

# Surface 및 Solid 방식의 비교를 통한 Parametric 기법의 토공물량산출 방법

## Parametric Quantity Take-Off of Earthwork by Comparing the Use of Surface and Solid Models

황희석<sup>1)</sup>, 이재홍<sup>2)</sup>, 김태영<sup>3)</sup>

Hwang, Hee-Su<sup>1)</sup> · Lee, Jae-Hong<sup>2)</sup> · Kim, Tae-Young<sup>3)</sup>

Received February 22, 2018; Received March 14, 2018 / Accepted March 22, 2018

**ABSTRACT:** There exists no precedented case of quantity take-off, using parametric modeling, from BIM-based irregular structures. Civil 3D provides earthwork quantity take-off based on surface modeling. Generally, designers should enter data into the specification additionally after extracting quantity estimation from earthwork modeling design. The objective of this report is to suggest the method from quantity take-off to specification of BIM-based earthwork quantities. We intend to investigate earthwork take-off method by Civil3D and explain why parametric information extraction is required for quantity estimation and specification and how information of earthwork quantity based on solid and surface modeling is connected to open quantity take-off module. It is highly expected that this suggestion would be the practical methodology of earthwork quantity take-off and specification in the field of civil engineering.

**KEYWORDS:** BIM, Civil BIM, Parametric Quantity Take-Off, Linear modeling design, BIM-based Quantity Take-Off, BIM-based Cost Take-Off

**키 워 드:** 빌딩정보모델링, 토목 BIM, 파라메트릭 물량산출, 선형모델링 설계, BIM기반 물량산출, BIM기반 견적

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

3차원 BIM(Building Information Modeling) 설계와 활용의 현재 현황은 조달청 지침 등에 따른 정부시책에 의한 부득이하게 수행했던 수동적인 BIM 설계와 활용에서 벗어나, 최상위 공급자인 정부 발주처에서부터 최하위 수급자인 실무 말단 사용자(End-User)에 이르기까지 이제는 BIM 설계와 활용을 위한 체계적인 준비를 통해 제대로 된 본격적인 BIM 시대를 대비하고자 하는 추세라 할 수 있다. 3차원 BIM 모델링 설계를 통한 2D CAD 도면화 작업 등의 Design 관점의 BIM 적용을 넘어 이제는 BIM기반의 수량/공사비 연계활용을 통한 4D/5D BIM 구축을 통해 생애주기 관점의 BIM 활용 프로세스(Process)를 구축하고자

하고 있다. BIM 데이터를 기반으로 한 설계-시공-유지관리에 이르는 하나의 일관성 있는 BIM 모델링 설계 데이터를 바탕으로 해당 건설 프로젝트 참여자의 유기적인 협업 체계 구축을 위해 프로세스 관점의 BIM 설계와 활용을 도모하고 있다고 할 수 있다.

이에 BIM기반의 생애주기 관점의 전체 BIM 적용과 활용 프로세스 중 가장 중요한 중간단계라 할 수 있는 3차원 BIM 설계를 통한 수량/공사비 연계산출 분야는 앞으로도 더욱 많은 BIM 설계 적용과 활용이 활발히 이루어 질 것이라 판단된다. 현재의 BIM 모델링 설계를 바탕으로 한 BIM기반 물량산출에 있어서 대부분의 정형 구조물의 경우 3차원 형상 모델링을 통한 체적(m), 면적(m), 길이(m), 개수(ea) 등의 BIM 형상정보에 의한 자동물량 산출은 이미 대부분의 해당 BIM 모델링 설계 툴(Tool)로

<sup>1)</sup>정회원, (주)글로텍 대표이사 (hhs@mjsosoft.com)

<sup>2)</sup>정회원 (주)글로텍 사업개발부 BIM사업팀 팀장 (jhlee3d@mjsosoft.com) (교신저자)

<sup>3)</sup>정회원 (주)글로텍 사업개발부 부장 (nolkyt@naver.com)

부터 손쉽게 산출할 수가 있다. 또한 형태가 있더라도 정형 구조가 아닌 비틀어진 곡선 형태 등의 비정형 구조물의 경우에도 Autodesk Revit 제품의 프리-폼(Free-Form) 디자인 등의 비정형 솔리드(Solid) 모델링 기법 등을 통해 비정형 구조물의 체적(m) 및 표면적(m) 등의 관련 공종에 대한 BIM기반 자동 물량산출을 수행할 수 있을 정도로 현재의 BIM 모델링 설계 S/W 툴의 정형 및 비정형 솔리드 모델링 기능도 많이 업그레이드되고 개선되고 있는 상황이고 이후에도 이러한 지속적인 BIM 모델링 설계 기능의 향상이 이루어 질 것이라 판단되고 있다.

