BIM기반 신뢰성분석 및 수량산출서 자동화

BIM based Reliability Analysis and Automated Quantity Calculation

신재철* · 황주환** · 이상규** · 이시원***

Shin, Jae Choul · Hwang, Ju Hwan · Lee, Sang Gyu · Lee, Si Won

Abstract

In recent years apply BIM, design method of information integration, the field of architecture as well as the field of civil engineering is activated. As part of this process, in this study, a NATM tunnel and PSC Girder bridge were the target. Quantities with BIM modeling and quantities with traditional 2D-based reliability analysis was performed using the error rate. In addition, as the beginning phase of information integration, quantity document automation program has been developed for activation of BIM. BIM-based standard classification system for NATM tunnel and PSC Girder bridge is proposed to target. 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.

Key words : NATM Tunnel, PSC Girder bridge, BIM Modeling, Standard classification system, Work classification code, Quantity calculation, Document automation

요 지

최근 들어서 건축분야뿐만 아니라 토목분야에서도 정보통합 설계기법인 BIM 적용이 활성화 되고 있다. 이러한 과정의 일환으로 본 연구에서는 NATM 터널 1개소와 PSC 거더 교량 1개소를 대상으로 BIM 모델링을 통한 물량산출과 기존 2D 기반의 물량과의 오차율을 이용한 신뢰성 분석을 수행하였다. 또한 정보통합의 시작단계로써, 설계단계 BIM 활성화를 위한 국부적인 수량산출서 자동화 개발을 위해 BIM 기반 표준분류체계를 NATM 터널 및 PSC 거더 교량을 대상으로 안을 제시하고, 자동코드번호 입력 프로그램, 연동 및 수동물량산출 프로그램, 수량산출서 문서자동화 프로그램 등의 개발을 추진 중에 있으며, 이에 대한 단계별 절차와 방법을 제시하고자 한다.

핵심용어 : NATM 터널, PSC 거더 교량, BIM 모델링, 표준분류체계, 공종코드번호, 수량산출서, 문서자동화

1. 서 론

현재 건설 산업의 프로세스는 2D 도면을 기반으로 이루어져 있고, 설계, 시공, 유지관리에 대한 관리 주체가 다르고, 각 분야별로 독립된 작업으로 인해 건설정보의 전달과 통일성이 부족한 상황이다. 이러한 정보단절로 인해 건설 산업의 생산성이 타 산업에 비해 떨어진다(신재철 외, 2011). 이러한 문제점을 극복하기 위해 최근 들어서 건축분야뿐만 아니라 토목분야에서도 정보통합 설계기법인 BIM(Building Information Modeling) 적용이 활성화 되고 있는 실정이다. 여러 종류의 토목 공종정보를 DB화시켜 자동화를 이루기 위해서는 표준화된 공종분류체계가 필요하다. 특히 현재 BIM 설계기법을 적용하는 과정의 일환인 수량산출서 자동화나 공정관리의 효율성 향상을 위해서는 공종분류체계에 대한 통일이 필요한

실정이다. 그러나 현행 국내의 토목분야 표준분류체계 중 공종분류체계는 국토해양부에서 제시한 ‘토목공사 수량산출기준’ 외에도 ‘통합건설정보분류체계’ 및 ‘공사시방서 작성요령’ 내의 공종분류체계 등 각각 상이한 분류방식 및 코드체계를 사용하고 있다(강인석 외, 2001).

본 연구에서는 BIM기반 수량산출서 자동화를 위해 3차원 객체 BIM 물량DB 활용 및 물량DB 관리를 위한 BIM기반 표준분류체계를 NATM-터널 및 PSC-거더 교량을 대상으로 안을 제시하고자 한다. 또한 BIM 설계기법의 현장적용에 있어 모델링 및 모델링을 통한 물량산출, 그리고 모델링 외 물량산출에 대한 신뢰성과 BIM 설계기법의 활용성을 확인하기 위해 NATM-터널 1개소와 PSC-거더교량 1개소를 대상으로 BIM모델링을 통한 물량산출과 기존 2D기반의 물량과의 오차율을 이용한 정성적 신뢰성 분석을 수행하였으며, 이를 통한

*정회원 · (주)동성엔지니어링 기술연구소 상무(E-mail : sjh@dsen.co.kr, 교신저자)

**(주)동성엔지니어링 기술연구소 부사장

***(주)동성엔지니어링 기술연구소 대리

BIM기반 수량산출서 자동화의 설계적용 가능성을 확인하였다. 뿐만 아니라 설계·시공·유지관리단계 중 설계단계 BIM 활성화를 위한 국부적인 수량산출서 자동화 개발을 위해 전체 물량의 DB화 및 수량산출서 표준화를 위한 최소단위 물량 코드번호 부여를 위한 BIM기반의 건설정보분류체계 구축, 관련 프로그램 개발 등을 추진 중에 있으며, 이에 대한 단계별 절차와 방법을 제시하고자 한다.

