

# 선형기반 시설물을 위한 Flexible BIM 시스템의 설계

이승수\* · 이민주\*\* · 정종윤\*\*\* · 서종원\*\*\*\*

Lee, Seung Soo\* · Lee, Min Joo\*\* · Jeong, Jong Yoon\*\*\* · Seo, Jong Won\*\*\*\*

## Design of Flexible BIM System for Alignment-Based Facility

### ABSTRACT

Despite the significant benefits of BIM (Building Information Modeling), it is not being vitalized for the facilities that are designed based on the horizontal and vertical alignments because of the lack of flexibility in manipulating surface models generated based on alignments. Alignment-based design produces a surface model in one piece through the definition of the typical cross-section along the alignment. Therefore, linking these alignment-based 3D surface models, that are not modularized and difficult to partition, to the required attribute information is very difficult. This paper presents design of a flexible BIM technology suitable for the alignment-based civil infrastructure by providing the partitioning functionality for surface models, the contents library for cross-sectional design components, and the attribute information along with the critical functionalities needed for the design, construction and maintenance of alignment-based civil infrastructure.

**Key words** : BIM, Civil infrastructure, Alignment-based design, 3D surface model

### 초 록

최근 건설 산업은 BIM (Building Information Modeling)의 도입으로 인하여 많은 혜택을 얻고 있다. 하지만 도로나 철도와 같은 선형기반 설계공종의 경우는 구간별 표준횡단면의 정의와 선형의 배치를 통한 서피스(surface)모델을 생성함으로써 3차원 설계가 이루어지나, 현재 설계 소프트웨어에서 제공되는 횡단면 설계요소가 제한적이거나 국내실정에 맞지 않은 점이 많고, 생성된 서피스모델은 선형구간의 시·종점에 대해 일체화 되어있어 공정, 물량, 단가 등의 BIM 소요정보와 세분화된 연계를 위해서는 모델 수정 등의 많은 후속작업이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 3D 선형기반설계가 적용되는 사회기반시설물을 대상으로 3차원 모델의 분절 및 속성정보의 운용이 자유로운 '선형기반 인프라시설물을 위한 Flexible BIM 시스템'의 설계를 통하여 BIM의 활용성을 극대화 하는 것을 목표로 한다.

**검색어** : BIM, 토목시설물, 선형설계, 3차원 서피스모델

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

BIM (Building Information Modeling)은 설계정보의 3D 시각화뿐만 아니라, 공정, 설계, 관리 등 건설공사의 모든 생애주기의 정보를 체계화하여 건설과정을 자동화하는 것이 제일 큰 장점이며, 3차원 설계의 효율성 확대와 함께 빠르게 보급되고 있다. 그러나 3D 선형기반설계기법을 통한 모델링은 BIM을 구축하는데 있어 제약요소가 상당히 많이 존재한다. 3D 선형기반설계를 통해 생성된

\* 한양대학교 건설환경공학과 공학석사, 한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실 석사후연구원 (sslee@kict.re.kr)

\*\* 정희원 · 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 (dreaminglisa3@gmail.com)

\*\*\* 한양대학교 공학대학원 건설관리학과 공학석사, (주)나우산업 대표이사 (jeong468@hanmail.net)

\*\*\*\* 정희원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 정교수, 공학박사 (Corresponding Author · Hanyang University · jseo@hanyang.ac.kr)

Received December 9, 2013/ revised January 7, 2014/ accepted February 17, 2014

3D 서피스모델(surface model)<sup>1)</sup>은 배치된 선형에 따라 일체화된 객체로 되어 있기 때문에 건축시설물, 플랜트 및 교량과 같이 부채별 또는 공간별 객체단위로 공정, 가격, 물량 등의 정보와 세부적인 연계가 불가능하여 정보를 모델링 할 수 없다. 따라서 공사 일정별로 진도상태를 미리 확인할 수 있는 4D기반 Pre-Construction기능 이외에도 공사참여자간 효과적 의사결정도구로서의 역할, 공구별 공정 및 단가관리의 효율화, 공정관리 오류의 시각적 확인, 공중 및 부채별 간섭체크 등 정보의 활용이 불가능하게 되므로 BIM으로 충분한 역할을 할 수 없다.

선형기반설계기법을 통해 생성된 일체화된 서피스모델을 분할하여 자유롭게 운용하기 위해서는 3차원 지형이나 설계 객체를 분할하여 운용하기 위한 그래픽 알고리즘을 개발하고, 기존의 BIM 설계 어플리케이션(application)을 기반으로 커스터마이징(customize)<sup>2)</sup>가 수행되어야 한다. 이와 같은 대표적인 국내연구를 살펴보면, Kim and Oak (2007)는 단지형 토공지형을 3차원 옥트리(octree)<sup>3)</sup> 구조로 분할하여 각 객체별 지반의 종류, 좌표, 토질계수, 지장물의 유무 등을 입력하고, 그 정보를 활용하여 굴삭기의 플랫폼 이동모델을 산출하는데 활용하였다. Lee et al. (2008)은 레이저스캐너로부터 획득된 토공사의 대상이 되는 3D 지형 서피스모델을 굴삭로봇의 작업단위 계획생성 및 작업내용에 대한 지형업데이트를 위하여 수평 및 수직으로 모델을 분할 및 정보화 할 수 있는 기술을 개발하여 활용하였다. 국외의 경우를 살펴보면 Alan and Whitaker (1999)는 2D 이미지를 분할하는데 활용되는 ‘Watershed’ 알고리즘을 3D 서피스 메쉬(mesh)의 정점(vertex)곡률을 응용하여 절단면을 정의함으로써 모델을 분할하는 성과를 거두었다. 그리고 Hao et al. (2010)은 3D 모델을 1축을 중심으로 2등분할 때 절단된 단면의 형상 및 속성을 유지하기 위하여 비슷한 형상의 면을 위치 값의 지정과 함께 오프셋(offset)하여 잘려진 부분을 복원하는데 성공하였다. Yang et al. (2010)은 터널을 3차원으로 모델링하고 공정, 자원, 비용 등과 세부적으로 연계한 시물레이션을 구현하기 위하여 ‘Tunnel Section’이라 불리는 1미터 단위의 터널모델을 구성하는 하위 컴포넌트를 모델링하고 이를 연결하여 프로세스 시물레이션

