE FROM representation_schema
(*ISO 10303-41*)
(volume_measure_with_unit);
ENTITY part_mass_property
    SUPERTYPE OF (ONEOF (part_space))
part_vol:
    volume_measure_with_unit;
    mass_center: cartesian_point;
END ENTITY;
ENTITY part_space
    SUBTYPE OF(part_mass_property);
    part_space_pt1: cartesian_point;
    part_space_pt2: cartesian_point;
END ENTITY;
    
```

Fig. 11. part_mass_property entity의 EXPRESS 표현.

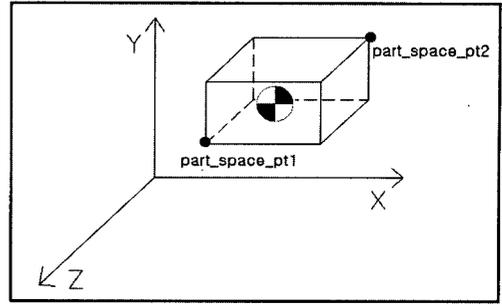


Fig. 12. part_space entity의 개념도.

Fig. 13에 기술된 part_feature entity는 설계된 임의의 feature의 크기를 그 형상이 음각이나 양각이냐의 여부에 따라 달리 정의되는데 ISO 10303-42의 measure_schema의 length_measure_with_unit의 표현을 기반으로 하였다. 이때 너비와 높이의 비율은 실수 형태인 real 타입으로 정의 하였고 rounded featured

```

REFERENCE FROM measure_schema (* ISO 10303-42 *)
(length_measure_with_unit);
ENTITY part_feature
    SUBTYPE OF(sub_part_geo_design):
    feature_size_pos_min:
        length_measure_with_unit;
    feature_size_neg_min:
        length_measure_with_unit;
    ratio_width_height_pos_min: REAL;
    ratio_width_height_neg_min: REAL;
    radius_curvature_round_min: REAL;
END ENTITY;
    
```

Fig. 13. part_feature entity의 EXPRESS 표현.

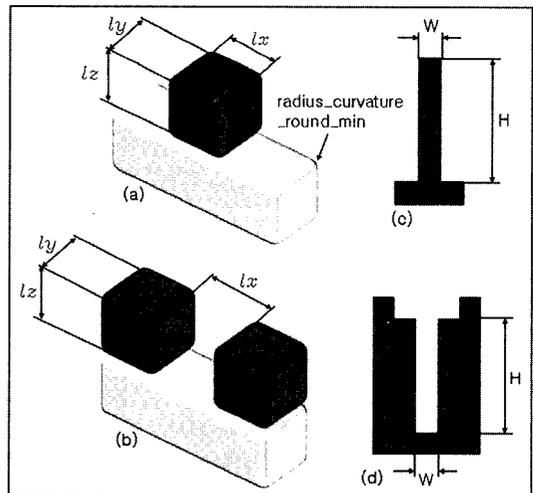


Fig. 14. (a) feature_size_pos_min, (b) feature_size_neg_min, (c) ratio_width_height_pos_min, (d) ratio_width_height_neg_min.

의 최소 곡률 반지름도 실수 형태인 *real* 타입으로 정의 하였다. 본 요소의 정의에 대한 자세한 그림설명은 Fig. 14에 도시되었다.

3.2.2 *sub_part_non_geo_designd*

설계자에 의해서 정의되어야 할 모든 설계 정보중에서 기하학적 설계 형상을 제외한 공정관련 조형정보는 *sub_part_non_geo_designd*에서 정의된다(Fig. 15). 이 정보들은 대부분 조형 공정 작업에 관련된 설계정보로서 조도(*roughness_max*), 공차(*tolerance*), part의 후처리 정보(*post_process*) 그리고 조형에 사용되는 단일 재료(*material*)와 part의 단일 색상(*color*)들을 일컫는다. *sub_part_non_geo_designd*의 하부 entity 들로 이루어진 이들 정보들을 간략히 설명하면, 우선 조형된 파트가 만족해야 하는 조도는 ISO 14649-10의 *machining_schema*에 표현되어 있는 *property_parameter*를, 그리고 공차는 ISO 14649-47의 *measure_schema*에 정의 되어 있는 *tolerance_value*(Fig. 16)를 기반으로 정의되었다. 한편 Fig. 17의 (a)와 (b)에서는 조도와 공차에 대한 개념을 그림으로 도시하였는데 가령 RP 조형작업자는 이들 조도나 공차에 관한 정보들을 이용하여 2차원 조형 층 단면의 두께를 조성하거나 조형공간 내의 조형방향 재설정, 추가 후처리 작업등을 적절히 계획하는 데에 도움을 받을 수 있다.