2. BIM 물량DB 기반 수량산출서 자동화

2.1 개요

BIM기반 수량산출서 자동화를 위해서는 그림 1 에서와 같이 첫 번째로 기존 2D기반의 도면 및 수량산출서를 분석하여 설계요류를 찾아 수정하는 작업이 필요하다. 물론 2D기반 대비 BIM기반 오차율 산정과정은 불필요하거나, 처음부터 BIM기반의 설계기법을 적용할 경우에는 이 과정은 필요치 않았다. 두 번째로는 BIM Solution을 통해 구조물을 3차원객체로 모델링하여 자동으로 물량산출(자동물량산출)을 한다. 또한 예를 들어 터널의 경우 총굴착량에서 여유굴착량을 빼 값이 설계굴착량이 되는 방식과 같이 설계굴착 공중을 3차원객체 모델링을 통한 자동물량산출을 할 필요 없이 총굴착 및 여유굴착 자동물량산출 공중을 연동하여 설계굴착 공중 물량(연동물량산출)을 취하는 방법이 더욱 유리한 공중에 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 공중코드번호 체계를 개발하였으며, 이것이 BIM기반의 건설정보분류체계이다. 공중코드번호 입력의 오류 및 공중코드번호 중복부여가 발생되지 않도록, 공중코드번호 입력시스템을 개발하여 자동으로 부여하는 동시에 검증하도록 하였다. 또한 수량산출서 자동화 과정에서도 물량DB 매핑작업 중 비사용 공중코드번호가 발생될 경우를 확인할 수 있도록 함으로써 신뢰도 높은 수량산출서 자동화 시스템을 개발하였다.

2.2 BIM기반 표준분류체계(안)

국내의 경우 건설정보분류체계에 대한 관심도와 적용 현황은 매우 저조하다. 대형 건설사 또는 발주처의 경우 독자적 개발 또는 해외분류체계를 그대로 사용하는 등 서로 상이한 분류체계를 사용하고 있는 실정이다. 분류체계 통합에 대한 대표적 연구로서 건설정보분류체계에 대한 연구가 한국건설기술연구원을 중심으로 하여 1980년 후반부터 연구가 진행되어 실적공사비 축적 및 적용방안 연구(건설기술연구원, 1999)에 대해 이루어 졌고, 2001년 대·중분류 수준의 통합건설정보분류체계 적용기준을 건설교통부 공고로 발표하였다(박환표 외, 2004). 이후 건설교통부에서 실적공사비 체계(수량산출기준)가 작성되면서 분류체계에 대한 틀은 정해졌지만 BIM 설

그림 1. 수량산출서 자동화 작업 흐름도

계기법을 적용하기에는 세부 항목들에 대한 분류가 아직은 미흡한 실정이다.

국제적인 정보 분류체계 방향은 유럽의 CI/SfB, Uniclass, ISO 표준분류와 북미의 Master Format, 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(정준수, 2010). 최근 추진되고 있는 해외의 분류체계는 모두 기존의 문서표현 위주였던 분류체계의 형태에서 컴퓨터를 기반으로 하는 전산화 개념의 분류체계들이다. 즉, 컴퓨터와 정보기술의 발달은 건설 산업에도 커다란 영향을 끼치고 있으며 그 반영 여부에 따라 건설공사의 효율화와 경쟁력이 크게 좌우되게 되었다(이시원 외, 2012).

건설 산업에 BIM 설계기법을 적용한다는 것은 3차원객체 모델링에 물량정보, 단가정보, 시간정보가 포함된다는 의미이다. 이러한 통합정보의 체계적 관리를 위해서는 전체 물량DB의 각 객체별로 공중분류코드가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 건설정보분류체계 사용의 혼돈을 피하기 위해 기존 국토해양부 토목공사 수량산출기준은 그대로 사용하는 동시에 BIM 설계기법 적용에 문제가 없도록 다음 그림 2에서와 같이 세부항목들을 추가하였다.