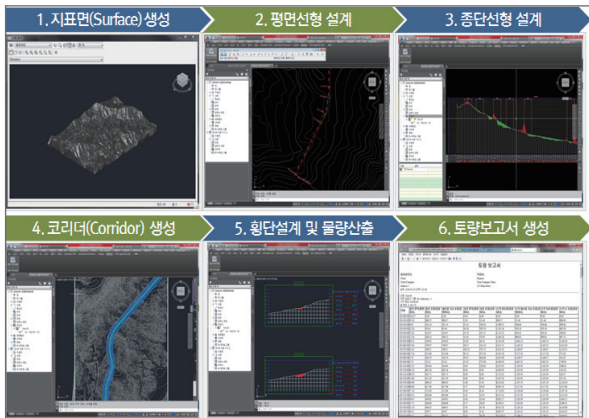


Figure 1. AutoCAD civil3D quantity take-off of earthwork

BIM 툴의 설계 모델링 기능 향상과 함께 병행하여 정형/비정형 구조물에 대한 솔리드기반 BIM 모델링 설계 데이터를 기반으로 한 엑셀(Excel) 수량산출 내역서나 기존의 상용 수량산출 프로그램에 연계한 BIM기반 물량산출을 수행하는 방법 등에 대한 연구나 실용화 사례들도 차츰 증가되고 있는 실정이다. 이러한 BIM기반 물량산출의 추세와는 별개로 사회간접자본 시설인 SOC 분야로 대변되는 토목공사의 경우 대표적인 공종인 토공과 같은 비정형 구조물 공종의 경우, 그 단면이 불규칙하고 3차원적 변화가 심한 비정형 형상모델 공종이기 때문에 이러한 토공에 대한 BIM기반의 파라메트릭(Parametric) 방법의 물량산출이 아직 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

현재 대부분 토목공사의 토공에 대한 BIM 모델링 설계 툴의 경우 불규칙 삼각망에 의한 서피스 방식으로 도로선형 BIM 모델링 설계를 수행하고 있으며, 이를 통한 물량산출 연계 또한 도로선형 계획 및 종/횡 단면도를 이용한 구간별 절도/성토량을 산정하는 2D 방식의 물량산출 방식으로 수행되고 있다.

토공 물량산출을 위해 이러한 2D 도면을 기반으로 한 물량산출 과정에는 사용자가 직접 입력해야 하는 변수 등이 많다는 절차상의 복잡한 과정을 거쳐야 하는 단점이 존재하고 있다. 이러한 이유 때문에 아직은 토목공사의 대표적인 비정형 공종인 토공의 물량산출은 파라메트릭 기반의 자동물량 산출 보다는 2D

기반의 기존 방식으로 수행되고 있다. 이와 같은 2D 도면을 바탕으로 한 수작업으로 산출되는 토공 물량산출 방식은 정확하고 신속한 물량산출에 한계가 존재할 수밖에 없다. (H, 2013)

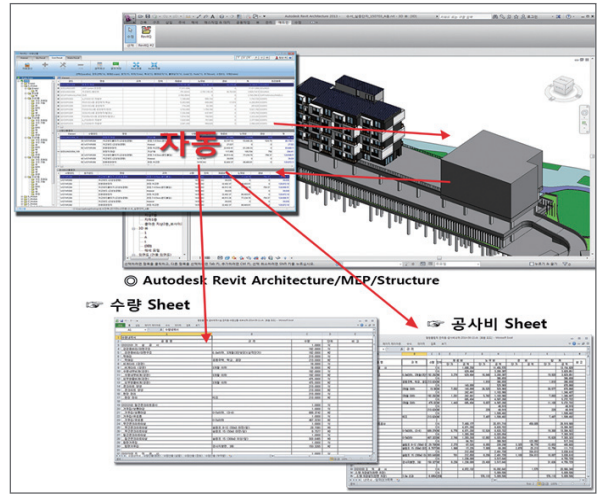


Figure 2. BIM-based quantity and cost take-off solution (RevitQ3.0, 2017)

BIM기반 물량산출 작업을 위해 작업자의 수작업으로 인한 오류를 최소화하고, BIM 모델링 설계 데이터로부터 파라메트릭 방식의 물량 자동 산출을 통해 설계변경에 대한 신속한 대응을 위한 방법론으로써의 선행연구나 관련 BIM S/W 솔루션 개발은 이미 나름대로 많이 진행이 되고 있다. (Hwang, 2017) 앞서의 선행연구나 BIM관련 S/W 솔루션 개발은 Autodesk사 Revit S/W의 애드-인(Add-In) 방식이거나 위 Figure 2에서와 같이 주로 건축분야의 골조/마감공사와 같은 주요 공종이 정형 구조물로 된 공종에 국한되어 자동 산출과 연동 산식에 의한 공종별 수량 및 공사비 산출을 위한 BIM S/W 솔루션 관점의 연구나 개발이 대부분이라 할 수 있다.

