BIM기반 고속도로 공사 물량산출 신뢰성 검토 및 활용

Reliability Analysis and Utilization of BIM-based Highway Construction Output Volume

정국영¹⁾, 우정원²⁾, 강경돈³⁾, 신재철⁴⁾

Jung, Guk-Young¹⁾ • Woo, Jeong-Won²⁾ • Kang, Kyeong-Don³⁾ • Shin, Jae-Choul⁴⁾

Received August 29, 2013 / Accepted September 30, 2013

ABSTRACT: In case of applying the BIM method in the civil engineering of irregularly shaped structure, BIM method began to be introduced in the current building engineering area compared with the expected effects of the relatively high construction productivity has been recognized. In this paper, I have developed quantity calculation algorithms applying it to earthwork and bridge construction, tunnel construction, retaining wall construction, culvert construction and implemented BIM based 3D-BIM Modeling quantity calculation. Structure work in which errors occurred in range between -6.28% ~ 5.17%. Especially, understanding of the problem and improvement of the existing 2D-CAD based of quantity calculation through rock type quantity calculation error in range of -14.36% ~ 13.07% of earthwork quantity calculation. It's benefit and applicability of BIM method in civil engineering. In addition, routine method for quantity of earthwork has the same error tolerance negligible for that of structure work. But, rock type's quantity calculated as the error appears significantly to the reliability of 2D-based volume calculation shows that the problem could be.

Through the estimating quantity of earthwork based 3D-BIM, proposed method has better reliability than routine method. BIM, as well as the design, construction, maintenance levels of information when you consider the benefits of integration, the introduction of BIM design in civil engineering and the possibility of applying for the effectiveness was confirmed.

In addition, as the beginning phase of information integration, quantity document automation program has been developed for activation of BIM. And automatically enter the program code number, linkage and manual volume calculation program, quantity document automation programs, such as the development is now underway, and step-by-step procedures and methods are presented.

KEYWORDS: BIM design techniques, Civil structures construction, Quantity survey, Reliability analysis, Highway, Standard classification system, Work classification code, Quantity calculation, Document automation

키워드: BIM 설계기법, 토목 구조물공, 물량산출, 신뢰성 분석, 고속도로, 표준분류체계, 공종코드번호, 수량산출서, 문서자동화

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

설계단계-BIM(Building Information Modeling)의 공간이 되는 물량산출의 접근성에 있어서 BIM에 대한 국내외 건설 산업의 신뢰도가 만족할 만한 수준은 아니다. 토목분야보다 10년가량 먼저 BIM 도입이 추진된 건축분야에서도 물량산출의 접근성 측면에 있어서는 비정형 구조물에 대한 시각화 정도에 머무르는 수준이다.

국내 건축분야에서는 이미 단계적으로 BIM 납품의무화가 추

진되고 있는 반면 토목분야는 BIM 도입의 초기단계임에도 불구하고 향후 3~4년 내 BIM 납품의무화를 위해 여러 공공기관에서 BIM 납품의무화 도입을 준비 중에 있으며, BIM 납품의무화 시행을 위한 사전준비로서 부분적인 BIM설계 도입을 진행 중에 있다.

이에 본 연구에서는 BIM설계를 시행하기에 앞서 기존의 2D-설계 물량산출결과와 BIM-설계를 통한 물량산출결과의 오차를 비교·분석하여 그 신뢰성을 분석하고, 향후 시행될 BIM설계의 확대 적용을 위한 기초자료로 제공하고자 한다. 이를 위해 도로 공사에 필요한 공사 중 구조물공인 교량공, 터널공, 옹벽공, 암거공과 비구조물공인 토공을 대상으로 신뢰성 분석결과를 제시

¹⁾정회원, 한국도로공사 설계처 부장 (jgy5428@ex.co.kr)

²⁾비회원, 한국도로공사 설계처 부장 (sevenn@ex.co.kr)

³⁾비회원, 한국도로공사 설계처 차장 (kdkang88@naver.com)

⁴⁾정회원, ㈜동성엔지니어링 기술연구소 상무 (sjc@dsen.co.kr) (교신저자)

하고자 한다.

현재 건설 산업의 프로세스는 2D기반으로 설계, 시공, 유지 관리 등 시설물의 총 생애주기 동안 관리 및 시행 주체가 상이하다. 또한 건설 산업 참여주체들은 전문성에 따른 독립된 작업으로 인해 총 생애주기 동안 건설정보의 전달방법의 통일성이 부족한 상황이다. 이러한 정보단절로 인해 건설 산업의 생산성은 타 산업과 비교해 낙후되어 있는 실정이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 건설 공종정보의 DB화 및 이를 활용하여 4D, 5D, nD-BIM 구현이 가능하도록 표준화된 BIM기반의 건설정보 분류체계가 필요하다. 또한 수량산출서 및 내역산출서 문서자동화 및 공정관리, 실적관리, 기성관리, 원가관리, 자재관리, 장비관리, 현장관리, 이력관리, 품질관리, 안전관리 등 총 생애주기 동안 발생하는 모든 정보의 통합운영관리 및 향후 시설물의 BIM 표준 납품 의무화를 위해서 특히 BIM기반의 건설정보 분류체계의 표준화작업이 시급한 상황이다. 그러나 현재 국내 토목분야 표준분류체계 중 공종분류체계는 국토교통부에서 제시한 “토목 공사 수량산출기준” 이외에도 “통합 건설정보 분류체계” 및 “공사시방서 작성요령” 내의 공종분류체계 등 각각 상이한 분류방식 및 코드체계를 사용하고 있다.

본 연구에서는 BIM기반 수량산출서 자동화를 위하여 3차원 객체 BIM 물량DB 활용 및 물량DB 관리를 위한 BIM기반의 건설정보 표준분류체계를 토공 및 교량, 터널, 옹벽, 암거 등 구조물공 및 비구조물공을 대상으로 제안하고자 한다. 또한 BIM의 활용성을 위한 BIM기반 수량산출서 문서자동화의 설계적용 가능성을 확인하였다. 뿐만 아니라 설계·시공·유지관리단계 중 설계 단계 BIM 활성화를 위한 국부적인 수량산출서 자동화 개발을 위해 전체 물량의 DB화 및 수량산출서 표준화를 위한 최소단위 물량 코드번호 부여를 위한 BIM기반의 건설정보 분류체계 구축, 관련 프로그램 개발 등을 추진 중에 있으며, 이에 대한 단계별 절차와 방법을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 2010년 설계완료 및 공사 착수된 고속도로건설공사의 토공, 교량공, 터널공, 옹벽공, 암거공을 대상으로 BIM 모델링을 수행하였으며, 모델링을 통한 BIM-물량과 기존 2D기반의 물량과의 오차를 비교·분석함으로써 BIM-설계의 신뢰성과 우수성을 검증하였다.