예를 들어 00~00 고속도로 건설공사는 총 30공구로 구분되어 있으며, 각 공구별로 수 개의 교량 및 터널 그리고 도로구간으로 구성되어 있다. 본 BIM기반 표준분류체계(안)는 00~00 고속도로 건설공사와 같은 사업단 전체의 수량산출서 상의 수량산출근거 최소 물량별로 공중코드번호가 중복되지 않도록 구성하였다. 그림 2에서와 같이 대분류, 중분류, 소분류, 세분류, 세세분류 총 5자릿수는 기존의 2007년 토목공사 수량산출기준지침서 기준을 그대로 준수하였다.

사업단 전체의 물량DB별을 분류하기 위하여 먼저 BIM-1 항목에서와 같이 공구별로 구분하였으며, 다음은 BIM-2 항목에서와 같이 각 공구별 교량, 터널, 도로로 구분하는 동시에

중분류	소분류		세분류	세세분류	추가분류-1		추가분류-2		추가분류-3		추가분류-4																																
굴착 (발파)	NA	터널	1	설계굴착단면적 < 3㎡	1	굴착(기계환기)	1	2차선	2	본선 접속부 개착터널	0 1 2	P-1	10																														
				설계굴착단면적 3㎡ ~ 7㎡	2							P-2	20																														
				설계굴착단면적 7㎡ ~ 15㎡	3							P-3	30																														
				설계굴착단면적 15㎡ ~ 30㎡	4							P-4	40																														
				설계굴착단면적 30㎡ ~ 60㎡	5							P-5	50																														
				설계굴착단면적 60㎡ ~ 100㎡	6							P-6	60																														
				설계굴착단면적 > 100㎡	7							RP	70																														
		수직구	2	0	설계굴착단면적 < 3㎡	1	굴착(자연환기)	2	3차선	3	피난연락경(대인용)	3	Type-1	01																													
					설계굴착단면적 3㎡ ~ 7㎡	2							Type-2	02																													
					설계굴착단면적 7㎡ ~ 15㎡	3							Type-3	03																													
					설계굴착단면적 15㎡ ~ 30㎡	4							Type-4	04																													
					설계굴착단면적 30㎡ ~ 60㎡	5							Type-5	05																													
					설계굴착단면적 60㎡ ~ 100㎡	6																																					
지하공간	3		설계굴착단면적 < 3㎡	1	인력굴착(기계환기)	3	4차선	4	피난연락경(차량용)	4																																	
			설계굴착단면적 3㎡ ~ 7㎡	2																																							
굴착					0	인력굴착(자연환기)	4	5차선	5																																		
														굴착(기계환기)	1	2차선	2	본선	0	P-1	10																						
																						굴착(자연환기)	2	3차선	3	접속부	1	P-2	20														
																														인력굴착(기계환기)	3	4차선	4	개착터널	2	P-3	30						
																																						인력굴착(자연환기)	4	5차선	5	P-4	40
버력처리(자연환기)	6	7차선	7			RP	70																																				
								기타	8																																		
																면벽형 갯문	10																										
																		옹벽	20																								
																				갯구보강 및 가설갯문	30																						
BLOCK OUT 및 기타 부대공	8																																										
													가설갯문	40																													
															BLOCK OUT	50																											
																	기타부대공	60																									

BIM-1		BIM-2		BIM-3		BIM-4		BIM-5		BIM-6		BIM-7		BIM-8	
공구번호	두자리	터널 교량 도로	1 2 3	두자리	전단면	0	상행선 하행선 상하행선	1 2 3	기타 중굴착 설계굴착 여유굴착	00 01 02 03	자동산출 연동산출 수동산출	1 2 3	시점부 중점부 시중점부	1 2 3	00000 ~ 99999
					상부반단면	1									
					하부반단면	2									
					동상방지층(상부)	3									
					동상방지층(하부)	4									

그림 2. 터널(N) 표준분류체계(안)

교량, 터널, 도로별 세분화하여 구분하였다. 예를 들어 ○○~○○ 고속도로 건설공사 1공구 2번째 터널인 경우 “01102”와 같이 공종코드번호가 부여된다. 터널 굴착과 같은 경우 전단면, 상부반단면, 하부반단면 등에 따라서 단가가 달리 적용됨에 따라, 이를 구분하여 물량산출이 진행되어야 한다. 따라서 이를 고려할 수 있도록 BIM-3 항목에서 구분하였으며, 상행선과 하행선으로 구분하여 물량DB관리가 가능하도록 하기 위하여 BIM-4 항목에서와 구분하였다. 또한 BIM-5 항목에서와 같이 굴착량의 경우도 총굴착, 설계굴착, 여유굴착으로 구분하였다.