```

REFERENCE FROM measure_schema (* ISO 14649-47*)
( measure_with_unit );
REFERENCE FROM machining_schema (* ISO 14649-10*)
( property_parameter );
ENTITY sub_part_non_geo_designd
  SUPERTYPE OF (ONEOF (tolerance_value, post_process,
    material, color))
  SUBTYPE OF(sub_part_id);
  roughness_max:
  property_parameter;
END_ENTITY;
    
```

Fig. 15. *sub_part_non_geo_designd* entity의 EXPRESS 표현.

```

ENTITY tolerance_value
  SUBTYPE OF(sub_part_non_geo_designd);
  lower_bound : measure_with_unit;
  upper_bound : measure_with_unit;
  WHERE
    WR1 : upper_bound.value_component >
    lower_bound.value_component;
    WR2 : upper_bound.unit_component =
    lower_bound.unit_component;
END_ENTITY;
    
```

Fig. 16. *tolerance_value* entity의 EXPRESS 표현.

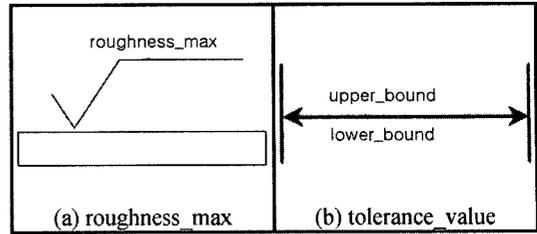


Fig. 17. *roughness_max* 및 *tolerance_value* entity의 개념도.

Fig. 18에 기술된 *post_process*에 대한 설계정보는 LIST[2:?] 타입으로 정의되었는데, 이는 조형작업 후의 후처리 작업이 수행되지 않거나 그 작업의 숫자를 확연하게 정할 수 없는 경우를 고려하여 LIST[2:?]의 형태로 표현한 것이다. 조형될 파트의 단일 재료 표현인 *material*도 LIST[2:?] 타입으로 표현되어있는데, 이 역시 마찬가지로 여러가지 조형재료들의 표현을 수용하기 위한 까닭이다(Fig. 19).

```

ENTITY post_process
  SUBTYPE OF(sub_part_non_geo_designd);
  post_process_identifier: LIST [2:?] OF STRING;
END_ENTITY;
    
```

Fig. 18. *post_process* entity의 EXPRESS 표현.

```

ENTITY material
  SUBTYPE OF(sub_part_non_geo_designd);
  property_parameter: LIST [2:?] OF STRING;
END_ENTITY;
    
```

Fig. 19. *material* entity의 EXPRESS 표현.

Fig. 20에서는 조형파트의 색상에 대한 정의를 기술하고 있는데 색상을 정의하기 위한 *color* entity는 컴퓨터에서 사용되는 일반적인 표현 방법인 RGB표현 체계를 사용한다. 이는 24bit 색상체계로써 $256 \times 256 \times 256 = 2^{24} = 16,777,216$ 종류의 색상 조합이 가능하며 RED, GREEN, BLUE 세가지 색상에 해당하는 색상을 INTEGER 타입의 LIST[3:3]으로 상속 받아 ratio로 표현한 것이다(Fig. 34). 여기서 각각의 색상에 해당하는 INTEGER 값은 0이상 255이하의 조건을

```

ENTITY color
  SUBTYPE OF(sub_part_non_geo_designd);
  ratio: LIST [3:3] OF INTEGER;
  WHERE
    WR1 : (0<=ratio[1]) AND (ratio[1]<=255);
    WR2 : (0<=ratio[2]) AND (ratio[2]<=255);
    WR3 : (0<=ratio[3]) AND (ratio[3]<=255);
END_ENTITY;
    
```

Fig. 20. *color* entity의 EXPRESS 표현.

만족시키기 위해서 WHERE문을 사용하여 제약조건을 부여하였다.

3.2.3 sub_part_process_history

Fig. 21에 기술된 sub_part_process_history는 RP 작업자의 작업내역 기록 중에서 RP 장비의 공정변수 설정을 정의하는 entity이다. sub_part_process_history는 사용자의 신상 정보(person_and_organization), 공정시간과 후처리 시간(process_time), RP 장비의 종류(machine_type), 조형비용과 재료의 가격(cost), 조형공간 내의 파트 구분(part_layout)과 같은 하부 entity로 구성되어 있다.