본 연구에서는 토목공사 비정형 객체의 대표공종인 토공의 BIM기반 물량 산출에 대하여 기존의 도로선형에 대한 BIM기반 서피스 방식 설계 데이터를 활용한 물량산출 프로세스와 BIM기반 서피스에서 솔리드 설계 데이터로의 변환을 통한 솔리드 설계 데이터 결과물 2가지를 모두 BIM기반으로 파라메트릭하게 추출을 하여 물량 산출 결과를 비교하는 신뢰성 분석을 진행하여 바람직한 BIM기반 토목공사 비정형 토공의 파라메트릭 물량 산출 방법을 제안 하고자 하는데 그 목적이 있다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 현재 수행 중인 “BIM 기반 도로, 하천 시설물의 건설사업정보 통합관리기술 개발”이라는 연구에서 “인프라 BIM 기반 공정-공사비 통합관리 체계 개발” 연구의 일부로 도로, 하천에 대한 BIM기반의 수량-공정-공사비 연계활용 기술의 주요

대상 공종인 비정형 토공에 대한 BIM기반 물량산출 방법에 대한 연구이다.

연구의 대상 및 범위는 토목공사에 있어서 대표적인 비정형 객체 공종인 토공에 대한 바람직한 BIM기반 파라메트릭 물량산출 방법론을 도출하고 이를 제시하는 것으로 한정하였다.

현행 토목공사에 있어서 대표적인 도로선형에 대한 BIM 모델링 설계 툴인 Autodesk사 Civil3D에 의한 Sample 모델링 설계 데이터를 바탕으로 BIM기반 서피스 방식 설계 데이터에 대한 물량산출과 솔리드로 변환된 데이터의 물량산출 결과를 파라메트릭 기법을 통한 물량데이터를 추출하는 두 방식에 의한 물량산출 결과에 대해 비교분석을 진행하였다.

첫째, 기존 서피스 방식 도로선형 BIM 모델링 설계 툴에 대한 물량산출 방식에 대해 조사를 실시하고 문제점을 도출한다.

둘째, 바람직한 BIM기반 파라메트릭 토공 물량산출을 통한 수량/공사비 연계활용 프로세스를 설계 도출하고 이를 확립한다.

셋째, 파라메트릭한 토공 형상 데이터에 대한 추출을 통해 WBS(Work Breakdown System) 수량 및 CBS(Cost Breakdown System) 공사비 코드연계에 대한 방법을 설계 구현한다.

넷째, 서피스 방식과 솔리드 방식 파라메트릭 토공 물량산출 결과에 대한 신뢰성 비교분석을 수행한다.

다섯째, 바람직한 BIM기반 파라메트릭 비정형 토공 물량산출 방법론을 도출하고 이를 제시하여 향후 후속연구에 대한 연계 제안을 한다.

## 2. 도로선형 설계에 의한 비정형 토공 물량산출 방법에 대한 고찰

### 2.1 도로선형 설계에 의한 비정형 토공 물량산출 방법의 현황

토목공사에 있어서 도로 선형설계에 의한 토공 물량 산정 계획의 궁극적인 목표는 정확한 절토, 성토의 물량산출을 통해 절토와 성토 물량의 균형을 유지하도록 시공기준면을 결정하여 최종적으로는 공사비를 절감하도록 하고자 하는데 있다고 할 수 있다.

토목공사 도로 선형설계의 대표적인 BIM 모델링 설계 툴인 Autodesk사의 Civil3D의 경우 절토와 성토에 대한 토공량 산출을 Table 1의 체적(V)에 의한 토공량 물량산출 방법 중 양 단면 평균법에 의한 물량산출 방식을 적용하여 토량보고서를 통해 산출할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 하지만, Civil3D의 토량보고서 기능의 토공량 산출 결과 데이터를 Civil3D 프로그램 상에서 별도로 수량산출 내역서 산출물과 연계할 수 있는 기능은 아직 제공되지 않고 있다. 따라서 이후의 실제 BIM 모델링 설계에 의

한 토공량 결과 데이터를 수량산출 내역서와 연계하는 작업은 물량산출 작업자에 의해 수작업으로 엑셀 수량산출 내역서에 직접 입력하거나 상용 수량산출 프로그램을 이용하여 직접 토공량 값을 입력하는 등의 추가적인 작업을 수행하여야 한다.