을 수행하였다. 이와 같은 연구는 3차원 설계모델을 분절하거나 재구성하기 위한 노력으로서 시각적 형상화를 위한 연구가 진행되었을 뿐, 3차원으로 재구성된 모델이 BIM과 같이 정보화를 통해 소요정보가 연계되기 위해서는 재생성된 모델들이 자동적으로 객체화되어 모델별 공정, 비용, 설계규격 등 속성정보가 부여되어야 할 것이다. 또한, 서피스모델은 점(point) 데이터를 기반으로 선과 면정보가 생성되므로, 모델의 분절이나 면의 생성을 위해서는 모델을 재구성하기 위한 점 데이터를 생성할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다. 마지막으로, 알고리즘의 모듈구현은 사용자의 편의성과 호환성을 만족하도록 상용화된 범용 BIM 툴(tool)의 기능을 바탕으로 응용프로그램인터페이스(application program interface; 이하 API) 기술을 활용하여 개발되어야 할 것이다.

도로나 철도시스템과 같은 대부분의 토목시설물은 동일하고 연속된 단면설계내용을 가지는 일정 단위구간에서 하나의 연장된 서피스모델이 객체화되므로 BIM 정보화 또한, 설계된 단위구간수준에서만 정보가 운용될 수밖에 없다. 따라서 BIM 기술을 활용하여 일(day)단위, 나아가 실시간으로 설계된 공정정보에 따른 4D기반 진도시각화관리를 수행하고, 비용, 물량, 자원 등의 공사정보를 보다 세분화된 설계객체단위로 정보를 연계하는 등, 선형기반 BIM 모델을 보다 효과적으로 운용하기 위해서는 사용자의 정보화요구수준에 따라 설계객체의 분할이 유연하게 수행될 수 있는 시스템의 개발은 반드시 수행되어야 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 3D 객체기반 설계공중뿐만 아니라 선형 토목시설물을 포함한 건설 산업의 모든 공중에 정보의 활용성 및 확장성이 유연한 BIM이 적용될 수 있도록 ‘Flexible BIM 시스템’ 개발을 위한 설계를 수행하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위

선형설계의 편의를 위해 도로나 철도시스템 등 여러 공중의 BIM 툴 적용을 위한 연구를 수행하는 것이 좋으나 본 연구에서는 공중의 전문성을 위하여 연구의 범위를 도로부문으로 한정하여 ‘횡단면 설계요소 데이터베이스 구축’ 및 ‘서피스모델 분절 객체화 모듈의 설계’를 수행하며 시연을 위한 BIM 툴은 도로 및 철도 등 선형기반 토목시설물의 대표적 BIM 설계 소프트웨어인 오토데스크사(Autodesk Inc)의 ‘Civil 3D’로 정한다.

## 2. Flexible BIM 시스템의 추진전략 및 설계방법

본 연구는 선형설계공중에 대한 BIM 적용 및 활성화를 위한 설계지원 데이터베이스 및 기술적 프로토타입(prototype)을 제공할 수 있도록 Fig. 1과 같은 프로세스를 통해 연구가 수행되며

1) 서피스모델(surface model): 컴퓨터 그래픽스에 있어서 3차원의 물체를 2차원 표면의 구성요소인 면 표현으로 물체를 표현하는 모델이며, 면을 뜻매김하기 위해 각 면의 결합관계가 확립되어 있음(Telecommunications Technology Association, 2007).  
 2) 커스터마이징(customize): 프로그래밍 기술을 통해 빈번히 사용하는 기능을 특정의 키, 메뉴 툴바에 할당하여 사용자가 스스로 사용하기 쉬운 환경을 응용하는 것을 뜻함(Telecommunications Technology Association, 2007).  
 3) 옥트리(octree): 옥트리는 3차원 공간에서 물체를 표현하기 위한 자료 구조로써, 8개의 노드를 가질 수 있는 트리구조를 사용함. 이는 3차원 공간에서 물체들을 효과적으로 표현하기 위해 사용되고 있음(Kim, C., 2010).

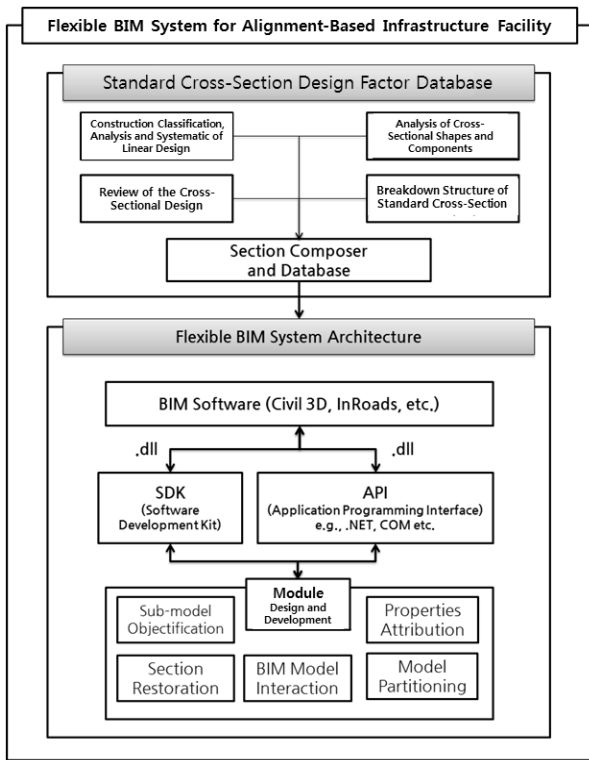


Fig. 1. Development of 'Flexible BIM System' for Alignment-based Infrastructure Facility

크게 표준화 횡단면 설계요소 데이터베이스 구축과 서피스모델 분절 객체화 모듈로 나눌 수 있다.

