

2D기반 기존방법 대비 BIM기반 터널 물량산출 오차 분석

Analysis of Errors in Tunnel Quantity Estimation with 3D-BIM Compared with Routine Method Based 2D

신 재 철¹ Shin, Jae-Choul
 백 영 인² Baek, Yeong-In
 박 원 태³ Park, Won-Tae

Abstract

In case of applying BIM method to the civil engineering of irregularly shaped structure, BIM method is recognized to have relatively high construction productivity. In this paper, we developed quantity calculation algorithms applying BIM method to NATM tunnel construction method and implemented BIM based 3D-BIM Modeling Quantity Calculation. The results showed that BIM-based method has high reliability in structure work in which errors occurred only in the range between 0.00% and -1.45%. On the other hand, BIM method applied to earth work showed great error range of -19.78% to 35.30%. So the benefit and applicability of BIM method in civil engineering were confirmed. In addition, routine method for the quantity of earth work has negligible error as in the case of structure work. But, rock type's quantity calculation showed significant errors so that the reliability of 2D-based volume calculation is problematic. It may thus be concluded that 3D-BIM is more reliable than the routine method in estimating the quantity of earth work. Considering the reliability and merits in the stage of its design, construction and maintenance levels, the application of BIM to civil engineering works is recommended.

요 지

대부분 비정형 구조물인 토목분야에서 BIM(Building Information Modeling)기법을 적용할 경우 현재 BIM 기법이 도입되기 시작한 건축분야와 비교해 상대적으로 건설 생산성 향상의 기대효과가 높을 것으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 NATM공법 터널을 대상으로 BIM기반 3D 모델링을 통한 물량산출을 실시하여 기존의 2D기반의 물량산출과 비교, 오차분석을 수행하였다. 그 결과 구조물공에 있어서는 오차범위가 0.00%~ -1.45%로 아주 작게 나타났으나, 토공에 있어서는 오차범위가 -19.78%~ 35.30%로 대단히 크게 나타났다. 이를 통해 기존 2D기반 구조물공 물량산출의 경우 0.00%~ 5.00%의 할증률을 감안하여 본다면 BIM기반 물량산출과의 오차가 무시할 정도로 나타남에 따라 BIM기반 3D 모델링을 통한 자동 물량산출의 신뢰성을 확인하였다. 또한 토공의 경우는 토공전체의 물량산출 오차는 구조물공과 동일하게 오차가 무시할 정도이지만, 암별 물량산출 오차가 크게 나타남으로서 2D기반 물량산출의 신뢰성에 문제가 있음을 알 수 있었다. 따라서 토공은 반드시 BIM기반 3D 모델링을 통한 물량산출을 수행하여 물량산출의 신뢰성을 확보해야하는 사항이라 판단되며, BIM의 설계, 시공, 유지관리 단계의 정보통합의 장점을 고려하여 토목분야에서의 BIM 설계기법 도입에 대한 효용성 및 적용 가능성을 확인하였다.

Keywords : 3D-BIM modeling, Calculation error, Reliability analysis, Quantity survey

1 (주)동성엔지니어링 상무 (Executive Director, Dong-Sung Eng. Co. Ltd., sjc@dse.co.kr, 교신처자)

2 정회원, (주)동성엔지니어링 부사장 (Vice President, Dong-Sung Eng. Co. Ltd.)

3 정회원, (주)동성엔지니어링 대리 (Member, Assistant Manager, Dong-Sung Eng. Co. Ltd.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2012년 2월 28일까지 그 내용을 확회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

BIM이란 기획, 설계, 시공, 운영, 유지관리에 이르는 전 생애주기의 프로세스에서 생성되는 정보들 간의 연계성을 위한 정보통합 설계방법으로서 각 프로세스별로, 지반, 구조, 환경, 전기, 기계, 발주처, 조달청, 시공사, 유지관리 등 각 건설 참여주체들로부터 생성되는 정보를 통합 활용하는 기술이다. 미국, 유럽 등 선진 외국에서는 이미 수년간의 연구노력을 통해 BIM을 도입하여 건설 산업의 생산체계를 혁신하는 방향으로 산업구조를 재편하고 있으며, 그 결과 건설 산업의 경쟁력을 비약적으로 향상시키고 있다.

건설 산업 프로세스는 건설 산업 참여주체들 사이의 정보공유 부족으로 그림 1에서와 같이 타 산업에 비해 생산성이 떨어진다.

국내에서는 건축분야에서 먼저 건설 생산성 향상을 위하여 BIM기법을 도입하여 확대 적용하고 있는 실정이다. 현재 국내 조달청에서는 BIM 중장기 추진방침을 세워 2013년부터는 500억 이상의 턴키 설계공모공사에 의무화시켜 BIM 활성화정책을 추진 중이다(조달청, 2010).

