

# 곡선 선형을 반영한 터널 정보모델링 및 IFC 데이터 스키마를 활용한 모델기반의 정보관리 방안

장 성 근<sup>1</sup> · 권 태 호<sup>1</sup> · 박 상 일<sup>1</sup> · 이 상 호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 토목환경공학과

## A Method of Tunnel Information Modeling Reflecting Curved Alignment and Model-based Information Management using IFC Data Schema

Seong Geun Jang<sup>1</sup>, Tae Ho Kwon<sup>1</sup>, Sang I. Park<sup>1</sup> and Sang-Ho Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 03722, Korea

### Abstract

In order to improve the productivity in the civil engineering field, efforts to apply BIM have been continuing, however, research on information modeling of tunnel structures considering alignment is insufficient. In this study, we proposed the method of building tunnel models reflecting curved alignment by transferring point data to BIM Authoring Tools(BAT) through discretization of alignment in Alignment-centered Modeling Tools(AMT). IFC data schema was derived to consider the physical and spatial elements of tunnel structures and alignment and IFC-based information management for tunnel alignment, tunnel structures and ground conditions was possible by referring to the extended data schema and including meanings in IFC property sets. The ratings for ground condition in Rock Mass Rating(RMR) and Q-system was automatically derived by using generated information model according to the proposed method.

**Keywords** : building information modeling(BIM), industry foundation classes(IFC), tunnel, alignment, information management

### 1. 서 론

국내에서 2016년 이후로 모든 건설 프로젝트에 Building Information Modeling(BIM) 적용이 의무화되었으며, 세계 각국에서도 BIM을 의무화하려는 시도가 계속되고 있다. 이에 따라 토목분야는 BIM을 토목구조물에 적용하기 위해 지속적으로 노력하고 있으나, 건축물 중심으로 발전된 BIM을 토목 구조물에 적용하기 어려운 실정이다. 특히 터널의 경우 선형을 중심으로 다양한 구조물의 결합으로 이루어져 있어 여러 소프트웨어의 사용이 필수적이기 때문에 표준 정보모델을 통한 상호 운용성 확보가 필요하다.

그러나 현재 표준 정보모델로 사용되고 있는 Industry Foundation Classes(IFC) 데이터 스키마는 건축 구조물을 중심으로 개발되었기 때문에 터널 구조물에 직접적으로 적용하는 것은 불가능하다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 가장 기본적인 방법은 터널 구조물에 적합한 데이터 스키마를 개발하는 것에 있고, IFC가 BIM의 표준 데이터 스키마로 정해진 바에 따라 여러 연구자들은 기존의 IFC에 터널 구조물 정보표현을 위한 요소를 추가하는 IFC의 확장 방식을 적용한 IFC-Tunnel을 제시하고 있다. 대표적으로 Yabuki(2009)는 쉘드 터널을 표현하기 위한 IFC 확장을 제시하였고, Borrman 등(2015)은 쉘드 터널의 IFC 확장과

\* Corresponding author:

Tel: +82-2-2123-2808; E-mail: lee@yonsei.ac.kr

Received November 15 2017; Revised November 21 2017;

Accepted November 22 2017

©2017 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

더불어 모델의 표현 상세수준(level of detail, LoD)에 따라 변화되는 구성요소의 표현 방법을 제시하였다. 또한 Lee 등(2015)는 NATM 터널에 대한 각각의 구성요소에 대응하는 IFC의 새로운 엔티티를 정의하고 이를 기존 CAD 소프트웨어에서 구현하는 알고리즘을 제시하여 IFC기반 터널 모델의 활용성을 검토하였다. 그러나 터널을 포함하는 도로 또는 철도 구조물의 배치는 그 선형을 따르며, 이러한 점은 건축 구조물과 가장 구분되는 특징 중 하나임에도 불구하고 언급한 기존의 연구들은 곡선 선형에 따른 구조물에 대한 배치에 대해서는 고려하지 않았다.

터널은 선형을 따라 지중에 건설되기 때문에 설계와 시공 단계의 의사결정을 위해서 지반에 대한 정보가 매우 중요하다. 암반분류를 통한 지반정보는 터널 구조물 및 작업자의 안전성과 공사비용 및 기간에 직결되기 때문이다. 대표적인 암반분류의 등급 판정 기준에는 수많은 계산 및 판단 과정이 포함되어 있으나, 대부분 문서기반의 수기 작업을 바탕으로 하고 있어 비효율적이다. 따라서 여전히 실제 현장에서는 지반 평가의 복잡한 과정과 시간 및 정보 부족으로 인해 제대로 시행되지 않는 실정이다(Kim *et al.*, 2015). 이에 본 연구에서는 정확한 선형에 따른 모델 기반의 정보관리를 위하여 곡선 선형을 반영한 모델 생성 방안을 제시하였고, IFC 데이터 스키마 확장 및 PSET을 통해 선형, 구조물, 지반에 대한 IFC기반의 정보관리를 가능하게 하였으며, 이를 활용하여 터널에 있어 중요한 암반 등급을 자동으로 도출해 내었다.

## 2. IFC기반 정보모델링 개념

IFC 데이터 스키마는 buildingSMART International (bSI)가 주관하고 참여기관과 공동 개발한 개념적 모델로, information model 또는 information modeling의 과정 동안에 생성한 필요 데이터의 상호운용성 확보를 위해 개발되었다(ISO-TC184/SC4, 2013). 그러나 본 연구에서 현재의 IFC를 활용하여 터널 정보모델링을 수행하는데 크게 두 가지의 문제점이 있다. 그 첫 번째는 서론에서도 언급한 바와 같이 IFC는 건물 구조물에만 초점을 맞추고 있기 때문인 것으로, 터널 구성요소를 정확하게 다룰 수 있는 요소가 현재의 IFC에는 존재하지 않는다. 두 번째 문제점은 선형을 포함하는 터널 구조물의 표현 한계에 있다. IFC에 선형정보를 포함하기 위한 노력은 지속되고 있지만(P6 Project Team, 2015), 현재는 개발의 단계에 있어 최종 사용자가 실제 모델에 적용하기가 거의 불가능하며, 특히 곡선 선형에 따라 도목 구조물을 배치하는 방법에 대한 구체적인 방법 또는 연구가 거의 이루어져 있지 않다.