Table 1. Quantity take-off method of earthwork by volume

구분	토공량 계산방법	산출식	특징
1	양단면 평균법	$V = (A1+A2) * L * 1/2$ A1 : 전 단면 면적 A2 : 후 단면 면적 L : 양단면간 거리	<ul style="list-style-type: none"> <li>계산이 간단하여 실제 많이 사용</li> <li>양단면 사이 거리를 작게 할 수록 정확도가 높아짐</li> </ul>
2	중앙 단면법	$V = Am * L$ Am : 전 단면 면적	<ul style="list-style-type: none"> <li>오차가 큰 편임</li> <li>양단면 사이 거리를 작게 할 수록 정확도가 높아짐</li> </ul>
3	각주공식에 의한 방법	$V = (A1+4Am+A2) * L * 1/6$ A1 : 전 단면 면적 A2 : 후 단면 면적 Am : 중앙 단면 면적 L : 양단면간 거리	<ul style="list-style-type: none"> <li>양단면 사이가 불규칙 하지 않고 측면이 평면일 때 사용</li> <li>일반적으로 양 단면 평균법보다 적은 값으로 나타남</li> </ul>
4	점고법	1) 사각형으로 구분하는 경우 $V = (\sum h1+2 \sum h2+3 \sum h3+4 \sum h4) * A/4$ 2) 삼각형으로 구분하는 경우 $V = (\sum h1+2 \sum h2+3 \sum h3+4 \sum h4+8 \sum h8) * A/3$ h1, h2, h3, h4, h8 : 구분점 높이 A : 구분 내의면적	<ul style="list-style-type: none"> <li>비교적 넓은 지역의 토공량 계산에 사용</li> <li>지형을 사각형 또는 삼각형으로 구분하고 구분 점들의 지반고를 측정하여 계획고와 차를 구하여 계산</li> <li>사각형으로 구분하는 방법보다 삼각형으로 구분이 정확도가 높음</li> </ul>
5	등고선법	$V = \{(A1+An)+2(A3+A5+...+An-2)+4(A2+A4+...+An-1)\} * L/3$ A1, A2, A3, ..., An : 등고선내 면적 L : 등고선 간격, n : 출수	<ul style="list-style-type: none"> <li>등고선 내의 면적을 측정하여 계산</li> <li>불규칙한 지형의 토량을 계산하는데 편리</li> </ul>
6	유도곡선	$L = A / H$ L : 평균운반거리 A : 총토공량 (유도곡선과 평행선으로 둘러싸인 면적) H : 총토량 (최대높이)	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 축점에 해당하는 토공량을 누적하여 그린 유도곡선을 이용한 계산</li> <li>평균운반거리를 활용한 토공량 계산</li> </ul>

현재의 대부분의 2D기반 방식 또는 3차원 BIM기반 도로선형 설계 툴의 경우 서피스 방식의 모델링 설계에 의한 2D 도면화 작업과 함께 2D 도면기반의 Table 10에서와 같은 체적계산에 의한 물량산출 방식으로 토공량 산출하는 기능을 제공하고 있다.

대부분의 도로선형 설계 툴에는 이러한 토공 물량산출 결과 데이터에 대한 수량산출 내역서 연계하는 기능은 별도로 제공하고 있지 않고 있는 상황이다.

비정형 객체에 대한 물량산출과 관련한 선형연구에서 하철식은 비정형 구조물과 토공의 자동 물량산출을 위해 불규칙 삼각망을 활용한 비정형 등간격 단면 생성 알고리즘(EISGA :

Irregular Equal Interval Surface Generation Algorithm)을 바탕으로 서피스 매쉬(Mesh) 모델에서 직접 물량산출을 시도하여 솔리드처럼 자료의 양이 무겁지 않게 비정형 구조물과 토공에 대한 모델링 설계를 자유로이 수행한 후 바로 물량산출이 가능한 방법을 제시하였다. (Ha, 2013)

토목공사에 대한 체적(V) 계산에 의한 비정형 토공량 산정 방법이나 서피스 모델링을 통한 비정형 토공 물량산출 방법을 제외한 솔리드 모델링을 통한 비정형 토공 물량산출은 아직 이루어지고 있지 못하고 있다.

Autodesk사 Civil3D 2018 버전에서 부터는 솔리드 변환(Solid Export) 기능이 새롭게 신규 기능으로 추가되어 제공되고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 서피스 방식과 솔리드 변환에 의한 솔리드 객체에 의한 비정형 토공 물량산출 비교분석을 수행하였다.

## 2.2 비정형 토공 물량산출에 대한 파라메트릭기법의

### 필요성 고찰

Autodesk사 Civil3D의 절토/성토에 대한 토량보고서를 통한 토공 물량산출의 경우 이를 다시 엑셀 수량산출 내역서나 수량산출 프로그램의 내역서 토공 수량으로 연계하기 위해서는 물량산출 작업자의 추가적인 수작업이 요구된다.

이는 도로 선형설계 데이터의 토공 량 데이터와 기존 수량산출 내역서와의 분절을 의미하며 이러한 물량산출 프로세스상의 분절로 물량산출 작업자의 수작업에 의한 휴먼 에러(Human Error)가 발생할 수밖에 없고, 설계변경에 대한 반복적인 재산출 작업으로 토공 물량산출의 신뢰도가 저하되는 원인이 되게 된다.

이와 같은 도로 선형설계에 대한 BIM 모델링 설계와 물량산출 내역작업과의 분절에서 오는 문제를 해결하기 위한 하나의 대안으로 근래에 BIM기반 견적 자동화 시스템에 대한 필요성이 대두되게 되었다.

이러한 BIM기반 물량산출이나 공사비산출 등의 견적 자동화의 가장 중요한 핵심 요소가 파라메트릭기법에 의한 BIM 형상 정보로부터의 물량산출 정보 자동 추출이다.

