철도 선형중심의 객체 정보연계를 통한 철도 궤도부 정보모델 생성 방안

권 태 호¹ · 박 상 일¹ · 신 민 호² · 이 상 호^{1*}

¹연세대학교 토목환경공학과, ²한국철도기술연구원 첨단인프라연구팀

Information Modeling of Railway Track using Information linkage of Railway Alignment and Alignment-based Objects

Tae Ho Kwon¹, Sang I. Park¹, Min Ho Shin² and Sang-Ho Lee^{1*}

¹School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 03722, Korea

¹Advanced Infrastructure Research Team, Korea Railroad Research Institute, UiWang, 16105, Korea

Abstract

As BIM has been widely used in the field of architecture, efforts to apply BIM to civil engineering structures are increasing rapidly. Since commercial BIM softwares are focused on building structure, it is difficult to apply to alignment-based civil infrastructures. In this study, we proposed a method to generate an information model that reflects cant by sharing information between alignment-centered modeling tools and BIM authoring tools to manage information of railway track. The railway track modeling process consists of classifying structures into continuous and non-continuous structures, creating continuous structures by alignment-centered modeling tools, and using the shared alignment information to generate information model of the non-continuous structures. Non-continuous structures were generated by an algorithm that calculates the position and rotation information of each structure based on discretized railway alignment and cant information transmitted to the BIM authoring tools. The availabilities of proposed method were studied by applying to the osong test-line. Using the test model, it was shown that the objects were identified, the properties were extracted, and the quantities of each structure were calculated.

Keywords : railway track, building information modeling(BIM), railway alignment, information linkage

1. 서 론

최근의 건축분야의 건설 프로젝트에서 Building Information Modeling / Model(BIM)의 활용은 필수불가결한 요소이며 다수의 국가들에서는 BIM의 적용이 의무화되어 있다. 이에 따라 토목분야는 구조물의 유일성으로 인해 BIM 활용 프로세스를 정형화하기 쉽지 않은 점이 있음에도 불구하고 BIM을 적용하여 건설 프로젝트의 생산성을 향상하고자 하는 노력을 지속적으로 기울이고 있다. 특히 철도의 건설 및 유지 관리 프로젝트는 다학제적(interdisciplinary) 협업이 필수적인 초대형 프로젝트로, 최적 선형 선정, 간섭 검토, 3차원 형상

가시화, 시공 시뮬레이션, 물량 산출 등에 이르기까지 다양한 분야에서 BIM을 효과적으로 활용하기 위한 시도가 이루어지고 있다(Ballantyne, 2012). 특히, 중국에서는 상호운용성 확보를 위한 철도인프라 데이터스키마를 개발 중에 있으며(CRBIM, 2015), Qatar Rail에서는 철도시설물의 효율적인 정보관리를 위한 모델링 방법을 다양한 가이드라인들을 통해 제시하고 있다(Qatar Rail, 2014). 또한 최근 홍콩에서도 철도 프로젝트에 BIM을 도입하기로 결정하였다(MTR, 2017). 이때 BIM을 활용하는데 있어 가장 기본이자 시작점이 되는 것이 정확한 형상 구현 및 이에 적합한 속성을 추가한 정보모델의 생성에 있으며, 이를 효과적으로 가능하게 하는 것이 BIM

* Corresponding author:

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

Received October 30 2017; Revised November 10 2017;

Accepted November 13 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.

authoring tools(BAT)의 사용이다. 그러나 현재의 authoring tools는 건축물에 초점이 맞추어져 있어 철도를 포함한 토목 분야 인프라시설물에서 선형에 따른 구조물의 생성 등에 이를 직접적으로 활용하기에는 불완전한 요소가 많아 Industry Foundation Classes(IFC) 스키마 확장을 통한 정보모델링 방법 등 정보모델 생성방법들이 연구되고 있다(Lee *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2017). 이에 따라서 현재 대부분의 철도 프로젝트에서는 BIM의 개념과는 별개로 설계정보를 다룰 수 있는 전용 소프트웨어를 사용하여 도면 생성 등에 활용하고 있다. 그러나 이런 방식은 설계 과정 이후의 시공, 유지관리단계 생애주기 정보관리적 관점에서 이전의 정보를 재사용하기가 힘든 정보의 상호운용성 문제를 야기하는데, 이에 따라 목적하는 바의 소프트웨어에 형식에 맞추어 실무자가 수작업으로 새롭게 모델을 생성하거나 기존 모델을 수정하는 경우가 빈번하게 발생하기 때문에 BIM 모델에 대한 적용성 검토가 이루어지고 있다(Huang *et al.*, 2011).

