

2-B-5-양-9

비SCIE

시멘틱 지식그래프 구축 및 활용을 통한 BIM 모델 내 간섭 유형 및 심각도 분류 방안

2025. 11.

과제명	인공지능 기반의 건축설계 자동화 기술개발		
주관기관	경북대학교 산학협력단		
총연구기간	2021. 04 . 01 - 2025. 12 . 31(4년 9개월)		
해당연도(5차년)	2025. 01 . 01 - 2025. 12 . 31(1년)		
구성기술명	구성기술 2	설계 생산성 향상을 위한 지능형 상세설계 자동화 기술 개발	
세부과제명	2-B	인공지능 기반 건축 상세설계 자동화 기술개발(II)	
공동연구기관	-		
연구기관	서울과학기술대학교 산학협력단	연구책임자	구본상

시멘틱 지식그래프 구축 및 활용을 통한 BIM 모델 내 간섭 유형 및 심각도 분류 방안

Semantic Knowledge Graph Construction and Utilization for Clash Type and Severity Classification in Federated BIM Models

신동욱¹⁾, 유영수²⁾, 이원복³⁾, 이현우⁴⁾, 구본상⁵⁾
Shin, Dong-Uk¹⁾ · Yu, Young-Su²⁾ · Lee, Won-Bok³⁾ · Lee, Hyun-Woo⁴⁾ · Koo, Bon-Sang⁵⁾

Received June 19, 2025; Received August 6, 2025 / Accepted August 12, 2025

ABSTRACT: Clash detection in BIM is a critical process for identifying potential interferences during the design phase and preventing design errors. However, conventional clash detection approaches are limited to simple geometric overlap checks and fail to consider contextual information such as clash types and severity, reducing their effectiveness in supporting design adjustments. To address these limitations, this study proposes the 'BIMClash' framework, which leverages a semantic knowledge graph to represent clash information and classifies both clash types and severity levels using Cypher-based automated queries. A domain-specific ontology schema was developed, and object and relational data were extracted from IFC-based BIM models to construct the semantic graph in Neo4j. The framework incorporates spatial adjacency, attribute data, and predefined classification criteria to enable automated clash classification. Experimental results demonstrated that BIMClash achieved over 90% accuracy in clash type and severity classification compared to expert annotations, while reducing classification time by approximately 84% relative to manual processes. These findings highlight the practical value of the proposed framework in enhancing both the accuracy and efficiency of clash detection during the design stage.

KEYWORDS: Clash Detection, Clash Type and Severity Classification, Semantic Knowledge Graph, Ontology Schema, Cypher Query, BIM
키워드: 간섭 검토, 간섭 유형 및 심각도 분류, 시멘틱 지식그래프, 온톨로지 스키마, Cypher 쿼리, 빌딩정보모델

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현행 BIM 설계 프로세스는 공종별(건축, 구조, 설비 등)로 분리되어 수행되며, 이들 모델이 통합되는 실시설계 단계에서 다수의 간섭이 발생한다. 이러한 간섭은 단순한 모델 오류에 그치지 않고, 설계 변경이나 공정 지연 등 프로젝트 전반에 실질적인 영향을 미치는 주요 원인으로 작용한다(Baek et al., 2021). 현재 실무에서는 Solibri Model Checker, Autodesk Navisworks 등 상용 BIM 간섭 검토 소프트웨어를 활용하여 간섭을 탐지하고 있다. 그러나 이들 대부분 물리적 충돌 여부만을 기준으로 간섭을 탐지하고 있어, 간섭의 발생 맥락이나 해결 난이도와

같은 의미론적 정보를 반영하지 못한다.

실제 BIM 모델에서는 단순 조정으로 해결 가능한 경미한 간섭부터 설계 변경 및 공종 간 협의가 요구되는 심각한 간섭까지 다양한 수준의 간섭 심각도가 존재한다. 그러나, 기존 소프트웨어는 이를 분류하는 기능을 제공하지 않아, 실무자는 간섭의 심각도를 수작업으로 분류해야 하며, 이 과정에서 휴먼에러와 비효율이 발생한다(Chahrour et al., 2020). 특히, 프로젝트 규모가 커질수록 간섭 발생 건수와 분류 복잡성이 급격히 증가하여 수작업 기반 분류 방식 활용에 제약이 발생한다. 따라서, 간섭 정보를 구조화하고 심각도를 자동 분류할 수 있는 체계적인 분류 전략 구축이 필요한 실정이다.

상기 한계점을 해결하기 위해서는 간섭 유형을 세분화하고

¹⁾학생회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정 (ehddnr567@seoultech.ac.kr)

²⁾학생회원, 한국건설기술연구원 국가건설기준센터 박사후연구원 (youngsu@seoultech.ac.kr)

³⁾학생회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 박사과정 (wonbok@seoultech.ac.kr)

⁴⁾학생회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정 (hyunwoo@seoultech.ac.kr)

⁵⁾정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수 (bonsang@seoultech.ac.kr) (교신저자)

유형별 특성에 따라 적용 가능한 심각도 분류 기준을 정립할 필요가 있다. 일례로, MEP 공종에서 메인(main) 배관 간 간섭은 가지(branch) 배관 간섭보다 해결 난이도가 높아 별도의 대응이 요구된다. 기존 연구들에서도 이와 같은 간섭 유형 분류의 중요성이 제기되어 왔으며 다양한 분류 전략이 제안되었으나(Hu et al., 2019; Huang & Lin, 2019; Chahrour et al., 2020), 대부분 특정 공종이나 제한된 사례에 국한되어 실무 전반을 포괄하기에 한계가 존재하였다.

또한, 정립된 기준에 따라 간섭 유형 및 심각도를 효과적으로 분류하기 위해서는 단순한 기하학적 정보뿐만 아니라 부재 간 관계, 공종 간 상호작용 및 속성 정보 등 복합적인 요소를 함께 고려할 수 있는 데이터 구조가 필요하다. 시멘틱 지식그래프(semantic knowledge graph)는 이러한 의미론적 관계를 온톨로지를 통해 명시적으로 정의하고, 이를 그래프 구조로 표현함으로써 간섭 정보를 구조화하며, 의미 기반 분류 및 분석을 위한 수단으로 활용할 수 있다(Hogan et al., 2021).

이에 본 연구는 실무 기반의 간섭 세부 유형과 심각도 분류 기준을 정립한 후, 간섭 탐지를 위한 검토 방법론을 개발하였으며, 부재 간 의미론적 관계를 온톨로지 기반으로 구조화하여 시멘틱 지식그래프를 구현하였다. 나아가, 구축된 시멘틱 지식그래프를 활용하여 간섭 정보의 맥락과 속성을 반영한 의미 기반의 간섭 유형 및 심각도 분류 자동화가 가능하도록 프레임워크를 설계 및 구축하였다. 최종적으로, 전문가 그룹의 수작업 결과를 정답(ground truth)으로 설정하여 동일한 BIM 모델에 대해 3인으로 구성된 대학원생 그룹과 본 프레임워크의 분류 결과를 비교하여 정확성을 검증하였으며, 전문가 그룹과의 작업 소요시간을 비교함으로써 제안한 프레임워크의 실무 효용성을 검증하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 BIM 모델 내 발생하는 간섭 중 설계 지식에 기반하여 분석이 필요한 간섭적 간섭(soft clash)은 제외하고, 부재 간 기하학적 중첩에 의해 발생하는 물리적 간섭(hard clash)을 연구 범위로 한정하였다. 이에 따라, 복합 공종 간 발생하는 물리적 간섭 정보를 통합적으로 관리하고, 간섭의 세부 유형과 심각도를 자동 분류할 수 있는 시멘틱 지식그래프 기반 분석 프레임워크 구축을 목표로 하였다.