한편 IFC 데이터 스키마는 ISO-STEP의 EXPRESS 언어로 정의하며(ISO-TC184/SC4, 2004), 이에 따라 객체 지향의 개념을 따른다. 이러한 특징은 기존 IFC의 상위 요소의 속성을 상속받아 기존 요소를 구체화하거나 터널이나 선형 등을 위한 새로운 요소를 손쉽게 생성할 수 있게 한다. 본 연구에서는 터널 구조물에 대한 IFC 데이터 스키마 확장은 Lee 등(2015)의 연구를 따랐으며, 선형에 대한 IFC 데이터 스키마 확장은 P6 Project Team(2015)의 연구를 참조하였다. 다만 Cerovsek(2011)의 연구에도 나타난 바와 같이 새롭게 개발된 스키마를 활용하기 위해서는 이를 지원하는 소프트웨어가 필요하고 일정 시간 이상의 지연이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 선형과 터널 구조물에 대한 IFC 데이터 스키마를 확장하고, 이를 참조하여 Lee 등(2013)가 제시한 방법에 따라 IFC user-defined property sets(IFC PSET)을 활용하여 정보모델에 필요속성을 추가하였다.

## 3. 곡선 선형을 반영한 IFC기반 터널 정보모델 생성 방법론

### 3.1 선형정보 연계를 통한 터널 정보모델링 방안

현재 이용되고 있는 BIM Authoring Tools(BAT)는 구조물의 형상을 생성하고 비형상적 속성을 추가하여 정보모델을 생성하기에는 유리한 기능을 갖추고 있는 반면에 속성을 포함하는 형태의 선형 생성에는 불리하다. 반대로 Autodesk(TM)의 Civil3D와 같은 선형 중심의 모델링 툴(alignment-centered modeling tools, AMT)은 설계변수를 통해 선형 형상을 생성하는 방식을 취하고 있어 선형 모델의 생성 및 그에 따른 관리에 효과적이지만, 구성요소에 대한 형상 생성 및 IFC기반의 속성 관리에는 비효율적이다. 이에 따라 본 연구에서는 AMT를 기반으로 선형을 생성하였고, 터널 구조물 모델 및 속성의 생성은 BAT를 활용하였다.

AMT에서의 선형 생성은 지형면을 생성한 후에 이루어지며 크게 2차원 수평 선형 생성, 2차원 수직 선형 생성 및 이들 결합을 통한 3차원 선형의 생성의 과정을 거친다. 수평 선형은 목적에 따른 선형 유형을 설정하고 설계속도, 완화곡선의 종류, 설계기준, 레일 간의 거리 등 설계조건을 선정한 후에 2차원 평면을 기준으로 직선, 완화곡선, 원곡선으로 이루어진 선형의 형상을 생성함으로써 설정된다. 수평 선형을 따라 절단된 지형의 단면을 바탕으로 종단 지반선을 생성하고, 설계 종단과 기존 종단 지반선이 다르게 표현되어야 하는 부분을 직선, 종곡선으로 표현함으로써 수직 선형의 표고를 변화시키고 성토 및 절토의 영역을 선정해 준다. 종곡선의 경우 주로 포물선형을 사용하지만, 경우에 따라 원형, 비대칭 포물선형 등도 사용되며 설계기준에

따른 K값을 반영하여 생성된다. 여기서 K값은 완곡곡선의 시작점과 이동된 원형 원곡선의 시작점 사이 횡좌표이다. 본 연구에서는 터널 모델을 생성하기 위한 선형 모델로, 터널에 위치하는 도로면 또는 철도 도상면을 기준으로 지형이 절토되는 것을 가정으로 수직 선형을 생성하였다.

AMT에서 생성한 선형 모델을 BAT에 반영하기 위해서 본 연구에서는 Kwon 등(2017)의 연구를 참조하여 선형을 이산(discreteness)화하여 포인트의 정보를 BAT에 전달하는 방법을 활용하였다. 이는 BAT에서 설계정보를 포함하는 형태로 선형 모델을 정확히 받아 오는 것에 대한 한계성이 기인한다. BAT에서는 포인트들의 3차원 위치정보를 활용하여 선형을 재생성 할 수 있는데, 본 연구에서는 선형 형상을 Non-uniform Rational Basis Splines(NURBS) 곡선으로 재생성하였다. 이는 일반화된 수식없이 정확한 형상을 구현할 수 있는 NURBS 곡선의 특징을 이용한 것인데, 선형에 대한 포인트들이 본 연구에서의 NURBS 곡선 조정점(control point)으로 사용되었다.

BAT에서 생성된 선형 모델을 바탕으로 터널 모델을 생성하기 위해서는 각 터널 요소의 시공에 대한 고려가 필요하다. 콘크리트 라이닝이나 숏크리트의 경우 터널의 진행방향에 수직인 단면을 기준으로 국지 좌표계에 맞춰 시공이 되기 때문에 이에 해당하는 모델을 정확히 생성하기 위해서는 터널 선형의 방향 벡터를 수직벡터로 하는 참조면에 단면을 생성하고 선형을 따라 모델을 생성하였다. 락볼트 또한 터널의 진행방향을 기준으로 국지 좌표계를 따라 일정 간격을 두고 시공되기 때문에 지보 패턴에 맞는 규격의 락볼트 개체를 생성한 뒤 선형 모델에 맞게 설정한 간격마다 락볼트가 배치될 수 있도록 하였다. 강지보재의 경우 콘크리트 라이닝이나 숏크리트와 같이 설계도면 상에서는 국지 좌표계를 기준으로 설계되었으나, 실제 시공 시에는 선형의 국지 좌표계  $x, y$ 와 전역 좌표계  $z$ 를 기준으로 시공하기 때문에 이를 고려하여 모델을 생성하였다.

### 3.2 터널 정보모델 생성을 위한 IFC 확장

bSI에서는 IFC가 선형 및 토목 구조물을 반영할 수 있도록 지속적으로 필요 요소를 확장해 나가고 있다(P6 Project Team, 2015). 본 연구에서는 이를 참조하여 선형에 대한 IFC기반 데이터 스키마를 구성하였다. Fig. 1은 본 연구에서 적용한 IFC 확장 선형 데이터 스키마를 나타낸 것이다.