한편, Lee 등(2006)은 특정 BIM 소프트웨어 하나보다는 BIM 시스템의 환경구축을 강조하고 있는데, 이는 전체 BIM 프로젝트를 진행하는 동안 소프트웨어 간에 정보의 상호운용성이 확보가 된다면 프로젝트 각 단계의 목적에 맞게 그에 특화된 소프트웨어를 적절하게 사용하는 것이 보다 효과적일 수 있다는 개념이다. 본 연구에서는 BIM 시스템의 개념에 따라 철도 선형, 도상, 레일, 침목, 체결부 및 이음부를 범위로 하는 철도 궤도부 객체를 생성하기 위해 필수적인 정보를 선형중심의 정보연계를 통하여 추출하고 이를 통하여 모델을 생성할 수 있는 방안을 제시하였다. 각 요소별로 특화된 소프트웨어에서 모델링을 한 후 통합하는 과정을 거쳤는데, 이때 통합하는 과정에서 각 요소의 정확한 배치를 위한 정보를 추출하기 위하여 본 연구에서 이에 대한 알고리즘을 제시하였다. 제시한 방법을 활용하여 실제 철도 궤도부에 적용하여 그 활용성을 검토하였다.

2. 철도 궤도부 정보모델링의 문제점 도출

BIM은 정보의 교환 및 재사용에서 큰 이점을 보이고 있다. 그러나 이러한 이점을 얻기 위해서는 BIM의 개념에 맞는 모델이 생성되어 있음을 전제하는 것으로 이에 신뢰도 높은 정보모델의 생성이 선행되어야 한다(Azhar, 2011). 신뢰도 높은 모델의 생성을 위해서는 이에 적합한 소프트웨어를 활용하는 것이 가장 효과적인데, 기존의 BAT는 건축물에 특화되어 있는 상황이다. 즉, 철도 구조물은 설계과정에서 생성된 3차원 선형에 따라 구성요소를 생성하고 배치하는 것이 철도 설계의 개념을 반영한 가장 기본적인 형태인데 반해 현재의 BIM tools는 건물의 층(Floor) 중심의 모델링 프로세스를 따른다.

이러한 방식에 있어서 중요하게 드러날 수 있는 한계점은 선형의 형상표현이다. 건물의 경우, 복잡한 3차원 선형은 건물의 외형이나 곡선 단면을 가지는 부재를 나타내는데 주로 활용되는 반면에 토목 구조물은 건물에 비해 구조물 자체의 곡형 형상은 비교적 적으나, 구조물이 배치되는 위치가 복잡한 곡선을 따른다.

본 연구의 대상인 철도 선형의 경우 수평곡선과 수직곡선으로 구분하여 생성하며, 직선 및 원곡선과 더불어 이 둘을 잇는 완화곡선(transition curve)으로 이루어진다. 완화곡선의 경우 주로 3차원 포물선(cubic parabola)을 활용하지만, 경우에 따라서 사인곡선(sinusoidal curve)이나 반파사인곡선(sine half wave) 또는 blossom curve 등도 사용된다. 이러한 형태의 곡선은 BIM tools에서 일반적인 curve 곡선으로 생성이 가능하지만, 그 항목이 사전에 틀에서 정의되어 있지 않아 사용자가 철도 선형의 속성을 포함하는 형태로 구현하기가 쉽지 않다. 반면에 토목 선형을 지원하는 소프트웨어는 직선과 완화곡선 그리고 원곡선을 하나의 객체로 생성할 수 있는 환경을 제공한다. 즉, Autodesk(TM)의 Civil3D와 같은 전형적인 토목 구조물 모델링 소프트웨어는 지형이 생성되어 있는 해당 지역에 설계 변수만을 이용하여 선형을 생성하고, 레일이나 노반 등과 같이 3차원으로 모델링하고자 하는 구조물의 2차원 단면을 참조 단면으로 하여 선형을 따라 Sweeping하여 Solid를 생성하는 방식을 사용하여 모델을 구축할 수 있도록 하고 있다(Autodesk, 2012; Fig. 1 참조).