3차원 기반의 물량산출 방식은 다양하지만 본 연구에서는 여러 가지 BIM Tool 중 물량산출 이외에도 정보 입출력기능에 유리한 Autodesk사의 Civil3D와 Revit을 이용하여 BIM기반 물량산출을 진행하였다.

본 연구에서는 BIM기반의 물량산출방법을 자동물량, 연동물량, 수동물량의 3가지로 구분하여 전체 물량을 산출하였다.

여기서, 자동물량이란 BIM 모델링을 통해 BIM Tool에서 자동으로 산출되는 물량을 의미하며, 연동물량이란 자동물량과 연동된 계산식으로 산출되는 물량을 의미하고, 수동물량이란 가시설, 철근량 산정과 같이 BIM기반 보다 2D기반 물량산출이 더 유리하고 실용성이 높거나 모델링을 통한 물량산출이 불가능한 공종의 경우에 해당되는 산출물량을 의미한다. 또한 오차분석 및 오차 발생 원인분석은 자동물량 공종만을 대상으로 비교·검토를 수행하였으며 정확한 오차 원인분석을 위해 사전에 2D기반으로 산출된 물량에 대해 오류분석을 선행하였다.

2. 물량산출 오차원인분석 및 수량산출서 자동화

2.1 개요

본 연구에서는 고속도로건설공사의 도로 일부구간(연장 3.2km)의 토공, PSC Beam 교량, NATM 터널, 옹벽 1개소, 암거 1개소를 대상으로 오차 및 오차 원인분석을 수행하였다. 오차율은 BIM물량 대비 2D물량에 대한 비율로서 식 2.1.1과 같이 산정하였다.

$$\text{오차(\%)} = \{(\text{BIM물량} - \text{2D물량}) / \text{BIM물량}\} \quad (\text{식 2.1.1})$$

BIM기반 수량산출서 자동화를 위해서는 첫 번째로 기존 2D기반의 도면 및 수량산출서를 분석하여 설계요류를 찾아 수정하는 작업이 필요하다. 물론 2D기반 대비 BIM기반 오차율 산정과정이 불필요하거나, 처음부터 BIM기반의 설계기법을 적용할 경우에는 이 과정은 필요치 않다. 두 번째로는 BIM Solution을 통해 구조물을 3차원객체로 모델링하여 자동으로 물량산출(자동물량산출)을 한다. 또한 예를 들어 터널의 경우 총굴착량에서 여유굴착량을 뺀 값이 설계굴착량이 되는 방식과 같이 설계굴착공종을 3차원객체 모델링을 통한 자동물량산출을 할 필요 없이 총굴착 및 여유굴착 자동물량산출 공종을 연동하여 설계굴착공종 물량(연동물량산출)을 취하는 방법이 더욱 유리한 공종에 대한 물량을 산출 한다. 그리고 가시설, 가설 및 철근량 산출은 기존의 2D기반 물량산출 방법(수동물량산출)을 그대로 사용함으로써 설계변경 시 실효성이 있도록 하였다. 세 번째로 자동 및 연동, 수동물량산출이 완료된 후 각각의 물량DB를 수량산출서 내 최소단위 물량(수량산출근거 물량)과 매핑시켜 줌으로써 자동화 구현을 가능케 하였다. 이러한 과정에서 매핑 매개체로서 공종코드번호 체계를 개발하였으며, 이 것이 BIM기반의 건설정보분류체계이다. 공종코드번호 입력의 오류 및 공종코드번호 중복부여가 발생되지 않도록, 공종코드번호 입력시스템을 개발하여 자동으로 부여하는 동시에 검증하도록 하였다. 또한 수량산출서 자동화 과정에서도 물량DB 매핑작업 중 비사용 공종코

드번호가 발생될 경우를 확인할 수 있도록 함으로써 신뢰도 높은 수량산출서 자동화 시스템을 개발하였다.

2.2 물량산출 개요

설계도면 및 계산서를 기반으로 산출되는 물량정보는 건설공사 참여주체들에게 비용과 관련한 의사결정에 결정적인 역할을 하는 중요한 정보이다. 이러한 정보를 생성하는 물량산출이 수작업에 의존하다보니 작업자의 실수에 의한 오류가 빈번하게 발생하고, 견적담당자의 노하우에 따라 물량의 차이가 존재하기도 한다. 또한 설계변경 시 물량산출을 위한 재작업에 들어가게 될 경우, 모든 물량산출 프로세스(Process)를 다시 거쳐야 한다.

BIM Modeling을 위한 Tool에는 여러 가지가 있으나, 각 Tool을 통해 Modeling 작업이 완료된 후 공통으로 저장할 수 있는 확장자명은 IFC 포맷(Format)이다. 그러나 IFC 포맷으로 저장할 경우 각 Tool들이 가지고 있는 고유의 저장파일에서 호환성 부족으로 보유하고 있는 정보들이 상당수 손실되는 현상이 발생된다. 각 Tool마다 모델링을 위해 정리된 2D-CAD 파일을 이용하여 Modeling을 하거나 또는 직접 좌표값을 이용하거나 또는 Edit기능을 이용하는 등 모델링 Process가 각기 다르므로 모델링을 위한 사전계획 및 사전작업 또한 다를 수밖에 없다. 각 BIM Tool들이 Modeling 및 물량표출방식이 이와 같이 서로 상이하기 때문에 표준화된 Process로 통합하기에는 어려운 점이 많다.

본 연구에서 사용된 Autodesk Revit의 경우 BIM기반 모델에서 자동으로 물량을 산출하여 물량산출의 오류나 차이점을 바로 잡고 설계변경에 따른 물량산출을 효율적으로 수행하기 위해서 Figure 10에서와 같은 Process를 적용하였다.