시멘틱 지식그래프 구축 및 프레임워크 검증을 위해 4층 규모(지하 2층, 지상 2층)의 실시설계 단계 BIM 모델을 활용하였다. 해당 모델은 업무시설 용도로 설계되었으며, 총 6가지(건축, 구조, 기계, 소방, 전기, 통신) 공종으로 구성되어 있다.

이후, 간섭 유형과 심각도 분류 기준은 전문가 인터뷰와 설계 Quality Control (QC) 체크리스트 분석을 통해 도출하였으며, 이

를 토대로 검토 방법을 정립하고 지식그래프 기반 분류 및 검증 절차를 수행하였다. 본 연구의 구체적인 방법론은 다음과 같다.

1단계: 간섭 유형 및 심각도 분류 기준 정립

전문가 인터뷰와 설계 Quality Control (QC) 체크리스트를 기반으로 간섭을 동일·타 공종 간 간섭 2가지 세부 유형으로 분류하고, 해결 난이도에 따라 심각도를 3단계로 구분하였다.

2단계: 간섭 검토 방법론 정립

간섭 유형별 특성과 요구사항을 고려하여 간섭 검토 방법론을 정립하고, 간섭 검토에 필요한 변수들을 선정하였다.

3단계: 시멘틱 지식그래프 구축

정립된 기준과 변수를 기반으로 온톨로지 스키마를 설계하고, 검증용 BIM 모델을 대상으로 시멘틱 지식그래프를 구축하였다.

4단계: 간섭 유형 및 심각도 분류 결과 검증

정립된 분류 기준을 Neo4j의 전용 쿼리 언어인 Cypher로 구현하여 간섭 검토를 수행하였으며, 전문가 그룹의 수작업 분류 결과와 비교하여 정확도를 검증하였다. 아울러, 작업 소요시간 비교를 통해 실무 효용성을 검증하였다.

2. 선행연구 및 이론고찰

2.1 선행 연구 분석

BIM 기반 간섭 검토는 건설 프로젝트에서 설계 품질 향상과 시공성 검토를 위해 필수적으로 수반되어야 하는 작업이다. 기존 연구들은 주로 BIM 간섭 검토의 정확도 및 효율성을 개선하기 위한 알고리즘 개발에 집중해 왔으며, 최근에는 간섭 유형 세분화와 심각도 분류를 통한 간섭 검토 자동화 및 부재 간 관계를 표현하기 위한 지식그래프(knowledge graph) 활용까지 연구 범위가 확장되고 있다.

2.1.1 BIM 기반 간섭 검토 연구

기존 연구들은 주로 기하학적 연산 기법을 고도화하거나, 간섭 탐지 결과의 정확도를 높이기 위한 최적화 알고리즘 개발에 집중하였다. Radke et al. (2009)는 Revit API와 Python을 활용하여 BIM 모델 파라미터 기반 간섭 탐지 기법을 제안하였으며, Hartmann (2010)은 BIM 모델의 분류 체계를 정비하여 간섭 검토의 신뢰도를 향상시킬 수 있음을 분석하였다.

이러한 성능 개선 중심의 연구 외에도, 간섭을 유형별로 세분

화하려는 시도 또한 이루어졌다. Leite et al. (2009)은 MEP 공종의 부재 조합 간 간섭을 'Light and Duct', 'Plumbing Line and Duct' 등 구체적인 부재 조합에 따라 20개 이상 유형화하고, 각 유형을 분류하고 해결하기 위한 일련의 규칙을 고안하였다. Savitri et al. (2020)은 MEP 부재 간 간섭 유형을 세분화하여 발생 경향성을 분석하였다.

이러한 유형 분류 시도에 더해, 간섭 해결의 시급성이나 중요도에 따라 간섭을 분류하는 심각도 분류 연구도 수행되었다. Kwon & Cho (2015)는 Solibri Model Checker (SMC)를 활용하여 간섭 검토 및 간섭 관련 정보를 수집 후 간섭을 유효 간섭(relevant clash)과 비유효 간섭(irrelevant clash)으로 구분하기 위한 기준을 수립하고 이를 JAVA 기반의 JESS 추론 엔진으로 구현하였다. Hu et al. (2019)은 BIM 부재 간 종속 관계(dependency relationship)를 기반으로 네트워크를 구성하여, 간섭의 형상을 기준으로 한 세부 유형을 제시하였으며, 유효한 간섭과 비유효한 간섭으로 구분하였다. 또한 Hasannejad et al. (2022)는 fuzzy-AHP 기법을 활용하여 구조 및 MEP 부재의 우선순위를 선정하고, 이를 Navisworks 간섭 검토 결과에 적용하여 비유효 간섭을 구분하고자 하였다.

그러나 이들 연구는 대부분 특정 공종이나 일부 부재 유형에

집중하여 복합 공종을 다루는 실무 환경을 반영하지 못하였다. 또한, 심각도 분류를 이분법적으로만 구분하여 실무에서 필요한 상세 수준의 심각도 정보를 지원하는 체계적 분류 기준이 여전히 부족한 실정이다. 주요 선행 연구들의 간섭 유형 및 심각도 분류 방식은 Table 1에 정리하였다.

2.1.2 지식그래프 기반 간섭 검토 연구

기존 연구들은 BIM 간섭 검토 소프트웨어로부터 추출된 데이터를 스프레드시트나 DB 내 테이블 구조로 활용하여 간섭 검토를 수행하였다. 이러한 구조는 간섭 정보를 일괄적으로 비교·분석하는 데에는 유용하지만, 공종 간 복합적인 상호작용이나 간섭의 맥락적 의미를 구조적으로 표현하거나, 규칙 기반 추론과 같은 고차원 분석을 수행하기에 적합하지 않다.

이에 따라, 데이터 요소를 노드(node)로, 요소 간 관계를 엣지(edge)로 연결함으로써 특정 도메인 지식을 구조화하는 지식 그래프(knowledge graph)가 대안으로 주목받고 있다. Wang et al. (2022)는 MEP 부재 간 설계 기준 및 법규 검토 관련 지식을 지식그래프로 구축하고, BIM 모델 내 부재로부터 생성된 그래프와 비교하는 서브그래프 매칭(subgraph matching) 기법을 적용하여, 기존 테이블 기반 방식보다 정밀한 간섭 검토가 가능함을 보였다.