그러나 이러한 방식은 궤도나 노반 등과 같이 선형에 따른 연속적 구조물의 경우에는 매우 효과적이지만, Fig. 1에 나타나는 바와 같이 침목과 같은 비연속적 객체를 정확하게 표현하는데 한계가 있다. 이러한 결과는 쉽게 예상할 수 있는 바와 같이 실제 구조물처럼 정보를 다룰 수가 없다. 즉, 객체가 통합되어 있어 각 침목별 정보관리가 불가능하고 객체사이의 간격을 인식하지 못하여 물량산출 및 수량산출이 불가능하다. 따라서 실무에서는 개별 침목 객체를 생성하여 수동으로 배치하는데, 이러한 방식은 모델을 생성하는 것 자체도 매우 비효율적인 뿐만

Fig. 1 Railway modeling example by using Civil3D

아니라 설계변경 등에 대응하는 모델의 재사용 역시 거의 불가능하다. 따라서 철도 구조물 정보모델링 시 레일, 노반의 경우는 선형을 중심으로 하는 토목 구조물 모델링 툴이 효과적이며, 침목의 경우에는 개별 객체별로 모델을 생성하는 현재의 BAT가 효과적이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 철도 궤도부를 대상으로 레일 및 노반의 경우는 선형 중심의 모델링 툴(Alignment-centered modeling tools, AMT)을 사용하였고, 침목, 연결부 등과 같은 경우는 BIM tools를 사용하여 모델링하고 이를 통합할 수 있는 알고리즘을 개발하여, 정보관리의 측면에서는 설계정보를 충실히 반영하는 신뢰성 있는 형태로, 3차원 객체 생성의 측면에서는 반복적 수작업을 최소화하고 설계변경에 손쉽게 대응할 수 있는 정보모델링 프로세스를 제시하였다.

3. 철도 궤도부 정보모델링 방안

3.1 철도 선형중심의 정보연계 방안

객체 생성의 관점에서 철도 궤도부의 구성요소는 설계 단계에서 생성된 3차원 선형에 따라 연속적으로 배치되는 요소와, 3차원 선형에 따라 일정한 간격을 두고 배열되는 비연속적 요소로 구분할 수 있다. 연속적 배치로 표현해야 하는 요소에는 레일 및 도상이 있으며, 분리되어 표현되어야 하는 요소로는 침목과 도상과 레일을 체결하는 부분(체결부), 레일과 레일을 잇는 부분(이음부)이 포함된다. 객체의 배치 관점에서는 선형을 참조하여 요소를 그대로 배치시키는 것이 있으며, 철도 운행의 안전성을 위하여 곡선부의 위치 변화를 주는 캔트(cant)에 따라 배치가 달라지는 요소가 있다. 설계 개념을 따르면 전자의 경우에는 도상을 제외한 다른 구조물은 도상의 위치에 종속적이게 된다. 이때 효과적으로 이들을 모델링할 수 있는 방안은 도상을 기준으로 도상 위에 놓이는 침목과 레일에 제약조건

(예를 들어 도상의 윗점과 침목의 아랫점은 동일하다, 침목의 윗점과 레일의 아랫점은 동일하다 등등)을 주어 도상의 위치 변화에 침목과 레일을 대응시키는 것이다. 그러나 이러한 방식은 모든 객체를 하나의 소프트웨어에서 생성할 때 효과를 나타내는 것으로, 본 연구에서는 전술한 바와 같이 하나의 소프트웨어를 사용하는 경우의 한계점으로 인하여 이중 소프트웨어에서 각각의 모델을 생성하여 통합하는 방법을 사용하였다. 이때 선형 중심의 모델링 툴에서 연속적으로 배치되는 객체의 캔트 반영은 직접적으로 가능하기 때문에 침목 등과 같은 비연속적 객체에 대한 형상 및 속성의 생성이 중요한 제어요소이다.

