

## 손상을 반영한 BIM 모델 기반 교량 상태평가\*

## Condition Assessment of Bridge by BIM-based Integrated Model Reflecting Damage

윤인섭\*\* · 에르데네 호빌라이\*\*\* · 이상호\*\*\*\*

Inseop Yun\*\* · Khuvilai Erdene\*\*\* · Sang-Ho Lee\*\*\*\*

## Abstract

Building Information Modeling (BIM) is a key technology in the construction industry's digital transformation and is increasingly being utilized in the planning, design, and construction phases. However, BIM application in the maintenance phase remains limited due to various technical constraints. This study proposes a methodology to activate maintenance BIM technology by conducting bridge condition assessments based on standardized procedures utilizing BIM. Several new methods were proposed in the research, such as using an integrated information model by inserting defect elements into a structural model, data linkage between structural members and damage, constructing a database using COBie, and automated condition assessment procedures. The effectiveness of the proposed methodology and the accuracy of condition assessment results were verified by a proof test using a four-span PSC bridge with various types of over 250 damage.

**Keywords:** BIM, Integrated Model, COBie, Bridge Condition Assessment

## 1. 서 론

4차 산업 기술혁신에 따른 디지털 전환이 가속화됨에 따라 BIM(Building Information Modeling)은 건설산업의 핵심 디지털 전환 기술로 자리매김하고 있으며, 빌딩을 포함한 각종 사회기반시설의 생애주기 단계에 그 적용성과 확장성을 넓혀가고 있다. 계획 및 설계 단계와 시공 단계에서의 BIM 적용은 정부의 정책에 의해 점진적으로 의무화 되어가며 다양한 연구가 진행되고 있다(송은솔·문소영, 2022). 하

지만 유지관리 분야에서의 BIM 활용은 구조물에 발생하는 손상이라는 정보를 추가적으로 연계해야 하고 일관되지 않은 형태로 누적된 대량의 비정형 데이터를 디지털화하여 관리하는게 어려워 크게 활성화되지 못한 수준이다.

BIM은 시설물 생애주기 전반에 걸친 프로세스에서 디지털 표현을 활용하여 디지털 형식의 정보교환 및 상호운용성을 촉진할 수 있으며(Eastman and Charles, 2011), 이러한 특성을 활용해 교량을 대상으로 한 BIM 기반 유지관리는 다양한 각도에서 연구

\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA163381).

\*\*연세대학교 건설환경공학과 석사과정(주저자: dbsdslstjq921@yonsei.ac.kr)

\*\*\*연세대학교 건설환경공학과 박사과정

\*\*\*\*연세대학교 건설환경공학과 교수(교신저자: lee@yonsei.ac.kr)

접근이 이루어지고 있다(Hamdan and Scherer, 2018; Artus and Koch, 2020). McGuire et al.(2016)는 BIM을 활용해 손상을 객체로 표현하여 교량의 점검, 평가 및 관리와 관련된 데이터를 연결하고 분석하였다. Chan et al.(2016)은 BIM과 컴퓨팅 및 이미징 기술을 통합한 개념적 교량 관리 프레임워크를 제시하였다. Hühwohl et al.(2018)은 RC 교량에 대한 점검정보 활용을 위해 표준화된 표현 방식을 연구하였고, Xu and Turkan(2019)는 개별 모델 요소에 결합 정보를 연결하고 관리할 수 있는 BIM 기반 유지관리 프레임워크를 제시하였으며, Isailović et al.(2020)는 손상 구성 요소를 BIM에 통합하기 위한 접근 방식을 제시하였다. 또한 Kaewunruen et al.(2021)은 BIM을 활용한 교량의 위험 기반 점검 및 유지관리 업무 프레임워크를 제시하였다. Xia and Wang(2016)은 교량 모니터링 기술을 기반으로 손상 안전성 평가를 수행하였으며, Bertola and Brühwiler(2023)는 육안검사 데이터를 기반으로 교량의 상태를 평가하기 위한 위험 기반 평가 방법론을 제시하였다.

BIM 정보교환을 지원하는 COBie(Construction Operation Building information exchange)를 활용하면 BIM 기반 반정형적 모델 객체 데이터를 정해진 규칙에 따라 스프레드시트 형식의 정형 데이터로 손쉽게 전환할 수 있어 BIM 모델 정보를 객체 지향적이고 계층적으로 관리할 수 있다(East and Nisbet, 2012). 유지관리단계에서 시설물의 BIM 모델에 담긴 정보를 표준화된 방식으로 표현, 관리할 수 있는 COBie의 특성을 활용해 다양한 시설물을 대상으로 COBie를 적용한 연구가 진행되었다(Chang et al., 2020; Chung et al., 2021).

국내 사회기반시설물은 ‘시설물안전관리에 관한 특별법’(국토교통부, 1995)에 근거해 정기적인 안전점검 및 정밀안전진단을 통해 관리되고 있다. 시설물의 상태평가는 국토안전관리원에 의해 정기적으로 개정되는 ‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 세

부지침’(국토안전관리원, 2021)에 준하여 외관상태에 대한 육안점검과 간단한 실험 등을 통해 조사 분석되며 시설물의 상태등급이 판정된다. 이 때 상세한 데이터는 외관조사망도와 손상물량표에 기록되어 보관된다.