숏크리트 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.

$$\text{숏크리트 물량} = \frac{\text{3차원객체 모델링 숏크리트 물량}}{(1 - \text{리바운드율})} \quad (1)$$

여기서 3차원객체 모델링에서 산출된 숏크리트 물량과 연동식을 통해 산출된 물량에 대한 분류는 단지 자동 또는 연동의 차이 밖에는 없다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 BIM-6 항목에서 구분할 수 있도록 하였다. 갯문 및 개착터널, 옹벽 등과 같이 상행선 또는 하행선 중 시점부 또는 중점부로 구분할 필요가 있다. 이와 같은 분류를 BIM-7 항목에서 고려해 주었다. 또한 시공단계별 물량 및 비용 산정이 가능하도록 하여 5D-BIM 구현이 가능하도록 하기 위하여 BIM-8 항목에서 시공단계별 구분을 5자리를 확보하여 사용할 수 있도록 하였다. 그 외에 추가분류-1에서 추가분류-4에서와 같이

공사의 특성에 따른 물량DB 분류가 되도록 하였다. 이상과 같이 표준분류체계(안)에서 공종코드번호 자릿수를 총 26자리로 구분하여 제시하였다.

2.3 BIM기반 3차원객체 모델링 및 Output 물량DB

그림 3에서와 같이 BIM기반의 수량산출서 자동화를 위하여 3차원객체 표현이 가능하고, 표현의 필요성이 충분한 공종을 대상으로 BIM Solution 중 Autodesk Revit Structure를 사용하여 3차원객체 모델링 및 자동물량을 산출하였다. 3차원 객체를 통한 자동물량산출 대상공종 이외의 공종은 자동

그림 3. 수량산출서 자동화 물량DB 흐름도

그림 4. 연동·수동물량산출 프로그램

그림 5. 3차원객체 모델링(P3/총굴착/상부반단면)

그림 6. 공종코드번호 자동입력 프로그램

물량 DB와 연동식으로 구하여 산출하였다.

3차원객체 모델링을 통한 물량산출이 불가하거나 2D기반 물량산출 방법이 실효성이 높은 공종들은 수동으로 물량을 산출하였다.

그림 4와 같이 이와 같은 연동물량과 수동물량을 산출하는

프로그램(프로그램-1)을 개발하였다. 또한 BIM기반 자동·연동·수동 물량DB가 수량산출서 표준화양식에 매핑되도록 공종코드번호 자동입력 및 중복성 검토, 물량DB 임의변경 여부 검토 등의 기능을 가진 그림 6 과 같은 프로그램-2를 개발하여 수량산출서 상의 최소단위로 분절된 3차원객체에 공종코드번호를 부여하였다. 이를 통해 전체 공종 물량DB를 구축하여 수량산출서 표준화양식에 매핑시킴으로써 수량산출서 자동화를 가능토록 하였다. 그러나 토목분야 전체에 해당되는 수량산출서 자동화가 가능한 상황은 아니며, 단지 NATM공법 터널과 PSC-거더 교량형식에만 국한해서 적용이 가능할 정도이다. 그러나 구조물공 분야는 현재 BIM기반의 건설정보 분류체계만 구축되던 사용성에 문제가 없을 것으로 판단된다.

BIM기반 3차원객체 모델링은 표준분류체계(안)에서 분류된 형식에 맞추어 분할하여 모델링이 진행하였으며, 모델링을 통한 자동물량 DB의 Output 파일형식 또한 다음 그림 7과 같이 동일한 형식을 유지하여 공종코드번호가 수량산출서 물량DB 매핑 매개체 역할이 가능토록 하였다.