따라서 본 연구에서는 선형 및 선형이 포함하고 있는 속성을 이중 소프트웨어 간의 정보 연결을 위한 중심 매개체로 활용하였는데, 이는 첫째 선형이 철도 궤도 생성의 기본이 되는 base line의 역할을 하며, 둘째로 다른 객체들에 비해 전달해야 하는 형상 정보의 양이 적으며, 셋째로 다른 객체들에 비해 쉽게 이산(discreteness)화가 가능하기 때문이다. 이산화가 필요한 이유는 전술한 바와 같이 철도 선형을 위한 설계변수만으로 BIM tools에서 3차원 선형의 직접적 표현 한계성에 기인한다. 이에 따라 본 연구에서는 이산화된 선형 점을 활용하여 BAT에서 선형을 재생성하여 그 위에 비연속 객체를 재배치하는 방법을 활용하였다. Fig. 2는 전술한 내용을 바탕으로 본 연구에서 제시하는 철도 궤도부 정보모델링을 위한 기본 프로세스를 나타낸다.

Fig. 2와 같이 AMT에서 생성한 이산화된 점을 이용하여 BAT에서 철도 선형을 재생성하기 위하여 본 연구에서는 NURBS (non-uniform rational basis splines) 커브 생성 방법을 적용하였다(Jezyk *et al.*, 2017). 이러한 방식은 선형을 생성할 때 일반화된 식이 필요없기 때문인데, 이산화된 점을 NURBS 커브의 조정점(control point)으로 활용하였다. Fig. 3은 전술한 방법을 활용하여 AMT에서 생성한 철도 선형을 BAT에 구현한 모습을 나타낸 것이다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 각 기호에 대한 설명은 후술하였다.

Fig. 2 Modeling process for non-continuous objects

Fig. 3 Example of alignment information and parameter for non-continuous structure

3.2 비연속 객체의 철도 선형으로의 배치 알고리즘 개발

재생성한 철도 선형을 따라서 배치할 비연속 객체는 설계도를 참조하여 BAT에서 모델링하였다. 이를 철도 선형에 올바르게 배치하기 위해서 본 연구에서는 식 (1)과 같은 물을 정의하였다.

$$L(t, i) := p(t, i) \wedge r(t, i) \quad (1)$$

여기서, $p(t, i)$ 는 선형 위의 t 지점에 비연속 객체 i 를 배치하는 조건함수로, $p(t, i) = c_i \mapsto t_i$ 이다. c_i 는 객체 i 를 대표하는 특정 포인트이고 $\mapsto$ 는 매핑(mapping)을 의미한다. 객체 i 사이의 간격 $w = t_{i+1} \sim t_i$ 로, $\sim$ 는 선형을 따른 거리 차이를 의미한다.

$r(t, i)$ 는 t 지점에서 i 의 회전 조건으로, 회전 조건이 필요한 이유는 비연속 객체를 선형의 진행방향과 수직으로 배치하기 위함으로 v_i 와 등가 연산관계이다. v_i 벡터는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_i = [\theta_1^i; \theta_2^{k(i)}; \theta_3^i] \quad (2)$$

여기서, θ_1 , θ_2 및 θ_3 는 각각 X 축, Y 축 및 Z 축을 기준으로 하는 회전 각(radian)을 나타낸다. 본 연구에서는 선형의 진행방향을 Y 방향으로 두었으며, 지형면과 수직인 방향을 Z 방향으로 설정하였다. 이에 따라 θ_1 는 피치(pitch), θ_2 는 롤(roll), 그리고 θ_3 는 요(yaw)를 의미한다. 이때, θ_1 과 θ_3 는 XZ -평면을 기준으로 선형의 변화에 따르게 된다.

따라서 θ_1 과 θ_3 은 식 (3)과 같이 산정할 수 있다.

$$\theta_1' = \cos^{-1} \frac{d_t \cdot u_3}{|d_t|} \quad (3)$$

$$\text{if } d_t(3) < 0, \text{ then } \theta_1 = -\theta_1'$$

$$\text{else } \theta_1 = \theta_1'$$

여기서, d_t 는 선형 위 t 지점에서의 방향벡터이며, u 는 단위벡터이다. θ_3 은 식 (3)에서 $1 \mapsto 3$, $3 \mapsto 1$ 로 산정할 수 있다.