본 연구에서는 기존 유지관리 업무를 통해 생산된 원시 데이터를 기반으로 BIM을 이용해 교량과 교량에 발생한 개별 손상들을 디지털 모델화하고, 이를 활용해 외관조사에 의한 안전점검 업무에서의 손상에 의한 상태평가 업무를 대상으로 그 업무 절차와 데이터 처리 및 정보관리를 COBie를 활용하여 표준화된 디지털 프로세스로 전환시키는 방법을 제시하였다. 즉, 여러 구성요소로 이루어져 구조적인 복잡성을 띄는 교량 구조물을 대상으로 BIM 기술을 활용해 교량의 현 상태수준을 평가할 수 있는 자동화된 프로세스를 제시하고, 이를 실패량을 대상으로 적용해 제시한 방법론을 검증하였다.

## 2. 모델 기반 교량 상태평가 프로세스

### 2.1 유지관리용 교량 정보모델 생성

한정된 면적에서 층(Floor)을 기준으로 공간적 모델링이 이루어지는 빌딩 구조물과 달리 교량은 도로나 철도의 선형(Alignment)을 중심으로 교축 방향으로 배치되는 상부구조와 선형을 따라 지표면과 수직으로 배치되는 하부구조로 나뉘어진다. 또한 교량은 경간(Span)별로 구분되며, 각 경간은 구조형식에 따라 복잡한 세부 구성요소들의 조합으로 이루어져 있다.

유지관리 업무에서는 많은 수의 유사 시설물을 동시에 관리할 필요성이 있기 때문에 표준화되고 최적화된 정보모델의 사용이 요구된다. 따라서 유지관리용 교량 정보모델 구축 시에는 교량의 각 부위(부재)별 최적화된 정보상세표현(LOD, Level of Development)에 기반하여 BIM의 핵심 기능인 파

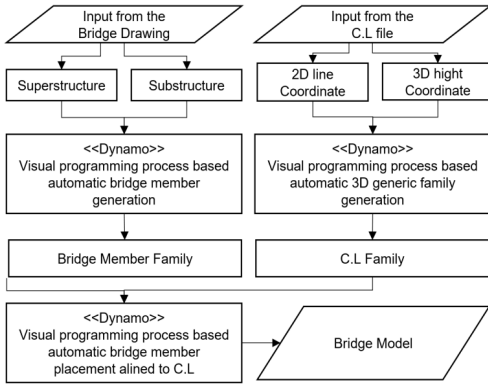


Fig. 1. Process for Parametric Modeling of Bridge

라메트릭 모델링을 최대한 활용하여 표준화된 절차에 따라 모델링이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 설계에서 사용하는 도로선형(C.L) 정보를 BIM 저작도구에서 활용할 수 있는 3D 선형 패밀리 형식으로 변환해 교량부재 배치의 중심선으로 활용할 수 있도록 하였으며, 이후 선형을 기준으로 상부구조는 교량 바닥판, 거더 및 보조부재(가로보, 세로보, 보강재 등), 하부구조는 교량받침, 교대, 교각, 기초 등의 객체를 파라메트릭 모델링 방법에 의해 순차적으로 배치할 수 있도록 하였다. 이때 중요한 점은 대상 시설물 각 부위별로 공용 중 발생할 수 있는 상태악화 수준의 정보들(결함, 손상, 보수요인 등)을 명확히 연결지어 표현할 수 있는 수준으로 모델의 LOD를 단순화, 최적화시켜주어야 한다. 교량의 LOD 및 유지관리 활용을 위한 교량 각 부위별 최적 LOD에 대해서는 Lee(2022)의 연구결과를 참고하면 된다.

또한 개별 부재의 등급을 경간 또는 위치별 최소단위로 구분하여 결정하는 상태평가 절차를 고려해 각 구성요소별 최소 단위에 따라 표현해야 하는 요소를 포함해 교량부재 패밀리를 제작하였다. 교량 표준도면과 도로선형 정보를 원시 데이터를 입력받아 Revit Dynamo를 활용한 파라메트릭 모델링 기법을 통해 교량 모델을 생성하는 표준화된 유지관리용 교량 정보모델 생성 프로세스는 Fig. 1과 같다.

## 2.2 손상의 표준화 및 모형화

공용 중 교량에 발생하는 손상(각종 결함과 노후화 증상)정보를 디지털 모형화하여 BIM 기반 교량 모델과 통합해 활용하기 위하여 손상을 표준화된 모델로 표현하는 방법을 사용하였다(Lee, 2022; 이상호 외, 2023a; 이상호 외, 2023b). 손상정보는 정기적인 점검과 진단을 통해 만들어진 보고서의 부록자료인 외관조사망도와 손상 물량표를 참조하여 생성할 수 있다. 본 연구는 PSC 교량을 대상으로 하므로 손상발생빈도와 교량 상태등급에 영향을 미치는 정도를 고려하여 총 10가지의 대표손상 유형으로 표준화하였다. 손상의 유형별로 손상의 특성, 상태, 수준을 표현하는 손상요소(Defect Element)는 BIM 모델 상에서 하나의 객체로 인식되며, 정량적인 상태평가에 활용되는 대표적인 특징들을 속성(Attribute)으로 정의하여 정보관리에 활용하였다.