이외에도, 개별 데이터의 연결성에 기반한 상호 간의 영향을 간섭 해결에 접목하고자 하는 연구도 진행되었다. Hu et al. (2023)은 Graph Convolutional Networks (GCN)를 적용하여 간섭 해결 시 이동 또는 수정이 필요한 부재를 자동으로 선별하는 방법을 제안하였다. 이는 기존 방식이 부재 간 공간적·맥락적 관계를 고려하지 않는 한계를 보완하고, 그래프 구조 내에서 간섭 특성을 학습하여 정교한 해결 방안을 도출할 수 있음을 보였다. 그러나 상기 연구들은 대부분 BIM 데이터를 단순히 그래프 구조로 전환하는 수준에 그치고 있으며, 노드와 엣지에 대한 의미론적(semantic) 정의가 부재하거나 제한적인 범위에 머물러 시멘틱 지식그래프까지 확장되지 못하였다. 또한, 간섭 인스턴스의 상세 속성을 그래프 내에서 관리하는 구조가 미비하여, 간섭 유형과 심각도 분류와 같은 추가적 분석까지 연계하는 데 한계를 보였다.

이를 해결하고자 Sacks et al. (2022)와 Wang et al. (2023)은 온톨로지 스키마를 기반으로 BIM 부재와 간섭 정보를 구조화하여, 공종 간 관계와 간섭을 포괄적으로 표현하는 Cloud-based BIM (CBIM) 프레임워크를 제안하였다. 이들은 부재의 개념적 특성과 기능적 역할을 반영하여 그래프를 구성하고, 클라우드 환경에서 분산된 BIM 데이터를 연계할 수 있는 시멘틱 구조의 활용 가능성을 제시하였다. 그러나 이들 연구 또한 주로 간섭 표현에 초점을 맞추고 있어, 간섭의 자동 분류, 특히 심각도 기반의 판단을 지원하는 분석 체계로의 확장에는 한계가 존재하였다.

Table 1. Clash types and severity in previous researches

Reference	Clash type	Description	Severity
Leite et al. (2009), Savitri et al. (2020)	Hard clash	Objects occupy the same physical space, Further categorized by multiple discipline	-
Hartmann (2010)	System clash	Clash between the various systems of the participating design parties	-
	Relevant clash	Clash which causing coordination problems	
	Change order	Relevant clashes that result in change orders during the construction phase	
Kwon & Cho (2015)	Overlap	The positions of the two objects match exactly	Relevant / Irrelevant
	Inclusion	One object exists inside another object	
	Clash	The overlap between objects is greater than the tolerance	
Hu & Castro-Lacouture (2019)	Relevant	Have substantial influence on the project	Relevant / Irrelevant
	Irrelevant	Have no substantial influence on the project or can be solved in the subsequent design or construction phases	

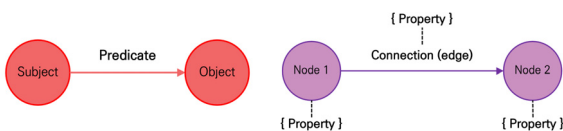
결과적으로, 현재까지의 지식그래프 활용 연구는 BIM 기반 간섭 정보를 구조화하는 데 일정 수준의 진전을 이루었으나, 관계 정보의 의미를 명시적으로 정의하고, 실무에서 요구되는 간섭 세부 유형 및 심각도 기준을 반영한 자동화 분석 체계까지 확장하는 데에는 한계를 보이고 있다. 이에 본 연구에서는 BIM 모델 내 부재 간 의미론적 관계를 구조화하고, 간섭 인스턴스의 세부 속성과 관계 정보를 통합한 시멘틱 지식그래프를 구축함으로써, 간섭 유형 및 심각도 분류가 가능한 분석 프레임워크를 제안하고자 하였다.

2.2 이론고찰

2.2.1 지식그래프

지식그래프는 특정 도메인의 객체와 관계를 노드 및 엣지 형태로 표현함으로써 데이터 간의 의미론적 관계를 구조화하는 방식이다. 이는 기존 관계형 데이터보다 복잡한 다대다(many-to-many) 관계 표현이 직관적이며, 구조적 유연성과 확장성이 뛰어나다.

지식그래프는 다양한 구축 방식에 따라 구현될 수 있으며, 대표적으로 Web Ontology Language (OWL) 기반 방식과 Labeled Property Graph (LPG) 방식이 있다. OWL은 Figure 1(a)와 같이 Resource Description Framework (RDF) 트리플 구조를 활용하여 높은 상호운용성을 제공하지만, 데이터 구조가 복잡하고 새로운 정보를 반영할 때 변환 과정이 수반되어 처리 효율성이 낮다는 한계가 있다(Zhang et al., 2012). 반면, LPG는 Figure 1(b)처럼 노드와 엣지에 다양한 속성을 부여하고 동적으로 확장할 수 있어, 직관적이고 효율적으로 구성할 수 있다.



(a) Web ontology language (b) Labeled property graph

Figure 1. Graph structures based on modeling methodology

이러한 특성으로 인해 LPG를 활용하여 그래프를 구축하면 RDF나 OWL과 비교하였을 때 복잡한 데이터 모델을 보다 직관적이고 유연하게 모델링할 수 있다(Zhao et al., 2018). 본 연구는 BIM 객체 간 관계와 간섭 정보를 유연하게 구조화하고, 실시간 쿼리 및 추론을 효율적으로 수행하기 위해 LPG 기반 지식그래프 구축 방식을 채택하였다.

2.2.2 시멘틱 지식그래프

시멘틱 지식그래프는 단순히 객체 간 관계를 연결하는 것을 넘어, 각 관계의 의미와 제약을 온톨로지를 통해 명시적으로

정의함으로써 데이터 간 의미론적 연결성과 고차원적 추론 가능성을 제공한다(Taheriyan et al., 2016; Allen et al., 2019). 이때 온톨로지는 도메인 내 개념을 나타내는 클래스(class), 클래스 간 관계를 정의하는 속성(property), 그리고 이에 적용되는 제약 조건(constraint)으로 구성되며 시멘틱 지식그래프 내 개별 인스턴스를 구조화하는 기준이다(Xiang et al., 2021; Vogt et al., 2023).

온톨로지 스키마 구축을 위한 접근 방식으로는 Ontology Development 101(Noy & McGuinness, 2001), ON-TO-Knowledge (OTK, Sure et al., 2004) 등이 있으며, 본 연구에서는 범용성과 활용성이 검증된 Ontology Development 101 방법론을 채택하였다. 또한, 온톨로지 표현 언어로는 Web Ontology Language (OWL)를 활용하여, 그래프 내 간섭 관계의 의미적 속성과 제약 조건을 구조화하였다.

3. 연구방법

본 연구는 1,2절에서 제시한 BIM 모델을 기반으로 시멘틱 지식그래프를 구축하고, 실무에서 요구되는 포괄적인 간섭 유형 및 심각도 분류 기준을 정립하였다. 이어서, 간섭 유형별 특성과 요구사항을 반영하여 간섭 검토 방법론을 정립하고, 정립된 기준 및 방법론을 시멘틱 지식그래프에 적용함으로써 간섭 인스턴스의 상세 유형과 심각도를 자동 분류할 수 있는 프레임워크를 구축하였다. 전체 연구 프로세스는 Figure 2에 제시되어 있다.