```
ENTITY sub_part_process_history
  SUPERTYPE OF (ONEOF (process_time, cost, part_layout,
    part_sliced_geo, person_and_organization))
  SUBTYPE OF (sub_part_id);
END ENTITY;
```

Fig. 21. sub_part_process_history entity의 EXPRESS 표현.

Fig. 22에 기술된 person_and_organization entity는 조형작업자의 이름과 회사정보를 표현하기 위하여 ISO 10303-41의 support_resource_schema 기반으로 정의되었다.

```
ENTITY person_and_organization
  SUBTYPE OF (sub_part_process_history);
the_person : person;
the_organization : organization;
END ENTITY;
```

Fig. 22. person_and_organization entity의 EXPRESS 표현.

Fig. 23에 정의된 process_time은 조형작업에 소요되는 공정시간과 후처리에 소요되는 공정시간을 각각 정의하고 있으며 공정이 시작되는 시간과 끝나는 시간은 ISO 10303-4의 support_resource_schema의 하부 entity인 date_and_time 표현을 기반으로 정의하였다.

```
ENTITY process_time
  SUBTYPE OF (sub_part_process_history);
build_time_start : date_and_time;
build_time_end : date_and_time;
post_process_time_start : date_and_time;
post_process_time_end : date_and_time;
END ENTITY;
```

Fig. 23. process_time entity의 EXPRESS 표현.

Fig. 24은 machine_type 대한 표현을 기술하고 있는데 이는 다양한 RP 장비의 종류를 수용하여 표현할 수 있도록 LIST[2:?] 타입으로 정의하였다.

```
ENTITY machine
  SUBTYPE OF (sub_part_process_history);
machine_type : LIST [2:?] OF STRING;
END ENTITY;
```

Fig. 24. machine entity의 EXPRESS 표현.

Fig. 25는 RP 조형작업의 용역경비와 material의 가격에 대한 표현을 정의하고 있는데 이는 ISO 10303-41의 support_resource_schema의 named_unit 표현을 기반으로 하여 정의되었다.

```
ENTITY cost
  SUBTYPE OF (sub_part_process_history);
build_cost : named_unit;
material_cost : named_unit;
END ENTITY;
```

Fig. 25. cost entity의 EXPRESS 표현.

Fig. 26은 단일한 RP장비의 조형공간 (Fig. 27)안에서 여러 개의 동일한 파트가 혹은 서로 다른 파트가 혼합되어 동시에 조형작업이 이루어 질 때 이들 각 파

```
REFERENCE FROM measure_schema
  (length_measure_with_unit);
ENTITY part_layout
  SUPERTYPE OF (ONEOF (
    part_id))
  SUBTYPE OF (sub_part_process_history);
work_space_lx : length_measure_with_unit;
work_space_ly : length_measure_with_unit;
work_space_lz : length_measure_with_unit;
num_duplication : INTEGER;
END ENTITY;
```

Fig. 26. part_layout entity의 EXPRESS 표현.

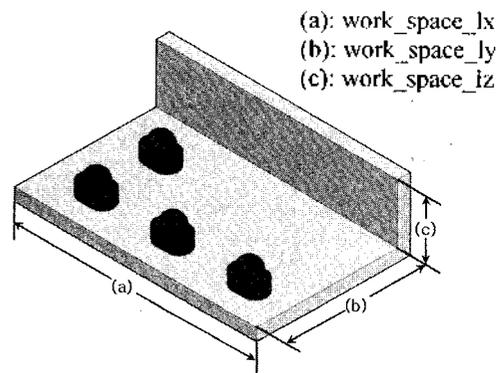


Fig. 27. part_layout entity의 개념도.

트들을 개별적으로 인식할 수 있도록 정의 되어진 entity를 정의한다. work_space는 조형작업공간의 크기를 의미하는데 ISO 10303-42의 measure_schema의 하부 entity인 length_measure_with_unit의 표현을 기반으로 정의되었고, 이때 num_duplication은 파트의 개수를 정수 형태인 integer 형태로 받아들인다.

Fig. 28에 기술된 part_id는 각각의 조형파트를 인식하기 위한 entity를 정의한 것이다. CAD파일에서 정의된 형상크기에 대한 조형작업에 실제 이용될 조형파트 크기의 상대적인 축소/확대 비율을 정의하는 scale_factor는 실수 형태인 real로, 파트의 작업 공간 내에서의 각 조형파트의 위치는 ISO 10303-42의 geometry_schema에 정의된 cartesian_point 표현을, 그리고 파트의 조형방향 vector는 ISO 10303-42의 geometric_model_schema에 있는 vector를 기반으로 정의된다. 한편 각 파트에 속한 support structure을 표현하는 geo_support는 ISO 10303-42의 geometry_schema에 있는 manifold_solid_brep의 표현을 기반으로 정의되었다.