### 2.1 횡단면 설계요소 데이터베이스 구축

3D 선형기반설계에서 요구되는 표준횡단면의 구성에 있어서 정의되어야 할 횡단면 설계요소에 대한 공중, 공법, 요소 및 형상별로 체계화된 BS (Breakdown Structure)를 구축하고, 이를 기반으로 표준화 '횡단면 설계요소 데이터베이스'를 구축하는 것이다. 이것은 시스템 개발로서의 의미보다 선형설계공중의 BIM 구축에 있어 3D 모델링 및 관련속성정보를 위한 기초 데이터베이스를 획득하여 설계단계의 편의성을 지원하는 과정이라 할 수 있다.

### 2.2 Surface모델 분절객체화 모듈 개발

본 모듈의 기능은 선형설계공중이 BIM으로 활성화되지 못하는 가장 큰 기술적 문제점인 일체화된 서피스모델을 요구되는 수준에 따라 분절하여 생성된 객체별 속성의 정의와 함께 공경, 물량, 단가 등 세부 정보와 연계하도록 하는 통합시스템을 구축하는 것이다. 이는 본 연구의 가장 핵심적인 연구목표로서 3D 선형설계 지원 소프트웨어를 기반으로 '서피스모델 분절객체화 모듈'을 API를 통해 통합하여 시스템이 개발된다. '서피스모델 분절객체화

모듈'의 통합은 소요명령기능에 따라 데이터교환코드를 정의하고 인터페이스를 구축하여 커스터마이징하면 범용 3D 선형설계지원 소프트웨어와 통합이 가능하며, 본 연구에서는 통합된 시스템의 성능을 검증하기 위하여 Autodesk사의 Civil 3D를 대상으로 커스터마이징할 것이다. '서피스모델 분절객체화 모듈'은 크게 다섯 가지의 세부모듈로 구성되며 관련 내용은 4절에서 기술하도록 한다.

## 3. 표준화 횡단면 설계요소 데이터베이스 설계

### 3.1 선형설계 공사공중별 BS(Breakdown Structure) 구축

표준화된 횡단면 설계요소 데이터베이스 구축을 위해선 국내에서 선형설계가 적용되는 도로공사의 공중에 대한 파악이 필요하며 공사별 횡단면도에 대한 파악 및 그에 따른 구성요소에 이해가 필요하다. 이를 해결하기 위하여 도로설계기준 및 도로설계편람을 참고(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012)하여 공중별 설계기준 및 구성요소에 대한 파악을 수행하여 세부공중별 체계를 작성하였으며, 2006년 건설교통부에서 지정한 건설정보분류체계 적용기준의 부위별 분류내용 중 '포장 및 도로시설부위'를 참조(Ministry of Construction & Transportation, 2006)하여 설계구성요소에 따라 작성한 BS (Breakdown Structure)를 다음 Fig. 2와 같이 체계화하였다.

도로공사의 공중별 분류에서는 대부분의 토목공사 특징과 같이 토공사와 관련된 세부공중이 다수 분류되었으며, 이밖에 배수 및 포장공사가 주요 세부공중으로 분류되었다. 설계요소별 분류한 내용에서는 노반관련 형성층(roadbed of pavement)과 포장층(pavement), 배수파이프 및 관련 구조물, 안전시설물로 구분되었다. 형성층과 포장층, 그리고 일부 배수구조물에서의 측구와 같은 세부 설계요소는 표준횡단면을 구간별로 작성하여 선형연장에 따라 설계하는 선형기반설계를 수행하고, 집수정, 안전시설물, 맨홀 등 기타 분류된 내용은 설계객체를 모델링하고 속성을 부여하여 배치하는 형태로 설계된다.

### 3.2 설계대상의 형상 및 관계 정의

2D CAD로 작성된 표준횡단면도를 Civil 3D로 구현하기 위해서는 여러 종류의 서브어셈블리(Sub-assembly)<sup>4)</sup>가 필요하다. 도로의 표준횡단면도와 같은 경우에도 아래 제시된 Fig. 3와 같이 최소 4~10개의 서브어셈블리의 결합으로 이루어져있다. Fig. 3에 포함된 서브어셈블리는 차선, 사면, 길어깨, 맹암거, L형 측구, 트랜치 등이다.

4) 서브어셈블리(Sub-Assembly): Autodesk사의 Civil 3D에서 사용하는 용어로서, 횡단면 구성요소를 뜻함.