그림 5에서와 같이 BIM기반의 3차원객체 모델링 프로그램인 Revit Structure를 이용하여 ○○~○○ 고속도로 건설공사, 1공구, 상행선, 터널-1, 2차선, 본선구간, 지보패턴-3, 상부반단면, 총굴착($t=480\text{ mm}$) 공종을 대상으로 3차원객체 모델링을 하여 자동물량을 산출한 경우이다. 여기서 산출된 물량은 $17,216.213\text{ m}^3$ 이다.

이와 같이 산출된 물량DB는 그림 2의 표준분류체계 규칙에 따라 그림 7과 같은 Output 파일 형식으로 물량DB를

출근번호	출근종류	출근종류	출근종류	세팅종류	세팅종류	추가분류-1	추가분류-2	추가분류-3	추가분류-4
NA140.12030.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-3
NA140.12030.01101.210113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-3
NA140.12040.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-4
NA140.12040.01101.210113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-4
NA140.12050.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-5
NA140.12050.01101.210113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-5
NA140.12060.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-6-2
NA140.12060.01101.210113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-6-2
NA140.12170.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	접속부	RP-2
NA140.12170.01101.210113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 15m ² ~ 30m ²		골프(기계화장)	2차선	접속부	RP-2
NA160.12030.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-3
NA160.12030.01101.110113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-3
NA160.12040.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-4
NA160.12040.01101.110113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-4
NA160.12050.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-5
NA160.12050.01101.110113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-5
NA160.12060.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-6-2
NA160.12060.01101.110113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	본선	P-6-2
NA160.12170.01101.210213.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	접속부	RP-2
NA160.12170.01101.110113.00000	타월	골프(발파)	타월	설계골프차단면적 60m ² ~ 100m ²		골프(기계화장)	2차선	접속부	RP-2

BIM-1	BIM-2	BIM-3	BIM-4	BIM-5	BIM-6	BIM-7	BIM-8	할증율	단위	개수(EA)	길이(m)	면적(m2)	체적(m3)	중량(ton)	비고
01	터널-1	하부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		7893.758		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		8092.726		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		7072.929		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		7309.087		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		2149.018		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		2220.212		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		1252.840		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		1294.354		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		1185.883		t=480mm
01	터널-1	하부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		1215.599		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		16417.430		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		17216.213		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		14777.534		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		15734.908		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		4517.190		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		4807.902		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		2633.437		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		2802.926		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	설계굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		2477.693		t=480mm
01	터널-1	상부반단면	기장	중굴착	자동	시중점부	00000		m3	0.000	0.000		2597.641		t=480mm

그림 7. Revit Structure Output 물량DB

출력한다. 출력된 Output 파일에 그림 6과 같은 프로그램을 이용하여 공중코드번호를 부여한다.

그림 7에서 “NA160.12030.01101.110113.00000”와 같이 그림 5의 3차원객체에 대한 공중코드번호가 입력된다. 여기서 번호의 의미는 다음과 같다.

- N : 터널 (대분류) - 기존 지침서
- A : 굴착 (중분류) - 기존 지침서
- 1 : 터널 (소분류) - 기존 지침서
- 6 : 설계굴착단면적 60 m² ~ 100 m² (세분류)
- 0 : 공란 (세세분류)
- 1 : 굴착 기계환기 (추가분류-1)
- 2 : 2차선 (추가분류-2)
- 0 : 본선 (추가분류-3)
- 30 : 지보패턴 P-3 (추가분류-4)
- 01 : 1공구 (BIM-1)
- 1 : 터널 (BIM-2)
- 01 : 터널-1 (BIM-2)
- 1 : 상부반단면 (BIM-3)
- 1 : 상행선 (BIM-4)
- 01 : 총굴착 (BIM-5)
- 1 : 자동산출 (BIM-6)
- 3 : 시중점부 (BIM-7)
- 00000 : 시공순서 (BIM-8) - 고려하지 않음