건설 산업 프로세스를 3D기반 객체정보를 중심으로 관련 데이터를 통합·관리함으로써, 각 관련 분야에서 발생하는 정보의 손실, 불확실, 부정확, 표현의 인식오류 등의 최소화뿐만 아니라, 도면의 부정확, 불일치로 인한 비용증가, 공기지연 및 품질저하 등의 문제점들을 해결할 수 있다. 이러한 BIM 설계기법을 구조물공 및 토공 등 모든 3D 모델객체가 특히 비정형인 토목분야에 적용한다면, 국내의 경우 정형구조물이 대부분인 건축분야와 비교해 상대적으로 건설 생산성 향상의 기대효과가 더 높을 것으로 판단된다. 또한 3D 모델링을 통한 설계

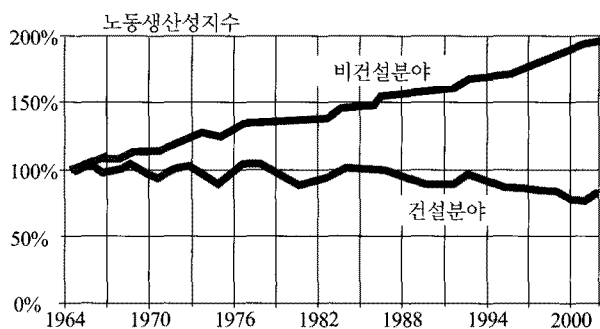
기법을 건설IT 융합기술과 연동시켜 활용한다면, 최첨단 건설IT 공정관리(4D), 원가관리(5D) 수행이 가능해지며, 이는 최근 국내 건설시장의 장기적인 침체상황의 돌파구로서 해외건설시장 확대를 위한 기술 경쟁력 확보차원으로 충분하리라 기대된다. 이를 위해서는 전 생애주기를 대상으로 경제적 효과가 높은 BIM 설계기법을 건설 산업 참여주체들의 분절된 영역에서의 필요성만을 주장하지 않고, 모든 건설 참여주체가 전 건설 생애주기 동안에 발생될 수 있는 경제성을 이해하고 동참하는 사회적 여건이 마련되어야 비로소 BIM 설계기법의 활성화가 가능하리라 판단된다. 또한 BIM 설계기법의 도입을 위해서는 반드시 표준화된 설계지침을 마련하여야 실용성 접근이 더욱 용이하리라 판단된다.

이를 위해 본 연구에서는 토목분야 BIM도입에 대한 건설시장 참여주체들의 합의를 이끌어 내기위한 기초 자료로서, BIM기반의 3D 모델링 프로세스 개발 및 터널 대상 BIM기반 물량산출 알고리즘개발을 수행하였으며, BIM 모델링을 통한 갱구부 토공량, 터널 본선 굴착량, 슛크리트량, 라이닝콘크리트량 등의 체적 3D 모델 객체 물량산출 및 부직포와 같은 면적 3D 모델객체 물량산출, 체적 또는 면적 3D 모델객체 모델링이 불가능한 프리그라우팅과 같은 수식적용을 통한 물량산출 등 2D 기반 물량산출 대비 BIM 기반 물량산출 오차분석을 수행하여 토목분야에서의 BIM 설계기법 도입에 대한 효용성 및 적용 가능성을 확인하였다.

2. BIM기반 물량산출 알고리즘 개발

설계도면 및 계산서를 기반으로 산출되는 물량정보는 건설공사 참여주체들에게 비용과 관련된 의사결정에 결정적 역할을 하는 중요한 정보이다. 그러나 지금까지 이러한 정보를 생성하는 물량산출이 수작업에 의존하다보니 작업자의 실수로 오류가 발생하고, 전적담당자의 노하우에 따라 물량 차이가 존재하기도 하는 상황이다. 또한 설계변경 시 물량산출을 위한 재작업에 들어가게 될 경우 모든 물량산출 프로세스를 다시 거쳐야 하는 문제가 있다(이재준 외 4인, 2008).

토목분야 BIM 모델링을 위한 솔루션에는 대표적으로 Autodesk Revit Structure, Bentley Microstation, Nemetschek Allplan 등이 있다. 각 BIM 솔루션들은 모델링 및 물량산출방식이 서로 다르기 때문에 표준화된 프로세스를 개발하기에는 아직은 문제점이 많다. 본 연구에서는 프



자료: (미)노동통계국 상무부(U.S. Bur. of Labor Statistics, U.S. Dep. of Commerce)

그림 1. 건설산업의 생산성 추이

로세스 개발을 위하여 BIM 모델링 솔루션 중 Autodesk Revit Structure만을 대상으로 수행하였다. Revit Structure 솔루션을 이용한 BIM기반 3D 객체모델에서 자동으로 물량을 산출하여 물량산출의 오류를 바로잡고 설계변경에 따른 물량산출의 효율성을 향상시키기 위해서는 그림 2와 같이(신재철 외 2인, 2011) 모델링이 가능한 공종과 모델링이 불가능한 공종을 사전에 계획하고, 설계단계만을 고려한 모델링을 할 것인지 아니면 시공단계까지 고려한 공정별 모델링을 할 것인지를 설정하여야 한다. 물량산출을 위한 모델링 공종대상 및 범위설정 후 모델링을 위해서 CAD도면을 사전에 작업하여 BIM 솔루션에 사용하면 작업시간 단축에 더욱 유리하며, 모델링 오차도 발생되지 않는다. 시공단계별 즉, 공정별 모델링은 우선 공종별 모델링을 완성된 후 분할하는 방법을 이용하는 것이 작업시간 단축에 더욱 유리하며, 모델링 오차도 발생되지 않는다. 모델링을 통한 3D 객체모델의 생성은 곧 물량산출 생성과 직결되고, 모델링의 오류는 곧 BIM기반의 물량산출 오류를 의미하므로 주의 기울여야 한다.