3차원 Modeling의 자동물량산출 Process를 수행함에 있어 패밀리(Family)를 물량산출 목적에 맞게 재구성하게 되면 Modeling 형상의 면적 또는 체적량과 같이 자동으로 물량이 산출된다. 그러나 터널의 Pre-Grouting과 같이 Modeling이 불가하여 형상정보생성이 불가한 경우에는 “Pre-Grouting=연장(형상정보)·10%·6.0m(개소당 보강가능영역 6.0m)”과 같이 Modeling과 연동시켜 자동으로 물량이 산출되도록 하였다. 이는 설계변경 시 Remodeling할 경우에도 물량산출이 자동으로 변경되도록 하여 업무의 효율성을 향상시켰다.

Figure 1 BIM-based quantity estimation process

터널의 경우를 예를 들어 물량산출과정인 자동물량산출 공종으로는 총굴착량, 설계굴착량, Lining-Concrete, Lining-Concrete 신축이음, Rock-Bolt 등이 있다.

연동물량산출 공종으로는 여유굴착량, 암버럭처리, Rock-Bolt Resin, Rock-Bolt 천공, Lining Concrete 시공이음 등이 있으며 적용된 산술식은 다음과 같다.

- 여유굴착(m^3) = 굴착(m^3) - 설계굴착(m^3)
- 암버럭처리(m^3) = 굴착(m^3)
- Shotcrete(m^3) = Shotcrete(M)(m^3) / (1-리바운드율)
- Rock-Bolt Resin(EA) = Resin 개수(EA) × Rock-Bolt 개수(EA)
- Rock-Bolt 천공(m) = (Rock-Bolt 길이(m) + 0.1m) × {Rock-Bolt 개수(EA) / 굴진장(m)}
- Lining-Concrete(m^3) = Lining-Concrete 체적(m^3) + 여유 굴착량(m^3)/2
- Lining-Concrete 시공이음(m) = Lining-Concrete 신축이음(m) × 2

2.3 토공량 분석 결과

토공량의 경우 본선구간, 교량부의 앞성토, 사면부 측구연장(V형측구/U형측구/산마루측구)에 대하여 신뢰성분석을 수행하였다.

2D기반의 본선구간 토공량은 기존 방법과 동일하게 정측점 간격을 20m 간격으로 설정하여 산출하였다. 그리고 BIM 설계기법을 이용한 토공량 산출은 원지형을 최대한 반영할 수 있도록 정측점 간격을 1m 간격으로 설정하여 물량을 산출하였다. 이에 따른 오차율은 다음의 Table 1과 같다.

토공량의 경우 깎기부의 경우 평균 -0.83%, 쌓기부의 경우 0.07%의 오차율이 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나 깎기부 토사와 리핑암 각각에서는 13.07%, -14.36%의 오차가 발생하

Table 1 Calculation of Earthwork quantity

Name of construction work	① 2D-based quantity (m^3) (intervals:20m)	② BIM quantity (m^3) (intervals:1m)	③ - ① (m^3)	Rate of errors (%)
1.excavation	255823,85	253693,07	-2130,78	-0,83
1)earth & sand	96235,12	108812,66	12577,54	13,07
2)ripping rock	105879,83	90671,21	-15208,62	-14,36
3)blasting rock	53708,90	54209,20	500,3	0,93
2.banking	86021,53	86077,56	56,03	0,07
1)subgrade	5168,86	5103,39	-65,47	-1,27
2)road bed filled up ground	80852,67	80974,17	121,5	0,15

었다.

그 원인으로는 정측점 간격과 원지형의 반영에 따라 동일한 조건에서 토공량이 산출되어 오차율이 크게 발생한 것으로 판단 된다. 특히 상기 토공량 오차분석 대상구간이 산지부여서 큰 오차가 발생하였으나, 평지부의 경우라면 오차율이 상기와 같이 크지는 않으리라 예상된다.

산지부의 경우 정측점 간격을 더욱 정밀화한다면 원지형 고려가 더욱 실제 예측값과 유사한 토공량을 산출할 수 있으나, 현재의 컴퓨터 성능과 도로구간 분할영역 설정 등을 고려해 볼 때 정측점 간격을 1m간격으로 진행하는 것이 합리적이라 판단 된다.

두 번째로 교량의 앞성토 토공량을 산출하였다. 2D설계의 토공량 산출은 교대부근 한 지점의 지반고만이 반영된 단순한 계산식에 의해 산출되어서 원지형을 고려하여 산출되어진 BIM설계 토공물량보다 과다 산출되어진 것으로 나타났다. 마지막으로 사면부의 측구 연장에 대해서 신뢰성 분석을 하였다. 2D설계에서는 235m가 산출되었으나 BIM설계에서 산출된 값은 249.75m이다. 2D설계보다 BIM설계의 값이 크게 산출되어진 것을 볼 수 있다.

그 원인으로는 2D설계에서는 원지형의 종단경사와 측구의 시공여건이 고려되지 않아서 실제의 연장보다 부족하게 산출된 것이었다. 오차분석 결과 원인들이 원지형 및 실제시공 시의 여건이 고려된 물량산출로써 BIM기반 물량산출에 대한 신뢰성 및 정확성을 확인할 수 있었다.

Table 2 Earthwork quantity of front embankment

Name of construction work	a) 2D-based quantity (m ³)	b) BIM quantity (m ³)	b) - a) (m ³)	Rate of errors (%)
front embankment	12603,781	11783,721	-820,060	-6.96

classification	2D design	BIM design
Earthwork quantity (ordinary point intervals)		
Earthwork quantity of front embankment/slope side		
Side gutter extension at the slope side		

Figure 2 BIM design for earthwork

2.4 교량물량 분석 결과

PSC beam 교량의 경우 BIM 설계 신뢰성분석은 상부공 및 하부공(교대부, 교각부 등)으로 구분하여 진행하였다.