우선, 실무에서 빈번하게 발생하는 간섭 사례를 조사하고, 해당 간섭의 심각도를 분류하는 기준을 도출하기 위해 전문가 인터뷰와 설계 QC 체크리스트 분석을 병행하였다. 분석 대상은 실시설계 단계에서 활용되는 QC 체크리스트 중 간섭 관련 항목으로 한정하였으며, 이를 통해 BIM 모델 내에서 발생하는 간섭을 체계적으로 유형화하고 간섭 해결에 요구되는 협의 절차와 난이도를 고려하여 심각도 분류 기준을 도출하였다. 이후 간섭 유형별 검토 방법을 개발하고, 이를 구현하는 데 필요한 변수들을 정의하였다. 정의된 변수는 오픈소스 온톨로지 편집 툴인 Protégé를 통해 온톨로지 스키마에 반영되었으며, 해당 스키마는 지식그래프 구축의 기본 틀로 활용되었다.

시멘틱 지식그래프는 오픈소스 그래프 데이터베이스인 Neo4j를 기반으로 구축하였다. 구체적으로, BIM 모델 내 부재와 공간을 노드(node)로 정의하고, 이들 간의 인접 관계를 엣지(edge)로 표현하였다. 간섭 관련 정보는 Navisworks의 Clash Detective 기능과 Python 스크립트를 통해 추출하였으며, 이를 각 노드 및 엣지에 삽입하여 그래프 내 의미론적 상호작용을 구조화하였다.

이후, 정립된 간섭 유형별로 Neo4j 쿼리 언어인 Cypher로 분류 규칙을 작성하여, 지식그래프 내 간섭 인스턴스를 자동

분류할 수 있도록 하였다. 이후 전문가 그룹의 수작업 분류 결과를 정답으로 설정하여, 동일한 BIM 모델에 대해 대학원생 그룹과 본 프레임워크의 분류 결과를 비교하여 정확도를 검증하였다. 또한, 전문가 그룹과의 작업 소요시간을 비교함으로써 제안한 프레임워크의 실무 효용성을 검증하였다.

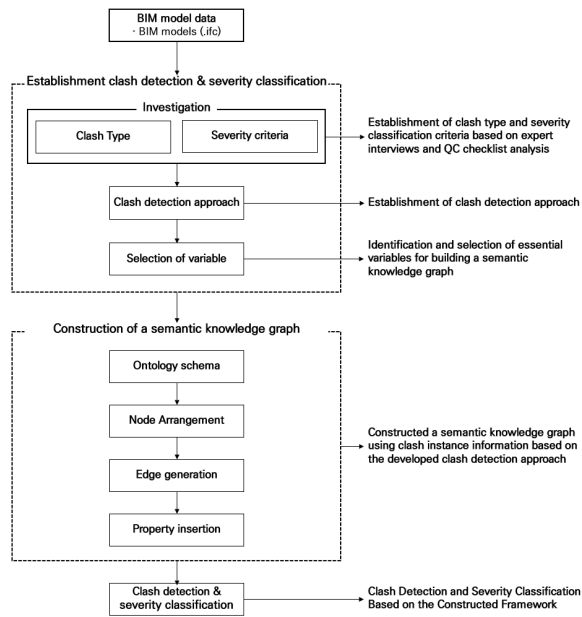


Figure 2. Research process

3.1 간섭 유형 및 심각도 분류 기준 정립

3.1.1 간섭 유형 분류 기준 정립

간섭 유형 및 심각도 분류 기준을 정립하기에 앞서, 본 연구는 실무에서 실제로 활용되고 있는 간섭 검토 기준을 조사하였다. 이를 위해 실시설계 단계에서 사용되는 설계 QC 체크리스트를 분석하고, 전문가를 대상으로 인터뷰를 수행하였다. QC 체크리스트는 총 5개 공종(건축, 구조, 기계, 전기, 토목) 및 2개의 품질 요구 기준(내역, 친환경)에 대해 계획-기본-실시설계 단계별 검토 항목이 정리되어 있으며, 본 연구에서는 이 중 건축, 구조, 기계, 전기 공종의 실시설계 단계에서 간섭과 관련된 항목을 선별하여 분석하였다. 또한, 실제 BIM 모델에서 발생 가능한 공종 간 조합 다양성을 확보하기 위해 검증용 BIM 모델에 포함된 소방 및 통신 공종도 분석 대상에 포함하였다.

선별된 항목의 실무 적용 빈도 및 중요도를 정량적으로 파악하기 위해 인터뷰는 Table 2에 제시된 전문가 그룹을 대상으로 오프라인 및 온라인 회의 형식으로 수행되었다. 이 과정에서 시공성, 법규 검토, 도면 일치 여부와 같이 간섭과 직접적인 관련이 없는 항목은 제외하였으며, MEP 공종 내 기계 장비가 포함된 사례 또한 제외하였다. 이는 기계 장비의 경우 간섭 발생이 드물며, 발생한 간섭은 시공 단계에서 위치 조정이나 배치 변경을

통해 대부분 해결이 가능하여, MEP와 구조, 건축 부재간의 간섭에 더 집중해야 한다는 전문가들의 의견에 따라 제외시켰다.

Table 2. Interview participants' information

Interviewee	Affiliation	Career period	Date	Methods
A	Architectural firm 's'	Over 20 years	March 16, 2024	Offline meeting
B		Over 5 years	March 16, 2024	Offline meeting
C	MEP engineering firm 'B'	Over 20 years	January 16, 2024	Online meeting

조사 결과, 간섭은 설계 변경을 위한 협의체 구성의 필요 여부에 따라 '동일 공종 간 간섭'과 '타 공종 간 간섭'으로 구분되는 것으로 확인되었다. 이는 간섭이 발생했을 때의 처리 방식이 실무상 명확히 구분되기 때문이다. 동일 공종 간 간섭은 해당 공종의 실무자가 단독으로 설계 변경을 수행할 수 있는 반면, 타 공종 간 간섭은 복수 공종의 실무자 간 협의가 요구되므로 해결까지의 소요 시간이 길고, 조정의 난이도 또한 높게 나타났다(Hu & Castro-Lacouture, 2019; Mehrbod et al., 2019). 본 연구는 이러한 실무적 판단 기준을 반영하여 간섭 유형을 '동일 공종 간 간섭' 및 '타 공종 간 간섭'으로 대분류하고, 공종 간 조합을 기준으로 총 21개의 세부 유형을 정의하였다. 세부적으로, 동일 공종 간 간섭은 6가지, 타 공종 간 간섭은 15가지로 분류되었으며, 이를 Table 3에 제시하였다.

Table 3. Division and detail type of clash

Division	Clash type
Clash between same discipline	Arch-Arch
	Str-Str
	Mech-Mech
	Fire-Fire
	Elec-Elec
	Comm-Comm
Clash between different disciplines	Arch-Str
	Arch-MEP (Mech, Fire, Elec, Comm)
	Str-MEP (Mech, Fire, Elec, Comm)
	Mech-Fire
	Mech-Elec
	Mech-Comm
	Fire-Elec
	Fire-Comm
	Elec-Comm

*Arch: Architectural, Str: Structural, Mech: Mechanical, Fire: Fire protection, Elec: Electrical, Comm: Telecommunications

3.1.2 심각도 분류 기준 정립

간섭의 심각도는 설계 변경을 위한 협의체 구성의 필요성과 시공 단계에서의 대응 가능 여부를 기준으로 판단되며, 실무에서는 이를 Major, Medium, Minor의 3단계로 구분하고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 분류는 단순히 간섭의 기하학적 규모에 기반한 것이 아니라, 설계 변경 과정의 난이도와 협의 절차의 복잡성을 반영한 기준으로 해결에 소요되는 시간과 자원의 정도를 종합적으로 반영한 결과이다. 실질적으로 간섭은 설계 일정 조정, 공정 지연, 비용 증가 등의 리스크에 직접적인 영향을 미치므로, 사전 검토 단계에서 심각도를 명확히 구분하는 기준이 요구된다. 이와 같은 분류 체계는 기존 연구에서도 유사하게 제안된 바 있다. Lee (2024)는 간섭 해결을 위한 협의의 중요도를 기준으로 심각도를 Major, Medium, Minor로 구분하고 해당 기준에 따라 간섭을 자동 분류하는 인공지능 모델을 제안하였다.