3D 모델링과 연동하여 자동물량산출을 위해 그림 2에서와 같은 프로세스를 수행함에 있어, 패밀리물량 산출 목적에 맞게 재구성하게 되면 그림 3(a)과 같이 Revit Structure의 일람표 기능을 통해 3D 모델객체의

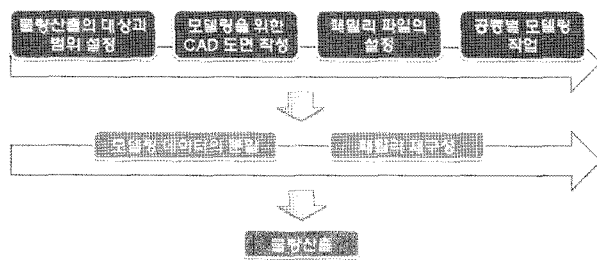


그림 2. BIM기반 물량산출 프로세스

(a) 일람표

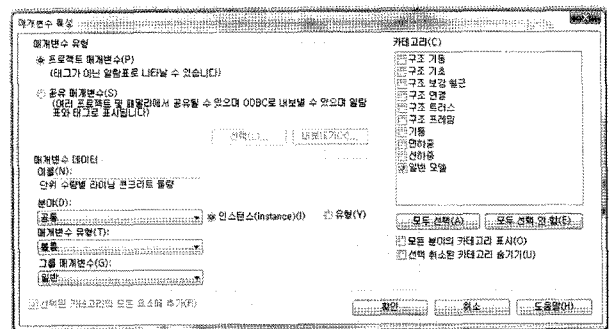
길이, 면적, 체적량이 자동으로 산출(이하, 자동물량산출)된다.

그러나 터널의 프리그라우팅과 같이 모델링이 불가능하여 3D 모델객체 정보생성이 불가능한 경우에는 “프리그라우팅 = 연장(3D 모델객체 정보)·10%·6.0m(개소당 보강가능영역 6.0m)”과 같이 3D 모델객체 정보와 연동된 수식을 그림 3(b)과 같이 일람표에 직접 기입하여 모델링과 연동시켜 물량이 산출(이하, 연동물량산출)되도록 하였다. 이는 설계변경 시 다시 모델링할 경우에도 3D 모델객체의 변경으로 자동물량산출 및 연동물량산출 모두가 동시에 자동으로 변경되도록 하여 업무의 효율성을 향상시켰다.

지반의 자체 지지력을 최대로 이용하기 위해 굴착 즉시 락볼트와 슛크리트를 이용, 굴착면을 보호함으로써 굴착으로 인해 발생하는 변형을 최소화하여 지반의 자체 강도를 최대한 이용하는 공법으로서 국내에서 가장 널리 적용되고 있는 NATM공법을 적용한 터널을 대상으로 BIM기반 3D 모델객체를 이용한 물량산출 및 2D기반 대비 BIM기반 물량산출의 오차를 분석하였다.

2D기반 대비 BIM기반 물량산출 오차분석을 위한 BIM 모델링 대상 터널은 그림 4에서와 같이 상행연장은 442m이고 하행연장은 399m이다. 또한 상행 본선구간의 지보패턴은 P2, P3, P4, P6, P6-1, 접속부의 지보패턴은 RP1으로 구분되어 있으며, 하행의 본선구간의 지보패턴은 P1, P2, P3, P4, P6, P6-1, 접속부의 지보패턴은 상행과 동일하게 RP1으로 구분되어 있다. BIM 모델링 대상 터널의 전체연장에 대한 지보패턴 분포현황과 지보패턴별 굴착공법, 굴진장, 여굴 두께, 슛크리트 두께 등 일반현황은 표 1과 같다(한국도로공사, 2009).

BIM기반 3D 모델객체를 이용한 물량산출 과정은 모델링, 자동물량산출, 연동물량산출 순서로 진행하였다. 공



(b) 일람표에 수식 직접입력

그림 3. 일람표 및 일람표 수식 직접입력 사례

정 시뮬레이션 및 시공·물량(비용)·시간을 고려한 5D-BIM 구현을 위하여 그림 5에서와 같이 우선 공종별로 구분하여 모델링을 수행하고 공종별 시공단위 즉, 예를 들어 굴착량 공종에 관해 지보패턴별 굴진장에 적합한 공정별로 공종별 모델링을 분할하여 공종별·공정별 물량이 산출될 수 있도록 하였다. BIM 솔루션에서 3D 모델객체가 존재할 경우에만 일람표 기능을 통해 길이, 면적, 체적 등의 물량을 자동으로 산출이 가능하다. 따라서 3D

모델객체가 불가한 물량산출은 3D 모델객체와 연동되도록 일람표기능에 수식을 입력할 수 있는 매개변수 기능을 이용하여 물량을 3D 모델객체와 연동된 연동물량산출을 수행하였다. 또한 자동 및 연동물량의 DB관리 및 변환을 위하여 각 물량마다 코드번호를 일람표 기능을 통해 부여하였다.