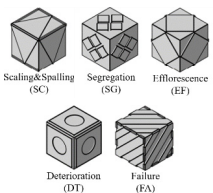



손상요소의 모델링은 BIM 저작도구 상에서의 배치 편의성, 시인성, 재사용성, 수정 용의성 등을 고려하여 표준화된 패밀리로 작성되었으며, 각 손상요소는 작은 정육면체 형태로 각 면에 표준화된 범례 형식으로 손상 유형을 상징화시킨 무늬를 표현하였다. 본 연구에 사용된 손상요소의 종류, 손상종류별 상태평가 요소, 손상종류별 관련 속성 정보 및 요소별 BIM 패밀리 표현을 Table 1에 나타내었다.

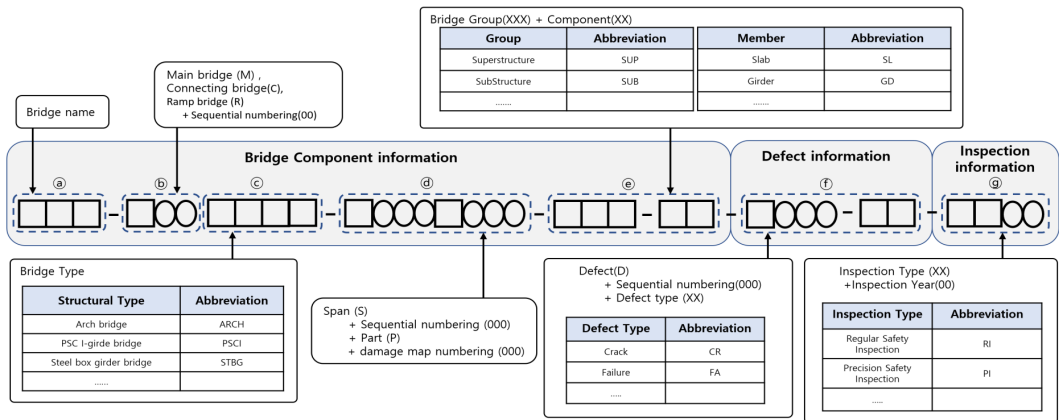
## 2.3 교량 객체 및 손상요소의 정보 식별코드

BIM 기반 교량 모델의 각 구성요소와 손상요소를 각각의 객체정보로 효과적으로 관리·활용하기 위해서는 개별적 인식과 함께 객체간의 종속관계를 파악할 수 있는 고유한 식별코드의 사용이 필수적이다. 본 연구에서는 표준분류체계에 기반해 교량의 구조적 계층 구분을 고려한 분류코드(Kim, 2010)를 본 연구목적에 맞게 확장시킨 Fig. 2와 같은 식별코드 체계를 사용하였다.

Fig. 2에 표현된 전반기 교량부재 식별정보는 대상

**Table 1.** Types and Properties of Defect Elements

Category	Evaluation Factor	Required Property	Defect Element
Crack, Crazing	Max crack width	Crack type	
	Crack length ratio	Crack width	
	Crack area ratio	Crack length	
	Critical crack occurrence	Cracking ratio	
Scaling, Spalling, Segregation, Efflorescence, Deterioration, Failure	Damage area ratio	Damage type	
	Failure length	Damage length	
		Damage width	
	Critical damage occurrence	Damage rate (%)	
Rebar Exposure	Exposure length ratio	Damage length	
	Exposure area ratio	Damage width	
	Rebar corrosion occurrence	Damage rate (%)	
Water Leak	Degree of sediment accumulation	Comment	
	Facility fault occurrence		
	Leakage occurrence		
Other	Comments	Damage type	
		Damage rate (%)	

**Fig. 2.** Identification Code for Bridge Components and Defects

교량의 명칭(a), 기능적 역할(b), 상부구조형식(c), 경간별 정보(d), 경간을 구성하는 상·하부 구성요소(e)로 구분되며, 한 경간에 복수의 동일 유형 부재가 존재할 경우 정해진 부재 배치순서에 준하여 구분할

수 있다. 후반부 손상요소 식별 정보는 손상 타입과 순번(f), 점검 유형 및 조사년도(g) 정보를 표현하면서 손상이 위치하는 부재 식별코드를 계승해 종속관계를 유지할 수 있도록 하였다. 식별코드는 필요에

따라 확장이 가능하며, 속성값으로서의 입력 시 종속관계를 통해 인식에 지장이 없는 정보들의 생략이 가능하다.