```
ENTITY part_id
  SUBTYPE OF(part_layout);
  scale_factor: REAL;
  location: cartesian_point;
  orientation: VECTOR;
  geo_support: manifold_solid_brep;
END_ENTITY;
```

Fig. 28. part_id entity의 EXPRESS 표현.

```
REFERENCE FROM geometry_schema ( bounded_curve )
ENTITY layer_id
  SUPERTYPE OF (ONEOF (
    layer_parameter))
  SUBTYPE OF( part_sliced_geo);
  contour_edge: bounded_curve;
END_ENTITY;
```

Fig. 29. layer_id entity의 EXPRESS 표현.

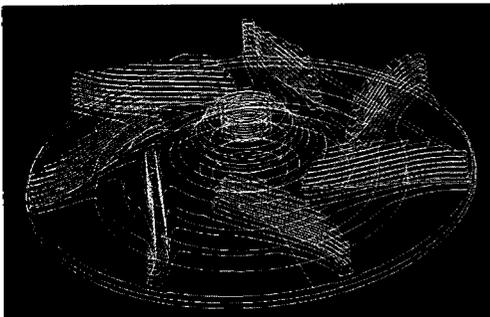


Fig. 30. example part의 slice 형상이미지.

Fig. 29는 CAD file의 3차원형상을 층 단면화 한 2차원 조형 층 정보를 정의하는 entity를 기술한다. 여기서 layer_id는 층단면 각각을 인식하기 위해 정의되며 각 층의 2차원 경계모서리정보인 contour_edge는 ISO 10303-42의 geometry_schema에 있는 bounded_curve의 기반으로 정의 되었다. 한편 Fig. 30은 층 단면화된 파트의 한 예를 도시하고 있다.

Fig. 31은 Fig. 29에서 기술한 층단면화된 전체 조형층 형상을 구성하는 각각 layer에 관한 형상 정보를 기술한다. 여기서 uni_or_adapt는 전체 layer의 층두께의 균일성 여부를 표현하기 위한 entity로서, 정수 타입인 INTEGER로 정의되는데 균일한 경우에는 '1', 불균등한 경우에는 '0'의 값을 갖는다. 특히 균일한 층두께를 의미하는 uni_thickness항목에서는 uni_or_adapt가 '0'이면 'null' 값을, 그리고 '1'이면 실제 해당된 층 두께 값이 'real_thickness'로 정의된다. 한편 thickness_layer는 uni_or_adapt가 '0'이면 'real_thickness'로 층 두께가 정의되며 '1'이면 uni_thickness를 상속 받아 정의된다. 또한 uni_or_multi_orient항목에서는 layer의 방향을 정수 타입인 INTEGER로 정의되는데 방향이 일정하면 '1', 일정하지 않으면 '0'의 값을 갖는다. uni_orient항목은 실제 균등한 방향벡터를 표현하는데 uni_or_multi_orient가 '0'이면 'null'값을, '1'이면 'vector'의 형태로 입력 받도록 정의되며, 반대로 orient_layer항목에서 uni_or_multi_orient가 '0'이면 'vector'의 형태로 정의되고, '1'이면 uni_orient를 상속 받아 정의된다.

```
REFERENCE FROM support_resource_schema
( fill_area_style );
ENTITY layer_parameter
  SUBTYPE OF(layer_id);
  uni_or_adapt: INTEGER;
  uni_thickness: REAL;
  thickness_layer: REAL;
  uni_or_multi_orient: INTEGER;
  uni_orient: VECTOR;
  orient_layer: VECTOR;
  layer_fill_pattern: fill_area_style;
END_ENTITY;
```

Fig. 31. layer_parameter entity의 EXPRESS 표현.

층 두께의 정의와 관련된 FUNCTION은 Fig. 32에 기술되었는데, 각 단면 층의 부딪인 layer_fill_pattern은 ISO 10303-46의 support_resource_schema에 있는 fill_area_style의 표현을 기반으로 정의되었다. Fig. 33에서는 단일한 조형물 형상내부의 축성이 여러 가지 서로 다른 값으로 표현되는 경우를 기술한 것이

다. 이 대표적인 예가 서로 다른 색으로 조형되는 Z-402 장비의 컬러파트를 들 수 있는데 이는 10303-42의 geometry_schema에 정의 되어 있는 faceted_brep을 기반으로 하는 파트의 STL 삼각형mesh데이터에 sub_part_non_geo_design에서 정의한 color정보를 추가하여 정의된다. Fig. 34의 (a)와 (b)는 sub_part_locally_controlled의 개념을 도시한 것이다.