Fig. 1의 선형의 표현은 기본적으로 수평방향의 선형과 수직 방향의 선형으로 구분되며, 각각은 이들 세부요소인 세그먼트로 구현된다. 도로나 철도 선형의 경우, 직선과 원곡선의 연결은 완곡곡선을 통하는데, 도로 선형에서 주로 사용되는 클로소이

드(*IfcClothoidalArcSegment2D*) 이외에 본 연구에서는 3차원 포물선(*IfcCubicParabolaSegment2D*), 사인곡선(*IfcSinusoidalCurveSegment2D*), 반파사인곡선(*IfcSineHalfWaveSegment2D*), Bloss 곡선(*IfcBlossCurveSegment2D*) 및 램니스케이트(*IfcLemniscateSegment2D*)를 관리할 수 있는 항목을 추가하였다.

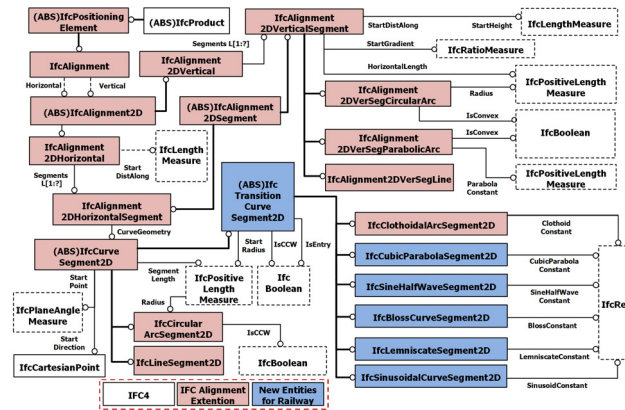


Fig. 1 IFC entity extensions for the alignment information modeling in this study

터널 정보모델에 활용하기 위한 스키마는 Lee 등(2015)의 연구를 중심으로 CRBIM(2015) 및 KICT(2016)의 터널 스키마 부분을 참조하여 구성하였다. Fig. 2는 본 연구에서 적용한 IFC 확장 터널 데이터 스키마를 나타낸 것이다.

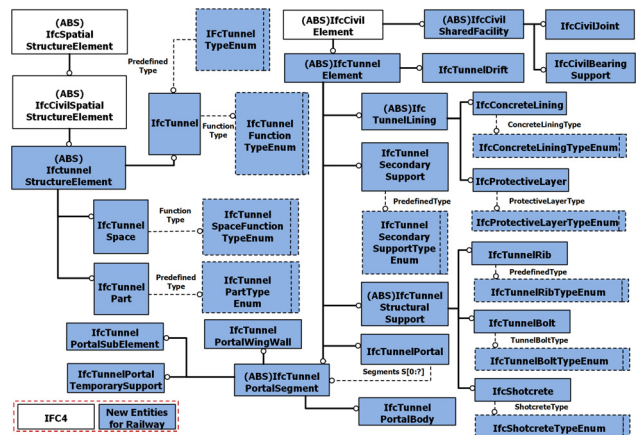


Fig. 2 IFC entity extensions for the tunnel information modeling in this study

Fig. 2에서 추가된 요소는 크게 터널 구조물 및 세부요소가 차지하고 있는 공간에 요소와 구성요소를 표현하는 물리적 요소로 구분할 수 있는데, 이들 각각은 *IfcTunnelStructureElement*와 *IfcTunnelElement*의 하위요소에 배치하였다. 특히 본 연구에서 중점을 두고 있는 터널 지보요소에 대한 정보관리는 *IfcTunnelElement*의 하위 요소에 *IfcTunnel*

*Structural Support*의 항목을 생성하여 그 하위 요소로 지보 (*IfcTunnelRib*), 락볼트(*IfcTunnelBolt*), 슛크리트(*IfcShotcrete*)의 항목을 다룰 수 있도록 새로운 요소를 정의하였다.

### 3.3 IFC PSET을 활용한 속성정보 관리

현재의 IFC가 지원하지 않는 선형, 터널 등에 대해서는 필요 요소를 추가 확장하여 정보모델링이 가능하게 하는 것이 IFC가 지향하는 기본방향이지만, 2장에서 언급한 바와 같이 새롭게 확장한 데이터 스키마를 정보모델에 적용하기 위해서는 이를 지원하는 소프트웨어 개발도 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 Lee 등(2013)이 제시하는 방법을 참조하여 IFC에서 지원하지 않는 외부정보에 대해 현재의 IFC 프레임워크 내에서 동적으로 다룰 수 있게 하는 PSET을 활용하여 터널 및 선형을 위해 확장한 요소를 관리하였다.

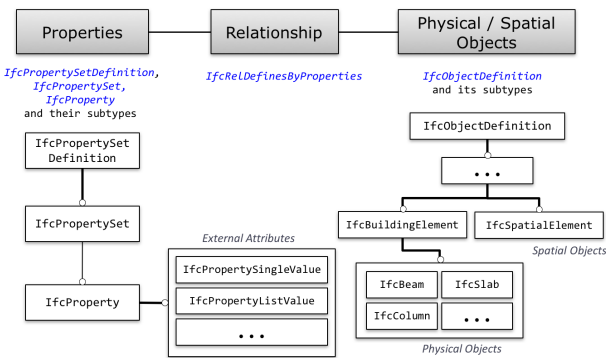


Fig. 3 Object, property and relationship in IFC architecture

Fig. 3에서 IFC PSET은 *IfcPropertySetDefinition* 및 그와 관련한 엔티티들을 통해 비형상적 외부정보들을 관리함을 확인할 수 있는데, *IfcRelDefinesByProperties*를 통해 IFC에서 객체 자체를 다루는 최상위 요소인 *IfcObjectDefinition*와 연결하여 형상을 중심으로 하는 모델에 통합되어 관리될 수 있다. 이러한 방식의 외부정보관리는 현재 개발되어 있는 BAT에서 그 기능을 그대로 활용할 수 있는 장점을 갖는다. 이에 따라 본 연구에서는 3장의 선형 및 터널 구조물 IFC 엔티티를 IFC PSET 방식으로 적용하여 모델 및 외부 속성을 다루었다.

AMT에서 선형 모델을 생성하면 형상에 대한 정보는 AMT를 통해 관리가 가능하다. 다만, IFC에서 이러한 정보를 다루기 위해서는 그 형식을 정해두는데, 본 연구에서는 확장된 엔티티를 PSET으로 적용하는 바, Lee 등(2017)이 제시하는 바에 따라 PSET에서의 식별 형식 및 내용 작성 룰을 정하였다. 이에 대한 내용은 Table 1과 같다.

