

**과학기술정보통신부 정보통신방송 기술개발사업 (2022-0-00431)**

(3세부) 지능형 디지털 트윈 연합 지원 개방형 서비스 플랫폼 및 저작도구 기술 개발

## **연합트윈 서비스용 경량 3차원 모델 포맷 가이드**

작성기관: 고려대학교

## 목 차

1. 적용 범위 .....	1
2. 기본 개념 .....	1
2.1 EXPRESS .....	1
2.1.1 EXPRESS 정의 .....	1
2.1.2 EXPRESS-G 다이어그램 .....	2
2.2 경량 3차원 모델 .....	2
2.2.1 경량 3차원 모델 정의 및 용도 .....	2
2.2.2 경량 3차원 모델 자료 구조 .....	3
3. 경량 3차원 모델 스키마 .....	2
3.1 lightweight_3d_model_schema 타입 정의 .....	2
3.1.1 unit .....	2
3.1.2 length .....	2
3.1.3 label .....	3
3.1.4 mesh_type .....	3
3.1.5 color_rgb .....	3
3.1.6 curve .....	4
3.2 lightweight_3d_model_schema 엔티티 정의 .....	5
3.2.1 lightweight_model .....	5
3.2.2 model_entity .....	5
3.2.3 node_entity .....	5
3.2.4 body_entity .....	6
3.2.5 part_entity .....	6
3.2.6 assembly_entity .....	7
3.2.7 pmi_entity .....	7
3.2.8 dimension .....	8
3.2.9 tolerance .....	8

3.2.10 weld .....	9
3.2.11 datum .....	9
3.2.12 mesh .....	9
3.2.13 triangle_set .....	10
3.2.14 triangle .....	10
3.2.15 triangle_vertex .....	11
3.2.16 primitive_mesh .....	11
3.2.17 primitive_entity .....	12
3.2.18 csg_primitive .....	12
3.2.19 surface .....	13
3.2.20 cylinder .....	13
3.2.21 cone .....	14
3.2.22 sphere .....	14
3.2.23 box .....	14
3.2.24 edge .....	15
3.2.25 edge_point .....	15
3.2.26 edge_stride .....	16
3.2.27 edge_flag .....	16
3.2.28 material .....	17
3.2.29 point .....	17
3.2.30 color .....	18
3.2.31 direction .....	18
3.2.32 axis2_placement .....	18
<b>Annex A EXPRESS-G diagrams .....</b>	<b>20</b>
Figure A.1 lightweight_3d_model_schema EXPRESS-G diagram 1 of 5 .....	20
Figure A.2 lightweight_3d_model_schema EXPRESS-G diagram 2 of 5 .....	21
Figure A.3 lightweight_3d_model_schema EXPRESS-G diagram 3 of 5 .....	22
Figure A.4 lightweight_3d_model_schema EXPRESS-G diagram 4 of 5 .....	23
Figure A.5 lightweight_3d_model_schema EXPRESS-G diagram 5 of 5 .....	24

## 1. 적용 범위

이 문서는 경량 3차원 모델을 구성하는 정보 요소들의 엔티티, 속성 및 관계 등을 표현할 수 있는 중립 포맷에 대하여 규정한다. 다음은 이 문서의 적용 범위이다.

- a) 경량 3차원 모델의 조립 관계 표현
- b) 경량 3차원 모델의 형상 표현
- c) 경량 3차원 모델의 PMI (Product Manufacturing Information) 표현
- d) 경량 3차원 모델의 경계 모서리 표현
- e) 경량 3차원 모델의 재질 표현

## 2. 기본 개념

최근 디지털 트윈의 범위가 플랜트, 건물, 선박 등 대형 복합 설비로 확장되면서 3차원 가시화 대상 데이터가 기하급수적으로 증가하고 있다. 이에 따라 3차원 모델 데이터를 효과적으로 감소시킬 수 있는 경량 포맷의 적용이 필수적이다. 이 문서에서는 정보 모델링을 통해 연합트윈 서비스용 경량 3차원 모델 포맷을 정의한다. 2.1은 사용된 정보 모델링 언어인 EXPRESS의 기본 개념, 2.2는 경량 3차원 모델의 기본 개념이다.

### 2.1 EXPRESS

#### 2.1.1 EXPRESS 정의

EXPRESS는 정보 시스템의 설계 및 개발에 필요한 정보 모델을 설계하는 언어로, ISO 10303-11로 표준화되었다. ISO 10303은 제품 데이터 모델 교환에 대한 국제 표준으로 STEP(Standard for the Exchange of Product model data)라는 이름으로 널리 알려져 있다. EXPRESS는 엔티티, 속성 그리고 관계에 기초한 정보 모델링 언어이며 EXPRESS는 데이터의 일반화와 제약조건을 표현할 수 있다. EXPRESS의 구조체로는 스키마, 타입, 엔티티, 상수, 함수, 규칙 그리고 프로시저가 있다. 이 문서에서는 스키마, 타입 그리고 엔티티를 이용하여 경량 포맷을 정의한다.

EXPRESS는 하나의 모델을 여러 스키마로 분할함으로써 데이터 모델을 모듈화하여 정의할 수 있게 한다. EXPRESS의 기본 요소는 REAL, INTEGER, STRING 및 BOOLEAN과 같은 기본 타입들이다. EXPRESS는 기본 타입 뿐 아니라 사용자가 정의한 타입의 생성도 지원한다. 엔티티는 EXPRESS 내에서의 데이터 정의의 기본 단위이다. 엔티티의 일반화(SUPERTYPE)와 전문화(SUBTYPE)를 정의할 수 있으며 다중 계승도 가능하다.