```

FUNCTION uni_thickness : BOOLEAN;
    CASE uni_or_adapt OF
    0 : uni_thickness:=NULL ;
    1 : uni_thickness:=real_thickness;
    END_CASE;
END_FUNCTION;
FUNCTION thickness_layer : BOOLEAN;
    CASE uni_or_adapt OF
    0 : thickness_layer:=real_thickness ;
    1 : thickness_layer:=uni_thickness;
    END_CASE;
END_FUNCTION;
FUNCTION uni_orient : BOOLEAN;
    CASE uni_or_multi_orient OF
    0 : uni_orient:=NULL ;
    1 : uni_orient:=VECTOR;
    END_CASE;
END_FUNCTION;
FUNCTION orient_layer : BOOLEAN;
    CASE uni_or_multi_orient OF
    0 : orient_layer:=VECTOR ;
    1 : orient_layer:=uni_orient;
    END_CASE;
END_FUNCTION;
    
```

Fig. 32. layer_parameter entity에 적용된 FUNCTION의 EXPRESS 표현.

```

REFERENCE FROM geometry_schema( faceted_brep);
ENTITY sub_part_locally_controlled
    SUPERTYPE OF (ONEOF (part_facet_id))
    SUBTYPE OF(sub_part_id);
END_ENTITY;

ENTITY part_facet_id
    SUBTYPE OF(sub_part_locally_controlled);
    facet_geo: faceted_brep;
    color: color;
END_ENTITY;
    