파라메트릭이라는 용어는 물론 3차원 BIM 설계에서부터 사용되어 오던 것만은 아니다. 2D CAD 설계에서도 도면요소 간 치수 구속조건이나 기하학 구속조건과 같은 도면 요소 간 제어를 통한 연동 제어 기능을 이미 그동안 많이 사용하여 왔다.

3차원 형상 설계를 기반으로 하는 BIM 모델링 설계에서는 이러한 상호연동의 파라메트릭이 모델링과 도면, 모델링과 내역 등 BIM 모델링 설계 내부요소 뿐만이 아닌 내부요소와 외부 요소와의 파라메트릭 상호연동으로 그 범위가 넓어 졌다고 할 수 있다.

BIM 모델링 설계와 동시에 이를 통한 파라메트릭 상호연동을 통한 2D 도면 자동 산출과 함께 BIM 모델링 설계와 동시에 수량/공사비 내역서 산출작업도 자동으로 파라메트릭 상호연동에

의해 산출되는 일관성 있는 BIM 설계와 적용이 본 연구에서 자주 사용되는 파라메트릭 용어의 핵심 개념이라 할 수 있다.

토목분야에 있어서의 BIM기반 견적 자동화와 관련한 선행연구는 아래와 같다.

토목분야에 대한 3차원 모델에서 물량을 추출하고 견적을 내기 위한 모델링의 LOD(level of Detail) 수준을 파악하고 부재 수준의 3차원 객체 정의를 위한 라이브러리 구축을 통해 토목분야에서 견적 자동화 방안을 제시하며 기본설계 단계 혹은 그 이전의 초기 계획단계에서 적용할 수 있는 수준의 견적 자동화 시스템을 제시하였다. 또한 3차원 모델링은 토목분야의 벤틀리(Bentley)사의 Microstation의 API를 이용한 VBA(Visual Basic for Application) 프로그래밍을 사용하였다. (Han and Nam, 2011)

정형 토목 구조물 위주의 앞선 선행연구를 바탕으로 본 연구에서는 토목공사의 비정형 토공에 대한 서피스 또는 솔리드 기반 모델링 설계 데이터를 실제 BIM기반 수량/공사비 자동산출 솔루션 프로그램과 파라메트릭 추출에 의한 연동을 통해 비정형 토공에 대한 BIM기반 물량산출 자동화 프로세스를 설계하고 확립하고자 하였다.

## 3. 3차원 BIM기반 Parametric기법의 토목공사 비정형 토공 물량산출 방법론 제안

### 3.1 Parametric기법의 토목공사 비정형 토공 물량산출 프로세스

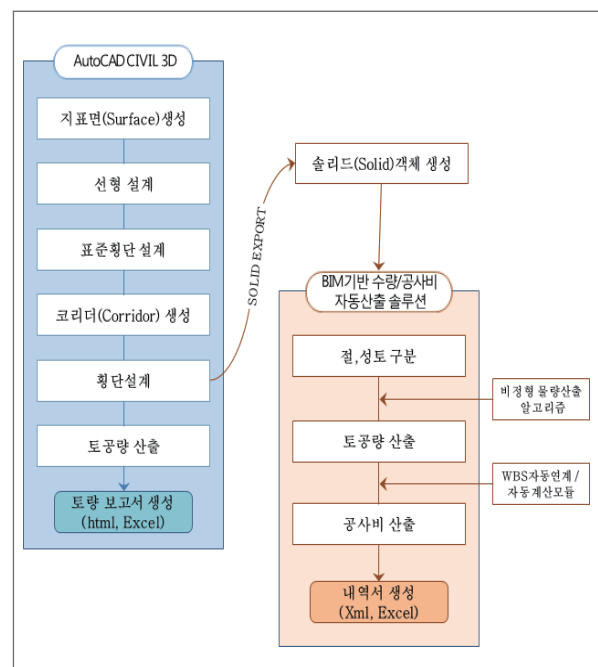


Figure 3. Parametric quantity take-off process of earthwork by the use of surface and solid models

위 Figure 3의 파라메트릭기법의 비정형 토공 물량산출에 의한 수량/공사비 연계산출 프로세스는 선행연구로 수행했던 황희석, 이재홍의 Figure 2 BIM기반 수량/공사비 자동 산출 솔루션의 선행 개발기술에 토공공사 의 토공 솔리드 변환 솔리드 데이터를 연계하여 본 연구의 전체 물량산출 연계 프로세스를 설계하고 확립하게 되었다. (Hwang and Lee, 2017)

Figure 3의 좌측 AutoCAD Civil3D에 의한 토공량 산출 프로세스는 현재의 서피스 방식에 의한 BIM기반 도로 선형설계 틀의 토공에 대한 기본적인 물량산출 프로세스로 정의한다. 여기에 Autodesk사 Civil3D 2018의 솔리드 변환 기능에 의해 변환된 솔리드 매스(Mass) 토공 객체를 기존 BIM기반 수량/공사비 자동 산출 솔루션에 파라메트릭 추출을 통한 연동으로 절,성토에 대한 토공 물량산출을 수행할 수 있도록 한다. 마지막으로 공사비 산출을 위한 CBS 분류체계의 공사비(Cost) 코드와 물량 및 공정(5D)을 연계하기 위한 WBS 분류체계의 수량(Quantity) 코드를 연계함으로써 BIM기반 파라메트릭 비정형 토공 물량산출 프로세스를 최종 확립하였다.