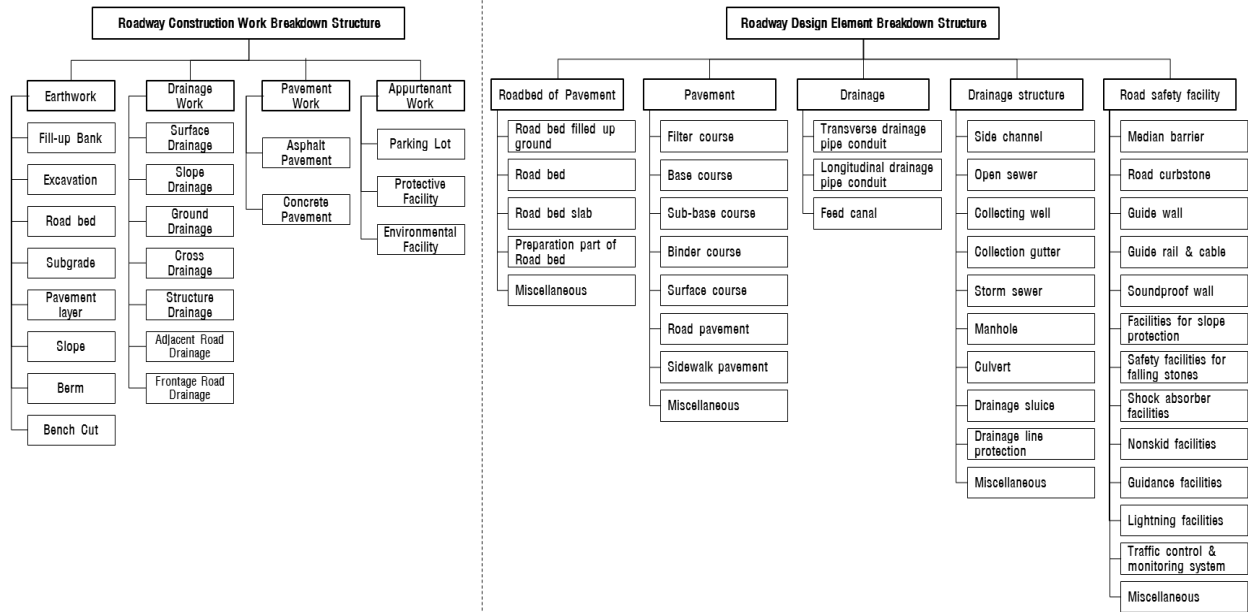


Fig. 2. Breakdown Structure(BS) by Construction Work and Element in Roadway Projects

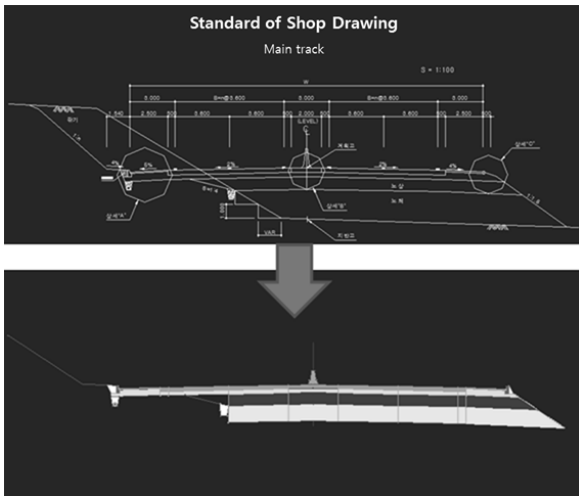


Fig. 3. Civil 3D Assembly of Reference to Roadway Cross-section View

모든 서브어셈블리는 각각의 포인트(point), 연결(link), 형상(shape) 코드로 이루어져 있으며 포인트 코드는 코리더(corridor) 모델링 횡단구성요소에서 점구성요소로 표시와 동작을 정의하며, 연결 코드는 도면의 지표면 유형을 정의하며, 형상 코드는 면적을 추출하여 물량산출에 사용된다. 이와 같은 각 코드는 .NET을

5) .NET은 Microsoft가 개발한 프로그래밍 환경으로 이를 이용하여 VB.NET, C# 등의 프로그래밍 언어를 Civil3D와 상호작용하는 응용 프로그램을 작성할 수 있음. NET은 Windows 및 Web 기반의 응용프

이용하여 작성할 수 있으며 서로 다른 서브어셈블리를 부착하기 위해서는 포인트와 연결 코드를 사용하여 두 점을 자동으로 연결한다. Point, Link, Shape의 부착을 위해 선택적으로 연결된 코드는 코리더 모델링에 표시되는 동작을 구성한다.

### 3.3 데이터베이스 구축을 위한 작업방법론

현 Civil 3D 내에서 연동되는 서브어셈블리를 제작하기 위해서는 “Autodesk Sub-Assembly Composer”를 이용하여 제작할 수 있다. 이는 어려운 API 함수식이 필요 없이 서브어셈블리를 제작 및 수정할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 또한 Civil 3D의 “Assembly Tool Palette”라는 기능창에서 연동이 가능한 PKT 파일로 저장해주어 사용에 유용하다.

Composer을 이용한 서브어셈블리 작성 과정은 먼저 점을 정의한 후, 점 사이의 링크를 정의한다. 그 후 링크로 둘러싸인 형상을 정의하며, 필요에 의해 곡선, 모각기, 교차점과 같은 지오메트릭 요소를 정의한다.

### 3.4 횡단면기반 시설물 설계 및 데이터베이스 구축

Civil 3D의 경우, 기본적으로 제공되는 횡단면 설계요소 콘텐츠 라이브러리(contents library)는 도로포장, 길어깨, 중앙분리대, 배수로, 트렌치파이프, 옹벽, 도로의 기본형태의 박스거더교 등이 제공되고 있다. 하지만 Civil 3D에서 제공한 중앙분리대, 옹벽,

로그래밍 개발이 용이하게 하는 클래스 라이브러리를 제공한다.



Fig. 4. Sub-assembly Production Process of Using "Autodesk Sub-Assembly Composer"

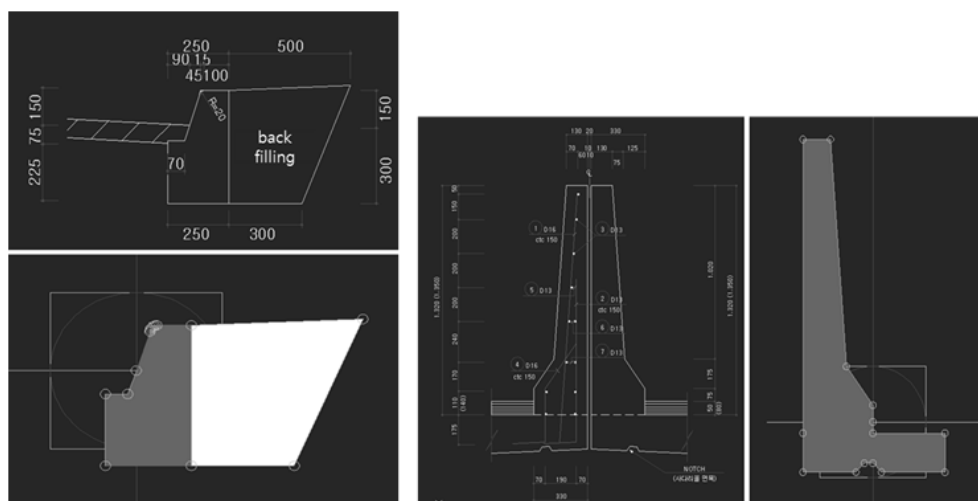


Fig. 5. Sub-assembly of L-shaped Ditch of Road Drainage Element(Left) and Separated Median of Structure Element(Right)