Table 1에서 ID는 해당 선형의 식별자를 의미한다. 선형

Table 1 User-defined property sets for managing the alignment information

Name	Format	Example
ID	"Alignment_"+id	Alignment_17110716390001
Inheritance	"Horizontal("+att1,att2,...+")-Vertical("+att1,att2,...+")"	Horizontal[(22,45),(0.45,0.89),80.3]-Vertical[107.7,156.8,62.64,0.65]
Horizontal	CurveSegment+"["+att1,att2,...+"]"	CubicParabola [Infinity,false,true,139.93]
Vertical	CurveSegment+"["+att1,att2,...+"]"	ParabolicArc [True,12.16]

이외의 다른 객체와 구분하기 위해 "Alignment"를 추가해 주었다. *Inheritance*, *Horizontal* 및 *Vertical* 항목은 선형 모델에서의 IFC 속성을 넣기 위해 정의한 것이다. 전술한 바와 같이 선형은 기본적으로 수평, 수직으로 구분하여 통합하는 방식으로 구현하며, IFC 요소 역시 이와 동일한 형태로 구성하였다. 특히 전체 선형이 하나의 객체로 이루어진 것이 아니라 여러 세그먼트로 분할되어 결합되어 구성되는 만큼 본 연구에서는 선형의 수평, 수직에 대한 세그먼트 별로 정보를 관리할 수 있도록 하였고, *Horizontal*과 *Vertical* 항목에 이에 대한

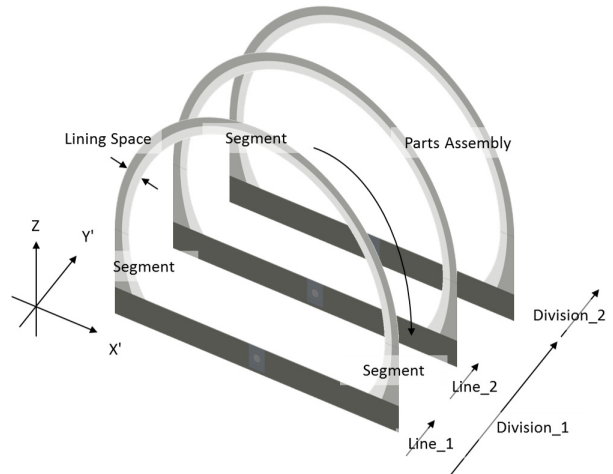


Fig. 4 Spatial representation of NATM tunnel components

Table 2 User-defined property sets for managing the NATM tunnel information

Name	Definition	Example
Lining Space	Classification of lining space	Shotcrete_1, Rib2
Division	Longitudinal direction of tunnel unit	Division_1
Line	Longitudinal direction of tunnel component	Line_1
Segment	Classification of segment into lining space	Segment_1
Parts Assembly	An assembly of parts for the rockbolt and steel rib	Rockbolt_1

정보를 넣었다. 이 때, *Horizontal*과 *Vertical*에 직접 들어가는 속성은 상위 엔티티에서 상속받지 않는 그 엔티티에서 정의된 local 속성만을 대상으로 하며, Table 1의 'att'의 위치에 들어간다. *Horizontal*의 경우 Fig. 3의 *IfcCurveSegment 2D*의 하위요소의 속성이 이에 해당하고, *Vertical*은 *IfcAlignment2DVerticalSegment*의 하위요소의 속성을 대상으로 하였다. *Inheritance*의 항목에는 *Horizontal*와 *Vertical*에 적용되지 않는 상위 엔티티에서 상속받은 속성들을 넣어주었다.

선형모델과 동일하게 BAT에서 생성한 터널 모델 역시 확장된 IFC 요소를 적용할 수는 없다. 또한 Fig. 4에도 나타나 있는 바와 같이 터널과 같이 실질적 객체가 주를 이루는 구조물의 경우, 그에 대한 주요 요소와 그 객체에 대한 형식 또는 기능을 중심으로 IFC 확장이 이루어진다. 이에 따라 본 연구에서는 NATM 터널의 지보공을 중심으로 구성요소에 대한 상대적 위치정보를 고려할 수 있는 형태를 반영하여 Table 2와 같은 NATM 구조물에 대한 정보관리 PSET을 제시하였다(Fig. 4 참조).

정보관리를 위한 위치 식별은 터널 단면의 좌측하단을 기준점으로 정하였다. X'-direction에 대해서는 *Lining Space*의 속성을 할당하였다. 기본적으로 *Lining Space*에는 슛크리트, 콘크리트 라이닝 등이 포함될 수 있지만, NATM 터널의 경우 여러 겹의 라이닝 요소가 포함될 수 있기 때문에 본 연구에서는 enumeration 타입 등을 통한 특정항목으로 명시하지는 않았다. Y'-direction에 대해서는 *Division*과 *Line*의 속성을 활용하였다. NATM 터널 자체가 진행방향에 맞게 명확하게 공간적으로 식별되는 특징을 갖고 있지는 않다. 그래서 일정한 범위에 대해 구역을 나누는데, *Division* 속성이 이에 대한 정보를 관리하도록 하였다. *Line* 속성은 rockbolt나 강지보공의 배치 공간을 식별하는 속성이다. *Lining space*의 내부에 존재하는 물리적 객체를 식별하기 위해서는 *Parts Assembly*의 속성을 활용하였다.

지반에 절대적으로 영향을 받는 터널은 모델에 반드시 지반 정보를 가지고 있어야 한다. 이는 지반정보를 통한 암반분류등급을 통해 터널의 지보패턴이 결정되고 단면이 결정되기 때문에, 터널의 정보모델에서 지반정보의 관리가 필수적이다. 지반의 정보관리를 위해서는 터널의 설계 및 시공에 있어 대표적 암반 분류방법인 Rock Mass Rating(RMR)과 Q-system의 등급 판정기준에 대한 분석이 반드시 수행되어야 한다. 각 파라미터는 여러 가지의 지반 정보로 구성되어 있기 때문에, 이 두 가지 암반분류방법에 대한 분석을 통해 지반 정보항목을 도출하였다. 도출된 정보항목에는 최종 사용자가 입력해야하는 데이터와 그에 따라 자동으로 계산될 수 있는 출력 데이터가 있으며, 입력

데이터는 특성에 따라 미리 생성해둔 목록에서 선택할 수 있게 하거나 실험값이나 관측값을 직접 입력할 수 있도록 하였고, 출력 데이터는 등급 판정기준에 의거하여 계산될 수 있는 지반 정보의 결과값과 최종 암반 등급 등이 반환될 수 있도록 하였다. 모든 속성정보의 이름, 정의, 형태 등은 등급 판정기준(Hoek, 1999)에서 제시하는 내용과 동일하게 생성하였으며, 포함하고 있는 속성정보가 많아 자세한 내용은 4장의 Table 3에서 실제 모델에 적용한 결과와 함께 기술되었다.