### 3.2 서피스 및 솔리드 방식 토공 물량산출 방법에 대한 신뢰성 비교분석

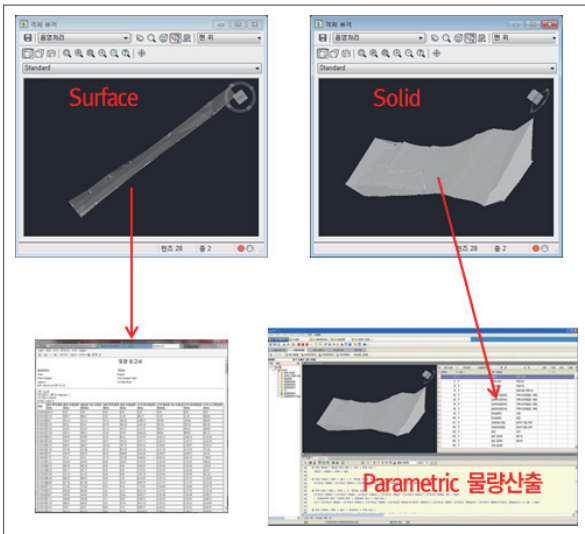


Figure 4. Comparing the Use of Surface and Solid Models

토목분야 도로 선형설계에 대한 BIM 모델링 설계에서 나온 정형 구조물과 함께 비정형 구조물인 토공 물량 데이터를 기존 2D방식 물량과 오차를 비교분석한 선행연구는 아래와 같다.

고속도로 건설공사의 토공, 교량공, 터널공, 옹벽공, 암거공 등을 대상으로 BIM 모델링 설계를 수행하고 BIM 모델링 설계에 의한 BIM 위 각 공종의 물량산출 결과를 기존 2D방식으로 산출한 물량과의 오차를 비교분석함으로써 BIM 모델링 설계에 의한 물

량산출에 대한 신뢰성 분석을 수행하였다. 원시형과 측정된 지형과의 오차에서 오는 토공 물량의 차이를 감안하더라도 BIM 모델링 설계에 의한 토공 물량에 대한 최초의 토목 엔지니어링 관점의 좋은 선행연구 사례였다고 할 수 있다. (Jung et al., 2013)

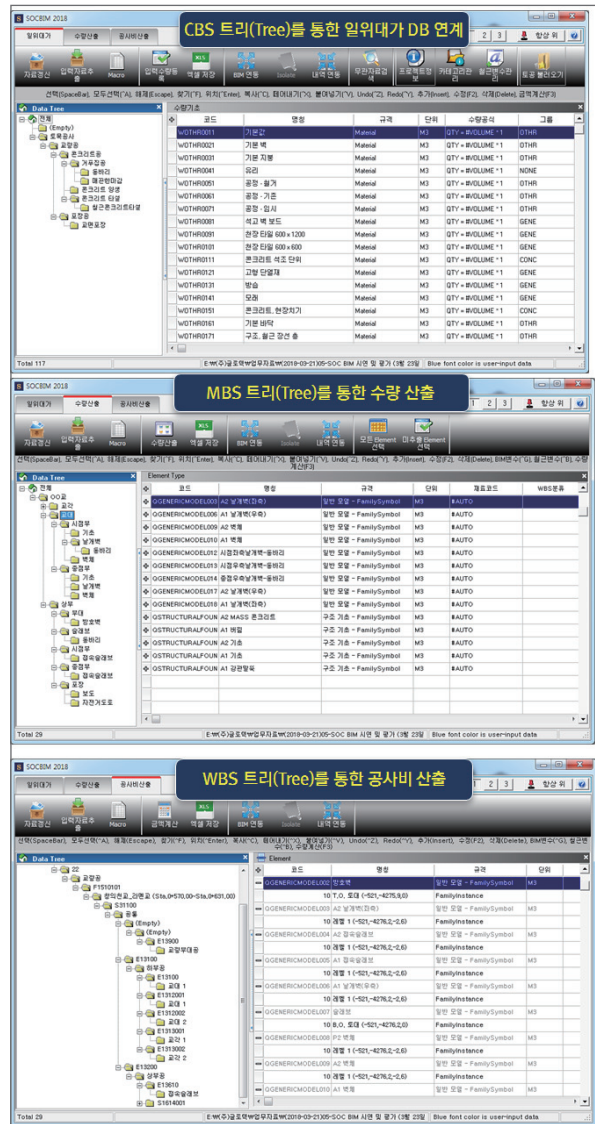


Figure 5. BIM-based CBS/MBS/WBS Parametric interlocking

기존 정형 구조물에 대해 구현되어 있던 BIM기반 수량/공사비 자동산출 솔루션 프로그램(BIM 모델링으로부터 수량 및 공사비 자동 산출 기법, Hwang and Lee, 2017)에 AutoCAD Civil3D 2018에서 솔리드 객체로 변환된 토공 매스 데이터를 파라메트릭 추출을 통해 BIM 형상정보를 읽어들이어 구간 별 토공 형상객체 별로 WBS 분류체계에 기반 하여 좌측 트리(Tree) 폴더에 폴더별로 구분한다. 여기에 단위별 토공 형상객체 내역항목 별로 토공 수량/공사비 산출을 위한 CBS 공사비 코드를 연