## 2.4 교량-손상 통합정보모델 생성

교량 구조물 모델과 손상을 표현한 손상모델을 통합해 하나의 유지관리를 BIM 정보모델(통합정보모델)로 관리·활용하기 위해서는 정확한 위치 정보를 기반으로 두 모델 간의 통합이 필요하다. 손상요소의 위치정보는 교량 점검자료 중 외관조사망도를 통해 얻을 수 있는데, 외관조사망도에는 손상의 위치 정보가 경간별/부재별로 2D 전개도 상에 기호형식으로 표시되어 있기 때문에 이를 3D 좌표계로 변환하여 교량 모델상의 해당부재 발생위치에 배치시키는 자동화된 과정이 필요하다.

두 모델간 통합과정은 먼저 외관조사망도에서 교량부재의 참조점과 개별 손상점들의 좌표를 추출하고, 이를 비교하여 각 손상이 존재하는 교량부재 정보를 판별한 후 판별된 정보를 바탕으로 손상 객체별 고유 식별코드를 부여한다. 다음으로 Fig. 3과 같이 정확한 위치정보 동기화를 위해 교량 모델 생성 시 사용했던 3차원 선형 좌표와 외관조사망도의 2D 좌표를 매핑하는 좌표변환식을 사용해 외관조사망

도상의 2D 위치정보를 통합정보모델의 3D 위치정보로 정확하게 변환한다. 이때 추출된 2D 좌표정보를 BIM 저작도구에서 활용할 수 있는 3차원 선형좌표로 변환하기 위해 다음과 같은 식을 사용하여 좌표변환을 수행할 수 있다.

$$Y_{3D.d.p} = \frac{Y_{3D.e.p} - Y_{3D.s.p}}{Y_{2D.e.p} - Y_{2D.s.p}} (Y_{2D.d.p} - Y_{2D.s.p}) + Y_{3D.s.p} \quad (1)$$

$$Z_{3D.d.p} = \frac{Z_{3D.e.p} - Z_{3D.s.p}}{Y_{2D.e.p} - Y_{2D.s.p}} (Y_{2D.d.p} - Y_{2D.s.p}) + Z_{3D.s.p} \quad (2)$$

$$X_{param3D.d.p} = \frac{1}{X_{2D.e.p} - X_{2D.s.p}} (X_{2D.d.p} - X_{2D.s.p}) \quad (3)$$

여기서 첨자  $d.p$ 는 개별 손상의 좌표,  $s.p$ 는 참조점 중 시작점, 그리고  $e.p$ 는 참조점 중 끝점을 의미하며, 이미지에서 추출한 손상객체별 2차원 좌표( $X_{2D}$ ,  $Y_{2D}$ )를 통해 손상요소 위치의 3차원 선형좌표( $X_{param3D}$ ,  $Y_{3D}$ ,  $Z_{3D}$ )를 얻을 수 있다.

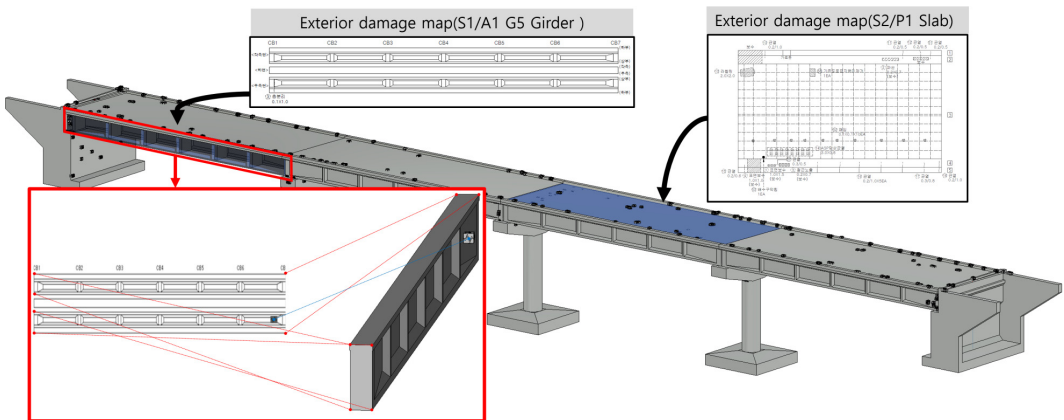


Fig. 3. Mapping 2D Defect Location Information into 3D Alignment Coordinate used for Bridge Model Creation

## 2.5 COBie를 활용한 손상정보의 계층적 관리

통합정보모델에 저장된 교량 구조부재와 손상의 정보는 객체 중심의 반정형 데이터로 이루어져 있으며, BIM 저작도구의 종류에 따라 정보를 불러내는 작업(Query)이 상이하므로 Ontology 기술을 사용하지 않으면 정보활용이 쉽지 않다. 본 연구에서는 구축된 통합정보모델과 그 정보들을 유지관리의 상태평가 업무에 직접 활용할 수 있도록 COBie를 사용하여 모델 정보를 정형데이터로 추출하고 활용하는 방법 개발이 필요하다.

이를 위해 먼저 통합정보모델을 구성하는 객체에 저장된 속성과 교량 부위별 상태평가 정보 등 유지관리 데이터를 계층적으로 관리하기 위한 COBie 매개변수의 명명 원칙을 설정하였다. 또한, 모델 객체별로 COBie 매개변수를 입력할 수 있는 속성을 추가

하였고, 추가된 속성에 교량의 구성요소와 손상 객체요소의 식별정보를 입력해 COBie 데이터를 추출할 수 있도록 하였다.