자동물량산출 공종으로는 굴착량, 여유 굴착량, 방수막, 부직포, 라이닝콘크리트량, 라이닝콘크리트 신축이

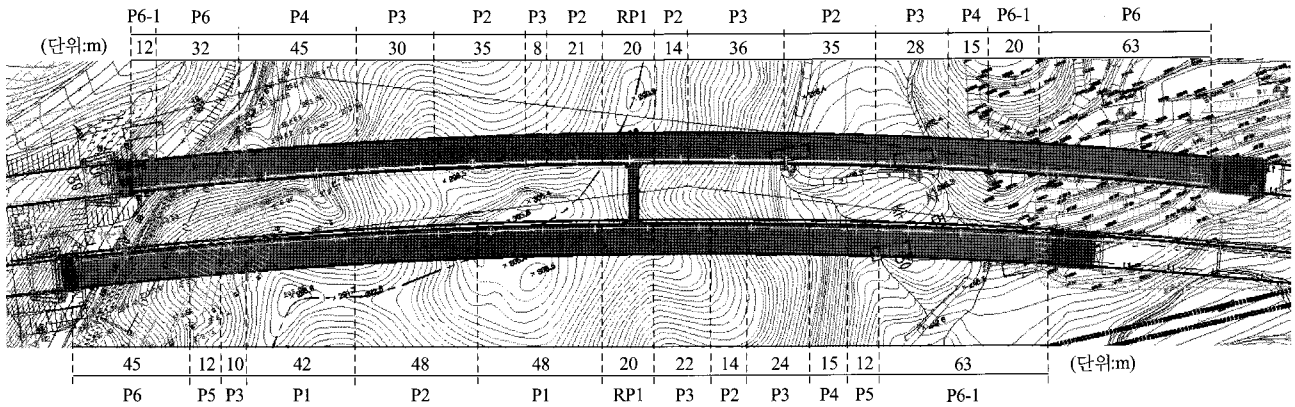


그림 4. BIM 모델링 대상 터널 노선현황

표 1. BIM 모델링 대상 터널의 지보패턴 분포현황 및 지보패턴별 일반현황

지보패턴	구분	굴착공법 (발파)	굴진장(상/하) (m)	여굴 두께 (mm)	숫크리트 두께 (mm)			락볼트간격 (m)		라이닝콘크리트 두께 (mm)
					1차	2차	3차	중방향	횡방향	
P-1		전단면 굴착	3.5(2회 굴진 후 지보)	100	50	50	-	-	-	300
P-2		전단면 굴착	3.5	100	50	50	-	2.0	2.0	300
P-3		전단면 굴착	2.0	150	75	80	-	2.0	1.5	300
P-4		상·하반단면 굴착	1.5/3.0	200	100	80	40	1.5	1.5	300
P-5		상·하반단면 굴착	1.2/1.2	200	100	100	60	1.2	1.5	300
P-6		상·하반단면 굴착	1.0/1.0	200	100	100	60	1.0	1.5	300
P-6-1		상·하반단면 굴착	1.0/1.0	200	100	100	100	1.0	1.5	300
RP1		전단면 굴착	3.5	100	75	80	-	2.0	2.0	300
RP2		전단면 굴착	2.0	150	100	80	40	2.0	1.5	300
RP3		상·하반단면 굴착	1.5/3.0	200	100	100	60	1.5	1.5	300

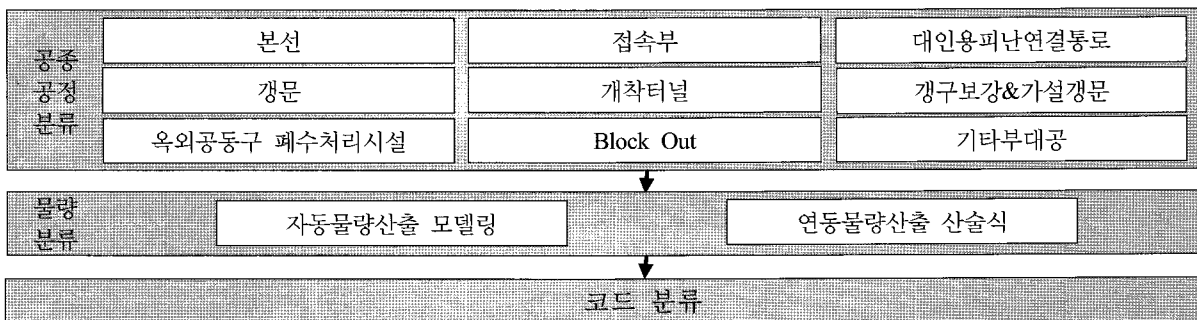


그림 5. 모델링 및 물량산출의 활용성을 위한 공정·공종·코드별 분류

음, 배수콘크리트, 필터콘크리트, 배면그라우팅, 맹암거, 숯크리트량, 락볼트, 지보보강 락볼트, 격자지보공, 강지보공, 철근 처짐 방지용 앵커 등이 있으며, 연동물량산출 공종으로는 설계 굴착량, 압 버력처리량, 실 라이닝 콘크리트량, 실 숯크리트량, 강섬유보강재, 숯크리트 버력처리량, 락볼트-레진, 락볼트 천공, 라이닝콘크리트 시공이음, 유공관, 유공관 이음관, 공동구 뚜껑, PVC-파이프, PVC-파이프 이음관, 스파이럴썸다트, 프리그라우팅 등이 있다.

연동물량산출에 적용된 산술식은 다음과 같다.

$$\text{설계굴착량(m}^3\text{)} = \text{총굴착량} - \text{여유굴착량} \quad (1)$$

$$\text{압 버력처리량(m}^3\text{)} = \text{총굴착량} \quad (2)$$

$$\text{실 숯크리트량(m}^3\text{)} = (\text{숯크리트량} + \text{여굴 두께 바깥쪽 1/2에 해당하는 체적량}) / (1\text{-리바운드율}) \quad (3)$$

$$\text{강섬유보강재(ton)} = \text{실 숯크리트량} * 30(\text{kg/m}^3) \quad (4)$$

$$\text{숯크리트 버력처리량(m}^3\text{)} = \text{숯크리트량} * \{1 / (1\text{-리바운드율}) - 1\} \quad (5)$$