배수로 등은 우리나라의 실정과 맞지 않거나 지원되지 않는 횡단시설 물이 많다. 2012년 한국 도로공사 표준도를 참고(Korea Expressway Corporation, 2012)하여 분류별 표준 횡단면도를 분석한 결과, 토공 11개, 배수공 59개, 구조물공 14개, 포장공 87개, 부대공 115개, 총 286개의 서브어셈블리가 필요함을 알 수 있었다. 토공 및 포장공과 같은 경우는 현재 Civil 3D 내에 서브어셈블리가 구축되어있으며 배수관, 집수정 등의 배수공은 "Pipe Network"기

능을 통해 설계되므로 서브어셈블리가 따로 필요하지 않다. 이외의 한국형 서브어셈블리 확립을 위해 필요한 배수공 15개, 구조물공 8개, 부대공 13개, 총 36개의 파라메트릭 기반 서브어셈블리를 제작하였으며 제작한 공종별 서브어셈블리에 대한 예시는 다음 Fig. 5와 같다.

Fig. 6에 제시된 서브어셈블리는 2012년 한국도로공사 표준도의 배수공 도면번호 2.001에 해당하는 CAD 도면(上)과 이를 기반

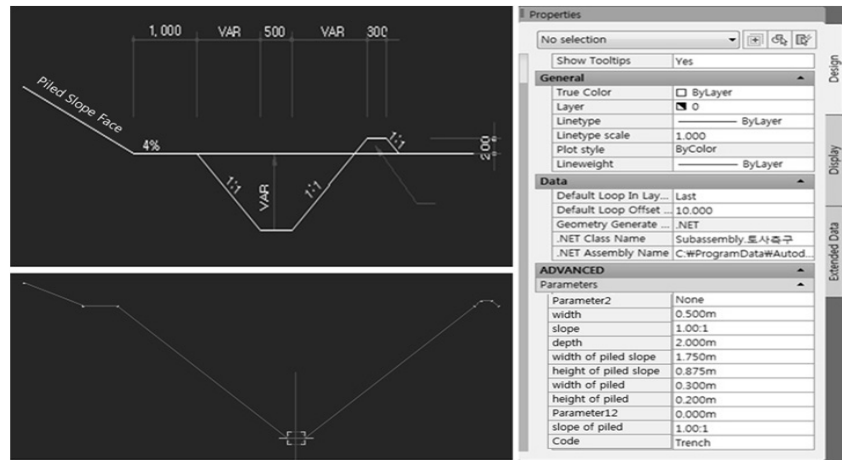


Fig. 6. Sub-assembly of Earth Ditch

으로 제작한 서브어셈블리(下)다. 오른쪽에 제시된 그림은 Civil 3D 내에 구현되는 어셈블리(assembly)<sup>6)</sup>의 변수속성정보창이다. CAD도면과 부합하게 폭은 0.5m, 뚝쌓기 폭은 0.3m으로 제시하였고, 폭 방향의 경사 및 뚝쌓기 경사 또한 1:1로 제시해주었다. 또한 이 서브어셈블리는 설계자의 요구조건 대로 폭의 길이 및 경사의 변화가 가능하다.

기존의 2D CAD를 기반으로 한 설계는 설계의 내용에 따라 사용자가 직접 작성하고, 설계변경이 발생할 때마다 모든 설계내용을 수정해야 한다. 그러나 본 연구를 통해 구축된 표준화단면 설계요소에 대한 콘텐츠 라이브러리 데이터베이스는 설계변수에 대한 속성정보기반 설계가 수행되므로 사용자는 설계시마다 구간별 해당 단면 콘텐츠를 배치하고 설계내용에 대한 변수 값을 입력하면 자동으로 설계가 수행되고 관련된 모든 속성정보(물량, 좌표, 비용 등)이 산출될 수 있다.

#### 4. 서피스 분절 객체화 모듈별 설계방법론

선형기반설계는 표준화단면의 정의와 선형의 배치로 모델링되기 때문에 선형을 따라 일체화된 서피스모델이 생성된다. 따라서 Fig. 7과 같이 3D 선형기반설계공종을 대상으로 BIM을 적용하기 위해서는 생성된 서피스모델을 요구되는 단위에 따라 분절하여 생성된 구성요소 객체별로 식별, 형상, 물성, 참고 등의 체계화된 속성정보를 입력하고 이를 바탕으로 공정, 물량, 단가 등의 사용자가 운용하기 위한 정보와 연계되어 시각화 되어야 한다.

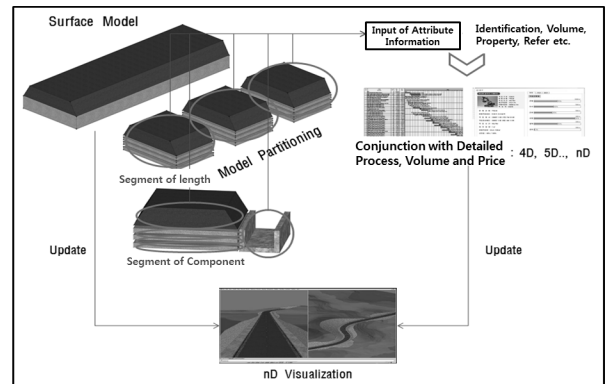


Fig. 7. Concept of Flexible BIM for Construction Classification of 3D Alignment-based Design

#### 4.1 객체 분할(Model Partitioning) 모듈

서피스모델을 분절하기 위해서는 기본적으로 삼각망을 구성하고 있는 점데이터를 활용하여 모델을 분할하여야 한다. Fig. 8에 보인 바와 같이 모든 서피스모델은 점데이터를 통하여 면과 형상이 결정지어지기 때문에 분절이 되어야 할 면(cutting contour)을 구성하는 꼭짓점 데이터(vertex data)를 산출하여 분절(partitioning)을 계획할 수 있다. 따라서 분절단위 값이 입력되면 서피스모델 시작면의 꼭짓점 데이터를 획득하고 배치된 폴리라인 방향을 기준으로 분절단위 값을 고려한 분절될 지점(cutting point)을 산출하여야 한다. 대부분 시작면의 꼭짓점과 절단면의 꼭짓점은 1DOF (Degree of Freedom)를 가지기 때문에 계산과정이 쉬우나 종단배치와 선형 배치에서 구간이 변하는 경우 2DOF를 가질 수 있어 이를 고려한 분절 지점의 산출계획도 필요할 것이다.