정보연계의 한 예로서 COBie 매개변수 중 Name 항목은 관리정보 최소화를 고려해 식별코드를 축약하여 표시하고, Space 항목은 요소가 포함되어 있는 영역의 정보를 표시하도록 하였다. 이 방법을 통해 Fig. 4에서 보는 바와 같이 손상객체의 Space 항목이 손상이 위치하고 있는 교량부재의 Name 항목과 일치하고, 교량부재의 Space 항목이 교량 공간의 Name 항목과 일치하도록 설정해 교량과 손상정보의 계층적 정보관리가 가능하도록 하였다.

## 2.6 손상정보 DB 생성 및 상태평가에의 활용

COBie 파일에서는 교량 모델 구성요소와 손상별 객체요소에 대한 정보가 여러 시트로 나누어 관리되고 있으며, 다수의 속성들이 포함되고 있어서 유지관리 업무별 수행을 자동화하기 위해서는 목적에 맞게 데이터를 재구성해 DB를 생성할 필요가 있다. 본 연구에서는 상태평가 업무에의 활용을 위해 구조화 질의어 SQL을 표준으로 채택한 데이터베이스 관리 프로그램을 이용하여 COBie 파일 내의 필요한 손상 객체와 교량 요소의 데이터를 선별·취합하였다. 예를 들어 COBie.Component.Sheet에서는 식별코드, 손상이 발생한 교량 요소, 외부식별자 등을 추출할 수 있고, COBie.Attribute.Sheet에서는 손상의 종류, 물량, 손상규모 등의 속성을 추출할 수 있다. 상태평가의 의사결정을 위해 필요한 정보인 손상과 연계된 교량 요소별 기본정보와 면적과 길이, 폭 등의 정보들도 손상객체와 식별코드로 연계된 교량 구성요소의 정보를 통해 동일한 방식으로 추출하였다.

상태등급 판정에 필요한 균열률이나 손상의 종류별 면적률과 같은 정보는 손상객체 데이터를 활용하는 SQL 질의를 통해 자동으로 취득하여 계산하고 저장할 수 있다. 교량부재 단위별로 계산된 손상객체

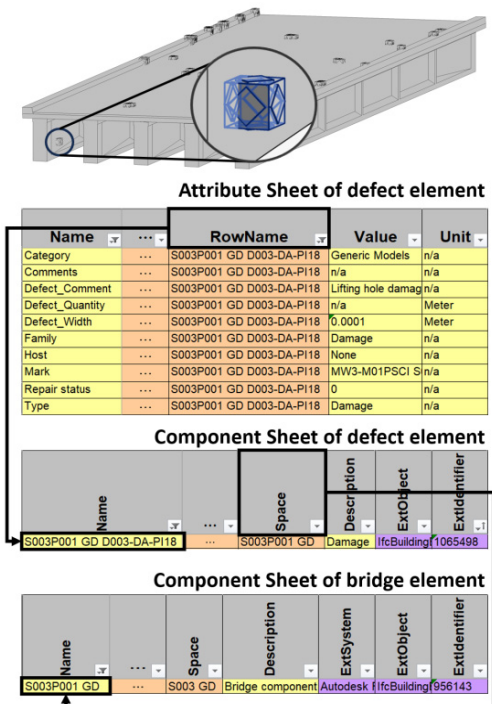


Fig. 4. Information Linkage between Bridge Member and Defect Element in COBie

데이터를 사용하면 손상 유형별 상태평가, 교량부재별 상태평가 등을 단계별로 수행하고 그 결과들을 저장할 수 있으며, 필요할 경우 교량 모델의 해당 부재 등에 손상에 의한 상태평가 정보를 추가시키거나 업데이트 할 수 있다. 또한 적절한 프로그래밍 기법을 통해 이상의 절차들을 코드화하면 교량의 상태평가 업무를 자동화시킬 수 있다.

### 3. 실교량을 대상으로 한 검증

#### 3.1 검증용 교량의 선정

본 연구에서 제시한 BIM 모델 기반 상태평가 업무 디지털 전환 방법론을 검증하기 위해 자료 취득이 가능한 실교량을 대상으로 하여 통합정보모델을 구현해보고, 이를 기반으로 상태평가를 수행하는 검증작업을 수행하였다. 검증에 사용된 교량은 길이 120m, 폭 11.2m의 4경간 PSC I형 교량이다. 교량 정보모델 생성을 위해 표준도면이 사용되었으며, 2018년에 수행된 정밀안전점검의 결과물인 외관조사망도와 손상물량표가 기본 데이터로 참조되었다.

#### 3.2 통합정보모델 구축 및 상태평가 수행

검증용 교량은 4개 경간에 걸쳐 상부구조 부재 128개, 하부구조 부재 70개로 구성되어 있으며 점검

자료에 기록된 250개의 손상을 내포하고 있다. 본 검증작업에서는 2장에서 설명한 각 단계별 절차를 거치면서 손상요소를 포함한 유지관리용 BIM 통합정보모델을 Fig. 5와 같이 구현하였다.