$$\text{락볼트-레진(개)} = \text{레진개수} * \text{락볼트개수} \quad (6)$$

$$\text{락볼트천공(m)} = (\text{락볼트길이} + 0.1(\text{m})) * (\text{락볼트개수}) / (\text{굴진장}) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{라이닝콘크리트 시공이음(m)} \\ = \text{라이닝콘크리트 신축이음} * 2(\text{개}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{실 라이닝콘크리트량(m}^3\text{)} = \text{라이닝콘크리트량} \\ + (\text{여굴 두께의 안쪽 1/2에 해당하는 체적량}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{유공관(m)} = 2(\text{개}) * (\text{본선과 접속부 연장}) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{유공관 이음관(개)} = (1 * 2(\text{개})) / 10(\text{m}) \\ * (\text{본선과 접속부 연장}) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{PVC-파이프(m)} = \text{PVC-파이프 길이} / 10(\text{m}) \\ * (\text{본선과 접속부 연장}) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{PVC-파이프 이음관(개)} = \{(1 * 2(\text{개})) / 50(\text{m})\} \\ * (\text{본선과 접속부 연장}) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\text{스파이럴썸다트(m)} = 2(\text{개}) * (\text{본선과 접속부 연장}) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{공동구뚜껑(개)} = 4(\text{개}) * (\text{본선과 접속부,} \\ \text{개착구간 연장}) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{프리그라우팅(개소)} = (\text{본선과 접속부 연장}) \\ * 10(\%) * 6.0(\text{m}) \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \text{상부 리바운드율} &= 0.15, \text{ 하부 리바운드율} = 0.10, \\ \text{갱구보강 리바운드율} &= 0.1 \end{aligned} \quad (17)$$

을 적용하였다.

3. BIM기반 물량산출 오차분석

BIM기반 물량산출 오차분석은 크게 자동물량산출 공종과 연동물량산출 공종으로 분류하여 수행하였다. 오차분석을 위한 대상 공종으로는 구조물공과 비구조물공(토공), 체적과 면적을 통한 자동물량산출, 산술식을 이용한 연동물량산출 등으로 다양화하였다. 오차분석은 기존의 물량 산출서에 있는 기존 물량산출과 2D-CAD에서 산정한 CAD 물량산출, BIM기반의 3D 모델객체에서 산출된 BIM 물량산출의 오차범위의 비교·분석을 통해 수행하였다.

여기서 적용한 오차식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{오차A(\%)} = \{(\text{기존물량} - \text{CAD물량}) / \text{CAD물량}\} \\ * 100(\%) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{오차B(\%)} = \{(\text{BIM물량} - \text{CAD물량}) / \text{CAD물량}\} \\ * 100(\%) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \text{오차C(\%)} = \{(\text{BIM물량} - \text{기존물량}) / \text{기존물량}\} \\ * 100(\%) \end{aligned} \quad (20)$$

터널에서 가장 대표적인 자동물량산출 공종인 굴착은 숯크리트나 라이닝콘크리트 등의 공종별 물량산출을 수행하기 전에 가장 먼저 물량을 검토해야하는 공종이다. 만약 굴착에서의 물량산출에 오류가 발생한다면 나머지 공종에서의 물량산출에 전체적인 영향을 미치기 때문에 굴착량의 오차분석을 최우선으로 수행하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

굴착량에 관한 오차분석을 수행한 결과 기존물량이 2CAD물량보다 평균 0.005% 크게 산출되었다. 이는 기존물량 계산은 엑셀에서 소수점 이하 일정영역에서 생략하여 산정함으로서 CAD물량 보다 미소하나마 약간 크게 나오지만, 이 정도의 오차범위는 일치하는 것으로 판단하는데 무리가 없는 것으로 판단된다. 또한 CAD물량 보다 BIM물량은 평균 0.261% 가량 작게 산출되었다. 지보패턴별 오차범위가 미소하고 일정하게 나타났다. BIM물량이 기존물량이나 CAD물량과 일치하며, 이를 통해 BIM기반의 자동물량산출에 문제점이 없는 것

으로 판단된다. 이에 정확한 BIM 모델링을 수행할 경우 BIM기반의 3D 모델객체를 통한 자동물량산출 DB를 사용 및 활용하는데 문제가 없음을 확인하였다. 오히려 2D-CAD기반의 체적량 산정 시 종구배, 횡구배, 회전반경 등을 고려하지 않고 단면적과 중심선의 길이만을 고려할 뿐만 아니라 중심선 또한 정확한 단면의 중심선을 사용하지 않고 산출된 물량인 반면, BIM기반의 물량산출은 이들 모두가 고려되어 산정됨에 따라 물량산출 결과에 더욱 신뢰성이 높을 것으로 판단된다.

다음은 연동물량산출 공종인 숯크리트를 대상으로 물량산출 오차분석을 수행하였다. 굴착된 지반의 굴곡부를 매우고 절리면 사이를 접착시킴으로써 응력집중현상을 방지하는 지반보강방법인 숯크리트는 시공 시 굴착면에 접착되지 않고 손실되는 물량이 있기 때문에 실 숯크리트량은 숯크리트량에 리바운드율을 적용하여 물량을 산출한다. 2D-CAD기반의 도면에서는 여유굴착면은 고려하지 않고 설계굴착면을 기준으로 숯크리트가 표현되어 있으며, 기존 수량산출서의 수량산출근거를 살펴보면 도면과는 상이하게 숯크리트 두께에 여굴 두께의 바깥쪽 1/2에 해당하는 두께를 추가시킨 두께로 물량을 산출하고 있다. 이와 같이 2D기반의 경우 도면과 수량산출서가 상이하게 표현되어있어 물량산출 오류의 원인을 제공하기도 하며, 물량산출 검토 시 어려움이 따르는 상황이다.