다음으로 분절을 완료하기 위해서는 3D 선형기반설계 시 생성되는 횡단면 설계요소의 외곽 꼭짓점을 따라 생성되는 윤곽선이

6) Assembly는 Autodesk Civil 3D에서 사용하는 용어로서, Sub-Assembly를 조립/가공/배열하여 만들어진 횡단면 패키지를 뜻함.

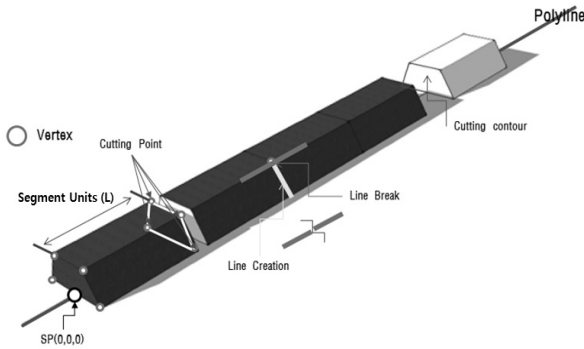


Fig. 8. Component of Surface Partitioning Model

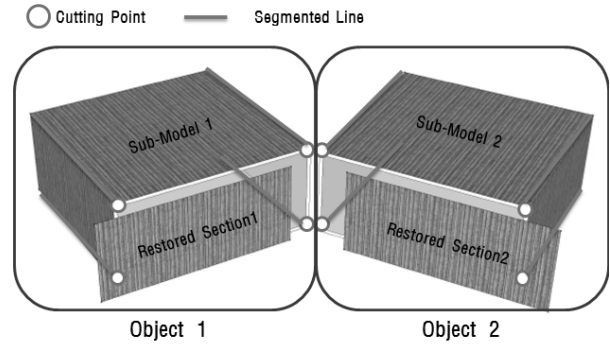


Fig. 10. Sub-model Objectification Module

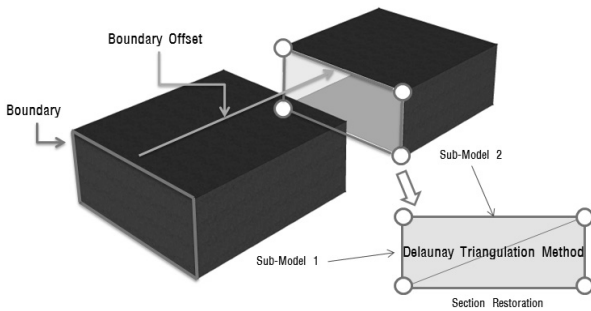


Fig. 9. Section Restoration Module

분할되어야 한다. 이는 앞선 과정에서 생성된 분절될 지점의 기준이 윤곽선에 모두 걸쳐있기 때문에 범용 CAD의 점을 기준으로 선을 분할 할 수 있는 ‘Break’ 명령어를 연계하여 기능을 수행할 수 있다. 이와 같은 순서가 모두 진행되면 3D 서피스모델은 분절단위 및 요소별로 분리된 상태가 된다.

#### 4.2 단면복구(Section Restoration) 모듈

서피스모델은 솔리드(solid)모델과 달리 속이 텅 빈 상태이기 때문에 분절하여 이등분하게 되면 절단면이 실질적으로 없게 된다. 따라서 그 상태에서 시뮬레이션을 진행하면 시각적으로 현실감이 표현되지 않는다. ‘단면복구모듈(Section Restoration Module)’은 이러한 문제를 해결하기 위한 모듈로서 ‘객체 분할(Model Partitioning) 모듈’에서 생성된 분절 지점정보를 활용하여 면을 생성하여 문제를 해결할 수 있다. 그런데 서피스모델의 분할은 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 Sub-Model 1과 Sub-Model 2에서 서로 공유하는 절단면을 기준으로 속이 빈 형태의 모델이 발생한다. 따라서 단면을 복원하기 위해서 분절 지점과 시작면의 외곽 경계(Boundary)정보를 절단면으로 오프셋(offset)하여 ‘Delaunay Triangulation Method’를 적용하여 면을 생성한다. 시작면의 경계정보를 오프셋 하는 이유는 분절 지점 사이에서만 Delaunay Triangulation이 적용되기 위해서 적용 포인트를 제한하는 역할이다.

그런데 여기서 다음의 문제점이 발생할 것으로 예상된다. 위의 Fig. 9에서는 Sub-Model이 서로 분리된 것같이 보이지만 이는 이해를 쉽게 하기 위해서이며, 4D 시뮬레이션을 하기 전까지는 실제로는 연결되어 있는 상태라 할 수 있다. 복구되는 절단면은 Sub-Model 1과 2를 대상으로 수행되어야 하는데 두 모델 모두 같은 분절 지점을 공유하기 때문에 같은 위치에 같은 면이 두 번 생성되도록 하여 시스템의 오류가 발생할 수밖에 없다. 이러한 문제점은 세 번째 세부모듈인 ‘분절모델 객체화 모듈(Sub-model Objectification Module)’과의 연계를 통하여 해결할 수 있다.