생성된 통합정보모델은 모든 교량부재와 교량에 존재하는 손상이 객체 기반으로 관리되도록 구현할 수 있었으며, 교량부재의 경우 설계 및 시공과정에서는 다루지 않는 보수 손상균열 최대 폭, 손상 물량 합계, 부재 단위 상태평가 등급 등이 유지관리용 속성으로 추가되었다. 손상요소의 경우에도 손상의 종류, 길이, 폭, 물량, 설명, 위치한 교량부재 정보, 보수여부 등이 속성으로 정확하게 작성됨을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 5의 손상요소의 COBie.Component.Space 속성이 해당 손상이 존재하는 교량 부재의 COBie.Component.Name 속성으로 작성되어 COBie를 활용한 손상정보의 계층적 관리가 가능함을 확인하였다. 통합정보모델로부터 추출된 COBie 파일을 통해 교량요소와 손상요소 관련 정보들이 객체 중심으로 관리 가능하고 통합정보모델-COBie 파일간 쌍방향 정보 수정과 업데이트가 가능함을 확인하였다.

객체별로 생성된 COBie 데이터를 기반으로 Revit Dynamo 프로그램과 SQL 프로그램을 통해 교량 부재 단위의 상태평가에 사용되는 데이터를 Fig. 6와 같이 구축하였다. 구축한 데이터를 바탕으로 교량부

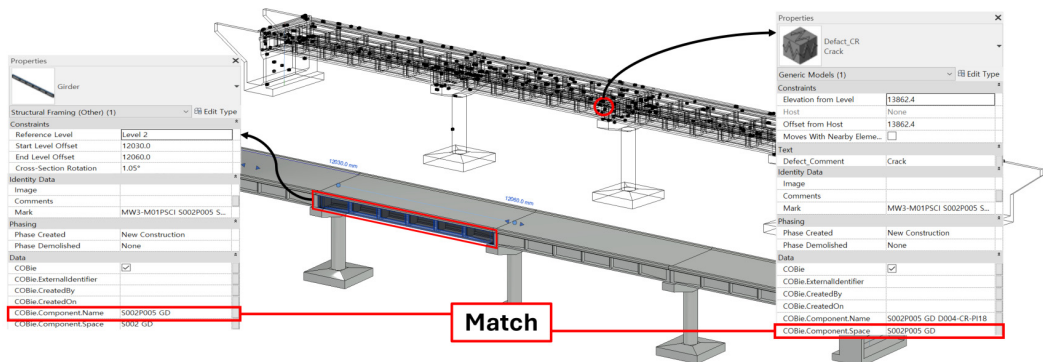


Fig. 5. Integrated Model of Test Bridge and Hierarchical Information Management between Defect and Bridge Member (Left: Structural Model, Right: Defect Elements on Structural Model)

Defect Attribute Sheet						Defect Information Database										
Name	Area	Defect Name	Value	Unit	Classifier	Name	Evident	Space	Category	D_width	D_quantit	File	Comment	Repair status	Width	Quant
Area	S002P001 GD D005-DA-P118	0.5169	SqMeter	11012005		S002P003 GD D001-DA-P118	1065678	S002P003 GD	DA	0.2	0.04	1	Breakage		1	0.2 0.04
Category	S002P001 GD D005-DA-P118	Generic M	n/a	1140363		S002P005 GD D002-CR-P118	1065647	S002P005 GD	CR	0.1	0.5	1	Crack		1	0.1 0.5
Comments	S002P001 GD D005-DA-P118	n/a	n/a	11010106		S002P005 GD D003-CR-P118	1065648	S002P005 GD	CR	0.1	0.5	1	Crack		1	0.1 0.5
Defect Comment	S002P001 GD D005-DA-P118	Repair Part	n/a	955161		S002P005 GD D004-CR-P118	1065649	S002P005 GD	CR	0.1	0.6	1	Crack		1	0.1 0.6
Defect Quantity	S002P001 GD D005-DA-P118	0.34	Meter	955162		S002P001 GD D005-DA-P118	1065679	S002P001 GD	DA	0.2	0.24	6	Repair Part Float		1	0.2 0.24
Defect Width	S002P001 GD D005-DA-P118	0.2	Meter	955163		S003P003 GD D001-CR-P118	1065650	S003P003 GD	CR	0.1	1	1	Crack		1	0.1 1
Family	S002P001 GD D005-DA-P118	Damage	n/a	1102051		S003P003 GD D002-CR-P118	1065651	S003P003 GD	CR	0.1	0.01	1	Crackage		1	0.1 0.01
Mark	S002P001 GD D005-DA-P118	MW3-M011	n/a	955164		S004P003 GD D001-CR-P118	1065651	S004P003 GD	CR	0.1	1	1	Crack and White Pollack		1	0.1 1
Repair status	S002P001 GD D005-DA-P118	1	Meter	955164												
Type	S002P001 GD D005-DA-P118	Damage	n/a	1102050												