2.4 BIM기반 수량산출서 자동화

3차원객체 모델링을 통한 자동 물량DB 및 프로그램-1을 이용한 연동·수동 물량DB는 그림 8에서와 같이 수량산출근거 최소단위 물량으로 구성되어있다. 그림 5에서와 같은 터널 총굴착 공종을 예를 든다면 2D기반에서는 수량산출근거에서 단위길이 당 최소단위 물량(m³/m)에 지보패턴 길이를 곱하여 총굴착량(m³)을 산출하는 반면, BIM기반에서는 최소단위 물량을 기반으로 하여 전체 모델링을 통해 자동으로 지보패턴별 총굴착량(m³)이 산출된다. 따라서 수량산출서의 수량산출근거 양식이 2D기반과는 다르다. 또한 BIM기반의 수량산출서는 기존 2D기반에 비해 문서가 간소화됨으로써 A4 용지 1권(250쪽) 당 CO₂ 720 g 배출량을 감소시킬 수 있는 등 국가발전의 패러다임인 저탄소 녹색성장 정책에도 기여할 것으로 기대된다. 자동 물량DB인 경우 수량산출근거 없이 BIM기반 수량산출서의 해당되는 위치에 매핑하여 사용하면 되며, 그림 8에서와 같이 2D기반과 동일하게 본선수량 총집계, 터널수량 총집계에 집계값을 산정하면 된다. 집계표의 경

그림 8. 수량산출서 내 물량DB 흐름도

우, 합산식을 적용하여 프로그램화 시키고, BIM기반 물량DB는 매핑하여 줌으로써 수량산출서 자동화를 가능토록 하였다. 연동 물량DB의 경우, 연동식을 수량산출근거에 표현되도록 하고, 수동 물량DB는 2D기반 방법과 동일하게 수량산출근거를 제시할 수 있도록 하였다.

이처럼 수량산출서 자동화는 설계단계에서 기존에 수동으로 진행함으로써 발생되던 오류를 최소화 할 수 있는 동시에 설계 변경으로 인한 도면 및 수량산출서, 설계예산서 변경 등이 발생하여도 기존에 수작업으로 작성하고 계산한 연산방식을 탈피하여 표준화 분류코드체계를 바탕으로 한 Mapping Matrix, Grouping, Rule을 등록하여 일련의 수작업을 대신해 자동으로 연산, 수량산출서를 작성할 수 있다. 따라서 설계 시 그리고 설계변경 시 3차원객체 모델링만의 변경을 통하여 성괴품 전체가 자동으로 변경됨으로써 기존의 도면과 수량산출서간 불일치를 원천적으로 방지할 수 있다.

2.5 BIM 기반 물량DB의 정성적 신뢰성 분석

본 연구에서는 BIM기반 물량DB의 신뢰성 분석을 위하여 기존 2D기반 수량산출서를 분석하고 설계오류를 수정한 물량DB와 BIM기반 물량DB와의 오차율을 이용하여 정성적으로 분석하였으며, 두 변수와의 관계를 식 (2)과 같이 정의한다.

$$\text{오차율} = (2D\text{물량} - \text{BIM물량}) \div 2D\text{물량} \times 100 [\%] \quad (2)$$

연동 물량DB는 오차발생 원인이 자동 물량DB의 오차와 연계되어 있고, 수동 물량DB는 기존 2D기반 물량DB와 동일하므로, 자동 물량DB만을 대상으로 오차율 분석을 수행하였다.

본 연구를 위한 BIM 모델링은 국내에서 가장 널리 적용되고 있는 NATM-터널과 PSC-거더 교량을 대상으로 하였다. 터널 연장은 상행선 682 m, 하행선 706 m이고 교량 연장은 3경간 90 m 이며 상·하행 분리교이다. 기존 2D기반의 수량산출서에 대한 정확성을 검토한 결과 공중 누락, 물량산출 계산식 오류, 현치부·곡률반경·경사와 같이 2D기반 물량산출 방식에 따른 오류 등 다양한 오류가 발생하여 물량산출을 재산정한 물량DB를 오차율 분석기준 물량DB로 사용하였으며, 일부 공종은 모델링 결과 누락된 물량이 있음을 확인할 수 있었다.

교량의 경우 표 1에서와 같이 자동물량산출 공종별 오차율이 대부분 1% 이내로 발생하였고, 아스팔트 방수 공종에 대한 오차율만 1%이상인 1.175%로 발생하였다.