#### 4.3 분절모델 객체화(Sub-model Objectification) 모듈

본 모듈은 설계요소의 객체 분할을 통해 생성된 분리된 외곽선, Sub-Model 및 복원된 절단면을 결합하게 하여 하나의 객체로 생성하는 모듈로서 CAD의 ‘Block’ 명령어 기능을 활용하고 경계 정보(limitation boundary)를 부여함으로써 Fig. 10과 같이 범위내의 모든 객체를 하나의 객체로 지정할 수 있다. 앞의 모듈에서 발생하는 문제점인 단면복구는 먼저 첫 번째 복구된 단면을 Object 1을 객체화 하면서 정보를 없애고, 이후 다시 단면복구 모듈에서 같은 정보의 단면을 복구한 뒤 Object 2를 생성할 때 ‘Block’하면 될 것이다. 따라서 단면의 윤곽선과 Sub-Model, 그리고 복구된 단면이 ‘Block’화 되어 일체화된 객체가 생성된다.

#### 4.4 객체 및 선형설계모델 연계(Object-Alignment Model Interaction) 모듈

본 모듈은 앞서 생성된 분절된 형태의 서피스모델과 객체기반 BIM 모델의 공간정보연계(geo-spatial interaction)을 가능케 하는 모듈이다. 예를 들어 도로 설계의 경우 옹벽, 락볼트와 같은 지보공이나 교량과 같은 일반적인 객체 BIM 모델과 같이 설계되어야 한다. 현재의 BIM 시스템에서는 이 두 가지 형태의 모델은 분절되어 설계자의 제어 하에 연동되고 있다. 이러한 한계를 보완하기 위하여 Flexible BIM 설계 모델의 정합 점과 객체 기반 BIM 모델의

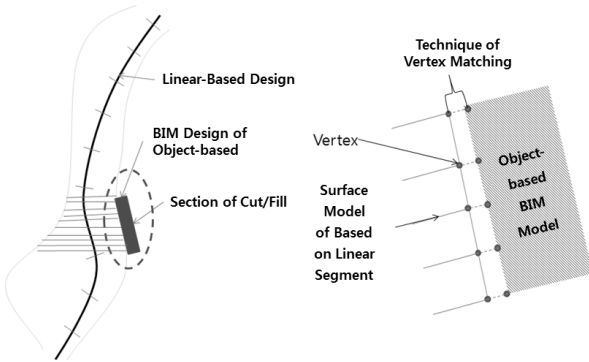
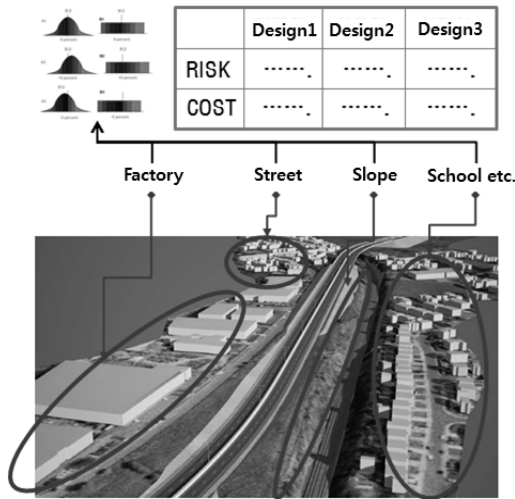
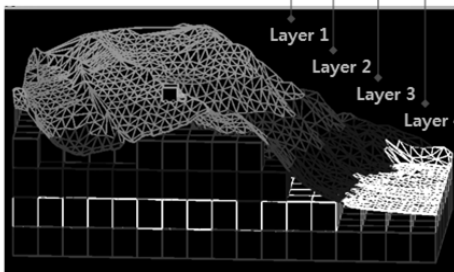


Fig. 11. Object-Alignment Model Interaction Module



(A): Change in the Design Details of the Risk and Cost Change

	Layer 1	Layer 2	Layer 3
Volumn ID	V01 V02	V03 V04	V05 V06 V07
RISK Index	... ..	... ..	... ..
Element of Soil Type, Moisture Content, Excavator Weight, Volume etc.			



(B): Risk Management of Work per unit in the Construction

Fig. 12. Examples of the Additional Information Associated Risks (Expand the Concept of Information Modeling, 6D)

정합 점 정보를 상호 연계하는 공간 정보를 공유함으로써 두 모델의 절점이 일체 거동하도록 하는 매칭(matching) 모듈을 개발하고자 한다. Fig. 11은 이와 같은 객체도형 모델의 연계에 대한 개념적인 내용을 보여준다.

#### 4.5 속성정보 생성(Property Attribution) 모듈

‘속성정보 생성 모듈(Properties Attribution Module)’은 생성된 객체를 대상으로 식별, 형상, 물성, 참고 등의 속성을 부여하는 기능의 모듈이다.