교량의 자동물량산출 공종으로는 신축이음 덮개판, 교량받침, 신축이음장치, 방호울타리, 콘크리트 생산, 무수축 콘크리트, 무수축물탈, 슬플레이트, 표면처리, 특수마무리, 스페이서 설치, 슬래브 양생, 교면포장, 아스팔트 방수, 중앙분리대, 방음

Table 3 Error rates in major construction works of bridge

Name of construction work	a) 2D-based quantity	b) BIM quantity	b) - a)	Rate of errors (%)
concrete production	3224,15	3223,018	-1,132	-0.04
bridge bearing	60	60	0	0
non shrink mortar	2,718	2,704	-0,014	-0.500
sole plate	4,271	4,268	-0.003	-0.070
crash barrier	360,064	360,103	0.039	0.010
expansion joint	47,462	47,483	0,021	0.040
expansion joint cover plate	8	8	0	0
asphalt waterproof	761,956	753,000	-8,956	-1.190
bridge deck pavement	2106,374	2092,329	-14,045	-0.670
non shrink concrete	4,949	4,959	0,010	0.210

Figure 3 BIM design for bridge construction

벽, 다웰바, 수축줄눈, 강관말뚝 등이 있다. 이러한 자동물량에 있어서의 오차율은 다음의 Table 3에서와 같이 1.2% 이내로 상당히 미소하게 발생하였다. 교량의 자동물량에서의 오차 발생 원인을 분석해보면 2D기반 수량산출 시 평면곡선, 종단곡선, 구조물의 복잡한 기하구조에 의한 영향이 고려되지 않아 발생된 것으로 BIM기반으로 산출된 자동물량이 보다 신뢰성이 높다고 볼 수 있다.

2.5 터널물량 분석 결과

NATM 터널의 경우 BIM 설계 신뢰성분석은 자동물량산출 공종에 대하여 진행하였다.

터널의 자동물량산출 공종으로는 총굴착, 설계굴착, 숏크리트, 록볼트, 격자지보판, 콘크리트 라이닝, 콘크리트 라이닝 신축이음, 유공관, 스파이럴썸닥트관, 비닐шит, 배수콘크리트, 배수콘크리트 신축이음, PVC pipe, 스틸그레이팅 커버 등이 있다. 이러한 자동물량에 있어서의 오차율은 Table 4에서와 같이 발생하였다.

터널의 자동물량에서의 오차 발생 원인을 분석해보면 2D기반 수량산출 시 평면곡선, 종단곡선, 구조물의 복잡한 기하구조

Table 4 Error rates in major construction works of tunnel

Name of construction work	a) 2D-based quantity	b) BIM quantity	b) - a)	Rate of errors (%)
total cut	130280,800	130003,767	-277,033	-0.21
design cut	123891,171	124019,913	128,742	0.1
shotcrete	7728,622	7729,968	1,346	0.02
rock bolt	9036,643	8964,000	-72,643	-0.81
lattice girder	522	522	0	0
concrete lining	12066,368	12076,462	10,094	0.08
concrete lining expansion joint	1235,497	1165,140	-70,357	-6.04
perforated drainpipe	2680,000	2681,176	1,176	0.04
spiral seam duct pipe	2631,760	2638,963	7,203	0.27
vinyl sheet	4349,352	4345,583	-3,769	-0.09
drain concrete (machine)	1985,025	1916,229	-68,796	-3.47
drain concrete (manual)	929,397	987,774	58,377	-6.28
drain concrete expansion joint	101,181	104,158	2,977	2.86
PVC pipe	330,982	349,030	18,048	5.17
steel grating cover	100,640	104,000	3,360	3.23

Figure 4 BIM design for tunnel construction

에 의한 영향과 설계자의 실수가 고려되지 않아 발생된 것으로 BIM기반으로 산출된 자동물량이 보다 신뢰성이 높다고 볼 수 있다.

2.6 옹벽물량 분석 결과

옹벽의 경우 교량부에 설치되는 L형 옹벽을 BIM설계하여 대표로 분석하였다.

L형 옹벽의 자동물량산출 공종으로는 콘크리트, 드레인보드, 부직포, PVC PIPE, 수축줄눈 등이 있다. 이러한 자동물량에 있어서의 오차율은 Table 5에서와 같이 0.3% 이내로 상당히 미소하게 발생하였다.

옹벽의 자동물량에서의 오차 발생 원인을 분석해보면 2D기반 수량산출 시 평면곡선, 종단곡선에 의한 영향 등이 고려되지 않아 발생된 것으로 BIM기반으로 산출된 자동물량이 보다 신뢰성이 높다고 볼 수 있다.

Table 5 Error rates in major construction works of L-type retaining wall

Name of construction work		Ⓐ 2D-based quantity	Ⓑ BIM quantity	Ⓑ – Ⓐ	Rate of errors (%)
production and purchase of concrete		77,704	77,491	−0.213	−0.27
drainage facilities	drain board	16,110	16,089	−0.021	−0.13
	non—woven fabric	41,170	41,117	−0.053	−0.13
	PVC pipe	4,041	4,041	0,000	0
contraction joint		6,300	6,300	0,000	0

classification	2D design	BIM design
topographic map
L-type retaining wall

Figure 5 BIM design of L-type retaining wall

2.7 암거물량 분석 결과

본선도로에 설치되는 암거 중 1개소를 BIM설계하여 대표로 분석하였다.

암거의 자동물량산출 공종으로는 콘크리트, 시공이음면처리, 아스팔트 코팅, 방수재 등이 있다. 이러한 자동물량에 있어서의 오차율은 Table 6에서와 같이 0.7% 이내로 상당히 미소하게 발생하였다. 암거의 자동물량에서의 오차 발생 원인을 분석해보면 2D기반 수량산출시 평면곡선, 종단곡선에 의한 영향과 사·종점 간의 각도 및 레벨의 차이 등이 고려되지 않아 발생된 것으로 BIM기반으로 산출된 자동물량이 보다 신뢰성이 높다고 볼 수 있다.