#### 4. 선형정보를 반영한 터널 정보모델 생성

##### 4.1 모델 생성 및 속성정보 입력

모델 기반의 효율적인 정보관리가 이루어지기 위해서는 목적에 맞는 모델 생성이 반드시 선행되어야 한다. 이를 위하여 정확한 선형 모델과 이를 바탕으로 지반조건에 따라 변하는 지보공 위주의 터널 모델을 생성하였다. 또한 RMR과 Q-system에 대한 분석을 통해 지반 정보항목을 도출하였고, PSET을 통해 모델에 적용하여 모델기반의 정보관리가 가능하도록 하였다. Fig. 5는 3장의 방법론을 실제로 적용한 전체 프로세스를 나타내며, 이 장에서 상세히 기술되었다.

대상 지역은 충청북도 청주시의 오송 시험선으로, 총 연장 13km에 8개의 교량과 6개의 터널을 포함하고 있다. 대상 터널은 오송 시험선의 6개의 터널 중 다양한 선형요소와 복합적인 지반 조건을 가지고 있는 시험 제 6터널으로 선정하였다.

본 연구에서 기술된 모델링 방안을 적용하여 연장 1km인 대상 터널에 대한 선형 모델을 생성하였다. 이산화물 통해 선형에 대한 정보를 포인트의 형태로 생성하기 위한 AMT는 Autodesk(TM)의 Civil3D를 사용하였으며, 이를 바탕으로

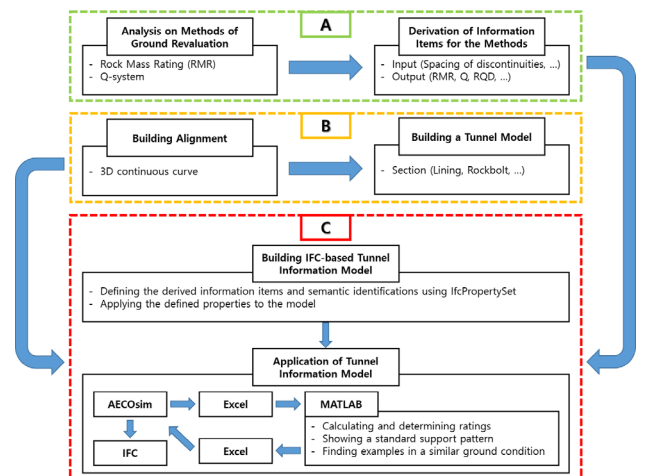


Fig. 5 Process of applying the methodology to the targeted area and automatically determining ratings for ground condition

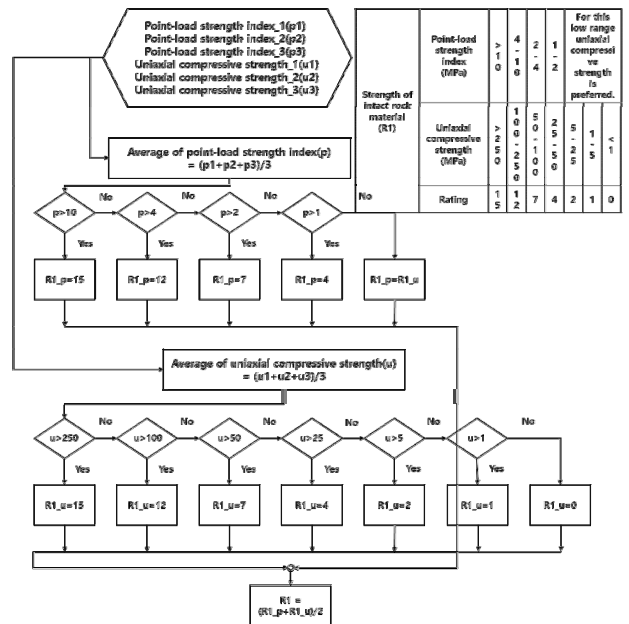
곡선을 재생성을 통해 선형 모델을 생성하기 위한 BAT로는 Bentley(TM)의 AECOsim을 사용하였다. Civil3D에서 포인트의 간격은 터널의 최소 굴착 길이인 1m로 설정하였으며, 이에 따라 1001개의 포인트 정보가 생성되었다. 또한 추가로 선형의 형태를 구분하기 위해 시작점을 제외하고 수평을 기준으로 5개, 수직을 기준으로 3개의 포인트 정보가 생성되었으며, 총 1009개의 포인트를 통해 전체 선형 모델을 생성하였다.

대상 터널의 선형은 수평을 기준으로 *Line*, *CircularArc*, *CubicParabola*로 구성되어 있으며, 수직을 기준으로는 각기 다른 형태의 *Line*으로 구성되어 있다. 선형에 대한 정보는 각 선형의 시작점을 기준으로 수평과 수직에 관한 정보를 따로 관리하도록 하였다. Fig. 6은 AECOsim에서의 생성한 전체 선형 모델과 시작지점부터 18m에 해당하는 선형 모델을 나타내며, 이에 대해 PSET을 적용한 예시를 나타낸다. ID는 'Alignment\_17110716390001'로 정의되었으며, 수평선형은 시작점이(221782.6597, 452373.5266)이고 반지름이 243.642m인 원곡선형, 수직선형은 155.967m로 시작하여 구배가 0.76%인 직선형으로 정의되었다.

생성한 선형 모델을 바탕으로 본 연구에서 제시한 곡선 선형을 반영한 터널 모델링 방법을 적용하여 대상 터널에 대한 모델을 생성하였다. Fig. 7은 AECOsim에서 선형 정보를 바탕으로 생성한 라이닝, 강지보공, 락볼트 등 터널 구조물

모델과 이에 대해 3장에서 제시한 방법에 따라 속성 값을 넣은 예시를 나타낸다. 1구역 3번째 열 2번 락볼트의 경우 *Division*은 'Division\_1'로, *Line*은 'Line\_3'으로, *Part\_Assembly*는 'Rockbolt\_3'으로 속성값을 갖는다.