3D 선형기반설계의 서피스모델을 대상으로 분절단위에 따라 분절이 가능하고 각 생성된 객체별로 속성을 부여하게 된다는 의미는 BIM의 가장 큰 특징인 각 객체마다 다양한 속성 정보를 모델링 할 수 있다는 의미가 된다. 현재까지 정의된 BIM과 연계되는 정보 및 이에 따른 확장의 개념을 보면, 먼저 3D로 모델링한 객체와 공정과의 연계로 4D, 객체별 물량정보를 응용하여 단가정보를 연계한 5D가 주로 활용되고 있으며, 이후 추가되는 정보가 발생할 때마다 6D,..., nD가 된다. 정보 확장의 예시로 설계단계 및 시공단계에서 세부적인 위험도관리(risk management)가 가능할 것이다. Fig. 12(A)과 같이 설계단계에서는 구역별 설계 환경정보를 데이터베이스화하고, 표준화단을 구성하는 공중 및 구조를 결정한 뒤, 선형의 배치형태와 공법의 선택에 따른 위험지수와 초기 공사비용의 변화를 산출할 수 있는 모듈을 커스터마이징한다면, 리스크와 공사비용을 최소화 할 수 있는 최적의 설계를 수행할 수 있을 것이다. 또한 Fig. 12(B)와 같이 토공사에 대해서도 ‘서피스 모델 분절 객체화 모듈’의 기능을 응용하여 볼륨별 옥트리 모양의 형태로 객체/정보화한 뒤, 토질, 함수비 등의 속성을 부여하고 이를 활용하여 굴삭기의 작업의 진행에 따른 장비 운영 단위(operation level)에서의 위험도 관리를 수행할 수 있다면, 굴삭기의 진도, 낙하, 추락 등의 작업안전성을 크게 향상할 수 있고, 효율적인 작업계획을 수립할 수 있을 것이다. 이는 현재까지 정의된 5D의 개념을 넘어 세분화된 리스크 정보를 사용자에게 제공할 수 있어 새로운 개념의 6D까지 정보의 모델링이 충분히 가능하도록 하며, 이러한 리스크 관리는 특히 토공사 및 선형설계공종에서 매우 중요하게 다루어지는 사항이기 때문에 본 연구내용의 필요성을 다시 한 번 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 선형설계공종 중 도로를 대상으로 공중, 구성요소별 체계화한 WBS (Work Breakdown Structure; 이하 WBS)기반 표준화 ‘횡단면 설계요소 데이터베이스’를 구축하였고 표준화단을 작성함에 있어 콘텐츠가 제공되지 않거나 국내 실정에 맞지 않는



부분을 개선하여 선형설계공종의 BIM적용을 위한 기초인프라를 구축하였다. 또한 분절수준에 따라 세분화된 정보를 운용하여 공정, 물량 및 단가 정보와의 연계 뿐 아니라 작업 및 공정단위의 세분화된 리스크 관리, 장비 및 자재 정보와의 결합 등 정보의 운용성을 크게 확장하여 BIM의 응용 및 활용분야의 범위를 확장할 수 있는 ‘서피스모델 분절객체화 모듈’의 설계 방법론을 제시하였다. 개발 될 모듈은 BIM 정보의 국제 표준화 코드(\*.ifc)와 호환되는 개방형 BIM (open BIM) 틀(ex: Autodesk사 Revit Platform, Bentley사의 Microstation, NEMETSCHK사의 Allplan 등)에서 작성된 설계모델의 점정보와 기능을 활용하여 분절하여 객체화하고, 다시 개방형 BIM 틀에서 응용되기 때문에 호환성 측면에서도 문제가 발생하지 않을 것이다.

현재 구간별 일체화된 서피스모델이 생성됨으로써 사용자의 기능적, 관리적 정보화 요구 수준에 부응하지 못하고, 만약 이를 해결하기 위하여 구간을 수작업으로 모두 세분화하여 분할하여야 했던 문제점은 토목시설물의 BIM 활성화가 되지 못하는 큰 이유 중 하나이다. 본 연구내용을 기반으로 모듈이 개발된다면 선형기반 BIM 설계 공종에 대하여 사용자가 요구하는 정보화단위를 체계화 및 세분화하여 관리를 수행할 수 있을 것이며, 나아가 4D, 5D..., nD기반 BIM 응용기술의 접목이 자유로워짐으로써 토목 BIM 활성화에 큰 기여를 할 것이다. 또한, 선형설계공종에 BIM 적용이 가능해 짐으로써 현대 건설의 트렌드라 할 수 있는 건설공사의 복잡화대형화에 부응하여 대규모 도시건설 등에서도 지형에 선형 설계공종과 객체기반설계공종이 통합하여 도시계획에서의 활용 및 타 공종과의 협업 등 시너지 효과를 창출할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2012R1A2A2A01009591).

## References

- Alan, P. and Whitaker, R. (1999). "Partitioning 3D surface meshes using watershed segmentation." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 5, No. 4, pp. 308-321.
- Autodesk Corporation (2013). Available at : <http://docs.autodesk.com/CIV3D/2013/KOR/index.html> (Accessed: January 10, 2013).
- Choi, C. (2009). "BIM of future construction technology and phase strategy." *Korea Institute of Construction Engineering and management, Development and Trend of Construction Management*, pp. 198-213.
- Hao, J., Fang, L. and Dong, Z. (2010). "Research on generating similar-shaped assembly features for model partitioning." *International Congerence on Mechanical and Electrical Technology*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 439-443.
- Kang, I. and Moon, H. (2009). "BIM utilizing trend and application on civil engineering work." *Korea Institute of Construction Engineering and management*, Vol. 10, No. 5, pp. 30-36.
- Kim, C. (2010). *Octree-based adaptive meshing*, Master.D. Deissertation, University of Gwangwoon.
- Kim, S. (2009). *A study of BIM application for civil engineering project*, Master.D. Dissertation, University of Kyungsang.
- Kim, S. and Oak, J. (2007). "A platform moving model for an intelligent excavator." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27, No. 6, pp. 767-774.
- Korea Expressway Corporation (2012). "Korea expressway corporation standardization of shop drawing." *Korea Expressway Standard Shop Drawing*, DWG File (in Korean).
- Lee, S., Kim, J., Kang, S. and Seo, J. (2008). "Development of task planning system for intelligent excavating system applying heuristics." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 6, pp. 859-869 (in Korean).
- Mangan, P. and Whitaker, T. (1999). "Partitioning 3D surface meshes using watershed segmentation." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, IEEE, Vol. 5, No. 4, pp. 308-321.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2012). *Standard road design*, Korea Standard Road Design Theory (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2012). *Road design manual*, Korea Road Design Manual Book (in Korean).
- Ministry of Construction & Transportation (2006). *Application standard of construction information classification system*, Announcement, No. 2006-281.
- Telecommunications Technology Association (2007). Available at: <http://www.tta.or.kr/search/search.jsp> (Accessed: January 22, 2014).
- Yang, Z., Fernando, S., Moghani, E. and AbouRizk, S. (2010). "3D CAD modeling and visualization of the tunnel construction process in a distributed simulation environment." *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 3189-3200.