```

Fig. 33. sub_part_locally_controlled entity의 EXPRESS 표현.

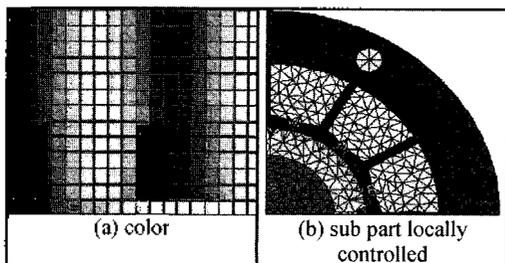


Fig. 34. sub_part_locally_controlled 개념도.

4. RP용 STEP-NC 데이터 모델 검증

4.1 모델 검증 시뮬레이터 구축 환경

Fig. 35는 본 논문에서 제시된 조형정보모델의 검증 환경을 도시한다. CAD 설계자는 CAD 시스템을 이용하여 형상 정보를 생성하고 이는 translator를 통해 정보 모델 구현에 주축이 되는 기하학적 형상 표현으로 변환되는데 이때 주어진 형상 정보와 함께 조형 작업에 필요한 제반 설계정보(designed data)를 동시에 정의하여 제공하게 된다. 한편 제작자는 조형작업의뢰선이라도 기하학적 형상 정보와 직접 관련이 없는 공정정보(process data)를 미리 정의해 두었던 조형정보 모델상에서 지정할 수 있다. 따라서 이후 CAD 설계자에 의해 조형작업 의뢰를 제안 받으면 그때 기하학적 형상 정보와 설계정보를 결합하여 조형 작업에 이용할 수 있다. 이들 두 주요 사용자들은 자신들과 직접적으로 관련된 설계자요의 정의는 물론 두 사용자간에 서로 협의를 거쳐야만 정의될 수 있는 조형정보들(예: 층 두께, 후처리작업)도 공동으로 정의할 수 있으며 그에 따라 이전에 미리 정의되었던 설계정보나 공정정보들은 새로이 보완되거나 수정될 수 있다. 이처럼 조형과 직접적인 관련이 있는 주된 두 사용자(CAD 설계자 와 제작자) 이외에도 제3의 사용자로서 '작업관리자'의 개념을 도입하여 정보모델의 작업환경을 구현요소로서 반영하였다. 작업관리자는 조형과 관련된 재료, 시간, 인원과 같은 자원(resource)을 효율적으로 계획하고 이로부터 조형에 소요되는 경비를 산출하거나 그에 관한 정보를 활용하는 것을 주된 목적으로 하는 조형정보모델 사용자이다.

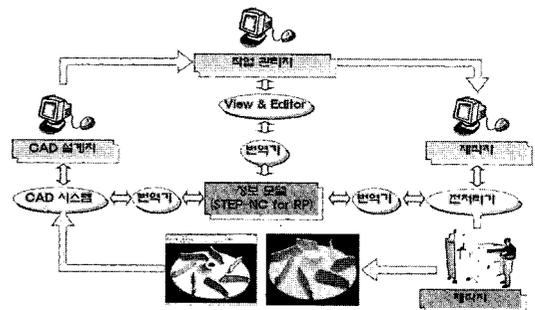


Fig. 35. RP 조형정보모델 검증 환경.

한편 Fig. 36은 전술한 모델 검증 환경을 구현하기 위한 실제적인 전산모듈구조를 도시하고 있는데 모델 검증 환경을 구현하기 위한 시뮬레이터 소프트웨어의 시스템 운영기반은 Windows 98이며 이를 바탕으로

ST-Developer사에서 개발된 STEP Rose Library를 적용하여 STEP 물리파일을 인식하기 위한 모듈을 구축하였다. 전산그래픽모듈은 SGI사에서 공개한 OpenGL Library, 그리고 여러 가지 윈도우 브라우저와 아이콘은 MFC Library를 채택하였다. 이와 같은 시스템 운영 기반을 토대로 모델검증 시뮬레이터가 4가지 사용자 기반 기능모듈로 구분되어 개발되었는데 이를 STEP 물리파일을 인식하여 읽어들이는 STEP Loader, 읽어들이진 물리파일을 시스템에서 해석하기 편리한 자료구조로 변환한 후 이를 시각적으로 디스플레이하여 사용자에게 제공하는 STEP Viewer, 그리고 사용자로 하여금 제공된 형상자료를 기반으로 형상을 수정/변경하고 여기에 각종 조형정보를 입력하도록 지원하는 STEP Editor, 마지막으로 완성된 RP 표준모델의 형상정보를 2차원 층정보로 변환하고 이를 조형정보와 함께 RP 장비로 전송하도록 지원하여주는 STEP Slicer가 바로 그것이다. Fig. 37은 이와 같은 모델 검증 시뮬레이터의 실행 예로서 각각의 정보 항목을 설계자가 입력하는 형식으로 수행된다. 이때 조형정보의 정의는 전문한 바와 같이 windows 환경에서 Editor를 실행시켜 적절한 변수들을 입력하면 표준 데이터 모델 안의 해당 정보항목이 이에 상응하여 정의되도록 하였다.

Module	STEP Loader	STEP Viewer	STEP Editor	STEP Slicer
Library	ST-Developer (ROSE Library)		Open GL	MFC
System	Windows 98			

Fig. 36. 모델 검증 환경을 구현하기 위한 시뮬레이터 소프트웨어의 전산모듈구조.

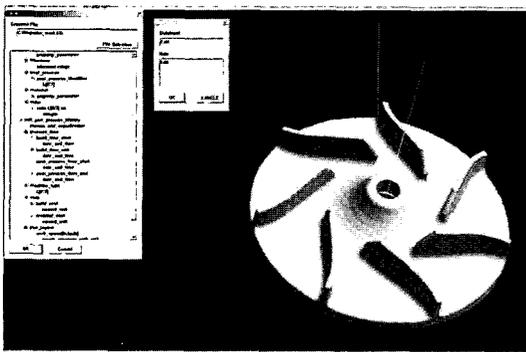


Fig. 37. 시뮬레이터 소프트웨어의 구현 예. 정보항목 입력을 위한 Editor 실행 예

4.2 파트조형 및 종합적 검증

파트의 검증은 초기에는 간단한 ASC나 Con_rod파트를 일부 장비를 대상으로 검증하였으며 마지막으로 자유곡면이 많이 포함되어 형상구현도가 높으면서 3가지 RP 조형방식을 모두 적용하는 데에 지장이 없는 impeller 파트를 대표형상으로 결정하여 조형검증을 수행하였다(Fig. 38). 검증을 수행하기 위한 RP장비로는 Objet_Quadra 장비와, Z-402 장비 그리고 실제 금형을 제작하는 RT 장비인 DMT 장비, 이렇게 3가지 장비를 대상으로 하였다. Fig. 38의 하단에는 대표형상인 impeller파트에 대하여 각 장비별 파트조형 이미지가 순서대로(Objet_Quadra→Z-402→DMT) 도시되어 있다. 아래 Table 1은 각 조형정보모델 검증용 조형 수행 장비들의 목록과 그 간단한 특성을 나열한 것이다. 모델을 검증하기 위한 조형작업은 대표 파트형상인 impeller 파트를 기준으로 완성된 표준정보모델을 적용하여 조형작업을 수행하는 방법으로 진행되었다.