본 연구는 실무 기준과 기존 연구의 분류 체계를 반영하여, 간섭 심각도를 Major, Medium, Minor 3단계로 구분하는 분류 체계를 채택하였다. 구체적으로, Major는 복수 공종 간 협의가 필요하고 시공 단계에서 해결이 어려운 간섭과 설비 공종 내 메인 부재(메인 덕트, 배관) 간 간섭, Medium은 일부 협의회 구성이 필요하거나 설비 공종 내 메인 부재 간 간섭을 제외한 간섭, Minor는 동일 공종 간 간섭으로 즉시 설계 변경이 가능하거나 시공 단계에서 별도의 조치 없이 대응 가능한 간섭으로 정의하였다.

특히 설비 공종 내 메인 부재 간 간섭을 Major로 분류하기 위해, 본 연구에서는 간섭이 발생한 설비 부재가 모델링된 공간에 따라 메인과 가지 부재를 구분하였다. 즉, 공용 공간(복도, 샤프트 등)에 배치된 설비 부재를 메인 부재, 개별 공간 내부로 분기되는 설비를 가지 부재로 정의하였다. 이와 같은 심각도 분류 기준은 Table 3에 제시한 세부 간섭 유형에 적용되었으며, 그 결과는 Table 4에 정리하였다.

Table 4. Severity classification criteria for clash

Severity	Clash type
Major	Clash between different disciplines: Arch-Str, Arch-Mech, Arch-Fire, Arch-Elec, Arch-Comm, Str-Mech, Str-Fire, Str-Elec, Str-Comm Clash between main elements (main duct and main pipe) within MEP discipline: MEP-MEP (Mech, Fire, Elec, Comm)
Medium	Clash within MEP discipline excluding those between main elements (main duct and main pipe): MEP-MEP (Mech, Fire, Elec, Comm)
Minor	Clash between same disciplines: Arch-Arch, Str-Str

3.2 간섭 검토 방법론 정립

시멘틱 지식그래프 구축에 앞서, 본 연구에서는 간섭 검토 방법론을 정립하고, 이를 구현하기 위해 필요한 변수 유형을 정의하였다. 간섭 검토를 위한 탐지 방법은 인접한 두 부재를 대상으로 중첩 부피(clash volume)가 0을 초과하는지 판별하는 것으로 시작되며, 중첩 부피가 존재하는 경우에 한해 중첩 거리(clash distance)를 산출하여 최종 간섭 여부를 판단한다. 이때 간섭 판별 기준은 조달청의 '시설사업 BIM 적용지침서 v2.1'에 제시된 공종 간 허용오차(tolerance) 기준을 기반으로 설정하였다.

해당 지침에 따르면, 구조-MEP 부재 간 간섭은 시공 단계에서 해결이 어려워 허용오차를 적용하지 않으며, 그 외 공종 간 간섭의 경우 중첩 거리가 10mm 이하일 경우에는 간섭으로 간주하지 않는다. 이를 반영하여 본 연구에서는 구조-MEP 부재 간 중첩은 거리와 관계없이 모두 간섭으로 판정하고, 기타 공종 간 중첩의 경우에는 중첩 거리가 10mm를 초과할 경우에만 간섭으로 분류하였다. 이러한 기준은 BIM 모델로부터 도출된 간섭 인스턴스를 정제하여 불필요한 항목을 필터링하고, 실무 기준에 부합하는 검토 결과를 도출하는 데 적용되었다. 최종적으로 간섭으로 판별된 인스턴스는 3.1절의 Table 3, Table 4에 제시한 유형과 심각도에 따라 분류하는 과정이 수반된다.

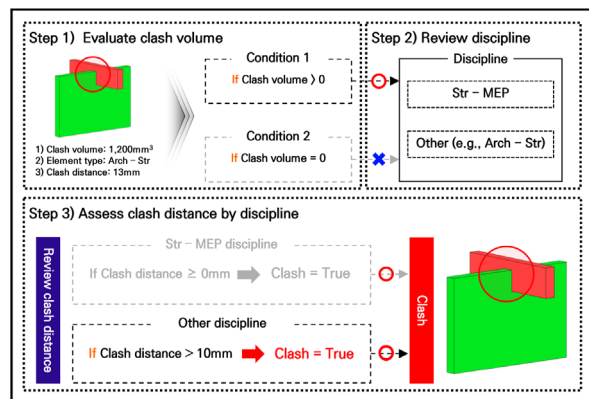


Figure 3. Framework for clash detection

Figure 3은 상기 검토 방법을 적용한 사례로, 건축 벽체와 구조 보 간의 간섭 사례를 보여준다. 해당 간섭의 중첩 부피는 1,200mm³, 중첩 거리는 13mm로 측정되었으며, 이는 허용오차인 10mm를 초과하여 간섭으로 분류되었다.

아울러, 간섭 검토 구현을 위해 필요한 변수들을 부재 정보와 간섭 정보로 구분하여 선정하였다(Table 5). 이러한 변수들은 시멘틱 지식그래프의 노드 및 엣지 속성으로 삽입되며, 이후 간섭 유형 및 심각도 분류를 위한 Cypher 쿼리 기반 분석 과정의 입력 데이터로 활용된다.

Table 5. Variables for clash detection implementation

Category	Variable type	Variable
Element Information	Property	Element type
		Discipline type
		Space type
		System type
		Height
Clash Information	Geometry	Bounding-box's dimension
		Minimum point
Clash Information	Geometry	Clash distance
		Clash volume

3.3 시멘틱 지식그래프 설계 및 구축

본 연구는 3.2절에서 정립한 간섭 검토 방법론을 구현하고 간섭 정보를 의미 기반으로 구조화하여 저장·활용할 수 있도록 시멘틱 지식그래프 기반의 간섭 검토 프레임워크를 구축하였다. 해당 프레임워크는 'BIMClash'로 명명하였으며, 정립된 기준 및 간섭 검토 방법론을 Cypher 쿼리로 구현하여, 간섭 탐지와 유형 및 심각도 분류를 자동으로 수행하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 데이터 간의 단순한 연결을 넘어 관계의 의미와 제약 조건을 명시적으로 표현할 수 있는 시멘틱 지식그래프를 구축하였다. 해당 시멘틱 지식그래프는 온톨로지 스키마(ontology schema)를 설계하고, 이를 기반으로 노드와 엣지를 배치한 후, 속성 정보를 삽입하여 구축하였다. 이러한 구축 프로세스는 아래에 제시하였다.