EXPRESS는 물리 파일인 .stp 포맷으로의 인코딩 방법이 제공된다. .stp 포맷은 현재 널리 사용되고 있는 중립 포맷으로, EXPRESS는 .stp 포맷을 정의하는데 사용된 모델링 언어이기 때문에 형상 모델링에 관한 정보 자원이 다수 존재한다.

### 2.1.2 EXPRESS-G 다이어그램

EXPRESS는 공식적인 그래픽 표현 방법으로 EXPRESS-G 다이어그램을 지원한다. EXPRESS-G 다이어그램은 EXPRESS와 마찬가지로 ISO 10303-11에 정의되어 있는, 정보 모델용 그래픽 모델링 표기법의 표준이다. EXPRESS-G 다이어그램을 사용하면 EXPRESS에 비해 데이터 모델의 구조를 더 단순하고 이해하기 쉬운 형태로 표현할 수 있다. Figure 1은 이 문서에서 사용된 EXPRESS-G의 구조체이다. 연합트윈 서비스용 경량 3차원 모델 포맷의 EXPRESS-G 다이어그램은 Annex A로 첨부되었다.

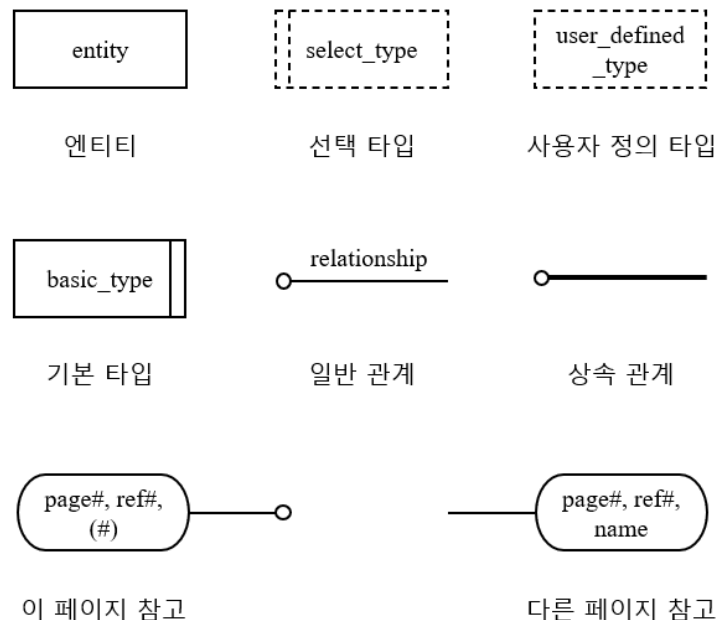


Figure 1 – EXPRESS-G diagram structure

## 2.2 경량 3차원 모델

### 2.2.1 경량 3차원 모델 정의 및 용도

경량 모델이란 제품 형상 가시화를 위해 사용되는 삼각망 형식으로 구성된 3 차원 모델을 말한다. 경량 모델은 일반 3D CAD 모델에 비해 데이터 크기를 작게 구성할 수 있어, Figure 2 과 같이, 데이터 로딩 및 가시화까지 걸리는 시간을 단축시키기 위해 사용된다. 경량 모델의 밀도가

높을수록 실제 형상과의 오차가 작지만, 삼각형의 개수가 많아져 데이터 크기가 커지고 가시화 속도가 느려진다. 따라서 최소의 삼각형 개수로 형상을 표현하는 것이 필요하다.

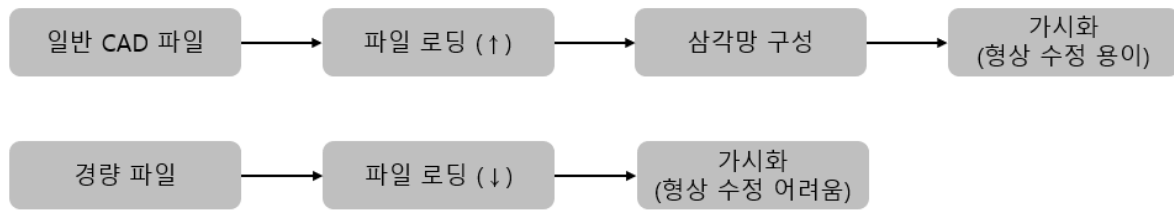


Figure 2 – 3D file visualization process

### 2.2.2 경량 3차원 모델 자료 구조

이 문서에서 경량 3차원 모델 포맷을 정의하는데 사용되는 주요 정보 요소로는 노드(node)와 바디(body)가 있다. 노드는 제품의 조립 관계와 함께 제작 정보인 PMI를 표현하는데 사용되고, 바디는 제품의 3차원 형상 및 재질을 표현하는데 사용된다.

제품의 조립 정보는 조립품, 부분조립품 및 단품으로 구성된다. 노드는 자기 자신을 속성으로 가짐으로써 조립 관계를 표현한다. (assembly & part 관련 내용 추가) PMI는 치수, 공차, 용접 기호, 텍스트, 거칠기 그리고 데이텀 등으로, 모델을 제작하는데 필요한 비기하학적 구성 요소이다. 이 문서에서 포함하는 PMI의 종류로는 치수, 공차, 용접 기호 그리고 데이텀이 있다. 노드에는 이러한 PMI 정보가 연계된다.

경량 모델에서 3차원 형상은 주로 삼각망 형식의 자료 구조로 표현된다. 삼각망은 삼각형들의 집합으로, 삼각망 자료 구조를 저장하는 방법은 Figure 3과 같이 크게 2가지로 나뉜다.