계하여 토공에 대한 수량/공사비를 산출할 수 있는 기능 모듈 (Module)을 추가 구현 하였다.

아래 Figure 6에서와 같이 구간별 토공 객체 하나당 WBS 수량산출 코드 하나와 공사비 산출을 위한 CBS 공사비 코드 하나를 연계할 수 있는 방식으로 객체별(MBS) 토공 수량/공사비를 산출을 수행할 수 있도록 구현하게 되었다.

Autodesk사 Civil3D에 의해 솔리드 변환된 토공 매스 객체 데이터를 파라메트릭 기법에 의해 아래 Figure 6와 같이 BIM기반 수량/공사비 자동 산출 솔루션에 연동하여 자동으로 토공에 대한 물량산출을 수행함으로써 선행연구에서 이루어진 기존 2D방식 토공 물량산출 결과와 BIM 모델링 설계에 의한 토공 물량산출 결과간의 신뢰성 비교분석을 수행할 수 있게 되었다.



Figure 6. Parametric Quantity Take-Off of Earthwork by Solid Models

아래 Table 2는 이러한 파라메트릭기법에 의해 산출된 솔리드 기반 비정형 토공량 산출 결과와 기존 서피스기반 비정형 토공량 산출 결과에 대한 신뢰성 비교분석한 결과이다. 토공량 비교를 위해 Civil3D에서 생성된 서피스 객체를 바탕으로 한 물량과 수량/공사비 자동화 솔루션에 탑재된 물량산출 알고리즘을 통해 서피스 객체를 솔리드 변환 기능으로 변환한 솔리드 객체와의 물량과 비교하였다. 토공 물량산출을 위해 모델링 노선의 연장은 약 160m로, 절토와 성토가 같이 존재하도록 종단계획을 하였으며, 횡단면은 20m간격으로 설정하여, 축점별 토공량을 비교하였다. 그 결과 아래와 같이 절토 량의 경우 양단면 평균법을 이용한 서피스 물량과 솔리드 물량이 8.81m<sup>3</sup> 오차가 발생하였으며, 이는 총 누계 절토 량의 0.56% 오차율을 보였다. 그러나 성토 량의 경우에는 서피스 물량이 11.56m<sup>3</sup>으로 총 성토 량에 비해 4.11%의 오차를 발생하였다. 그 원인으로는 성토 구간의 지형변화를 양단면 평균법을 이용한 서피스 물량이 반영하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 서피스 물량 산출시 횡단면 절단을 20m보다 작게 나누면 그 오차는 현저히 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 서피스와 솔리드 두 가지 물량산출 방식의 비교분석 결과 큰 오차는 보이지 않았으나, 양단면 평균법을 이용

한 서피스 물량보다는 원지형의 상태를 그대로 반영한 솔리드 방식의 물량산출이 정확성 및 신뢰성이 높을 것이라는 합리적 결론에 도달 할 수 있었다.

결론적으로 아래 Table 2에서 알 수 있듯이 Civil 3D에서 제공하는 서피스 기반의 양단면 평균법 토공 물량산출과 솔리드 매스에 의한 BIM기반 토공 물량산출 결과 데이터간의 오차의 범위가 크게 발생하지 않는다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 아래와 같은 토목공사 토공관련 BIM 모델링 설계의 적용과 활용에 있어서의 설계는 기존 서피스 방식으로 물량산출과 같은 4D/5D BIM 활용은 솔리드 방식 두 가지 방향으로 나누어 BIM 활용이 이루어져야 한다고 제시하고자 한다.

Table 2. Comparing Report the Use of Surface and Solid Models

Division	① Surface Quantity		② Solid Quantity		③ Difference (②-①)	
	Cut	Fill	Cut	Fill	Cut	Fill
STA. 0+000.0	0	0	0	0	0	0
STA. 0+001.5	6.93	0.22	6.89	0.25	-0.04	0.03
STA. 0+020.0	138.89	1.16	138.21	1.19	-0.68	0.03
STA. 0+040.0	331.76	0	329.91	0	-1.85	0
STA. 0+059.6	413.47	0.01	411.16	0.01	-2.31	0
STA. 0+060.0	7.17	0	7.03	0	-0.14	0
STA. 0+080.0	303.62	0	301.92	0	-1.7	0
STA. 0+100.0	203.61	0	202.47	0	-1.14	0
STA. 0+120.0	132.13	6.31	131.49	6.48	-0.64	0.17
STA. 0+140.0	40.38	91.94	40.05	95.99	-0.33	4.05
STA. 0+159.4	0	169.74	0	177.02	0	7.28
Sum	1577.96	269.38	1569.15	280.94	-8.81	11.56