파트명 (장비명)	CAD파일이미지	조형된 파트이미지
ASC 파트 (Z-402)		
Con_rod 파트 (DMT)		
Impeller 파트 (Objet_Quadra)		

Fig. 38. 검증용 조형파트의 CAD 이미지와 실제 조형된 파트의 이미지.

Table 2, 3, 4는 대표 파트형상인 impeller 파트를 기준으로 한 각 장비 별 검증 조형 결과이다. 이들 산출자료들은 그 자체로는 서로 비교가 될 특정한 의미를 내포하지 않으나 다만 본 논문에서 제시한 설계정보체계가 임의의 검증형상 CAD 모델을 여러가지 공정관련 설계정보와 함께 표현하고 처리되어 의도한

Table 1. 검증작업에 이용된 3가지 RP/RT장비의 명칭과 간략한 사양

조형 장비	방식	재료	최대조형크기(mm)
Z-402	three-dimensional printing (jetting of binder onto powder)	starch-based powder with wax or epoxy infiltrant	203×250×203
DMT	laser-engineered net shaping (direct metal deposition)	steels, steel alloys, iron-nickel alloys, iconel, titanium alloys, nickel aluminid	460×460×460
Objet_Quadra	inkjet deposition of photopolymers	proprietary acrylate photopolymer resin	270×320×200

Table 2. Object Quadra를 대상으로 한 검증 조형결과

장비명	Objet_Quadra
조형 scale	1/1 143.94 mm × 143.87 mm × 32 mm
layer 층두께	0.016 mm
조형작업시간	6시간
조형작업재료 및 경비	파트재료: 310 g × 390원 = 124,800원 서포트 재료: 160 g × 240원 = 38,400원

Table 3. Z-402를 대상으로 한 검증조형결과

장비명	Z-402
조형 scale	1/1 143.94 mm × 143.87 mm × 32 mm
layer 층두께	0.017 mm
조형작업시간	1시간 40분
조형작업재료 및 경비	8.66 inch ³ × \$1.82 = \$15.76 약 18,281원

Table 4. DMT를 대상으로 한 검증조형결과

장비명	DMT
조형 scale	1/1 143.94 mm × 143.87 mm × 32 mm
layer 층두께	0.02 mm
조형작업시간	5시간 30분
조형작업재료 및 경비	H13공구강 powder 약 1.7통 = 60만원

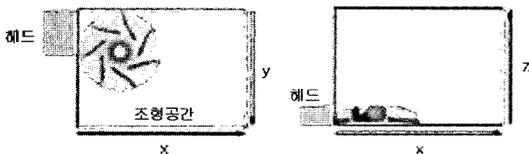


Fig. 39. 조형공간 내의 파트 배치.

대로 조형되었음을 검증한 결과로 제시되었으며, 또한 공정관련 설계정보, 즉 층두께, tolerance, 표면거칠기, 최소 feature의 크기등의 정보들이 설계정보모델에서 추출되어 실제 조형작업을 수행할 때 고려되었다. 한편 Fig. 39는 대표조형검증형상으로 선정된 impeller 파트를 조형할 때 조형공간내에서의 파트의 배치를 도시하여 나타내고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 ISO14649 표준의 제안, 즉 STEP-NC의 구성 모듈로 새로이 편입된 RP조형 작업용 RP 설계 정보 모델의 개발과정과 그 결과모델을 구성하는 entity들의 정의에 대한 간략한 설명 및 모뎀 검증 결과를 제시하고자 하였다. 제시된 RP용 설계정보모델에서는 AP203 및 Part42의 형상 정보표현에 기반을 두고 기하학적 형상정보가 정의되었고 그 이외의 공정관련 조형 정보들이 AP203의 여러가지 속성과 entity들을 기반으로 정의되었다. 정보모델의 시각적 이해를 돕기 위해 전체 모델을 EXPRESS-G 모델로 도시하여 나타내었고 설계정보모델을 구성하는 하위 entity들은 정보 모델링 언어인 EXPRESS언어를 이용하여 기술하였다.

본 논문과 관련된 향후 연구 개발 작업을 제시한다면 첫째, 상용업체에서는 개발된 설계정보모델이 실제 작업현장에서 적용되기 위한 환경을 조성해야 한다. 즉, RP 정보모델에 있는 형상정보를 시각화하고 조형정보의 내용을 출력 및 수정할 수 있는 기능을 갖춘 상용 프로그램의 개발이 RP 장비를 기반으로 한 소프트웨어 및 장비개발업체에서 수행되어야 한다.

둘째, 대학이나 연구소와 같은 순수 민간 연구단체에서는 끊임없이 변화하는 여러 종류의 RP 장비에 범용으로 적용될 수 있는 조형정보의 항목의 개발을 염두에 두어야 한다. 특히 FGM(Functionally Graded Material)과 같이 기하학적 형상정보 내부의 이방성 재질 정보를 표현하고 정의할 수 있는 이론적 토대를 제공함으로써 상용 업체들로 하여금 효율적인 RP 조형 기술의 적용 및 발전을 도모할 수 있는 토대를 마련해 주기 위한 적극적인 시도가 요구된다.