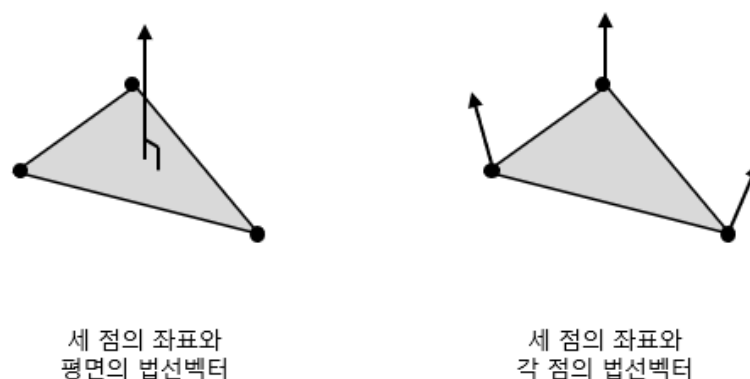


Figure 3 – Mesh data structure

이 문서에서 정의하는 경량 3차원 모델 포맷에서 바디는 세 점의 좌표 및 각 점의 법선벡터를 삼각형 정보와 따로 저장하여 삼각망 자료 구조를 표현한다. 또한 각 점은 텍스처 매핑에 필요한

UV 값을 갖는다. 텍스처 맵은 색상, 텍스처, 광택, 반사도 및 투명도와 같은 기타 표면 디테일을 추가하기 위해 3차원 모델의 표면에 적용할 수 있는 2차원 이미지 파일이다. 텍스처 매핑은 이러한 2차원 이미지를 3차원 모델에 매핑하는 것으로, UV는 이 때 사용되는 좌표이다. 대문자 'U'와 'V'는 2차원 텍스처의 수평 및 수직 방향 축을 의미한다. 매핑되는 재질 관련 정보는 경량 모델의 바디에 저장된다. 재질 정보로 텍스처, 표면 조도, 밝기, 투명도, 주변광, 정반사, 난반사 그리고 발광을 명세할 수 있다. Figure 4는 (U, V) 좌표로 정의된 텍스처 이미지를 (x, y, z) 좌표로 정의된 3차원 모델에 텍스처 매핑하는 것이다.

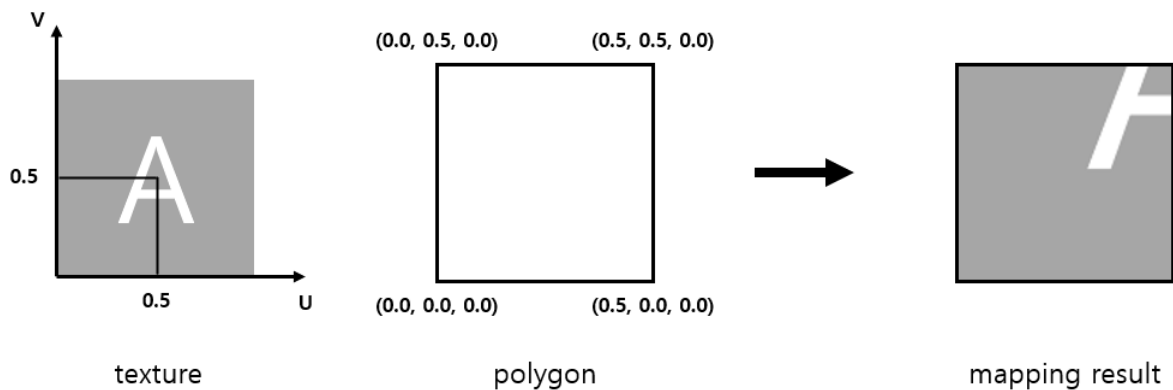


Figure 4 – Texture mapping

경량 모델에서 3차원 형상은 삼각망 이외에 CSG (Constructive Solid Geometry) 형식으로도 표현된다. CSG는 단위 형상(primitive) 간의 불리언(boolean) 연산을 통해 3차원 형상을 모델링하는 과정을 나타내는 2진 트리 구조이다. 이 때 불리언 연산이란 AND, OR, XOR 그리고 NOT 연산을 통해 두 형상을 조합하는 것을 말한다. 불리언 연산에 참여할 수 있는 단위 형상으로는 직육면체, 사면체 프리즘, 구, 원기둥, 원뿔, 원환면 등이 있다. 이 문서의 포맷에서 포함하는 CSG 기본 형상들은 Figure 5와 같이, 가장 빈번하게 사용되는 원기둥, 원뿔, 구 그리고 직육면체이다. 다만, 기본 형상만을 정의하고 불리언 연산은 수행하지 않는다.