탄성반침, P.S.C BEAM, 강관막돌, 신축이음덤펀, 다웰바 설치공 등과 같이 본수 또는 개소수를 카운트하는 공종인 경우는 오차가 전혀 발생하지 않았으며, 만약 발생한다고 하더라도 이는 설계오류이지 2D기반 물량산출 방법의 오차가 될 수 없는 공종이다. 따라서 이러한 공종들은 BIM기반의 물량산출 방법의 신뢰성 분석의 의미가 없다. 그러나 그 외 공종들의 오차율 발생 원인을 분석해보면 콘크리트 생산과 구입, 방호벽, 신축이음, 교면포장, 무수축콘크리트, 무수축몰탈,

표 1. PSC-거더 교량 자동 물량DB 공종별 오차율

공종	규격		단위	2D기반 물량	BIM기반 물량	오차율
콘크리트 생산 및 구입	상부 (40-20)		m ³	684.600	684.816	-0.032%
	교각 (40-19)		m ³	386.326	385.759	0.147%
	1중 (27-25)		m ³	911.127	910.600	0.058%
	2중	(24-25)	m ³	132.008	132.026	-0.014%
		(24-30)	m ³	1110.089	1109.817	0.025%
탄성받침	고정단	1750kN(h=166)	nr	2.000	2.000	0.000%
	가동단(일방향)	1750kN(h=166)	nr	14.000	14.000	0.000%
		1750kN(h=214)	nr	4.000	4.000	0.000%
	가동단(양방향)	1750kN(h=166)	nr	24.000	24.000	0.000%
		1750kN(h=214)	nr	16.000	16.000	0.000%
P.S.C BEAM		제작	본	30.000	30.000	0.000%
		설치	본	30.000	30.000	0.000%
		전도방지시설	본	30.000	30.000	0.000%
강관말뚝	D=508M/M, 9T	선단및두부보강	nr	72.000	72.000	0.000%
강관말뚝	D=508M/M, 12T	선단및두부보강	nr	91.000	91.000	0.000%
방호벽	일반용	형식-1	m	270.048	270.057	-0.003%
	방음벽구간(일반용)	형식-1	m	90.016	90.046	-0.033%
신축이음	NEW M/C	50	m	23.720	23.733	-0.055%
		80	m	23.742	23.750	-0.034%
신축이음덮개판	방호벽용	일반용	nr	6.000	6.000	0.000%
		방음벽(일반용)	nr	2.000	2.000	0.000%
방수공	아스팔트방수	수직면	m ²	761.956	753.000	1.175%
다웰바설치공	접속슬래브용		nr	116.000	116.000	0.000%
교면포장	콘크리트 교면포장(T=5Cm)		m ²	2106.374	2092.329	0.667%
무수축콘크리트	fck=60Mpa		m ³	4.949	4.959	-0.202%
무수축물탈	1:1(교량받침에 포함)		m ³	2.718	2.704	0.515%
Sole plate			ton	4.271	4.268	0.070%

그림 9. 부재 간 간섭

Sole plate 등과 같이 1% 내의 오차율을 보인 물량들은 2D 기반 물량산출 시 종단곡선과, 횡단경사에 의한 영향 등이 고려되지 않아 발생된 것으로, 물량오차에 따른 공사비에는 영향이 미미하지만 이러한 영향 요소가 고려된 BIM기반 물량산출이 신뢰성이 높음을 알 수 있었다.아스팔트방수의 경우는 2D기반 물량산출 방식에 있어서 현치부에서의 중복산출 등에 따른 오류로 인해 물량오차가 발생함에 따라 BIM기반 물량산출이 신뢰성이 높음을 알 수 있었다. 그 외에 BIM기반의 3차원객체 모델링을 통한 설계를 진행할 경우 도면오류, 도면-수량산출서 불일치 등의 오류가 발생될 소지가 없음을

표 2. NATM-터널 자동 물량DB 공종별 오차율

공종명	2D기반	BIM기반	오차율
총굴착	33178.606	33242.300	-0.192%
설계굴착	31933.329	31767.060	-0.523%
콘크리트라이닝	12066.368	12076.462	-0.433%
콘크리트라이닝 시공이음	0	661.368	100%
시스템 락볼트	3931.473	3931.000	0.012%

알 수 있었다. 그림 9에서와 같이 3차원객체를 통한 설계를 진행할 경우 부재 간 간섭발생을 사전에 발견할 수 있음으로써 신뢰성에 더욱 유리함을 알 수 있었다.

터널의 경우 또한 교량과 동일하게 자동 물량DB만을 대상으로 오차율 분석을 수행하였다. 터널은 교량보다 연장이 길고 종단경사 및 평면곡선반경에 대한 영향이 상대적으로 크게 발생하였다.