Bridge Component Database										
Name	Evident	Space	Type	Length	Area	CR_Max	CR_Sum	CZ_Max	DA_Sum	Condition_grade
S002P001 CB	956337	S002 CB	CB		10.71					A
S002P001 GD	956141	S002 GD	GD	30000	141				0.24	B
S002P001 RA	958101	S002 RA	RA	30000	53.76	0.2	2.5		0	B

Fig. 6. Data Query between COBie Data of Defect Attribute Sheet Data and Defect Information Database and Bridge Component Database

Table 2. Condition Assessment Result of Bridge Components in Test Bridge

S1/A1	CR	CR	CZ	DA	RE	Comment
SL #1	B	B	A	B	A	-
#1	A	-	-	A	A	-
GD ...	...	...	...	...	...	...
#5	C	-	-	A	A	C
#1	A	-	-	A	A	-
CB ...	...	...	...	...	...	...
#28	A	-	-	A	A	
WS #1	-	B	-	C	-	-
RA #1	C	-	-	A	-	-
#2	B	-	-	A	-	-
EX #1	-	-	-	-	-	C
#1	A	-	-	-	-	B
BS ...	...	...	...	...	...	...
#5	A	-	-	-	-	-
PR #1	B	-	-	B	B	-

재 단위의 상태평가를 자동으로 수행하고, 검증용 교량4개 경간은 개별 경간당 존재하는 부재의 수가 많아 S1/A1 단일 경간에 존재하는 부재들의 상태평가 결과를 Table 2와 같이 정리하였다. 교량부재별로 생성된 상태평가데이터를 바탕으로 교량의 전체 상태등급도 자동으로 판정할 수 있음을 확인하였다. 자동화된 상태평가를 통해 획득한 경간별 부재등급

Table 3. Final Result of Condition Assessment in Test Bridge

Span	Super-struct.						Sub-struct.	
	SL	GD	CB	RA	WS	EX	BS	PR
S1/A1	B	C	A	C	C	C	Q	B
S2/P1	C	C	A	C	B	-	Q	C
S3/P2	B	B	A	B	C	-	Q	B
S4/P3	B	C	C	C	B	-	Q	B
- /A2	-	-	-	-	-	C	Q	A
Score	0.25	0.3	0.18	0.35	0.18	0.4	-	0.22
Weight	18	20	5	2	7	9	-	20
Result	Converted Defect Score: 0.267 Bridge Grade: C							

과 교량 전체 상태평가 결과를 Table 3과 같이 정리하였다. 평가결과들을 정밀안전점검 보고서와 비교하였을 때 S2/P1 경간 거더가 C등급으로 평가되어 보고서 상의 B등급 평가와 다른 결과를 보였다. 세부 평가과정을 분석한 결과 기존 평가과정에서 S2/P1 경간 거더에 존재하는 철근노출 손상의 평가 오류로 인해 C등급 손상을 B등급으로 판정하는 오류가 발생한 것을 확인하였다. 본 연구수행 방법론에 의한 결과들은 입력받은 손상정보와 교량 부재 정보를 활용하여 사전 정의된 손상평가 업무의 수학적 계산을 수행되어 정확한 결과를 도출하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 BIM 기반 유지관리의 활용성을 증대시키기 위하여 정기적인 정밀안전점검을 통해 이루어지는 교량 상태평가 업무를 손상정보를 포함한 BIM 기반 통합정보모델과 COBie 파일 기반 손상정보 DB를 사용하여 수행할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이에 따라 세부적으로 교량에 발생하는 다양한 손상 관련 정보들을 손상요소를 사용해 객체화하고 이를 구조물 모델과 병합하여 유지관리를 통합손상모델을 생성하는 방법 및 모델상에서 손상을 식별하고 그 정보들을 구조물 정보와 연계하여 관리하는 방법을 제시하였다. 또한 건설정보교환표준인 COBie의 데이터 파일을 수정·확장하여 교량부재와 부재에 발생한 손상정보를 표준화된 객체 중심의 스프레드시트 형식의 정형데이터로 관리하는 방법, SQL 프로그램을 통해 통합정보모델과 연동되는 손상정보 DB를 구축하는 방법, 그리고 이를 활용해 교량 상태평가를 자동화된 절차로 수행할 수 있는 방법을 개발하였다. 마지막으로 제시한 방법론을 실교량에 적용하여 상태평가를 진행하고 결과를 대상 교량의 점검보고서와 비교함으로써 제시한 방법론의 효용성과 정확성을 검증하였다.