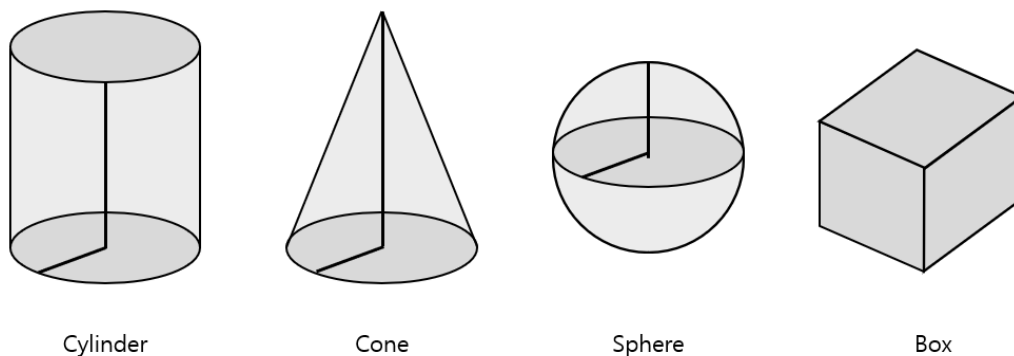
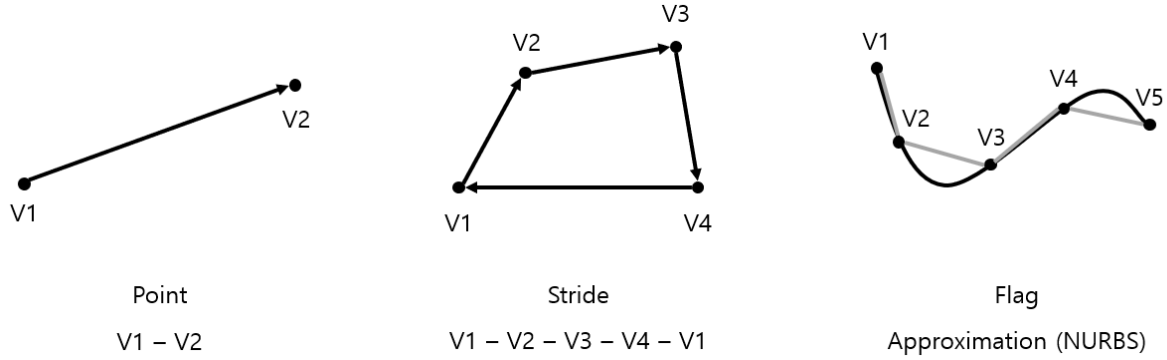


Figure 5 – CSG primitives

3차원 형상 가시화만을 목적으로 하는 경량 모델의 경우, 일반적으로 3차원 형상을 구성하는

면들 간의 경계를 나타내는 모서리 정보를 포함하지 않는다. 그러나 치수의 수정 및 검증을 위해서는 이러한 경계 모서리에 관한 정보가 필수적이다. 따라서 이 문서에서 정의하는 경량 포맷의 바디는 경계 모서리 정보를 별도로 저장한다. Figure 6은 이 문서에서 경계 모서리 정보를 저장하는 방법이다.



**Figure 6 – Edge structure**

Point는 경계 모서리의 인접한 두 점을 각각 시작점과 끝점으로 저장하는 방법이다. Stride는 경계 모서리에 의한 닫힌 루프를 구성하는 모든 점들을 순서대로 저장한다. 이 때 시작점과 끝점은 동일한 점이다. Flag는 연속한 경계 모서리들을 NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines) 곡선으로 근사한다. NURBS는 비균일 유리 B-스플라인으로, 단순한 2D 선, 원, 호, 곡선에서 가장 복잡한 3D의 유기적 자유 형상 서피스 또는 솔리드에 이르기까지, 어떠한 형태도 정확하게 표현할 수 있는 수학적 표현 방법이다. NURBS 지오메트리는 차수, 제어점, 매듭점 그리고 가중치에 의해 정의된다. NURBS 곡면의 경우 별도의 엔티티로 저장한다. Equation (1)은 NURBS 곡선의 일반적인 형태를, Equation (2)는 NURBS 곡면의 일반적인 형태를 나타내는 식이다. 이 때  $N$ 은 기저함수,  $\omega$ 는 가중치,  $\mathbf{P}$ 는 제어점,  $k, l$ 은 제어점의 개수를 의미한다.

$$\text{곡선: } C(u) = \sum_{i=1}^k R_{i,n}(u) \mathbf{P}_i \quad R_{i,n}(u) = \frac{N_{i,n}(u)\omega_i}{\sum_{j=1}^k N_{j,n}(u)\omega_j} \quad (1)$$

$$\text{곡면: } S(u, v) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l R_{i,j}(u, v) \mathbf{P}_{i,j} \quad R_{i,j}(u, v) = \frac{N_{i,n}(u)N_{j,m}(v)\omega_{i,j}}{\sum_{p=1}^k \sum_{q=1}^l N_{p,n}(u)N_{q,m}(v)\omega_{p,q}} \quad (2)$$

3차원 모델 데이터를 저장하는 형식은 ASCII 형식과 바이너리 형식이 있다. ASCII 형식은 인간이 이해할 수 있는 문자로 데이터를 저장하는 방식이고, 바이너리 형식은 인간이 인식할 수 없는 기계어로 데이터를 저장하는 방식이다. 이 포맷은 중립 포맷임을 고려하여 모델 데이터가 ASCII 형식으로 저장되도록 한다.



### 3. 경량 3차원 모델 스키마

본 장에서는 경량 3차원 모델 스키마인 `lightweight_3d_model_schema`를 EXPRESS를 이용해 정의한다. 3.1은 스키마에 포함된 타입을 정의하고 3.2는 스키마에 포함된 엔티티를 정의한다. 각 절은 타입 및 엔티티의 정의와 EXPRESS 명세를 포함한다.

#### 3.1 `lightweight_3d_model_schema` 타입 정의

##### 3.1.1 `unit`

`unit`은 길이와 각도의 단위에 대한 문자열이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

```
TYPE unit = STRING;
```

```
END_TYPE;
```

(\*

##### 3.1.2 `length`

`length`는 길이에 대한 값이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

```
TYPE length = REAL;
```

```
END_TYPE;
```

(\*

##### 3.1.3 `label`

`label`은 엔티티의 이름에 대한 문자열이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

```
TYPE label = STRING;
```

```
END_TYPE;
```

(\*

### 3.1.4 mesh\_type

mesh\_type은 3차원 형상을 표현하는 엔티티인 mesh와 primitive\_mesh를 함께 모으는 선택 타입이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

```
TYPE mesh_type = SELECT (mesh, primitive_mesh);
```

```
END_TYPE;
```

(\*

### 3.1.5 color\_rgb

color\_rgb는 RGB 형식으로 표현되는 색상의 각 성분의 값이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

```
TYPE color_rgb = INTEGER;
```

```
END_TYPE;
```

(\*

### 3.1.6 curve

curve는 B-스플라인 곡선에 의해 표현되는 특정한 기하 형상을 표현하는데 사용된다.