3장에서 도출한 지반 정보항목의 PSET은 생성한 선형 모델에 적용하여 위치에 따라 해당 지반조건을 관리할 수 있도록



(a) Algorithm for automatic determination of R1

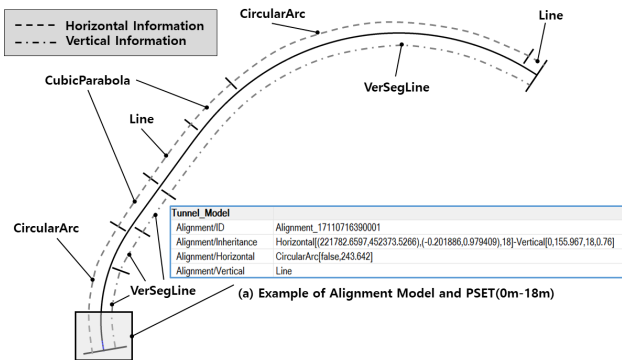


Fig. 6 Alignment model for the targeted area

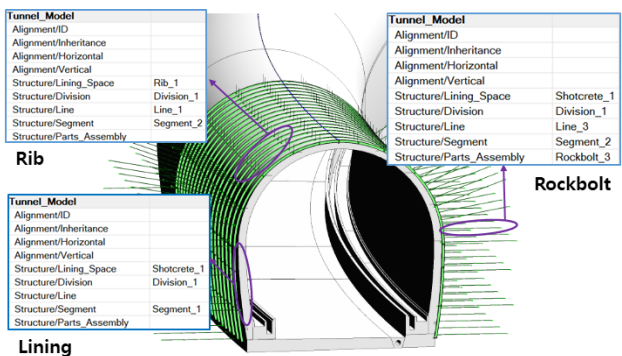
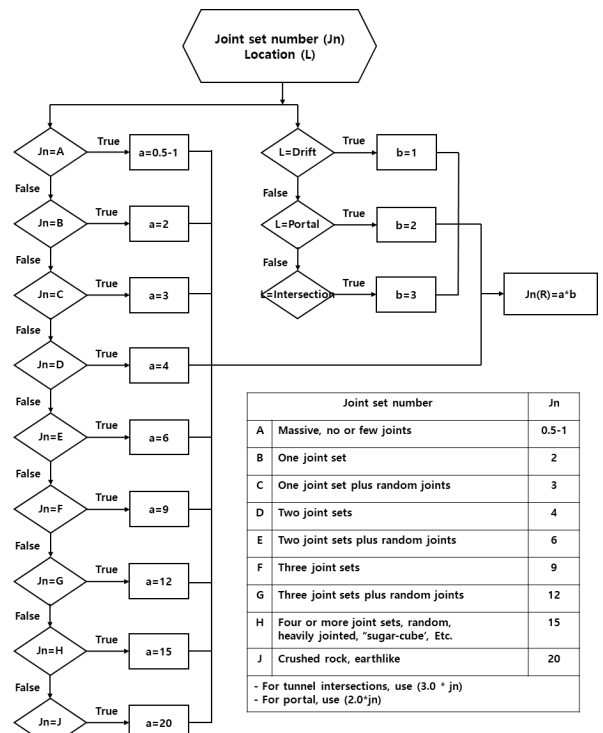


Fig. 7 Tunnel model for the targeted area



(b) Algorithm for automatic determination of Jn

Fig. 8 Algorithms for automatic determination of R1 and Jn

하였다. 이와 같은 모델기반의 지반 정보관리의 장점을 활용하기 위해 프로그래밍을 통한 출력 데이터 도출의 자동화를 가능케 하였다. Fig. 8은 등급 판정기준에 따라 RMR과 Q-system의 결과 값을 자동으로 산출해 내는 알고리즘의 일부분으로, Fig. 8(a)은 파라미터 R1에 대한 알고리즘으로 점하중과 일축압축 강도를 모두 고려하여 점수를 산출하며, Fig. 8(b)는 파라미터 Jn에 대한 알고리즘으로 절리면의 수와 위치에 따라 각각의 점수에 대한 곱의 형태로 점수를 산출한다.

### 4.2 IFC 결과 및 분석

전술한 내용을 바탕으로 선형 및 지반정보를 포함하는 IFC 기반의 NATM 터널을 생성하였다. Fig. 9는 Bentley(TM)의 AECOSim을 이용하여 생성한 터널 구조물 모델을 IFC physical File(IPF)로 생성하여 Solibri(TM) Model Checker를 통해 나타낸 것이며, Table 3은 이에 대한 IPF 내부 데이터 일부를 나타낸 것이다.

Table 3에서 #18313, #18315, #8824, #8823은 각각 특정한 선형, 라이닝, 강지보공, 락볼트에 대한 물리적 정보를 담고 있는 IFC 4 객체로 선형 객체인 #18313은 IfcRel DefinesByProperties인 #31616, #31617를 통해 선형에 대한 정보 담고 있는 PSET #44852와 지반에 대한 정보를 담고 있는 PSET #44853과 연결되어 있다. #40460부터 #40463까지는 #44852을 이루고 있는 속성 값들로서 #40461, #40462 조합을 통해 평면 시작점이(221782.6597, 452373.5266)이고 반지름이 243.642m인 원곡선 형식의 수평선형 정보와 #40461, #40463 조합을 통해 고도 155.967m에서 시작하여 구배가 0.76%인 직선 형식의 수직선형 정보들로 식별정보 #40460 'Alignment\_17110716390001'에 해당하는 선형 객체를 표현하였다. #40464부터 #40521은 지반 정보에 대한 PSET인 #44853을 이루고 있는 속성이다.

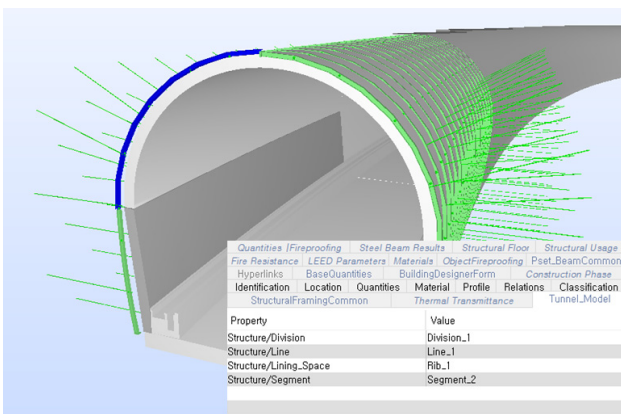


Fig. 9 NATM tunnel model based on IFC user-defined property sets

강지보공은 #8824의 물리정보가 #32283을 통해 PSET #45387과 연결되어 있다. #45387는 앞서 터널 구조물 요소의 공간 정보 표현을 위하여 정의한 'Lining\_Space', 'Division', 'Line', 'Segment'를 #41852부터 #41855까지의 속성값들로 포함하고 있다. Fig. 9는 'Rib\_1', 'Division\_1', 'Line\_1', 'Segment\_2'의 위치식별 정보에 해당하는 강지보공의 형상을 나타내고 있다.