본 연구에서 제시된 방법론은 교량뿐 아니라 다양한 사회기반시설물의 상태평가나 기타 유지관리 관련 업무에 확대 적용이 가능할 것으로 예상된다. Ontology 기법의 도입을 통한 틀 기반 의사결정지원 기술 개발과 함께 실무에서 이루어지는 점검업무를 표준화된 디지털 전환 방식으로 변환시켜줄 수 있는 몇 가지 유용한 도구들이 개발될 경우 유지관리의 한 축을 담당하는 안전점검 업무의 효율성은 획기적으로 개선될 수 있고 BIM 기반 유지관리의 활용성을 더욱 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 국토교통부(1995.4.6), “시설물의 안전관리에 관한 특별법”.
2. 국토안전관리원(2021), “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(개정)”.
3. 송은솔·문소영(2022) “토목 분야 기본설계 단계 BIM 적용성 향상을 위한 BIM 적용 프로세스 제안”, 「LHI Journal」, 13(3): 115~123.
4. 이상호·이정빈·김장호·이상호(2023a), “정보모델기법을 활용한 콘크리트 바닥판 손상의 디지털화”, 「콘크리트학회논문집」, 23 (2): 225~233.
5. 이상호·이정빈·탁호균·이상호(2023b), “BIM-COBie를 활용한 교량 상부구조의 손상정보 관리 방법”, 「대한토목학회논문집」, 43(2): 165~173.
6. Artus, M. and C. Koch (2020), “State of the Art in Damage Information Modeling for RC Bridges: A Literature Review”, *Advanced Engineering Informatics*, 46.
7. Bertola, N. J. and E. Brühwiler (2023), “Risk-Based Methodology to Assess Bridge Condition Based on Visual Inspection”, *Structure and Infrastructure Engineering*, 19(4): 575~588.
8. Chan, B., H. Guan, L. Hou, J. Jo, M. Blumenstein and J. Wang (2016), “Defining a Conceptual Framework for the Integration of Modelling and Advanced Imaging for Improving the Reliability and Efficiency of Bridge Assessments”, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 6(4): 703~714.
9. Chang, H., Y. Zhao, Z. Rao and Y. Li (2020), “Research on Intelligent Operation and Maintenance Management of Rail Telescopic Regulator”, *10th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication*, Beijing, CN, 295~298.
10. Chung, S., C.-S. Cho, J. Song, K. Lee, S. Lee and S. Kwon (2021), “Smart Facility Management System Based on Open BIM and Augmented Reality Technology”, *Applied Sciences*, 11(21): 10283.
11. East, W. and N. Nisbet (2012), *Construction Operations Building Information Exchange (COBIE): Means and Method*, Washington, D.C.: The National Institute of Building Sciences, 234~241.

12. Eastman, C. M. and M. Charles (2011), *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Hoboken: John Wiley & Sons.
13. Hamdan, A.-H. and J. R. Scherer (2018), "A Generic Model for the Digitalization of Structural Damage", *Proceedings of the Sixth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering*, Ghent, Oost-Vlaanderen, 28~31.
14. Hühthwohl, P., I. Brilakis, A. Borrmann and R. Sacks (2018), "Integrating RC Bridge Defect Information into BIM Models", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(3): 04018013.
15. Isailović, D., V. Stojanovic, M. Trapp, R. Richter, R. Hajdin and J. Döllner (2020), "Bridge Damage: Detection, IFC-Based Semantic Enrichment and Visualization", *Automation in Construction*, 112: 103088.
16. Kaewunruen, S., J. Sresakoolchai, W. Ma and O. Phil-Ebosie (2021), "Digital Twin Aided Vulnerability Assessment and Risk-Based Maintenance Planning of Bridge Infrastructures Exposed to Extreme Conditions", *Sustainability*, 13(4): 2051.
17. Kim, B. G. (2010), "Integration of a 3-D Bridge Model and Structured Information of Engineering Documents", Doctoral Dissertation, Yonsei University.
18. Lee, J. B. (2022), "IFC BIM-Based Optimized Information Model Construction for Damage Condition Assessment of Cable Bridges", Master's thesis, Yonsei University.
19. McGuire, B., R. Atadero, C. Clevenger and M. Ozbek (2016), "Bridge Information Modelling for Inspection and Evaluation", *Journal of Bridge Engineering*, 21(4): 04015076.
20. Xia, Y. and X. Wang (2016) "Damage Safety Assessment of Highway Bridges", *International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, Foz do Iguaçu, Paraná, 2468~2472.
21. Xu, Y. and Y. Turkan (2019). "BrIM and UAS for Bridge Inspections and Management Engineering", *Construction and Architectural Management*, 27(3): 785~807.

## 요 약

건설산업 디지털 전환 기술의 핵심인 BIM은 계획·설계단계나 시공단계에서의 활용성이 점차 확대되어가고 있으나 유지관리 단계에서의 BIM 활용은 여러 가지 기술적 제약으로 아직 미미한 수준이다. 본 연구에서는 BIM 기반 유지관리 업무의 활성화를 위해 교량을 대상으로 한 상태평가 업무를 표준화된 절차에 따라 BIM 기반으로 수행할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이를 위해 손상요소를 사용하여 기본 모델상에 손상정보를 추가시킨 통합정보모델의 구축 방법, 구조물 부재정보와 손상정보의 연계 및 활용 방법, COBie를 활용한 상태평가용 DB 구축방법, 자동화된 상태평가수행 방법 등이 제시되었다. 250여개의 손상을 지닌 4경간 PSC 교량을 대상으로 제시된 방법론의 절차적 검증이 이루어졌으며 그 실효성과 상태평가 결과의 정확성이 입증되었다.

**주제어:** BIM, 통합정보모델, COBie, 교량상태평가