EXPRESS 명세 :

\*)

TYPE curve = ENUMERATION OF

(polyline\_form,  
 circular\_arc,  
 elliptic\_arc,  
 parabolic\_arc,  
 hyperbolic\_arc,  
 unspecified);

END\_TYPE;

(\*

열거 항목 정의 :

polyline\_form : 차수가 1 인 B-스플라인 기저 함수에 의해 표현되는 연속적으로 연결된  
 직선 세그먼트의 집합

circular\_arc : B-스플라인 곡선에 의해 표현되는 완벽한 원이거나 원의 호

elliptic\_arc : B-스플라인 곡선에 의해 표현되는 완벽한 타원이거나 타원의 호

parabolic\_arc : B-스플라인 곡선에 의해 표현되는 제한된 길이의 포물선의 호

hyperbolic\_arc : B-스플라인 곡선에 의해 표현되는 제한된 길이의 한 부분의 쌍곡선의 호

unspecified : 특정한 형상이 규정되지 않은 B-스플라인 곡선

### 3.2 lightweight\_3d\_model\_schema 엔티티 정의

#### 3.2.1 lightewight\_model

lightweight\_model은 경량 3차원 모델을 나타내는 최상위 엔티티로서, model\_entity의 집합이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY lightweight\_model;

name : label;

```

    entities      : LIST [1:?] OF model_entity;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.2 model\_entity

model\_entity는 경량 3차원 모델의 단품 및 조립품과 이와 관련된 3차원 형상을 나타낸다.

EXPRESS 명세 :

```

*)

ENTITY model_entity

    SUPERTYPE OF (node_entity, body_entity);

    name      : label;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.3 node\_entity

node\_entity는 model\_entity를 상속받은 자식 엔티티로서 단품과 조립품을 나타낸다. 이 엔티티는 PMI를 나타내는 pmi 속성을 갖는다. 그리고 node\_entity는 child\_entity 속성으로 조립 관계를 표현한다.

EXPRESS 명세 :

```

*)

ENTITY node_entity

    SUPERTYPE OF (assembly_entity, part_entity)

    SUBTYPE OF (model_entity);

    child_entity      : node_entity;

    entity_body       : body_entity;

```

```

        pmi                : pmi_entity;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.4 body\_entity

body\_entity는 객체의 3차원 형상, 경계 모서리 그리고 재질을 표현한다. 이를 위해서 body\_shape, body\_edges, body\_material 속성을 각각 갖는다.

EXPRESS 명세 :

```

*)

ENTITY body_entity

    SUBTYPE OF (model_entity);

    body_shape      : mesh_type;

    body_edges      : LIST [1:?] OF edge;

    body_material   : material;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.5 part\_entity

part\_entity는 모델을 구성하는 단품에 관한 정보를 포함한다.

EXPRESS 명세 :

```

*)

ENTITY part_entity

    SUBTYPE OF (node_entity);

    serial_number   : STRING;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.6 assembly\_entity

assembly\_entity는 모델의 조립 구조에 관한 정보를 포함한다. 한 개의 조립품은 여러 개의 부분 조립품 또는 단품을 포함할 수 있다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY assembly\_entity

SUBTYPE OF (node\_entity);

serial\_number : STRING;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.7 pmi\_entity

pmi\_entity는 모델을 제작하는데 필요한 비기하학적 구성 요소인 PMI를 포함하는 엔티티이다. pmi\_data 속성을 자식 엔티티인 dimension, tolerance, weld 그리고 datum에 상속시킨다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY pmi\_entity

SUPERTYPE OF (dimension, tolerance, weld, datum);

name : label;

pmi\_data : STRING;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.8 dimension

dimension은 모델의 치수에 관한 정보를 포함하는 엔티티이다. 치수를 표현하는 단위를 units

속성으로 갖는다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY dimension

SUBTYPE OF (pmi\_entity);

units : unit;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.9 tolerance

tolerance는 모델의 치수 또는 위치의 변동 가능한 정도인 공차를 포함하는 엔티티이다. lower\_bound와 upper\_bound 속성을 통해 최솟값과 최댓값을 표현한다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY tolerance

SUBTYPE OF (pmi\_entity);

lower\_bound : REAL;

upper\_bound : REAL;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.10 weld

weld는 모델을 제작하는데 필요한 용접 기호에 관한 정보를 포함한다. 용접 기호의 종류인 arrow\_side와 other\_side를 속성으로 갖는다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY weld

SUBTYPE OF (pmi\_entity);

arrow\_side : STRING;

other\_side : STRING;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.11 datum

datum은 치수나 공차 등의 계산에 있어서 기준으로 하기 위해 필요한 데이텀에 관한 정보를 포함하는 엔티티이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY datum

SUBTYPE OF (pmi\_entity);

datum\_text : STRING;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.12 mesh

mesh는 삼각형의 집합으로 3차원 형상을 표현하는 triangle\_set 엔티티의 집합이다. 단품의 3차원 형상을 표현할 때 공간적으로 분리된 여러 개의 솔리드나 곡면을 사용할 때가 있다. 이 경우를 대응하기 위해서 triangle\_set의 집합인 mesh를 정의한다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY mesh;

name : label;



```

      mesh_triangle_set      : LIST [1:?] OF triangle_set;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.13 triangle\_set

triangle\_set은 곡면 또는 솔리드 형상을 나타내는 삼각형들의 집합이다. 구성 요소로 한 개 이상의 삼각형을 갖는다.