표 3에서와 같이 숯크리트량은 기존물량과 CAD물량의 오차가 -0.108%~29.530%로 매우 크게 나타났다. CAD

물량과 BIM물량과의 지보패턴별 오차범위는 거의 유사하게 나타나고 있으며, 오차는 평균 -1.444%이다. 이를 통해 29.530%의 오차는 수작업을 통한 물량산출로 인한 오류로 판단된다. 이러한 수작업에 의한 오류발생의 문제점을 통해 BIM을 이용한 물량산출의 신뢰성을 확인하였으며, BIM기반의 물량 DB 관리 및 변환을 통해 수량산출서 및 설계예산서 작성 시 수작업이 배제되도록 더욱 신뢰성 높은 수량내역관리가 가능한 BIM 설계 기법 도입의 필요성을 확인하였다. 뿐만 아니라 BIM기반의 연동물량산출에 문제가 없는 것으로 판단된다. 또한 자동물량산출 공종인 굴착량과 동일하게 연동물량산출 공종인 숯크리트량에서도 2D-CAD기반의 경우 종구배, 횡구배, 회전반경 등을 고려하지 않고 정확한 단면의 중심선을 사용하지 않은 물량산출로 인해 CAD물량이 다소 크게 산출되었다. 그러나 시공단계를 고려한 재료의 할증률을 고려한다면 CAD물량과 BIM물량의 오차는 의미가 없는 것으로 판단된다. 이를 통해 BIM기반의 연동물량산출이 더욱 신뢰성이 높을 것으로 판단되며, BIM기반의 물량 DB 사용에 무리가 없는 것으로 판단된다.

다음은 자동물량산출 공종인 라이닝콘크리트 공종을 대상으로 오차분석을 수행하였다. 터널의 2차 지보로서 방수막과 부직포의 피복효과와 용출수의 유도배수 역할을 하는 라이닝콘크리트는 라이닝콘크리트 두께에 지보패턴별 여유굴착 두께의 1/2을 추가한 두께로 모델링하였다. 숯크리트와 동일하게 2D기반의 경우 라이닝

표 2. 굴착량 오차분석

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	총 합
기존물량(m ³)	8381.997	5774.265	5327.560	1461.135	2362.272	23307.229
CAD물량(m ³)	8381.165	5773.692	5327.401	1461.238	2362.655	23306.151
BIM물량(m ³)	8358.892	5758.585	5313.811	1457.627	2356.510	23245.425
오차-A(%)	0.010	0.010	0.003	-0.007	-0.016	0.005
오차-B(%)	-0.266	-0.262	-0.255	-0.247	-0.260	-0.261

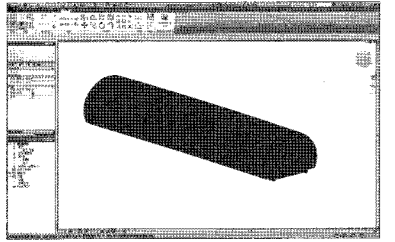
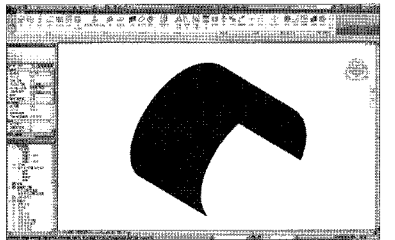


표 3. 숯크리트 오차분석

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	총 합
기존물량(m ³)	258.930	178.374	251.440	96.270	182.520	967.534
CAD물량(m ³)	259.211	178.568	243.495	87.641	140.910	909.825
BIM물량(m ³)	255.451	175.976	240.144	86.286	138.828	896.685
오차-A(%)	-0.108	-0.109	3.263	9.846	29.530	6.343
오차-B(%)	-1.450	-1.452	-1.376	-1.546	-1.477	-1.444



콘크리트 역시 도면과 수량산출서가 상이하게 표현되어 있으나, 이를 BIM에서는 실제 수량산출근거와 동일하게 설계된다.

표 4에서와 같이 라이닝콘크리트는 기존물량과 CAD물량이 거의 일치하고 있으며, BIM물량과의 오차 또한 평균 -0.327% 이고, 지보패턴별 오차범위가 거의 유사하고 오차가 미미함에 따라 BIM 모델링을 통한 물량산출의 신뢰성을 확인하였다. 숯크리트 공종과 다르게 수작업으로 인한 물량산출 오류가 라이닝콘크리트 공종에서는 발생하지 않아 오차범위가 평균 0.01% 밖에 되지 않았다. 물론 숯크리트 공종과 유사하게 2D-CAD기반의 경우 종구배, 횡구배, 회전반경 등을 고려하지 않는 등의 원인 때문에 CAD물량이 다소 크게 산출되었으나, 이는 숯크리트 공종과 동일하게 시공단계를 고려한 재료의 할증률을 고려한다면 CAD물량과 BIM물량의 오차는 의미가 없는 것으로 판단된다.

다음은 자동물량산출 공종 중 BIM기반의 3D 모델객체에서 면적으로 물량이 산출되는 공종을 대상으로 타일붙임 공종을 선정하여 물량산출 오차분석을 수행하였다. 터널내의 미관과 조명효과, 시각환경에 영향을 주는 타일붙임은 라이닝콘크리트 내부의 일정 영역에 시공된다.

표 5에서와 같이 라이닝콘크리트에서와 유사하게 물량오차가 평균 -0.005%로 기존물량과 CAD물량이 일치하고 있으며, BIM물량과의 오차 또한 평균 -0.223% 가량으로 오차가 대단히 작고, 기존물량과 CAD물량, BIM

물량이 지보패턴별 오차 또한 모두 동일하게 나타났다. 이를 통해 기존의 수작업을 통한 수량산출서에서는 계산오류가 발생하지 않았음을 알 수 있었다. 또한 앞서 물량산출 오차분석을 수행한 결과와 타일붙임 공종에서의 오차분석에서 동일하게 CAD물량 보다는 BIM물량이 일정하게 작게 나타났다. 이를 통해 2D-CAD기반의 경우 종구배, 횡구배, 회전반경 등을 고려하지 않는 등의 원인으로 CAD물량이 다소 크게 산출되는 현상이 일관성 있게 나타남에 따라 BIM물량의 정확성에 대한 신뢰성을 재차 확인하였다.