시공이음과 신축이음의 경우, 2D기반 물량산출 시 누락되었음을 알 수 있었으며, 총굴착 및 설계굴착의 경우 하행선은 지보패턴별로 1% 이내의 오차가 발생하였으나 상행선은 지보패턴 P-4에서 약 1.3%의 오차가 발생하였다. 콘크리트라이닝과 채움콘크리트, 배수관, 맨암거, 시스템 락볼트 등은 모

두 오차범위가 1% 내외로 발생하였다. 이러한 오차는 2D기반에서 고려되지 않은 종단곡선, 평면곡선과 같은 공간적인 특성에 의해 발생하는 오차로 볼 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 NATM-터널 1개소와 PSC-거더 교량 1개소를 대상으로 2D기반과 BIM기반 물량산출에 대한 오차율 분석 및 원인분석을 수행하였다. 교량에서는 오차율이 1% 이내로, 터널에서는 오차율이 1% 내외로 연장이 긴 터널이 교량보다는 오차가 다소 크지만, 오차율이 공사비에 미치는 영향 측면에서 무시할 정도이다. 터널은 모델링 공종들이 교량보다 많고 물량 산출방법 차이가 많아 전체적으로 교량보다 오차율이 크게 발생하는 경향이 있었으며, 터널은 연장이 길고 종단곡선과 평면곡선이 클수록 오차가 크게 발생함을 알 수 있었다. 이를 통해 3차원객체 모델링을 통한 설계기법이 도면과 물량이 불일치하거나 누락되는 상황을 최소화시킬 수 있고, 시공 시 발생하는 종곡선이나 편경사에 대한 영향을 설계단계에서 고려할 수 있어 신뢰성 높은 물량산출임을 알 수 있었다.

또한 BIM기반 수량산출서 자동화를 위한 프로그램을 개발하여 실제 BIM 모델링의 활용성에 대해서도 확인하였다. BIM기반의 3차원객체 모델링 데이터를 4D 또는 5D-BIM에 활용하기 위해 BIM기반의 건설정보분류체계를 개발하였으며, 수량산출서 자동화를 위한 프로그램과의 연동성을 위해 공종 코드번호 자동입력 시스템을 개발하였고 자동·연동·수동 물량DB를 매핑하여 수량산출서를 자동화하는 프로그램을 개발하였다. 이러한 수량산출서 자동화를 통해 BIM기반의 모델링으로부터 수량산출서 작성에 이르기까지 작업자의 수동 입력을 최소화하여 도면과 수량산출서의 불일치를 근본적으

로 차단할 수 있었으며, 설계 변경 시 3차원객체 모델링 변경만으로 물량변경의 누락 없도록 하였다. 또한 정보통합의 시작단계로서 모델링과 물량정보의 통합으로 향후 적용될 5D-BIM 개발방향에 대한 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(09CCTI-B052843-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 강인석, 박중민 (2001) 수량산출기준 및 공사시방서의 공종분류코드 통합기준 연구, **한국건설관리학회논문집**, 제2권, 제4호, pp. 80-91.
- 건설교통부 (2007) **토목공사 수량산출기준지침서**.
- 김태송, 조훈희, 구재동, 이유섭 (2001) 건설공사 공종분류체계 정립방안 연구, **대한토목학회논문집**, 2001 11, pp. 1871-1874.
- 박환표, 이재섭 (2004) 건설정보분류체계 활용도 측정을 통한 분류체계 활성화 방안, **한국건설관리학회논문집**, 제5권, 제6호, pp. 90-100.
- 신재철, 백영인, 박원태 (2011) 2D기반 기존방법 대비 BIM기반 터널 물량산출 오차분석, **한국지반공학회 논문집**, 제27권, 제8호, pp. 63-71.
- 이시원, 백영인, 신재철, 정국영, 강경돈, 박기용 (2012) 터널 및 교량의 BIM모델링에 따른 건설분류체계 적용에 관한 연구, **한국지반공학회 봄학술발표논문집**, pp. 396-399.
- 정준수 (2010) **건축자재 분류체계의 개선 방안에 관한 연구**, 세종대학교 대학원 건축학 석사논문.
- 한국건설기술연구원 (1999) **실적공사비 측정 및 적용방안 연구 (1~3차분)**, 건설교통부.

- ◎ 논문접수일 : 2012년 05월 14일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 05월 17일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 05월 22일