EXPRESS 명세 :

```

*)

ENTITY triangle_set;

    name      : label;

    color      : color;

    elements   : LIST [1:?] OF triangle;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.14 triangle

triangle은 triangle\_set을 구성하는 삼각형을 나타낸다. 그리고 이 엔티티는 삼각형의 세 개의 꼭지점을 의미하는 속성인 vertices를 갖는다.

EXPRESS 명세 :

```

*)

ENTITY triangle

    name      : label;

    vertices   : LIST [3:3] OF triangle_vertex;

END_ENTITY;

(*)

```

### 3.2.15 triangle\_vertex

triangle\_vertex는 triangle의 꼭지점을 나타내는 3차원 공간상의 점이다. triangle\_vertex는 법선 벡터와 텍스처 매핑을 위한 UV 값을 갖는다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY triangle\_vertex;

name : label;

vertex\_point : point;

UV : LIST [2:2] OF point;

normal\_direction : direction;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.16 primitive\_mesh

primitive\_mesh는 primitive\_entity의 집합으로 3차원 형상을 표현한다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY primitive\_mesh;

name : label;

elements : LIST [1:?] OF primitive\_entity;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.17 primitive\_entity

primitive\_entity는 mesh 이외에 CSG 프리미티브나 NURBS 곡면으로 3차원 형상을 표현한다.

그리고 주요 속성으로 색을 의미하는 color를 갖는다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY primitive\_entity

SUPERTYPE OF (ONEOF(csg\_primitive, surface));

name : label;

color : color;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.18 csg\_primitive

csg\_primitive는 불리언 연산에 참여할 수 있는 CSG 기본 형상이다. 세부 타입으로는 cylinder, cone, sphere, box가 있다. 그리고 주요 속성으로는 3차원 배치 정보를 저장한 placement를 갖는다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY csg\_primitive

SUPERTYPE OF (ONEOF(cylinder, cone, sphere, box))

SUBTYPE OF (primitive\_entity);

placement : axis2\_placement;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.19 surface

surface는 NURBS 형식으로 3차원 곡면을 표현한다. 이 엔티티는 주요 속성으로 제어점, 매듭점, 가중치 그리고 곡면의 차수를 갖는다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY surface

SUBTYPE OF (primitive\_entity);

control\_points : LIST [2:?] OF LIST [2:?] OF point;

weights : LIST [2:?] OF LIST [2:?] OF REAL;

u\_degree : INTEGER;

v\_degree : INTEGER;

u\_knots : LIST [2:?] OF INTEGER;

v\_knots : LIST [2:?] OF INTEGER;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.20 cylinder

cylinder는 유한한 높이의 솔리드 원통의 형상을 한 CSG 기본 형상이다. 이것은 원형면에 직교한 축의 길이인 높이, 원형면의 반지름, 위치 그리고 색으로 정의된다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY cylinder

SUBTYPE OF (csg\_primitive);

height : length;

radius : length;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.21 cone

cone은 원추의 형상을 한 CSG 기본 형상이다. 이것은 원형면에 직교한 축의 길이인 높이, 원형면의 반지름, 위치 그리고 색으로 정의된다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY cone

SUBTYPE OF (csg\_primitive);

height : length;

radius : length;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.22 sphere

sphere는 반지름, 위치 그리고 색으로 정의된 구의 형상을 한 CSG 기본 형상이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY sphere

SUBTYPE OF (csg\_primitive);

radius : length;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.23 box

box는 육면체의 형상을 한 CSG 기본 형상이다. 이것은 x, y 및 z의 양의 길이, 위치 그리고 색으로 정의된다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY box

SUBTYPE OF (csg\_primitive);

height : length;

length : length;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.24 edge

edge는 두 꼭지점 간의 연결에 대응되는 경계 모서리로 위상학적인 구조체이다. 조금 더 추상적으로 이는 두 꼭지점 간의 논리적인 관계를 대표한다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY edge

SUPERTYPE OF (ONEOF(edge\_point, edge\_stride, edge\_flag));

name : label;

color : color;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.25 edge\_point

edge\_point는 edge의 인접한 두 점을 시작점과 끝점으로 하여 연결한다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY edge\_point

SUBTYPE OF (edge);

points : LIST [1:?] OF LIST [2:2] OF point;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.26 edge\_stride

edge\_stride는 edge를 구성하는 모든 점들을 연결한다. 이 때 시작점과 끝점은 동일한 점이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY edge\_stride

SUBTYPE OF (edge);

stride : LIST [2:?] OF point;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.27 edge\_flag

edge\_flag는 point들의 근사에 의해 표현되는 특정한 기하 형상을 표현하는데 사용된다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY edge\_flag

SUBTYPE OF (edge);

flag\_points: LIST [2:?] OF point;

curve\_type: curve;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.28 material

material은 모델의 재질과 관련된 정보를 가지는 엔티티이다. 이것은 모델의 질감을 표현하는 texture 속성을 갖는다. 또한 material\_types 속성을 통해 모델의 표면 조도, 밝기, 투명도, 주변광, 정반사, 난반사 그리고 발광을 표현할 수 있다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY material;

```

    texture      : label;

    roughness    : REAL;

    brightness    : REAL;

    transparency  : REAL;

    emissive      : REAL;

    ambient       : REAL;

    specular      : REAL;

    diffuse       : REAL;

    material_types : STRING;
  
```

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.29 point

point는 실직교 좌표 공간에서의 위치이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY point;