(Unit : m<sup>3</sup>)

토목분야의 BIM기반 도로 선형설계에 있어서 2D 도면화 등의 설계단계의 BIM 모델링 설계에 있어서는 기존 서피스 방식으로, 비정형 토공에 대한 물량산출 등을 수행할 경우에는 솔리드 변환된 토공 매스 데이터를 파라메트릭 기법의 물량산출을 통해 BIM기반 수량/공사비 자동 산출 솔루션에 연계하는 과정으로 이를 새롭게 정립하여 하나의 새로운 BIM기반의 비정형 토공 물량산출 프로세스의 대안으로 제시하고자 한다.

## 4. 향후 연구 진행 방향 및 결론

본 연구는 토목분야 BIM기반 도로 선형설계에 있어서 비정형 토공에 대한 서피스 기반의 설계 데이터를 Autodesk사 Civil3D 2018의 솔리드 변환 기능에 의한 토공 솔리드 매스로의 변환과정을 거쳐 이를 다시 파라메트릭 연동을 통해 BIM기반 수량/공사비 자동 산출 솔루션에 연계하여 CBS/WBS/MBS 분류체계와 연계한 수량코드와 공사비 코드를 연계한 BIM기반 비정형 토공에 대한 새로운 물량산출 프로세스를 구축하였다. 토목공사에 대한 BIM기반 비정형 토공에 대한 파라메트릭 수량/공사비 산출을 수행할 수 있는 기틀을 마련하였다고 할 수 있다.

본 연구 수행과정에서 도출된 문제점은 다음과 같다.

첫째, Autodesk사 Civil3D 2018에서 새로이 제공되고 있는 서피스 토공 객체에 대한 솔리드 변환 기능이 아직은 큰 규모의 토공 대상 프로젝트에서는 변환 속도와 안정성에서 문제가 발생하고 있는 바, 이를 개선하기 위한 방법을 고려해야 할 것으로 판단된다.

둘째, 토목공사의 BIM기반 도로 선형설계에 의한 토공 물량 산출 프로세스에 대한 다양한 설계와 시공 실무 사용자들에 대한 피드-백(Feed-back)을 반영한 표준화된 방식으로 진행이 되어야 하는데 선행기술로서 구현에 관점을 둔 새로운 방법론 도출에 대한 선행연구이다 보니 실제 실무 사용자들에 대한 피드-백 표본이 부족하였다는 점이다.

향후 연구에서는 Autodesk사 Civil3D 2018의 솔리드 변환 기능을 통한 솔리드 토공 객체 데이터에 의한 파라메트릭 물량산출과 같이 병행하여 기존 서피스 토공 객체로 부터의 파라메트릭 추출을 통한 BIM기반 수량/공사비 자동 산출 솔루션 연동을 추가적으로 연구하여 이를 통한 토공 물량산출 프로세스도 또 다른 하나의 대안으로 준비해야 된다고 사료된다. 토공에 대한 서피스기반 설계와 서피스기반 파라메트릭 물량산출을 수행하는 것도 하나의 차선책으로 고려하는 것도 필요할 것으로 판단되기 때문이다. 또한 향후 이러한 BIM기반 비정형 토공에 대한 파라메트릭기반 수량/공사비 자동 산출 솔루션 시스템의 적정성을 검증하고 가장 바람직한 BIM기반 토공 물량산출에 대한 방법을 정의하고 실용화를 목표로 실제 설계 및 시공 실무 사용자들에 대한 광범위한 표본 적용을 통한 사용성 검증이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음. (과제번호 16SCIP-C121389-01)

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 16SCIP-C121389-01)

## References

- Ha, C. S. (2013). Development of Automated Quantity Take off Algorithm for Irregularly Shaped Structures Based on Surface Model in a Construction Project, Masters Thesis, Kyeong-Sang University, pp. 12-13.
- Han, J. H., Nam, S. H. (2011). A Study on the Automated Estimating System using BIM based Library, Journal of the Architecture Institute of Korea, pp. 1-6.
- Jung, G. Y., Woo, J. W., Gang, G. D., Shin, J. C. (2013). Reliability Analysis and Utilization of BIM-based Highway Construction Output Volume, Journal of the BIM Association of Korea, pp. 2-4.
- Hwang, H. S., Lee, J. H. (2017). BIM based Quantity and Price Automation Estimate Method, Journal of the BIM Association of Korea, pp. 2-3.
- Hwang, H. S., Lee, J. H., Lee, S. W. (2013). Hybrid BIM Based Automation Solution For Quantity(QBS:Quantity Breakdown System) and Price(EBS:Event Breakdown System), Journal of the BIM Association of Korea, pp. 1-2.