θ_2 는 진행방향을 축으로 회전하는 값이기 때문에 철도 선형에서의 캔트와 동일한 의미를 가진다. 즉, 이 값은 선형의 곡률 반경에 따라 별도의 식으로 산출되며, 본 연구에서는 AMT에서 생성한 값을 전달받아서 BAT에서 활용하였다. 이때, AMT에서는 선형식이 변화되는 지점에서만 캔트 값을 생성하기 때문에 본 연구에서는 다음과 같이 $t_{k(i)}$ 와 c_i 사이의 거리 차이를 이용하여 θ_2 값을 계산하는 변환식을 산정하여 θ_2 로 활용하였다.

$$\Delta_2^{k(i)'} = \frac{\delta^{k(i)+1} - \delta^{k(i)}}{t_{k(i)+1} - t_{k(i)}} \times (c_i \sim t_{k(i)}) + \delta^{k(i)} \quad (4)$$

$$\text{if } \theta_1^{i+1} - \theta_1^i < 0, \text{ then } \Delta_2^{k(i)} = -\Delta_2^{k(i)'}$$

$$\text{else } \Delta_2^{k(i)} = \Delta_2^{k(i)'}$$

$$\theta_2^{k(i)} = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta_2^{k(i)}}{m_i} \right)$$

여기서는 객체 i 가 속하는 선형에서 캔트 변화가 시작되는 지점을 의미한다. 즉, k 는 선형식이 변하는 지점에서 그 값이 변한다. $\delta^{k(i)}$ 는 i 객체에 해당하는 k 지점에서의 캔트 값을 의미하는 것으로, ATM에서 연산된 결과이다. m_i 는 i 객체 위치에서의 레일 중심 간의 거리를 나타낸다.

결과적으로 본 연구에서는 AMT에서 생성한 선형정보를 바탕으로 비연속 객체가 놓일 위치를 선정하여 배치한 후 $(p(t, i))$, 선형과 캔트의 정보를 이용하여 회전값(v_i)을 산정하여 그 객체에 적용하는 방법을 제시하였다.

4. 선형정보를 반영한 철도 궤도부 정보모델 생성

본 연구에서 제시한 알고리즘을 적용하여 실제 철도 시설물의 궤도부 모델을 생성하였다. 대상시설물은 한국철도시설공단이 충청북도 오송군에 철도중합시험선로로 활용하기 위해 실제로 시공중에 있는 것으로, 본 과업에서는 전체 길이 12.989km 중 직선, 완곡곡선 및 원곡선을 모두 포함하고 있는 8km 지점에서 11km 지점 사이의 구역으로 정하였다. 선택 구간 내에서의 완곡곡선은 3차원 포물선이 적용되어 있으며, 캔트는 설계속도 250km/h를 기준으로 산정되었다.

본 연구에서 철도 선형, 레일 및 노반 생성을 위한 AMT는 Autodesk(TM)의 Civil3D를 활용하였다. 즉, 해당 지역의 수치지도를 통해 Civil3D에서 지형의 surface 모델을 생성하고, 설계도서를 참조하여 철도 선형을 생성하였다. 연속 구조물인 레일과 도상의 모델링을 위해 2차원 횡단면을 생성하였으며, 이를 선형을 따라 sweeping하여 3차원 형상을 생성하였다. Civil3D의 기본 기능에서 포함하고 있지 않은 정보인 식별자, 단면정보 등을 다루기 위해 본 연구에서는 Civil3D의 'property data'의 기능을 활용하였다.

비연속 구조물의 생성, 배치 등을 위한 BAT로 본 연구에서는 Autodesk(TM)의 Revit을 사용하였다. Revit에서 침목 객체, 체결구 객체를 반복적, 지속적으로 사용하기 위해 객체 라이브러리로 사전에 생성해 두었고, 이 객체들에 본 연구에서 제시한 알고리즘을 반영할 수 있도록 하였다. Revit의 기본 기능에 포함되어 있지 않은 식별자, 캔트정보 등 정보를 다루기 위해서

Revit의 'property sets' 기능을 활용하였다.

Civil3D에서 데이터를 불러오고, 제시한 알고리즘을 적용하여 데이터를 연산하며, 연산한 데이터를 Revit에 반영하기 위하여 본 연구에서는 Autodesk(TM) Dynamo Studio를 활용하였다. Dynamo Studio는 텍스트가 아니라 활용변수 등이 포함되어 있는 다이어그램 생성 등을 통해 결과를 도출해 낼 수 있는 Visual Programming Environment를 제공하는 툴로, Revit의 Application Programming Interface(API)에 접근이 가능해 변수의 연산, 제약, 변형 등이 손쉽게 이루어질 수 있다.