```

    x, y, z = REAL;
  
```

END\_ENTITY;

(\*



### 3.2.30 color

color는 엔티티의 색상을 RGB 형식으로 나타낸다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY color;

red, green, blue = color\_rgb;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.31 direction

direction은 3차원 공간에서 일반적인 방향을 정의한다. 구성 요소들의 실제 크기는 정의되는 방향에 영향을 미치지 않는다. 단지  $x : y : z$ 나  $x : y$ 의 비가 중요하다. 방향을 나타내는 3차원 벡터의 크기는 1이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY direction;

direction\_ratios : LIST [3:3] OF REAL;

END\_ENTITY;

(\*

### 3.2.32 axis2\_placement

axis2\_placement는 상호 수직인 두 축의 3차원 공간에서의 위치와 방위로, 점과 두 축에 의해 정의된다. 이것은 공간에서 비축대칭인 물체를 방위시키고 위치시키는 데와 배치 좌표계를 정의하는 데 사용될 수 있다. 이 엔티티는 배치 좌표계의 원점을 형성하는 점을 포함한다. 두 방향 벡터는 배치 좌표계의 정의를 완성시킨다. axis는 배치 z축 방향이고 ref\_direction은 배치 x축 방향의 근사값이다.

EXPRESS 명세 :

\*)

ENTITY axis2\_placement;

center : point;

axis : direction;

ref\_direction : direction;

END\_ENTITY;

(\*

## Annex A

### EXPRESS-G diagrams

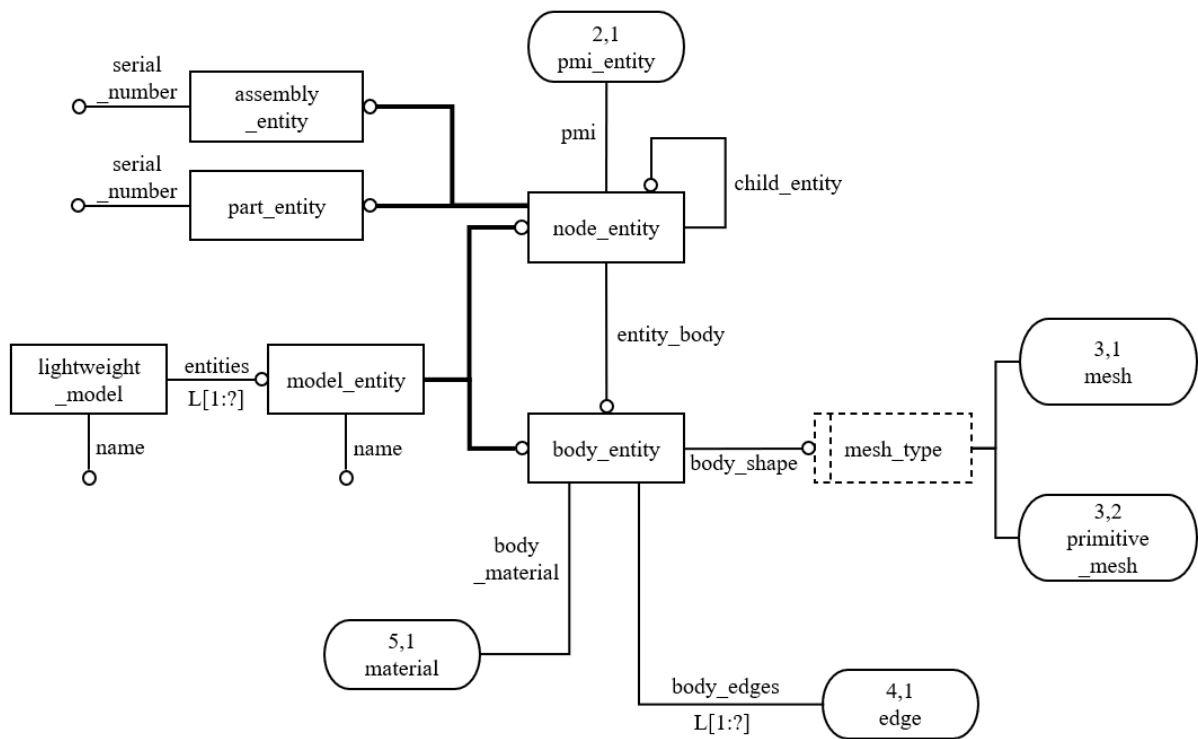
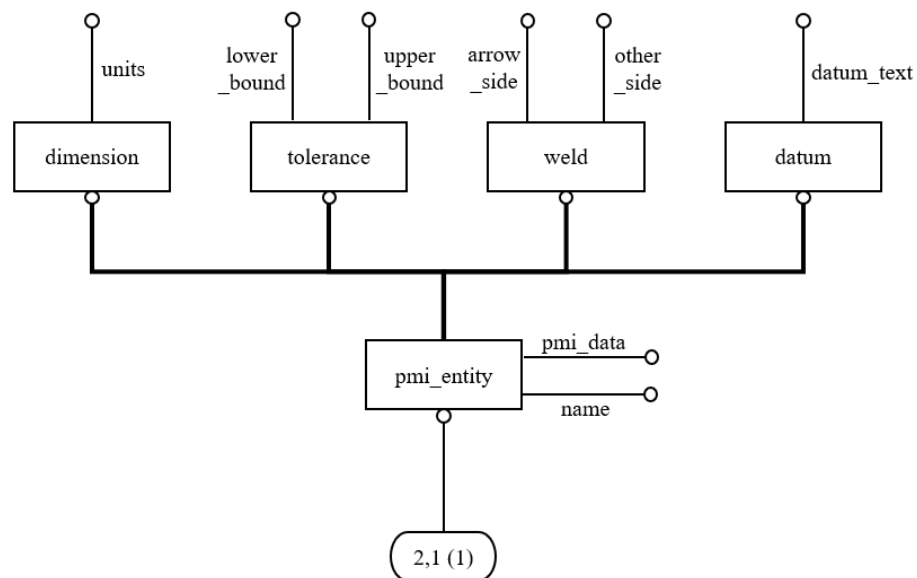
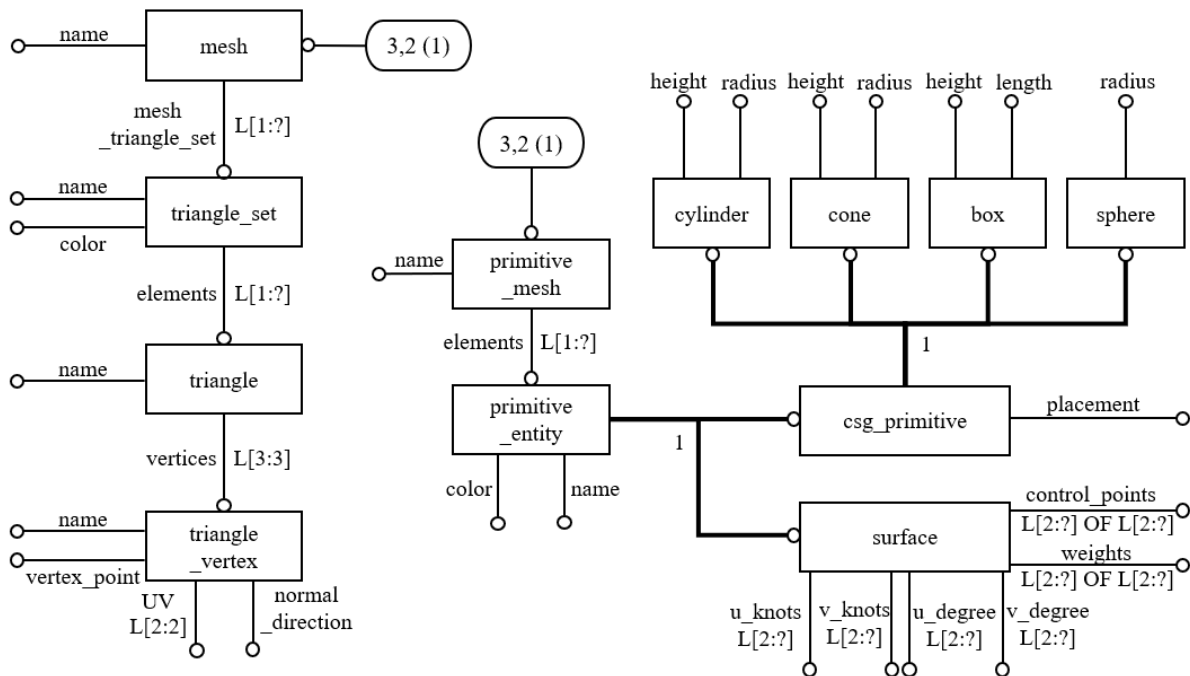


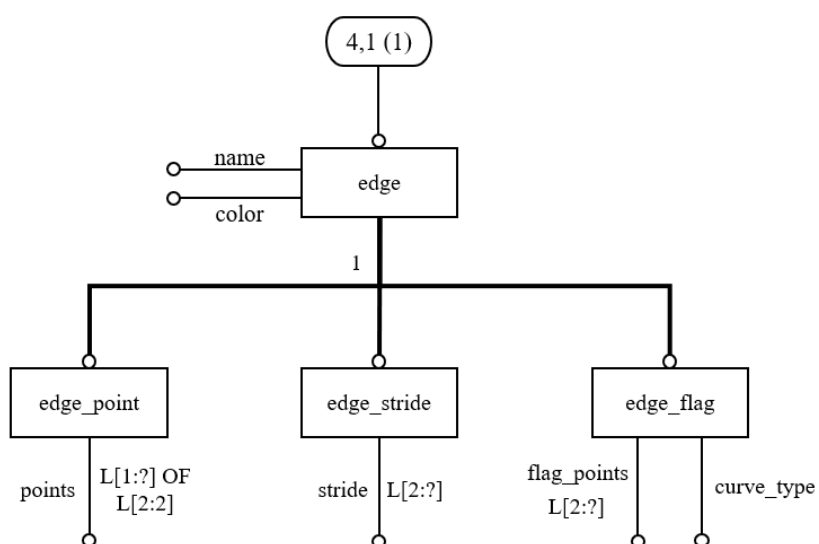
Figure A.1 lightweight\_3d\_model schema EXPRESS-G diagram 1 of 5



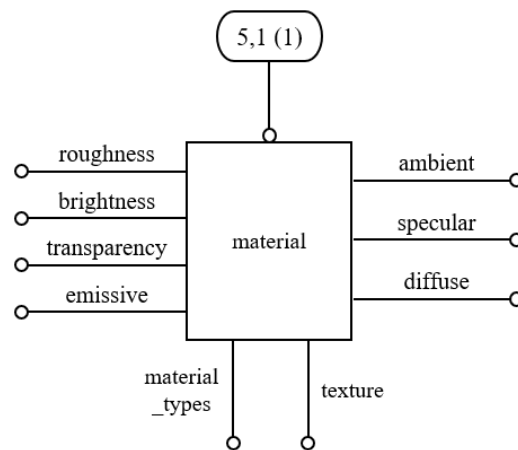
**Figure A.2** lightweight\_3d\_model schema EXPRESS-G diagram 2 of 5



**Figure A.3** lightweight\_3d\_model schema EXPRESS-G diagram 3 of 5



**Figure A.4** lightweight\_3d\_model schema EXPRESS-G diagram 4 of 5



**Figure A.5** lightweight\_3d\_model schema EXPRESS-G diagram 5 of 5