셋째, 위에서 기술한 두 가지 연구작업과 병행하여, 수정/보완된 설계정보모델이 국제 기구인 ISO에서 채택될 수 있도록 이를 표준관련 국제회의에서 제안하고 검증받기 위한 후속 연구 활동이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국제 IMS project의 하나인 STEP-NC project의 일환으로 한국측 파트너인 산업자원부 및 생산기술연구원의 연구비 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Paul F. Jacobs, "Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of StereoLithography", Society of Manufacturing Engineers in Cooperation with the Computer and Automated Systems Association of SME, 1992.
2. Beaman, Joseph J., "Solid Freeform Fabrication: A New Direction in Manufacturing with Research and Applications in Thermal Laser Processing", Kluwer Academic, 1997.
3. Kochan, Dettlef, "Solid Freeform Manufacturing: Advanced Rapid Prototyping", Elsevier, 1993.
4. Kai, Chua Chee, "Rapid Prototyping: Principles & Applications in Manufacturing", Wiley, 1997.
5. Ryou, M., Cha, J., Lee, W., Bang, Y., Jee, H. and Kwon, W., "Development of STEP-NC Technology", 한국정밀공학회 논문집, 제20권, 제9호, pp. 13-19, September 2003.
6. Gilman, C. R. and Rock, S. J., "The Use of STEP to Intergrate Design and Solid Freeform Fabrication", Proceedings of SFF symposium, pp. 213-220, 1995.
7. Kumar, V., Dutta, D. and Pratt, M. J. An Assessment of Data Formats for Layered Manufacturing, Advances in Engineering Software 28 (1997), Vol. 28, No. 3, pp. 151-164, 14 October 1996.
8. Jee, H., "A New Data Exchange Standard for SFF", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 291-296, 1997.
9. Kumar, V. and Sriram, R. D., "Towards STEP-based Data Transfer in Layered Manufacturing", Proceedings of the 10th IFIP WG5.2/5.3 PROLAMAT Conference, #45, September 1998.
10. Lee, B. and Jee, H., "STEP을 이용한 신속조형용 설계정보 변환체계", 한국CAD/CAM학회논문집, 제6권, 제1호, pp. 48-58, March 2001.
11. Pratt, M. J., Bhatt, A. D., Dutta, D., Lyons, K. W., Patil, L. and Sriram, R. D., "Progress Towards an International Standard for Data Transfer in Rapid Prototyping and Layered Manufacturing", Computer-Aided Design, Vol. 34, Issue 14, pp. 1111-1121, 2002.



김 인 배

2003년 홍익대학교 기계공학과 학사
2005년 홍익대학교 기계공학과 석사
현재 (주)만도 제동연구소 개발 1팀



지 해 성

1986년 서울대학교 공과대학 기계설계학과 학사
1988년 서울대학교 공과대학원 기계설계학과 석사
1996년 미국 MIT 대학원 기계공학과 박사
1988년~1992년 한국과학기술연구원 (KIST) CAD/CAM 연구실 연구원
1996년~1997년 미국 상무성산하 국제표준연구소 (NIST) 연구원
1997년~현재 홍익대학교 기계공학과 부교수
관심분야: Tolerance Design, Optimum Product Design, Rapid Prototyping & Manufacturing