라이닝의 경우 #32288의 IfcRelDefinesByProperties를 통해 물리 정보인 #18315와 공간 정보인 PSET #45391이 결합되어 있으며, 'Shotcrete\_1', 'Division\_1', 'Segment\_1'를 통해 시점부로부터 첫 번째 구역, 좌하단으로부터 첫 번째 슛크리트 조각임을 식별할 수 있다.

### 4. 결 론

선형정보를 중심으로 생성되는 터널은 기존의 모델링 틀을 통한 방법론을 사용하여 모델을 생성하는 것이 매우 어렵다. 정확한 선형의 생성을 위해 다양한 AMT가 사용되고 있으나 터널 구조물의 모델 생성과 정보관리에는 한계가 있고, 그에 반해 BAT는 터널 구조물의 생성이나 정보관리에 강점이 있지만 정확한 선형을 생성하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 정확한 선형이 반영된 터널 모델을 생성하고 이를 기반으로 한 정보관리를 위해 AMT와 BAT를 동시에 사용할 수 있는 방안에 대해 제시하였다. 먼저 AMT에서 설계조건을 반영한 선형을 생성하였고, 선형을 이산화하여 생성된 점들의 정보를 BAT로 연계하였으며, BAT에서 NURBS 곡선으로 재생성된 선형을 토대로 라이닝, 강지보공, 락볼트 등을 포함하는 터널 정보모델을 생성하였다. 또한 생성된 터널 정보모델을 바탕으로 터널 구조물의 설계단계와 시공단계에 필요한 선형정보, 부재정보 및 지반정보를 관리하기 위해 IFC PSET기반의 속성정보를 통한 정보관리방안을 제시하였다. 입력된 지반조건을 이용하여 RMR과 Q-system 결과 값을 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 정보모델 생성방안을 오송 철도시험선 제 6터널에 적용하여 설계된 선형에 맞는 터널 모델을 생성하였으며, IFC PSET을 통해 입력된 정보가 생성한 모델에 제안한 IFC 스키마 형태로 표현됨을 확인하였다. 또한 정보모델에 입력된 지반조건을 바탕으로 RMR과 Q-system의 암반분류결과를 자동으로 계산하였다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(17R-TRP-B104237-03)에 의해 수행되었습니다.

Table 3 IPF of IFC PSET-based NATM tunnel model

Component	IFC Model Data
Alignment 1	<pre> ... #18313=IFCBUILDINGELEMENTPROXY('3SYw2KOLj8Fw5CBllOtxeu',#16,'Osong_Test_Railway_6','0, Osong_Test_Railway_6_0828_1.dgn, Design Model:608881','Osong_Test_Railway_6',#19115,#11390,\$,\$); #31616=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('3gCA5OmkH4HwjcsphuUimD',#16,'Tunnel','Osong_Test_Railway_6',(#18313),#44852); #31617=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('0Nw6w\$awf9oujQax5c74ky',#16,'Tunnel','Osong_Test_Railway_6',(#18313),#44853); ... #40460=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Alignment/ID',\$.IFCTEXT('Alignment_17110716390001'),\$); #40461=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Alignment/Inheritance',\$.IFCTEXT('Horizontal[(221782.6597,452373.5266),(-0.201886,0.979409),18]-Vertical[0,155.967,18,0.76]'),\$); #40462=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Alignment/Horizontal',\$.IFCTEXT('CircularArc(false,243.642)'),\$); #40463=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Alignment/Vertical',\$.IFCTEXT('Line'),\$); ... #40464=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Rating',\$.IFCTEXT('III'),\$); #40466=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('RMR',\$.IFCREAL(42.),\$); #40467=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Strength_Of_Intact_Rock_Material_R1',\$.IFCREAL(7.),\$); #40469=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Drill_Core_Quality_R2',\$.IFCREAL(13.),\$); #40470=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Spacing_Of_Discontinuities_R3',\$.IFCREAL(8.),\$); #40472=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Condition_Of_Discontinuities_R4',\$.IFCREAL(14.),\$); #40478=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Ground_Water_R5',\$.IFCREAL(10.),\$); #40482=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('R6',\$.IFCREAL(-10.),\$); #40511=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Tunnelling_Quality_Index_Q-system/Q',\$.IFCTEXT('6.9733'),\$); #40512=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Rock_Quality_Designation_RQD_2',\$.IFCREAL(52.3),\$); #40513=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Joint_Set_Number_Jn',\$.IFCTEXT('3'),\$); #40514=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Joint_Roughness_Number_Jr',\$.IFCREAL(1.5),\$); #40515=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Joint_Alteration_Number_Ja',\$.IFCREAL(1.),\$); #40516=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Joint_Water_Reduction_Factor_Jw',\$.IFCTEXT('0.66'),\$); #40517=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Stress_Reduction_Factor_SRF',\$.IFCREAL(2.5),\$);... ... #44852=IFCPROPERTYSET('0zeKQJULL2EQxKMVFHjMGe',#16,'Tunnel_Model',\$(#40460,#40461,#40462,#40463)); #44853=IFCPROPERTYSET('1SgT1Vh1H0sPHBKDJY6HpQ',#16,'Tunnel_Ground_Reevaluation',\$(#40464,#40465,#40466,#40467,#40468,#40469, #40470,#40471,#40472,#40473,#40474,#40475,#40476,#40477,#40478,#40479,#40480, #40481,#40482,#40483,#40484,#40485,#40486,#40487,#40488,#40489,#40490,#40491, #40492,#40493,#40494,#40495,#40496,#40497,#40498,#40499,#40500,#40501,#40502, #40503,#40504,#40505,#40506,#40507,#40508,#40509,#40510,#40511,#40512,#40513, #40514,#40515,#40516,#40517,#40518,#40519,#40520,#40521)); ... </pre>
Lining 1	<pre> ... #18315=IFCBUILDINGELEMENTPROXY('16y1DJSKb4i91KDjehO87',#16,'Osong_Test_Railway_6','0, Osong_Test_Railway_6_0828_1.dgn, Design Model:622369','Osong_Test_Railway_6',#19250,#11525,\$,\$); #32288=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('0IcHoeWu58rxuxWRM8p7eb',#16,'Tunnel','Osong_Test_Railway_6',(#18315),#45391); #41869=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Lining_Space',\$.IFCTEXT('Shotcrete_1'),\$); #41870=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Division',\$.IFCTEXT('Division_1'),\$); #41871=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Segment',\$.IFCTEXT('Segment_1'),\$); #45391=IFCPROPERTYSET('3ZuT\$a_Uv0ffiuWpRGNq3b',#16,'Tunnel_Model',\$(#41869,#41870,#41871)); ... </pre>
Rib 1	<pre> ... #8824=IFCBEAM('0qA3Z9t49FC947VXX8R14T',#16,'Beams','0, Osong_Test_Railway_6_0828_1.dgn, Design Model:246729','Beams',#19249,#11524,\$); #32283=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('3IVL67r9H4Qg72fR4Rpbuk',#16,'Steel_Beam','Beams',(#8824),#45387); #41852=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Lining_Space',\$.IFCTEXT('Rib_1'),\$); #41853=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Division',\$.IFCTEXT('Division_1'),\$); #41854=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Line',\$.IFCTEXT('Line_1'),\$); #41855=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Segment',\$.IFCTEXT('Segment_2'),\$); #45387=IFCPROPERTYSET('3imlAAuP9CPrPFIMXAZJA',#16,'Tunnel_Model',\$(#41852,#41853,#41854,#41855)); ... </pre>
Rockbolt 1	<pre> ... #8823=IFCBEAM('2w\$7N2sIf44e_c58_Q4bQ3',#16,'Bar_Joist_Envelope','0, Osong_Test_Railway_6_0828_1.dgn, Design Model:610531','Bar_Joist_Envelope',#19248,#11523,\$); #32277=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('0W0PyrThb06goWTsdgUJMC',#16,'Steel_Beam','Bar_Joist_Envelope',(#8823),#45382); #41837=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Lining_Space',\$.IFCTEXT('Shotcrete_1'),\$); #41838=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Division',\$.IFCTEXT('Division_1'),\$); #41839=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Line',\$.IFCTEXT('Line_3'),\$); #41840=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Segment',\$.IFCTEXT('Segment_2'),\$); #41841=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Structure/Parts_Assembly',\$.IFCTEXT('Rockbolt_3'),\$); #45382=IFCPROPERTYSET('2Ki_ZZsHXBpxF1ErOKmR2A',#16,'Tunnel_Model',\$(#41837,#41838,#41839,#41840,#41841)); ... </pre>