3.3.1 1단계: 온톨로지 스키마 설계

시멘틱 지식그래프 구축을 위한 온톨로지 스키마는 Figure 4와 같이 간섭 검토에 필요한 개념, 관계, 속성 정보를 계층적으로 정의한 구조를 갖는다. 전체 스키마는 4가지 주요 계층으로 구분되며, 각 계층은 시멘틱 지식그래프의 노드 및 엣지 생성과 속성 삽입을 위한 구조적 기반을 제공한다.

가장 상위에 위치한 객체 계층(BIMClash:Object)은 BIM 모델 내 개별 부재 및 공간을 의미하며, hasAttribute 관계를 통해 해당 객체의 속성 정보를 연결한다. 이때 속성 정보는 별도의 속성 계층(BIMClash:ObjectAttribute)에 구조화되어 있으며, 시멘틱 지식그래프의 노드 속성으로 삽입이 이루어지는 BuildingType, SystemType, ElementType 등과 같은 세부 속성 클래스가 포함된다.

객체 간 인접 관계는 BIMClash:PotentialClash 계층을 통해 정의된다. 해당 계층은 hasSubject 및 hasObject 관계를 통해 간섭의 주체와 객체를 연결하며, 관계 자체에 부여되는 의미론적 특성을 표현하기 위해 PhysicalAttribute 클래스가 포함된다. 해당 클래스에 ClashVolume과 ClashDistance 속성을 하위로 연결하여, 물리적 특성이 시멘틱 지식그래프 엣지 내 삽입될 수 있도록 하였다.

간섭 검토 결과는 BIMClash:Results 계층에서 표현된다. 해당 계층은 간섭 유형을 나타내는 ClashType, 심각도를 나타내는 ClashSeverity 클래스로 구성되며 ClashType 하위에는 간섭 유형을 분류하기 위한 Clash 클래스가 연결되어 있다. 또한, 별도의 BIMClash:Enum 계층을 함께 구성하였으며 ClashType

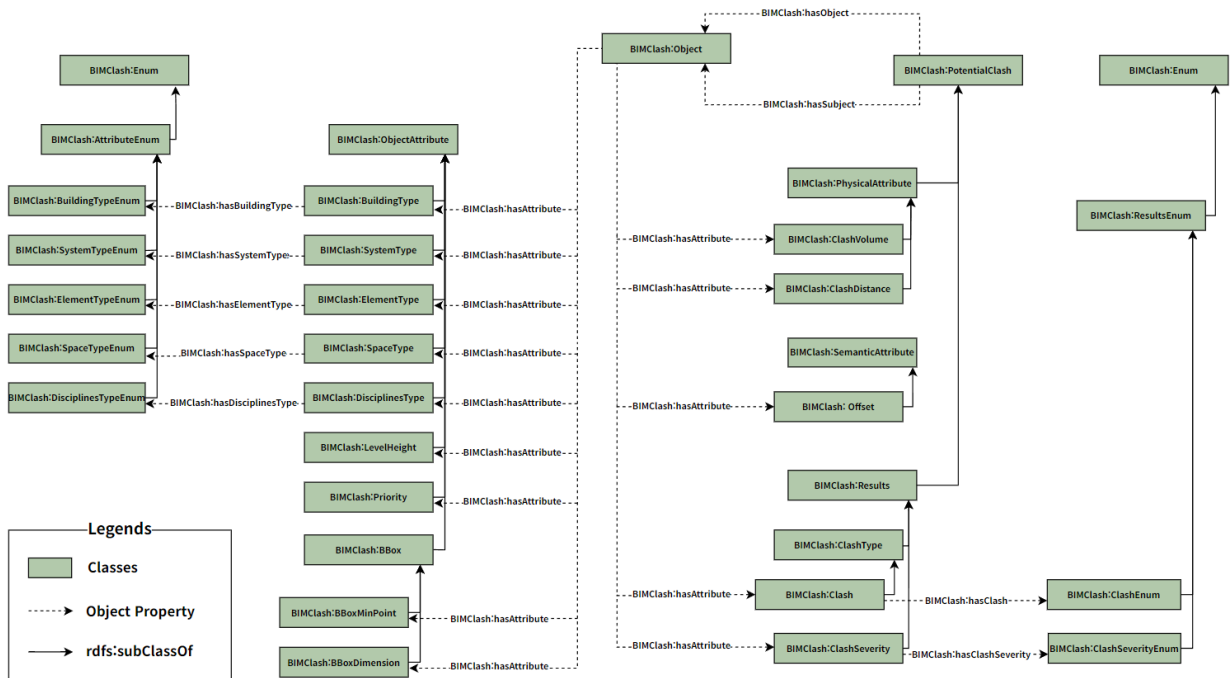


Figure 4. BIMClash ontology schema

Enum, ClashSeverityEnum, AttributeEnum, ResultsEnum 등의 하위 클래스를 통해 시멘틱 지식그래프에 삽입될 속성의 구체적인 값을 정의하였다.

본 온톨로지 스키마는 객체, 관계, 결과 및 속성값을 구조적으로 분리하고 이들 간의 관계를 명확히 표현함으로써, 간섭의 정량적·의미론적 특성을 통합적으로 기술할 수 있도록 하였다. 다만, 해당 온톨로지 스키마는 개념 수준에서의 구조를 설명하는 것으로, 실제 그래프 데이터로 구현하기 위해서는 물리적 포맷으로의 변환이 필요하다. 이를 위해 본 연구는 Protégé를 활용하여 해당 스키마를 RDF 기반의 Turtle(.ttl) 형식으로 변환하였으며, 이후 시멘틱 지식그래프 구축의 틀로 적용하였다.

3.3.2 2단계: 노드 배치 프레임워크

온톨로지 스키마 기반으로 시멘틱 지식그래프를 구현하기 위해, BIM 모델 데이터를 노드 형태로 구조화하였다. 검증에 사용된 BIM 모델을 Industry Foundation Classes (IFC) 포맷으로 변환한 후, Python 라이브러리인 'IfcOpenShell'¹⁾을 활용하여 각 부재 및 공간의 IFC 엔티티와 Global Unique Identifier (GUID) 정보를 추출하였다. 이와 같이 추출된 데이터는 .csv 형식으로 저장되어 시멘틱 지식그래프 노드 배치를 위한 입력 데이터로 활용되었다.

시멘틱 지식그래프 구축 플랫폼으로는 Neo4j를 채택하였다. Neo4j는 schemaless²⁾ 구조를 기반으로 하여 온톨로지 구조에 유연하게 대응할 수 있으며, 전용 쿼리 언어인 Cypher를 통해 복잡한 관계 탐색과 추론이 가능하다. 이에 따라 본 연구는 IFC 데이터로부터 추출한 객체 정보를 온톨로지 스키마에서 정의된 BIMClash:Object 클래스에 매핑하고, 각 객체를 Neo4j 내에서 노드로 배치하였다.

3.3.3 3단계: 인접 관계 추출 및 엣지 배치 프레임워크

시멘틱 지식그래프에서 객체 간 관계를 구조화하기 위해서는 BIM 모델 내 부재 또는 공간 간의 인접 관계(adjacent relation)를 식별하고, 이를 엣지로 표현하는 과정이 필요하다. 본 절에서는 객체 간 공간적 관계를 추출하고, 이를 온톨로지 스키마의 구조에 따라 시멘틱 지식그래프의 엣지로 구현하는 절차를 제시하였다.