Table 6 Error rates in major construction works of culvert

Name of construction work	[Ⓐ] 2D-based quantity	[Ⓑ] BIM quantity	[Ⓑ] − [Ⓐ]	Rate of errors (%)
production and purchase of concrete	836,77	842,608	5,838	0,693
construction joint side clean out	142,8	143,529	0,729	0,508
asphalt coating	1053,15	1058,611	5,461	0,516
waterproof agent	44,86	44,858	−0,002	−0,004

classification	2D design	BIM design
culvert	<p>The 2D design of the culvert includes a top view and a side view. The top view shows a square structure with a width of 2,800 units. The side view shows a height of 3,000 units and a width of 2,000 units. A detail view shows a corner with a radius of 200 units and a height of 200 units.</p>	<p>The BIM design of the culvert shows a 3D perspective view of the structure, highlighting the square shape and the surrounding environment.</p>
longitudinal section	<p>The 2D design of the longitudinal section shows a series of segments labeled 1, 2, 3, and 4. The segments are connected by joints. The overall length of the section is 10,000 units, and the width is 2,000 units.</p>	<p>The BIM design of the longitudinal section shows a 3D perspective view of the structure, highlighting the segments and the surrounding environment. Labels include: RAILING WALL, WATERPROOF AGENT, DETECTION JOINT SIDE CLEAN OUT, EPS PANEL, WING WALL, and NOTCH.</p>

Figure 6 BIM design of culvert

3. BIM기반 건설정보분류체계(안)

3.1 국내외 동향

국내의 경우 건설정보 분류체계에 대한 관심도와 적용 현황은 매우 저조한 것으로 파악되고 있다. 대형 건설사의 경우 독자적 개발 또는 해외분류체계의 적용으로 사용되고, 발주처들 역시 독자적인 공종분류를 실시하고 있지만 분류체계가 모두 상이하게 운영되어 적용 효과가 미비한 실정이다.

그래서 분류체계 통합에 대한 연구는 꾸준히 이루어지고 있는데, 대표적으로 국가 차원의 건설정보 분류체계에 대한 연구가 한국건설기술연구원을 중심으로 1980년 후반부터 연구가 진행되어 실적공사비 축적 및 적용방안에 대해 이루어졌고, 2001년 대·중분류 수준의 통합 건설정보 분류체계 적용기준을 국토교통부 공고로 발표하였다.

이후 국토교통부에서 실적공사비체계(수량산출기준)이 작성되면서 분류체계에 대한 틀은 정해졌지만 BIM 설계기법에 적용하기에는 세부 항목들에 대한 분류가 미흡한 실정이다.

해외의 정보분류체계에는 유럽의 CI/StB, Uniclass, ISO 표준 분류와 북미의 MasterFormat, 일본의 JCCS 등이 있다. 유럽의 경우는 정보의 형태, 학문분야, 관리, 시설물, 단위시설물 등 14개의 분류를 제시하였다. 북미의 Master Format의 경우, 공사 일반, 토공 공사, 콘크리트 공사 등 16개 분류로 구분되어 개정이 진행되고 있다. 일본 역시 4개의 대분류를 통한 세부분류를 통해 각 구성요소들을 구분하였다.

최근 추진되고 있는 해외의 정보분류체계는 모두 기존의 문서표현 위주였던 분류체계의 형태에서 컴퓨터를 기반으로 하는 전산화 개념의 분류체계들이다. 즉, 컴퓨터와 정보기술의 발달은 건설산업에도 커다란 영향을 끼치고 있으며 그 반영 여부에 따라 건설공사의 효율화와 경쟁력이 크게 좌우되게 되었다.

3.2 BIM기반 건설정보 분류체계 설정 방향

본 연구에서는 국내 건설정보 분류체계에서 제시하고 있는 분류체계에 BIM 설계기법을 적용 시 발생할 수 있는 문제점을 개선하고 BIM 기반 수량산출기준 적용이 가능하도록 분류코드에 대한 체계를 제시하고자 한다.

토목 산업에 BIM을 적용한다는 것은 모델링이 되는 각 객체에 물량정보, 단가정보, 시간정보가 포함된다는 의미이다. 이러한 통합적인 정보를 체계적으로 관리하기 위해서 분류코드가 필요하게 되는데 이 기준은 국토해양부 토목공사 수량산출기준을 토대로 세부적으로 추가 분류하였다. 분류코드를 세분화하여 각 공종별, 공정별 객체로 구분하기 위한 것은 DB 각각에 공종 코드번호를 부여시켜야 물량산출DB 및 정보 축적이 가능하기 때문이다. 이를 위해서는 기존의 2D 기반의 건설정보 표준분류

체계로서는 불가하여 다음과 같이 보완 사항을 제시하였다.

첫째, 기존의 2D 기반의 대분류, 중분류, 소분류, 세분류 분류 체계에서의 규칙을 준수하여 기존 사용자들의 혼동을 방지하였다.

둘째, 추가적인 세부 분류를 위해 고려되어야 할 사항들이다. 사업단위로 물량 DB를 관리하기 위해서는 공구를 구분할 필요성이 있고, 한 공구에도 터널 및 교량, 토공부가 여러 구간 존재하므로 터널, 교량, 토공부를 구분하는 동시에 토공의 경우에는 본선, IC, 간이IC, JCT, 부체도로, 고속도로, 국도, 지방도로, 계획도로, 이설도로, 접속도로 등으로 구분하였다.

또한 각 공구별 진행방향인 상행선과 하행선으로 구분하는 동시에 시점부와 종점부, 좌측과 우측, 중앙부 등으로 구분하였다. 또한 단면의 형식에 따른 분류도 이루어질 필요가 있는데, 예를 들어 터널의 경우 전단면, 상부 반단면, 하부 반단면으로 구분하였다. 산출방법에 대한 정보를 제공하고자 자동, 연동, 수동물량으로 구분하여 DB를 세분화하였다.

이상과 같이 제시된 항목을 고려하여 전체 분류코드는 총 36자리로 이루어져있으며, 대분류, 중분류, 소분류, 세분류, 세세분류를 포함한 앞의 5자리는 국토교통부 “토목공사 수량산출 기준지침서 2007”을 적용하였고, 이후 10자리는 사업단위별 물량관리를 위하여 공구, 교량/터널/토공부, 상하행선, 시종점부, 좌우 등 위치정보를 분류하였고, 이후 16자리는 물량 및 내역 DB 구축을 위한 현행 수량산출서 공종 항목과 일치되도록 공종별 구조물의 형식 및 종류, 재료의 성질, 산출정보 등을 분류하였다. 또한 마지막 5자리는 공정순서에 따른 비용관리 즉, 5D-BIM 구현에 적용되도록 시공순서에 대한 정보를 분류하였다.

3.3 터널 BIM기반 건설정보 분류체계 적용 사례

터널분야는 대부분의 공정이 수량산출기준에서 터널공사 항목으로 분류되어 있으나, 교량분야는 교량분야에 해당되는 부대공이 주로 교량공사 항목으로 되어있다. 또한 터널과 교량분야에서 공통항목인 포장, 콘크리트 타설 부분은 도로 및 포장공사, 현장타설 콘크리트공사로 분류되어있어 BIM 분류항목에서 세분화하여 구분하였다. 다음 그림은 터널분야에서의 공종코드 분류 예시와 분류코드에 따른 터널분야 공종에 부여된 공종코드에 대한 예시이다.