다음은 연동물량산출 공종 중 BIM기반의 3D 모델객체가 불가하여 기존에 모델링된 공종과 연동되도록 하는 동시에 단지 수식만으로 물량산출이 가능한 프리그라우팅 공종을 선정하여 물량산출 오차분석을 수행하였다. 연약지반 굴착 시 파쇄대의 보강 및 용수방지 등을 위하여 실시되며, 과도한 여유굴착이 예상될 경우에 굴착 이전에 실시되는 지반보강 보조공법 중 하나인 프리그라우팅은 일반적으로 전체 굴착연장의 10%에 해당되는 길이에 보강가능영역을 6m로 물량을 산출한다. 여기서 전체 터널연장을 3D 모델객체로 연동하여 물량이 산출되게 함으로서 추후 노선변경, 터널연장 변경 등 설계변경이 발생할 경우 연장과 연동되어 자동으로 프리그라우팅 물량이 변경될 수 있도록 BIM 설계를 수행하였다.

3D 모델객체 생성이 불가하여 산술식만으로 물량산출이 가능한 프리그라우팅 공종은 표 6에서와 같이 CAD

표 4. 라이닝콘크리트 오차분석

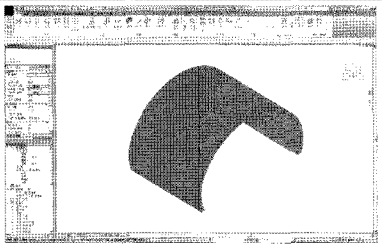
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	총 합	
기존물량(m ³)	719.460	495.628	479.136	136.740	218.784	2,049.748	
CAD물량(m ³)	719.396	495.584	479.022	136.749	218.798	2,049.549	
BIM물량(m ³)	716.701	493.614	477.780	136.454	218.291	2,042.84	
오차-A(%)	0.009	0.009	0.024	-0.007	-0.007	0.010	
오차-B(%)	-0.375	-0.398	-0.260	-0.216	-0.232	-0.327	

표 5. 타일붙임 오차분석

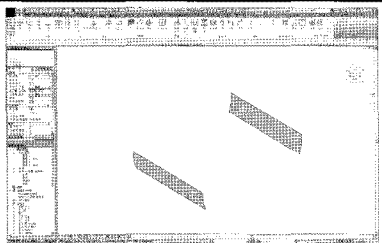
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	총 합	
기존물량(m ²)	368.910	254.138	229.544	61.485	98.376	1,012.453	
CAD물량(m ²)	368.930	254.152	229.556	61.488	98.381	1,012.507	
BIM물량(m ²)	368.097	253.582	229.050	61.354	98.162	1,010.245	
오차-A(%)	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	
오차-B(%)	-0.226	-0.224	-0.221	-0.218	-0.223	-0.223	

표 6. 프리그라우팅 오차분석

	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	총합
기존물량(개소)	1.530	1.054	0.952	0.255	1.000	3.536
BIM물량(개소)	1.530	1.054	0.952	0.255	1.000	3.536
오차-C(%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

표 7. 토공량 오차분석

구 간	기준	토사	리핑암	발파암	총계
상방향 시점	기존물량(m ³)	123.041	232.254	1425.550	1780.845
	BIM물량(m ³)	144.560	186.310	1468.630	1799.500
	오차C(%)	17.515	-19.782	3.022	1.049
하방향 시점	기존물량(m ³)	920.574	674.785	1827.644	3423.003
	BIM물량(m ³)	1245.590	770.290	1468.060	3483.940
	오차C(%)	35.306	14.153	-19.675	1.780
상방향 종점	기존물량(m ³)	2930.222	1030.338	5439.405	9399.965
	BIM물량(m ³)	2953.240	1072.770	5398.840	9424.850
	오차C(%)	0.786	4.118	-0.746	0.266
하방향 종점	기존물량(m ³)	787.754	583.392	5445.304	6816.450
	BIM물량(m ³)	680.100	867.590	4960.300	6507.990
	오차C(%)	-13.666	48.715	-8.907	-4.525
총 계	기존물량(m ³)	4761.564	2520.769	14137.903	21420.236
	BIM물량(m ³)	5023.490	2896.960	13295.830	21216.280
	오차C(%)	5.501	14.924	-5.956	0.952

물량과 BIM물량이 모두 기존 물량과 일치하였다. 이는 산술식을 이용한 연동물량산출 방식으로 물량표출이 가능함과 동시에 산술식 BIM 물량산출에 문제가 없음을 확인하였다.

다음은 비구조물공인 토공 공종 중 터널 갱구부 토공 공종을 대상으로 BIM기반의 3D 모델객체를 이용한 자동물량산출과 물량산출 오차분석을 수행하였다. 본 연구에서는 Revit Structure를 BIM 솔루션으로 사용하였으나, 이 솔루션은 구조물공을 대상으로만 가능함에 따라 비구조물공인 토공에 대한 BIM 솔루션으로 동일한 Autodesk 군에 포함되어 있어 모델링의 합체에 호환성이 우수한 Civil 3D를 선정하여 3D 모델링을 수행하였다. 그림 6과 같이 토사, 리핑암, 발파암 등 암별로 구분하여 모델링하고 물량을 산출하였다.