Fig. 4는 Civil3D에서 연속 구조물에 대한 모델을 생성한 것이다. 설계조건을 바탕으로 생성된 선형정보를 이산화하기 위해 선형모델에서 위치정보를 추출할 점에 식별자를 지정하였다. 침목의 캔트에 따른 위치변경을 고려하여 침목의 가로 양 끝점을 'Sleeper_id'로 설정하였다(Fig. 4(a) 참조). Fig. 4(b)

(a) Generated model and cross section

Point (m)	X	Y	Z	Code
00.00				
	223,630.57	451,991.68	166.1003	Sleeper_id
	223,632.03	451,993.84	166.1003	Sleeper_id
01.00				
	223,629.75	451,992.24	166.1016	Sleeper_id
	223,631.21	451,994.40	166.1016	Sleeper_id
⋮				
2998.00				
	222,928.29	451,605.97	146.879	Sleeper_id
	222,926.23	451,604.38	146.879	Sleeper_id
2999.00				
	222,928.90	451,605.17	146.879	Sleeper_id
	222,926.83	451,603.59	146.879	Sleeper_id

(b) Extraction of point data with 'Sleeper_id'

Fig. 4 Information model of osong test-line model by using Civil3D and discretized alignment information

Fig. 5 Algorithms for non-continuous structures in dynamo studio

Fig. 6 Example of non-continuous structure models and rotation parameter

(a) Integrated model by using navisworks

Category

Element ID

Property

Value

Category

Element

Property

cant

Category

Element

Property

theta1

Category

Element

Property

theta2

Category

Element

Property

theta3

Category

Element

Property

Interval Length

Category

Element

Property

Volume

Category

Element

Property

cant

Element ID	Value	Element cant	Element theta1	Element theta2	Element theta3	Element Interval Length	Element Volume
132436	0.000 m	0.01°	0.00°	-143.68°	0.700 m	0.089 m³	
132437	0.001 m	0.23°	0.03°	-143.68°	0.700 m	0.089 m³	
132438	0.002 m	0.23°	0.06°	-143.68°	0.700 m	0.089 m³	
132439	0.002 m	0.01°	0.09°	-143.69°	0.700 m	0.089 m³	
132440	0.003 m	-0.21°	0.11°	-143.69°	0.700 m	0.089 m³	
132441	0.004 m	0.23°	0.14°	-143.70°	0.700 m	0.089 m³	
132442	0.005 m	0.01°	0.17°	-143.71°	0.700 m	0.089 m³	
132443	0.005 m	0.23°	0.20°	-143.71°	0.700 m	0.089 m³	
132444	0.006 m	-0.21°	0.23°	-143.73°	0.700 m	0.089 m³	
132445	0.007 m	0.01°	0.26°	-143.74°	0.700 m	0.089 m³	
132446	0.008 m	-0.21°	0.29°	-143.74°	0.700 m	0.089 m³	
132447	0.008 m	-0.21°	0.32°	-143.76°	0.700 m	0.089 m³	
132448	0.009 m	0.23°	0.34°	-143.79°	0.700 m	0.089 m³	
132449	0.010 m	0.01°	0.37°	-143.82°	0.700 m	0.089 m³	
132450	0.011 m	-0.21°	0.40°	-143.82°	0.700 m	0.089 m³	
132451	0.011 m	-0.21°	0.43°	-143.84°	0.700 m	0.089 m³	
132452	0.012 m	0.01°	0.46°	-143.87°	0.700 m	0.089 m³	

(b) Extraction of properties of sleepers through integrated model

Fig. 7 Integrated model of railway track and extraction of object information

와 같이 생성된 Swept solid의 점 데이터 중 'Sleeper_id'의 3차원 좌표를 추출하여 이산화된 선형정보를 생성하였다. 점들의 추출간격은 1m로 설정하였고 생성된 선형의 길이가 2,999m이기 때문에 6,000개의 점 데이터가 생성되었다.

Fig. 5는 본 연구에서 제시한 알고리즘을 Dynamo Studio를 통해 구현한 모습을 나타낸 것이다. Alignment 부분은 이산

화된 점의 좌표로부터 RMT에서 선형을 생성하는 방법을 구현하고 Structure Location & Vector는 3.2절의 식 (1)과 식 (2), Structure Rotation는 식 (3), Cant Information은 식 (4)을 구현한 것이다. Dynamo는 사용자의 편의를 위하여 각각의 함수를 의미하는 인터페이스들이 좌측에서 값을 입력 받고 우측으로 결과값을 출력한다. 생성된 알고리즘은 Fig.