NA140 0101011902,10014012,10000001,000000
터널공사, 굴착, 터널, 설계굴착 단면적의 종류
NA140, **0101011902** ,10014012,10000001,000000
1공구, 터널-1, 상행선, 시종점부-좌우, 2차로
NA140,0101011902, **10014012** ,10000001,000000
굴착, 본선, 지보패턴 4, 총굴착, 하부반단면
NA140,0101011902,10014012, **10000001** ,000000

국토해양부(건설교통부) 토목공사 수량산출기준지침서 2007				
대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
터널공사	굴착발파	터널 수직구 지하공간	설계굴착단면적 ≤3㎡ 3㎡<설계굴착단면적 ≤7㎡ 7㎡<설계굴착단면적 ≤15㎡ 15㎡<설계굴착단면적 ≤30㎡ 30㎡<설계굴착단면적 ≤60㎡ 60㎡<설계굴착단면적 ≤100㎡ 100㎡ <설계굴착단면적	기타 제어발파 무진동

위치정보(공구/공사/상하행/시종점/좌우/차로수)				
위치정보-1	위치정보-2	위치정보-3	위치정보-4	위치정보-5
공구번호	터널	상행선 하행선 상하행선	시점부-좌 시점부-우 시점부-좌우 종점부-좌 종점부-우 종점부-좌우 시종점부-좌 시종점부-우 시종점부-좌우	1차로 2차로 3차로 4차로 5차로 6차로 7차로 8차로 9차로

공종분류						
공종분류-1	공종분류-2	공종분류-3	공종분류-4	공종분류-5	공종분류-6	공종분류-7
굴착 인력굴착 버럭처리		본선 접속부 개착터널	P-1 P-2 P-3 P-4 P-5 P-6 FP 기타		총굴착	전단면 상부반단면 하부반단면 동상방지층(상부) 동상방지층(하부)

공종정보					산출방법	시공순서
공종정보-1	공종정보-2	공종정보-3	공종정보-4	공종정보-5	산출정보	시공정보
기계화기 자연환경					자동 연동 수동	

Figure 7 BIM-based tunnel construction classification

기계화기, 자동물량

NA140,0101011902,10014012,10000001, **000000**

시공순서(공정순서)

사업단 전체의 물량DB별을 분류하기 위하여 먼저 위치정보-1 항목에서와 같이 공구별로 구분하였으며, 다음은 위치정보-2 항목에서와 같이 각 공구별 교량, 터널, 도로로 구분하는 동시에 교량, 터널, 도로별 세분화하여 구분하였다. 예를 들어 00~00 고속도로 건설공사 1공구 2번째 터널인 경우 “010102”와 같이 공종코드번호가 부여된다. 상행선과 하행선으로 구분하여 물량 DB 관리가 가능하도록 하기 위하여 위치정보-3 항목에서와 같이 구분하였으며, 터널 굴착과 같은 경우 전단면, 상부반단면, 하부반단면 등에 따라서 단가가 달리 적용됨에 따라 이를 구분하여 물량산출이 진행되어야 한다. 따라서 이를 고려할 수 있도록 공종분류-7 항목에서 구분하였다. 또한 공종분류-6 항목에서와 같이 굴착량의 경우도 총굴착, 설계굴착, 여유굴착으로 구분하였다. 슛크리트 공종과 같은 경우 3차원객체 모델링을 통해 구할 수 있는 물량은 리바운드율을 고려할 수 없다. 따라서 리바운드율을 고려한 물량은 식(1)과 같이 연동물량산출을 해야 한다.

Shotcrete = 3D-Modeling Shotcrete / (1-리바운드율)

여기서 3차원객체 모델링에서 산출된 3D-Modeling Shotcrete 물량과 연동식을 통해 산출된 Shotcrete 물량에 대한 분류는 단지 자동 또는 연동의 차이 밖에는 없다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 산출정보 항목에서 구분할 수 있도록 하였다. 갯문 및 개착터널, 옹벽 등과 같이 상행선 또는 하행선 중 시점부 또는 종점부로 구분할 필요가 있다. 이와 같은 분류를 위치정보-4 항목에서 고려해 주었다. 또한 시공단계별 물량 및 비용 산정이 가능하도록 하여 5D-BIM 구현이 가능하도록 하기 위하여 시공 정보 항목에서 시공단계별 구분을 5자리를 확보하여 사용할 수 있도록 하였다. 그 외에 공종분류 및 공정정보에서와 같이 공사의 특성에 따른 물량 DB 분류가 되도록 하였다.

4. BIM DB 활용

4.1 수량산출서 문서자동화

BIM에서 생성되는 DB를 업무 효율성 향상을 위한 수량산출서 문서자동화에 활용하였으며, 수량산출서 문서자동화 프로그램에는 연동물량을 산출하는 기능뿐만 아니라 자동물량산출 또는 연동물량산출이 불가하거나 업무 효율성이 떨어지는 공종을 대상으로 2D기반의 수동물량을 산출할 수 있는 기능을 포함시킴으로서 전체 물량 DB를 구축할 수 있도록 하였다. 또한 BIM기반 자동·연동·수동물량 DB가 수량산출서 표준화양식에 매핑(Mapping)되도록 BIM기반 건설정보 분류체계를 이용한 공종코드번호를 자동으로 입력할 수 있는 기능과 코드번호 중복성 검토, 물량 DB 임의변경 여부검토 등의 기능 등을 포함시켰으며, 수량산출서 상의 최소단위로 분절된 3차원객체에 공종 코드번호를 부여하여 이를 통해 전체 공종 물량 DB를 수량산출서 표준양식에 매핑시킴으로써 수량산출서 자동화가 가능하도록 하였다.