인접 관계 도출에는 부재의 형상 정보를 활용한 경계 상자(bounding box) 방식이 활용되며, 본 연구는 연산 효율성과 좌표계 일관성을 고려하여 Axis-Aligned Bounding Box (AABB)

기법을 채택하였다(Sulaiman et al., 2015). AABB는 객체를 전역 좌표계 기준의 직육면체로 단순화하여 정의할 수 있는 장점이 있으며, 대부분 축 방향을 따르는 정형 부재로 구성된 BIM 모델 특성상 충분한 정확도와 효율성을 확보할 수 있다. 반면, 대안으로 제시되는 Oriented Bounding Box (OBB)는 회전을 고려한 정밀 분석이 가능하나 좌표계 정의와 연산 복잡도 측면에서 한계가 있어 본 연구에서는 채택하지 않았다.

개별 객체의 AABB는 IfcOpenShell을 통해 추출하였으며, 이후 PyMesh³⁾ 라이브러리를 활용하여 AABB 간 교차 여부를 판별하였다. 이때 두 AABB가 겹치는 경우, 해당 객체 쌍은 공간적으로 인접한 것으로 간주하였고, 그 관계를 BIMClash:PotentialClash 클래스의 인스턴스로 정의하였다. 또한, 주체 객체와 대상 객체는 각각 hasSubject 및 hasObject 관계로 연결되며, 이들 관계를 시멘틱 지식그래프 내 엣지로 구성하였다.

3.3.4 4단계: 속성 추출 및 삽입 프레임워크

시멘틱 지식그래프의 노드와 엣지를 배치한 후에는, 간섭 검토에 필요한 의미 기반의 속성 정보를 삽입하는 절차가 요구된다. 본 절에서는 온톨로지 스키마에 정의된 속성 구조를 기반으로, BIM 모델과 외부 도구로부터 관련 정보를 추출하고 이를 지식그래프에 삽입하는 프레임워크를 제시한다.

삽입되는 속성 정보는 IfcOpenShell, PyMesh 등과 같은 외부 도구와 BIM 모델 내 존재하는 정보를 통해 추출하였으며, 이를 Table 6에 정리하였다.

Table 6. Attribute types by source

Graph element	Attributes types	Source
Node	BuildingType	BIM model-oriented information
	SystemType	
	ElementType	
	DisciplineType	
	LevelHeight	
	BBoxMinPoint	Python library 'IfcOpenShell'
BBoxDimension		
Edge	ClashType	BIM model-oriented information
	ClashSeverity	
	Clash	
	PotentialClash	
	Offset	Python script
	ClashVolume	Python library 'PyMesh'
	ClashDistance	Autodesk Navisworks

1) <https://ifcopenshell.org/>

2) Neo4j의 'schemaless'는 그래프 데이터 구조를 구축하는 스키마가 불필요하다는 의미이며, 입력되는 정보를 표현하기 위한 온톨로지 스키마가 불필요하다는 의미는 아님.

3) <https://pymesh.readthedocs.io>

3.3.5 시멘틱 지식그래프 구축 결과

상기 제시한 BIMClash 프레임워크를 본 연구 검증용 BIM 모델 대상으로 적용하여 시멘틱 지식그래프를 구축하였으며, 구축 결과는 아래와 같다.

- 노드 배치 결과

Python의 IfcOpenShell 라이브러리를 활용하여 검증용 BIM 모델 내 포함된 부재 및 공간의 IFC 엔티티, GUID 정보를 추출하였다. 이후 해당 정보를 Neo4j에 삽입하여 노드로 배치하였으며, 이를 통해 8,315개의 부재 및 124개의 공간에 대한 8,439개의 노드를 배치하였다.

- 인접 관계 추출 및 엣지 배치 결과

IfcOpenShell을 활용하여 AABB로 bounding box를 생성 후 PyMesh 라이브러리를 활용하여 인접 관계를 산출하였다. 이를 통해 부재 및 공간 간 총 585,682개의 인접 관계가 도출되었으며, 이를 노드를 연결하는 엣지로 배치하였다.

- 속성 추출 및 삽입 결과

속성 유형 별로 프레임워크에 제시한 방법에 따라 값을 추출하였다. 이후 이를 Neo4j 시스템에서 GUID를 기준으로 매핑하여 개별 노드 및 엣지에 값을 삽입하였다.

상기 과정을 통해 구축된 시멘틱 지식그래프는 BIMClash 프레임워크의 간섭 검토 방법론이 Cypher 쿼리 형태로 실행됨에 따라, 그 결과가 자동으로 그래프에 반영된다. Figure 5는 건축 슬래브(ifcSlab)와 다수의 건축 기둥(ifcColumn) 간 인접 관계를 시멘틱 지식그래프 내 시각화한 예시로, 슬래브 노드에 삽입된 속성 정보가 명시적으로 표현되는 것을 확인할 수 있다. 아울러 Figure 6은 인접 관계를 나타내는 엣지 중심으로, 관련 속성들이 삽입되어 있는지를 보여준다. 이때, 간섭 검토가 수행되기 전이므로 'Clash', 'ClashType' 및 'Severity' 속성이 입력되지 않은 공백 상태임을 확인할 수 있다.

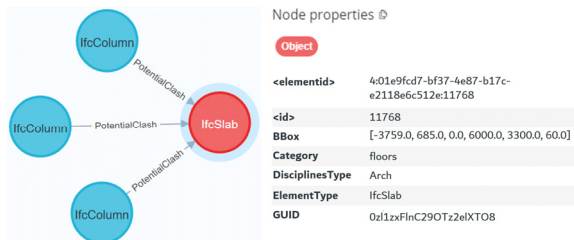


Figure 5. Result sample of node attributes

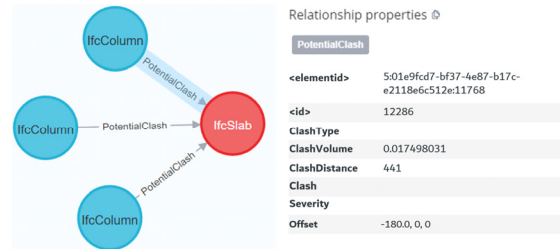


Figure 6. Result sample of edge attributes

3.4 BIMClash 적용 위한 Cypher 설계

BIMClash는 구축된 시멘틱 지식그래프를 기반으로, 간섭 검토 기준에 따라 간섭 인스턴스를 자동 탐지하고 유형과 심각도를 분류한다. 이를 위해 Neo4j 전용 질의 언어인 Cypher를 통해 간섭 탐지와 분류 알고리즘을 구현하였다.

먼저, 시멘틱 지식그래프 내 모든 인접 관계를 대상으로 중첩 부피(ClashVolume)가 0을 초과하고, 중첩 거리(ClashDistance)가 사전에 정의된 허용 오차를 초과하는지 판단하는 Cypher 쿼리를 설계하였다. 해당 조건을 만족하면 엣지의 Clash 속성에 'True'가 기록되며, 간섭이 발생한 두 객체의 유형을 조합하여 간섭 유형을 ClashType 속성에 삽입하도록 구현하였다. Table 7은 건축 슬래브(ifcSlab)와 건축 기둥(ifcColumn) 간 간섭을 탐지하고 유형을 분류하는 Cypher 쿼리의 예시이며, 동일한 방식으로 21가지 간섭 유형별 Cypher 쿼리를 설계하였다.