5(a)에서 시작하여 Fig. 5(b)에서 최종모델을 생성한다. Alignment부분에서는 생성된 6000개의 점 데이터를 바탕으로 침목의 가로 끝점의 중점을 계산하여 2.999km 길이의 선형을 생성하였으며 Structure Location & Vector부분에서 설정된 간격에 따라 4,285개의 침목위치가 계산되었고 이를 바탕으로 4,285개의 X축, Z축 회전 정보에 대한 벡터가 생성되었다. Cant Information부분에서 캔트임계점 정보와 위치정보를 이용하여 4,285개의 Y축 회전 정보에 대한 벡터가 생성되었다. 마지막으로 Structure Rotation부분에서 계산된 위치에 형상모델이 생성되고, 4285개의 침목모델들의 회전파라미터에 회전 정보에 대한 벡터들을 입력하여 회전 정보가 반영된 침목 모델이 생성되었다.

Fig. 6은 Dynamo studio를 이용하여 구현한 알고리즘을 실행하여 생성한 침목모델과 기존침목 모델을 표현하였다. 속성 정보에서 Interval length는 3.2절의 w , cant는 3.2절의 $\Delta_2^{k(i)}$, theta1, theta2 및 theta3는 각각 3.2절에서 θ_1 , θ_2 및 θ_3 을 반영하고 있다. 해당 지점에서의 캔트값이 254.0로 계산되었으며 이를 통한 theta2는 9.75°로 계산되었다. 선형의 벡터에 수직으로 표현되기 위해 theta1, theta3가 각각 0.08°, 171.77°로 계산되어 있다. Fig. 6(a)와 (b)는 실제 형상모델의 회전값과 비교하기 위해 XZ 평면, XY 평면에서 X축과 각도를 측정한 것이다. XZ 평면, XY 평면에서 각도가 9.75°, 8.23°로 전술하였던 회전파라미터 theta2 및 theta3와 동일함을 확인할 수 있다.

Fig. 7(a)는 AMT와 BAT를 이용하여 생성된 모델을 Naviswork에서 통합한 모델이다. 다른 소프트웨어에서 생성된 모델이지만 선형정보를 연계하여 생성되었기 때문에 연속 구조물인 도상과 레일, 비연속적 구조물인 침목과 체결부가 접합되어 있다. 생성된 모델을 이용하여 미리 설정한 cant, theta1 등 속성정보들을 Fig. 7(b)와 같이 추출하였다. 기존의 Swept solid 생성방식과 다르게 침목의 모델이 분리되어 생성되었기 때문에 4,285개의 침목들에 대한 속성정보가 개별적으로 추출됨을 확인할 수 있다. 예를 들어 ID가 '132437' 침목의 경우, theta1, theta2 및 theta3가 0.23°, 0.03°, -143.68°인 회전파라미터를 가지고 있고 침목의 간격이 0.7m이고 물량이 0.089m³인 침목모델이다. 또한 생성된 4,285개의 침목의 총 물량이 381.365m³으로 계산되었다. 이를 통하여 제시한 방법론을 통하여 생성된 철도 궤도부 정보모델을 바탕으로 철도 궤도부의 연속구조물 뿐만 아니라 비연속 구조물의 물량산출 및 속성정보 관리가 가능함을 확인하였다.

5. 결 론

선형중심의 구조물을 포함하는 토목구조물 특성상 기존 모델링 소프트웨어를 이용하여 정보모델을 생성하기 어렵다. 특히 궤도모델 생성과정에서 선형제작을 위하여 선형 소프트웨어를 이용하면 선형을 따라 Swept Solid 방식을 사용하여 생성하기 때문에 객체가 비연속적으로 표현되어야 하는 침목과 같은 객체의 표현이 어렵다.