BIM기반 3차원 모델링은 표준분류체계(안)에서 분류된 형식에 맞추어 분할하여 모델링을 진행하였으며, 모델링을 통한 자동물량 DB의 Output 파일형식 또한 다음 그림과 같이 동일한

Figure 8 Quantity document automation program

코드번호	대분류	중분류	소분류	세분류
N2000.0101012902.10003000.0000001.0	터널공사	터널연장		
NG300.0101012902.00013000.0000102.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
NG300.0101012902.10013000.0000101.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
N1210.0101012902.00013000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	필터콘크리트
N2000.0101012902.10004000.0000001.0	터널공사	터널연장		
NG300.0101012902.00014000.0000102.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
NG300.0101012902.10014000.0000101.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
N1210.0101012902.00014000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	필터콘크리트
N2000.0101012902.10005000.0000001.0	터널공사	터널연장		
NG300.0101012902.00015000.0000102.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
NG300.0101012902.10015000.0000101.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
N1210.0101012902.00015000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	필터콘크리트
N2000.0101012902.10006000.0000001.0	터널공사	터널연장		
NG300.0101012902.00016000.0000102.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
NG300.0101012902.10016000.0000101.0	터널공사	보강 및 안정	압력그라우팅	
N1210.0101012902.00016000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	필터콘크리트
N2000.0101012902.10007000.0000001.0	터널공사	터널연장		
NR500.0101012902.00013000.0000001.0	터널공사	부대공	면정리	
N1220.0101012902.10013000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	배수관
NR500.0101012902.00014000.0000001.0	터널공사	부대공	면정리	
N1220.0101012902.10014000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	배수관
NR500.0101012902.00015000.0000001.0	터널공사	부대공	면정리	
N1220.0101012902.10015000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	배수관
NR500.0101012902.00016000.0000001.0	터널공사	부대공	면정리	
N1220.0101012902.10016000.0000002.0	터널공사	방수 및 배수	배수시설	배수관

Figure 9 Work classification code

형식을 유지하여 공종코드번호가 수량산출서 물량DB 매핑 매개체 역할이 가능도록 하였다.

3차원 모델링을 통한 자동물량 DB 및 수량산출서 문서자동화 프로그램을 이용한 연동·수동물량 DB는 다음 Figure 10에서와 같이 수량산출근거 최소단위 물량으로 구성되어있다.

터널 총 굴착 공종을 예를 든다면 2D기반에서는 수량산출근거에서 단위길이 당 최소단위 물량(m^3/m)에 지보패턴 길이를 곱하여 총 굴착량(m^3)을 산출하는 반면, BIM기반에서는 최소단위 물량을 기반으로 하여 전체 모델링을 통해 자동으로 지보패턴별 총 굴착량(m^3)이 산출된다. 따라서 수량산출서의 수량산출근거 양식이 2D기반과는 다르다. 자동물량 DB인 경우 수량산출근거 없이 BIM기반 수량산출서의 해당되는 위치에 매핑하여 사용하였으며, 2D기반과 동일하게 본선수량 총 집계, 터널수량 총 집계

Figure 10 Quantity DB flow diagram of quantity document

계에 집계 값을 산정하였다. 집계표의 경우, 합산식을 적용하여 프로그램화 시켰고, BIM기반 물량DB는 매핑하여 줌으로써 수량산출서 자동화를 가능토록 하였다. 연동물량 DB의 경우, 연동식을 수량산출근거에 표현되도록 하였고, 수동물량 DB는 2D기반 방법과 동일하게 수량산출근거를 제시할 수 있도록 하였다.

이처럼 수량산출서 문서자동화는 설계단계에서 기존에 수동으로 진행함으로써 발생되던 오류를 최소화 할 수 있는 동시에 설계변경으로 인한 도면 및 수량산출서, 설계예산서 변경 등이 발생하여도 기존에 수작업으로 작성하고 계산한 연산방식을 탈피하여 표준화된 건설정보 분류코드 체계를 바탕으로 한 Mapping Matrix, Grouping, Rule을 등록하여 일련의 수작업을 대신해 자동으로 연산, 수량산출서를 작성할 수 있도록 하였다. 따라서 설계 시 그리고 설계변경 시 3차원객체 모델링만의 변경을 통하여 성과품 전체가 자동으로 변경됨으로써 기존의 도면과 수량산출서간 불일치를 원천적으로 방지할 수 있었다.

4.2 모델링 라이브러리

BIM기반의 설계를 통해 생성된 라이브러리를 유사 설계에 사용함으로써 설계업무의 효율성을 향상시키고자 하였다.

Table 7과 같이 교량의 강관말뚝의 경우 교량의 기초하단을

Table 7 Library sample

Steel pipe piles	Dowel bar	Bridge bearing	PSC beam

Total cut	Underdrain	Lateral drain pipes	Wing wall

Traffic Sign

기준레벨로 설정하고, 일반도를 참고하여 강관의 반지름(R)과 깊이 값을 조절한 후 평면도에 맞게 배치하여 라이브러리를 사용한다. 다웰바의 경우는 높이 값에 맞춰 배치한 후, 개수를 조절하여 사용하며, 교량받침의 경우는 도면에 맞춰 평면길이와 두께 값을 조정하여 사용하고 평면도를 참고하여 각각의 위치에 배치한다. 사용방법이 동일한 공종으로는 무수축 몰탈이 있다. PSC Beam의 경우 모델링 한 Beam을 평면도에 맞게 배치한 후 양 끝단의 높이 값을 매개변수로 사용하며, PSC Beam의 물량은 개소수만을 자동물량으로 산출하고 콘크리트, 철근, 거푸집, 강선 등의 물량은 표준도를 적용하여 연동물량을 산출함으로써 PSC Beam의 연장만 라이브러리에서 변화시켜 해당 물량이 자동으로 변경되도록 구성하였다. 이와 유사한 공종으로는 슬래브와 LMC포장 등이 있다.

터널의 경우 상부굴착 라이브러리에 해당하는 지보패턴을 선택하고, 평면도를 기준으로 수평 투영거리에 맞게 모델링 한 뒤 레벨을 도면과 맞게 조정하여 사용한다. 이 때 레벨의 기준은 도로중심선 기준이며 추후 터널중심선으로 변경하여 사용할 수 있다. 이와 유사한 공종으로는 하부굴착, 설계굴착, 숏크리트, 라이닝콘크리트, 배면그라우팅, 면정리, 맹암거 잡석채움, 채움 콘크리트, 터널배수공비닐깔기, 배수콘크리트, 측벽배수공 잡석채움, 부직포, 오염도장, 지보패턴연장, 콘크리트포장 비닐깔기, 콘크리트 포장, 시멘트안정처리필터층 등 이 있으며, 일정 단면으로 일정 구간을 모델링하는 공종의 경우에도 이와 동일한 방법으로 라이브러리를 사용할 수 있다.