각 암별 물량은 표 7에서와 같이 터널 상방향과 하방향의 갱구부 시점과 종점에서의 기존 2D기반의 토공량과 BIM기반의 3D 모델객체를 통한 물량을 산출하였다. 2D기반 기존물량 대비 BIM물량의 총 토공량 오차범위는 최소 0.952%, 최대 4.525%로 유사한 결과가 나왔으나, 암별로 구분할 경우 상방향 시점부에서는 최대 -19.782%, 하방향 시점부에서는 35.306%, 상방향 종점부에서는 4.118%,

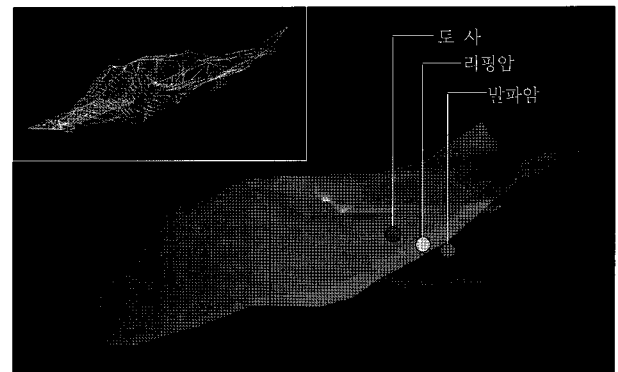


그림 6. Civil 3D에서의 암질별 토공량 모델링

하방향 종점부에서는 48.715%로 많은 오차가 발생하였다. 2D기반의 기존물량은 암별 평균단면적에 일정간격을 곱하여 산출하는 방식인 반면, BIM기반의 3D 모델객체를 통한 물량산출은 암별 3차원 지반형태를 그대로 적분형식으로 자동 산출하는 방식임에 따라 많은 오차가 발생하였다. 이를 통해 토공 공종을 대상으로 물량을 산정할 경우 2D기반의 물량산출에 상당히 많이 설계오류가 있으며, 이를 기반으로 하는 설계예산서 또한 오류를 그대로 내포함으로써 시공비 예산 설정의 문제점을 발견할 수 있었다. 이를 통해 비구조물공인 토공 공종인

경우, 물량산출의 신뢰성뿐만 아니라 사토처리 계획, 성·절토 운반계획, 토취장 확보계획, 순성토량 및 유용성토량 산정 등 많은 토공계획을 명확하게 세우기 위해서는 토공 공중에 BIM 설계기법을 도입 및 적용이 시급한 상황이다.

4. 결 론

본 연구에서는 터널 설계에서 국내 적용실적이 가장 많은 NATM 터널을 대상으로 BIM기반 3D 객체모델을 통한 물량산출 및 물량 오차분석을 수행하였다. 이를 위한 물량산출 과정은 모델링, 자동물량산출, 연동물량산출 순서로 진행하였다. 물량산출 오차분석 수행을 위해 구조물공인 총굴착, 숏크리트, 라이닝콘크리트, 타일붙임, 프리그라우팅, 비구조물공인 토공 등 자동물량산출, 연동물량산출, 체적, 면적, 객체모델, 비객체모델, 산술식 적용 등 다양한 BIM기반의 물량산출이 가능한 공종을 대상으로 하였다. CAD물량과 BIM물량을 비교한 결과 총굴착 -0.261%, 숏크리트량 -1.444%, 라이닝콘크리트량 -0.327%, 타일붙임 -0.223%, 프리그라우팅 0.000%, 총토공량 -0.952% 등 전체적으로 공종별 물량산출 오차가 무시할 정도로 작게 나왔다. 이를 통해 BIM 설계기법을 적용한 물량산출에 문제가 없고 BIM 적용에 대한 신뢰성, 정확성, 실효성 등을 확인하였으며, 오히려 2D기반의 물량산출의 경우 수작업으로 인한 물량산출 오류발견 및 중구배, 횡구배, 회전반경 등을 고려하지 않은 물량산출 등으로 인한 오차발견, 암별 3차원 지반형

태를 고려하지 않은 물량산출로 인한 오차발견 등 여러 가지 문제점을 발견할 수 있었다.

터널과 같이 토목시설물은 사회간접자본 시설물로서 국민의 혈세로 공사비 예산을 계획하는바, 투명하고 정확한 예산산정은 필수적인 사항이다. 이를 위해서는 BIM 설계기법을 조속히 도입하여 확대 적용함으로써 이를 해결하고 나아가 BIM 설계와 IT기술의 접목을 통한 차별화된 기술로 해외 건설시장에서의 경쟁력 제고에 기여될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(과제번호: 09CCIT-B052843-01)의 지원으로 이루어진 것으로, 본 연구를 가능하게 한 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 신재철, 백영인, 엄병호 (2011), "NATM 터널 물량산출을 위한 BIM 모델링 가이드라인", *한국방재학회 학술발표대회*, pp.200-226.
2. 이재준, 신태홍, 김성아, 강명구, 진상운 (2008), "BIM기반 건축자 동화 체계구축을 위한 물량 데이터 유형 분석 체계 개발", *한국건설관리학회 학술발표대회 논문집*, pp.297-300.
3. 조달청 (2010), "3D 건축기법(BIM) 적용 확대한다.", *보도자료*, 2010.04.15 배포.
4. 한국도로공사 (2009), "고속국도 제 40호선 충주~제천간 고속도로 건설공사 제2공구 영덕~명서 산책3터널 도면 및 수량산출서".

(접수일자 2011. 3. 18, 심사완료일 2011. 8. 19)