본 연구에서는 철도 시설물 중 궤도부의 정보모델 생성을 위하여 철도궤도부의 객체를 연속 구조물과 비연속 구조물로 분류하고 이에 따라 정보모델을 생성하는 방법을 제시하였다. 이를 위하여 연속구조물은 AMT에서 지형정보, 선형정보를 생성하고 이를 통한 Swept solid 방식을 사용하여 생성하였다. 비연속 구조물을 생성하기 위해 AMT로 생성한 선형정보를 이산화하여 점 데이터로 변환하고 이를 BAT로 전달하여 선형 정보를 생성하였으며, 선형정보를 바탕으로 비연속 구조물의 정보모델을 생성하는 방안을 제시하였다. 이를 위해 비연속적 구조물을 배치하기 위하여 간격에 따른 위치를 계산하고, 위치에 따른 회전값을 계산하는 알고리즘을 제시하였다. 제시한 알고리즘을 이용하여 대상시설물의 일부분을 모델링하고, 식별자를 통하여 비연속 구조물의 물량산출이 가능함을 확인하였다.

설계단계에서 생성되는 정보를 관리하고 유지관리단계에서 활용하기 위해서는 정보관리가 필요한 요소들이 독립적으로 표현된 모델을 생성하는 것이 필연적이다. 본 연구에서 제시한 방법은 선형적인 정보가 반영되는 토목구조물을 모델링하기 위해 필요한 데이터를 공유하고 이를 이용하여 모델링하는 방법이다. 이러한 연구는 철도 궤도부 뿐만 아니라 도로, 터널 등 선형을 반영하는 토목구조물의 정보모델 생성과정에 도움을 주며, 필요한 정보를 이용하여 자동으로 모델을 생성하여 모델 생성과정을 단축시킴으로써 토목구조물의 정보모델 활용성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

References

- Autodesk (2012) User's Guide, Autodesk
- Azhar, S. (2011) Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, *Leadersh. & Manag. Eng.*, 11(3), pp.241~252.
- Ballantyne, B. (2012) Driving BIM Forward, NCE

- Infrastr.*, pp.32~35.
- China Railway BIM Alliance(CRBIM)** (2015) Railway BIM Data Standard Version 1.0, *China Railway BIM Alliance*.
- Huang, S.F., Chen, C.S., Dzeng, R.J.** (2011) Design of Track Alignment using Building Information Modeling, *J. Transp. Eng.*, 137(11), pp.823~830.
- Jezyk, M., Autodesk, ModelLab** (2017) The Dynamo Primer. *GitBook*.
- Lee, G., Sacks, R., Eastman, C.M.** (2006) Specifying Parametric Building Object Behavior (BOB) for a Building Information Modeling System, *Autom. Constr.*, 15(6), pp.758~776.
- Lee, S.-H., Park, S. I., Park, K.-Y.** (2014) IFC Property Set-based Approach for Generating Semantic Information of Steel Box Girder Bridge Components, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 34(2), pp.687~697.
- 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(1), pp.77~86.
- MTR** (2017) Hong Kong Metro MTR Sustainability Report 2016.
- Qatar Rail** (2014) Qatar Rail Building Information Modelling Guidelines - MCR Overview.

요 지

건축분야에서 BIM이 널리 사용되면서, 토목구조물에 BIM을 적용하려는 노력이 최근 급속히 증가하고 있다. 그러나 기존 상용 BIM 소프트웨어의 기능은 건물 등의 건축물 중심으로 특화되어 있기 때문에 선형 중심의 토목구조물에 적용하기에 많은 어려움이 따른다. 본 연구에서는 철도 궤도부의 객체 정보를 관리하기 위하여 선형을 다룰 수 있는 소프트웨어와 BIM 소프트웨어간의 정보공유를 통해 객체가 반영된 정보모델 생성방법을 제시하였다. 철도 궤도부 모델링은 궤도부 구조물을 연속 구조물과 비연속 구조물로 분류한 후, 연속 구조물을 선형 소프트웨어에서 생성하고, 이후 공유된 선형정보를 이용하여 비연속 구조물의 정보모델을 생성하는 절차로 이루어진다. 이 때 비연속 구조물은 BIM 소프트웨어에 전달한 이산화된 궤도 선형 및 객체 정보를 바탕으로 비연속 구조물 각각의 위치, 회전 정보를 계산하는 알고리즘을 통하여 생성된다. 본 연구에서 제시한 방법을 오송 철도종합시험선로에 적용하여 그 실용성을 검증하였으며, 생성된 정보모델을 기반으로 명확한 객체 식별과 속성정보 추출 및 객체별 물량산출이 가능함을 확인하였다.

핵심용어 : 철도 궤도부, Building Information Modeling(BIM), 철도 선형, 정보연계