도로 배수구조물인인 암거의 경우에는 현치부, 천정 두께, 바닥 두께, 내부 높이, 내부 너비 등을 암거 유형에 맞게 설정한 후 평면도에 나타난 암거위치에 맞게 작성하고 암거 전면 Skew를 설정하여 암거 양 끝단 레벨을 맞추며 그에 따른 암거 기울기를 설정하여 사용한다. 횡배수관의 경우는 평면도를 기준으로 수평 투영거리에 맞게 모델링 한 뒤 레벨을 도면과 맞게 조정하여 사용한다. 또한 횡배수관 날개벽과 같은 경우는 횡배수관의 위치에 맞게 삽입된 후 라이브러리를 횡배수관 날개벽으로 변경하여 좌, 우측 설치된 위치에 맞게 삽입하여 사용한다. 또한 교통 표지판의 경우는 각 유형에 맞게 기초의 크기를 조절하여 지형에 배치하여 사용한다.

5. 결론

상기와 같이 토공부, 교량, 터널, 옹벽, 암거를 대상으로 2D기반과 BIM기반 물량산출 값에 대해 오차분석 및 원인분석을 수행하였다. 2D기반 수량산출서에서 오류가 다소 발견되어 기존 물량에 대한 재검토 작업의 선행이 불가피 하였다. 2D기반 물량과 BIM기반 물량을 비교 분석한 결과, 도면과 수량이 일치하지 않

거나, 수량이 누락되는 오류를 최소화시킬 수 있고, 실제 시공 시 발생하는 종곡선이나 편경사에 대한 영향을 설계단계에서 반영하여 보다 정확한 물량산출이 가능함을 알 수 있었으며, BIM기반의 물량데이터 분석을 통한 신뢰성 검증뿐만 아니라 다양한 프로그램을 통해 데이터를 활용하는 등 설계적용 시 효과적일 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서는 BIM기반의 수량산출서 문서자동화를 위한 프로그램을 개발하여 실제 BIM 모델링의 활용성에 대해 확인하였다. BIM 솔루션을 이용한 3D 모델링 데이터를 4D-BIM, 5D-BIM, nD-BIM의 형태로 활용하기 위해 BIM기반의 건설정보 분류체계가 필요했으며, 이러한 건설정보 분류체계에 맞게 모델링이 작업되었는지에 대한 검토가 필요하였고, Autodesk군의 BIM Tool 이외의 Tool과의 호환성 확보를 위하여 공종코드의 자동부여 기능이 필요하였다. 이러한 목적으로 수량산출서 문서 자동화 프로그램을 개발하였다. 또한 자동물량, 연동물량, 수동 물량으로 구분된 물량의 원시 데이터를 통하여 수량산출서의 기초자료 작성을 위한 프로그램으로써 이를 사용하여 건설정보 분류체계에 맞게 정리된 자동물량에 대한 데이터를 불러들이고, 작성된 연동물량과 수동물량으로 수량산출근거 및 총괄 수량집계의 문서를 작성하도록 하였다. 이러한 수량산출서 문서자동화를 통해 BIM기반의 모델링으로부터 수량산출서 작성에 이르기까지 작업자의 수동 입력을 최소화하여 도면과 물량의 불일치를 근본적으로 차단할 수 있으며, 설계 변경 시 모델링 변경만으로 물량의 변경 사항에 대한 정확한 반영이 가능함을 확인하였다. 또한 정보통합의 시작단계로서, 모델링과 물량정보의 통합으로 향후 적용될 추가적인 방향에 대한 가능성을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- Korea Expressway Corporation (2010). Detailed Design of Busan ring road section 1, drawings and quantity calculations.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2007). Standard Method of Measurement for Civil Work.
- Jung, Guk-Young, Kang, Kyeong-Don, Baek, Young-In, Shin, Jae-Choul (2012). "Application of BIM to design of expressway", CODE2012 Post Conference Workshop, p. 26.
- Jung, Guk-Young, Kang, Kyeong-Don, Park, Gi-Yong, Jae-Choul Shin (2012). "Analysis of errors and applicability in bridge and tunnel quantity estimation with 3D-BIM compared with routine method based 2D", Collection of papers of Conference on Korean Institute of Building Information Modeling, 2(1):pp.63-64.
- Kang, Leen-Seok, Kwak, Joong-Min (2001). "Integrated code classification system for work sections in standard method of measurement and construction standard specifications", Collection of papers of Korea Institute of Construction Engineering and Management, 2(4): pp.80-91.
- Lee, Si-Won, Baek, Young-In, Shin, Jae-Choul, Jung, Guk-Young, Kang, Kyeong-Don, Park, Gi-Yong (2012). "A study on the application of construction classification for BIM of the tunnel and bridge", Collection of papers of Conference on Korean Geotechnical Society, pp. 396-399.
- Shin, Jae-Choul, Ahn, Se-Ran (2013). "Analysis of errors and reliability in earth-volume and retaining wall quantity estimation with 3D-BIM compared with routine method based 2D", Collection of papers of Conference on Korean Institute of Building Information Modeling, 3(1): pp.25-26.
- Shin, Jae-Choul, Woo, Jeong-Won, Kang, Kyeong-Don, Hwang, Ju-Hwan (2013). "Reliability analysis of BIM based bridge and tunnel design", Collection of papers of Korean Society of Road Engineers, 15(1):pp.47-55.
- Shin, Jae-Choul, Hwang, Ju-Hwan, Lee, Sang-Gyu, Lee, Si-Won (2012). "BIM-based reliability analysis and automation of quantity calculation", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 12(3):pp.49-55.
- Shin, Jae-Choul, Baek, Young-In, Park, Won-Tae (2011). "Analysis of errors in tunnel quantity estimation with 3D-BIM for routine method based 2D", Journal of Korean Geotechnical Society, 27(8):pp.63-71.
- Shin, Jae-Choul, Baek, Young-In, Eom, Byeong-Ho (2011). "BIM-modeling guideline for quantity estimation of NATM tunnel construction", Collection of papers of Conference on Korean Society of Hazard Mitigation, p.73.