## References

- Borrmann, A., Kolbe, T.H., Donaubaue, A., Steuer, H., Jubierre, J.R., Flurl, M. (2015) Multi Scale Geometric Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications, *Comput. Aided Civil & Infrastr. Eng.*, 30, pp.263~281.
- Cerovsek, T. (2011) A Review and Outlook for a 'Building Information Model' (BIM): A Multi-Standpoint Framework for Technological Development, *Adv. Eng. Inform.*, 25, pp.224~244.
- China Railway BIM Alliance(CRBIM) (2015) *Railway BIM Data Standard Version 1.0*.
- Hoek, E. (1999) *Rock Engineering : Course Notes*, p.324.
- ISO-TC184/SC4 (2004) *ISO 10303-11: 2004 Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 11: Description Methods: The EXPRESS Language Reference Manual*.
- ISO-TC184/SC4 (2013) *ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in The Construction and Facility Management Industries*.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT) (2016) *IfcRoad Ch.5 Infra IFC Schema based on IFC4 ADD1 with IfcAlignment by KICT (EXPRESS) V1.0*.
- Kim, J.H., Kwon, O.I., Baek, Y., Yoo, W.K. (2015) Study on Improvement of Rock Mass Classification for Tunnel, *Crisisonomy*, 11, pp.147~155.
- Kwon, T.H., Park, S.I., Shin, M.H., Lee, S.-H. (2017) Information Modeling of Railway Track using Information Linkage of Railway Alignment and Alignment-based Objects, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 30(6).
- Lee, S.-H., Park, S.I., Park, J. (2015) Development of an IFC-based Data Schema for the Design Information Representation of the NATM Tunnel, *KSCE J. Civil Eng.*, 20, pp.2112~2123.
- Lee, S.-H., Park, S.I., Park, J. (2013) BIM and Its Application to Civil Engineering: How to Overcome the Limitations of Current BIM Technologies, *In Proc. of The Civil Engineering Conference in Asia Region: Embracing the Future through Sustainability*, Jakarta, Indonesia, pp.42~55.
- Lee, S.-H., Park, S.I., Kwon, T.-H., Seo, K.-W. (2017) Civil Infrastructure Information Modeling Method based on Extended IFC Entities using BIM Authoring Software, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 30, pp.77~86.
- P6 Project Team (2015) *IFC Alignment Project - IFC Extension Development Version 1.0*, buildingSMART MSG.
- Yabuki, N. (2009) Representation of Caves in a Shield Tunnel Product Model, *In Proc. of The 7th European Conference on Product and Process Modelling*, Sophia Antipolis, France, pp.545~550.

## 요 지

토목분야 생산성 향상을 위해 BIM을 적용하기 위한 노력이 계속되고 있으나, 선형과 지반에 대한 정보가 필수적인 터널 구조물의 정보모델링에 대한 연구는 미흡한 상황이다. AMT에서 생성된 선형의 이산화를 통해 포인트의 정보를 BAT로 전달하여 곡선 선형을 반영한 터널 모델 생성 방안을 제시하였다. 철도 구조물과 선형에 대한 물리적 요소와 공간적 요소를 모두 고려할 수 있도록 IFC 데이터 스키마를 확장하였으며, 확장된 데이터 스키마를 참조하여 선형, 구조물, 지반 정보에 대한 의미정보를 PSET에 담아 IFC기반의 정보관리를 가능하게 하였다. 제안한 방법에 따라 생성한 정보모델을 통해 터널과 밀접한 암반 등급을 자동으로 도출함으로써 활용성을 검증하였다.

**핵심용어** : Building Information Modeling(BIM), Industry Foundation Classes(IFC), 터널, 선형, 정보 관리