Table 7. Example of cypher query for clash detection

Query description	Cypher query
Q. Search clash between architectural slab and architectural column	Sentence: MATCH (node1)- [r1:PotentialClash] ->(node2) WHERE node1.ElementType CONTAINS 'Slab' AND node2.ElementType CONTAINS 'Column' AND (node1.DisciplinesType CONTAINS 'Arch' AND node2.DisciplinesType CONTAINS 'Arch') WITH node1, node2, r1, toFloat(r1.ClashVolume) AS ClashVolume, toFloat(r1.ClashDistance) AS ClashDistance WHERE (ClashVolume > 0 AND ABS(ClashDistance) > 0) SET r1.ClashType = 'Arch-Arch' RETURN node1, node2, r1

간섭 유형이 분류된 인스턴스를 대상으로, 앞서 3.1절의 Table 4에서 제시한 심각도 분류 기준에 따라 Major, Medium, Minor의 3단계로 간섭 심각도를 자동 분류하는 Cypher 쿼리를 설계하였다. 특히 Major는 복수 공종 간 협의가 필요하고 시공 단계에서 해결이 어려운 간섭, 설비 공종 내 메인 부재 간 간섭의 두 유형으로 정의되므로, 이를 구분할 수 있도록 쿼리를 구성하였다. Table 8은 타 공종 간 간섭 및 설비 공종 내 메인 부재 간 간섭을 Major로 분류하는 Cypher 쿼리 예시이다.

Table 8. Example of cypher query for classifying 'Major' severity

Query description	Cypher query
Q. Search for hard clashes between different discipline with severity 'Major'.	MATCH (n1)-[r1:PotentialClash]->(n2) WHERE r1.ClashType CONTAINS "Arch-Str" OR r1.ClashType CONTAINS "Arch-Mech" OR r1.ClashType CONTAINS "Arch-Fire" OR r1.ClashType CONTAINS "Arch-Elec" OR r1.ClashType CONTAINS "Arch-Comm" OR r1.ClashType CONTAINS "Str-Mech" OR r1.ClashType CONTAINS "Str-Fire" OR r1.ClashType CONTAINS "Str-Elec" OR r1.ClashType CONTAINS "Str-Elec" OR r1.ClashType CONTAINS "Str-Comm" SET r1.Severity = "Major" RETURN n1, n2, r1
Q. Search for clashes occurring in spaces named "Shaft" with severity 'Major'.	MATCH (n1)-[r1:PotentialClash]->(n2), (n1)-[r2:PotentialClash]->(s1), (n2)-[r3:PotentialClash]->(s2) WHERE (r1.ClashType CONTAINS "Mech-Mech" OR r1.ClashType CONTAINS "Mech-Fire" OR r1.ClashType CONTAINS "Mech-Elec" OR r1.ClashType CONTAINS "Mech-Comm" OR r1.ClashType CONTAINS "Fire-Fire" OR r1.ClashType CONTAINS "Fire-Elec" OR r1.ClashType CONTAINS "Fire-Comm" OR r1.ClashType CONTAINS "Elec-Elec" OR r1.ClashType CONTAINS "Elec-Comm" OR r1.ClashType CONTAINS "Comm-Comm") AND s1.Name CONTAINS "Shaft" AND s2.Name CONTAINS "Shaft" AND toFloat(r2.offset_x) = 0,0 AND toFloat(r2.offset_y) = 0,0 AND toFloat(r2.offset_z) = 0,0 AND toFloat(r3.offset_x) = 0,0 AND toFloat(r3.offset_y) = 0,0 AND toFloat(r3.offset_z) = 0,0 SET r1.Severity = "Major" RETURN n1, n2, r1, r2, r3, s1, s2

타 공종 간 간섭에 대해서는 정립된 심각도 분류 기준에 따라, 두 부재의 공종 조합을 기반으로 심각도를 분류할 수 있도록 Cypher 쿼리를 구성하였다. 반면, 설비 부재 간 간섭의 경우에는 메인 부재 여부를 확인하기 위해 공간 정보를 추가적으로 활용하였다. 설비 부재가 'Shaft'와 같은 공용 공간 내 모델링된 경우, 해당 부재를 메인 부재로 간주하여 심각도를 Major로 분류되도록 Cypher 쿼리를 설계하였다. 이와 같이 심각도별로 Cypher 쿼리를 설계하였으며, 쿼리 실행 시 옛지의 Severity 속성에 분류 결과가 자동으로 기록되도록 하였다.

4. BIMClash 기반 간섭 검토 검증

4.1 검증 BIM 모델 대상 전문가 분류 결과 도출

BIMClash의 분류 정확도와 실무 효용성을 검증하기 위해,

3.1절에서 인터뷰를 수행한 전문가 그룹이 시멘틱 지식그래프 구축에 활용한 동일 BIM 모델을 대상으로 간섭 유형 및 심각도 분류를 수행하였다.

이때 간섭 검토는 실무 절차와 동일하게 수행하였다. 우선 검증용 BIM 모델을 대상으로 Navisworks의 'Clash Detective' 기능을 활용하여 총 2,387건의 간섭 인스턴스를 식별한 후, 전문가 그룹이 간섭 유형과 심각도를 수작업으로 분류하였다. 분류 과정에서 전문가 3인은 개별 검토를 거친 뒤 상호 협의를 통해 합의된 결과를 도출하였다. 이는 실제 간섭 검토에서 각 공종 담당자가 협업하여 간섭의 심각도와 해결 방향을 조율하는 절차를 반영한 것으로, 본 연구에서도 결과의 신뢰성 확보를 위해 동일한 방식을 적용하였다.

간섭 유형 분류 결과, Table 9와 같이 유형은 동일 공종 간 간섭 607건, 타 공종 간 간섭 1,780건으로 도출되었다. 심각도의 경우, Figure 7과 같이 총 2,387건의 간섭 인스턴스 중 Major가 1,719건(72.0%)으로 가장 높은 비중을 차지하였고, Medium은 223건(9.3%), Minor는 445건(18.7%)으로 분류되었다. 이와 같은 전문가 그룹의 분류 결과를 정답(ground truth)으로 설정하고,

Table 9. Results of clash type classification by expert group

Division	Clash type	No. of clashes
Clash between same discipline	Arch-Arch	277
	Str-Str	168
	Mech-Mech	159
	Fire-Fire	1
	Elec-Elec	2
	Comm-Comm	0
Subtotal		607
Clash between different discipline	Arch-Str	461
	Arch-Mech	543
	Arch-Fire	215
	Arch-Elec	45
	Arch-Comm	0
	Str-Mech	282
	Str-Fire	87
	Str-Elec	34
	Str-Comm	7
	Mech-Fire	71
	Mech-Elec	14
	Mech-Comm	1
	Fire-Elec	16
Fire-Comm	4	
Elec-Comm	0	
Subtotal		1,780
Total		2,387

이를 기준으로 BIM 전공 대학원생 그룹과 BIMClash 분류 결과를 비교·분석하였다.

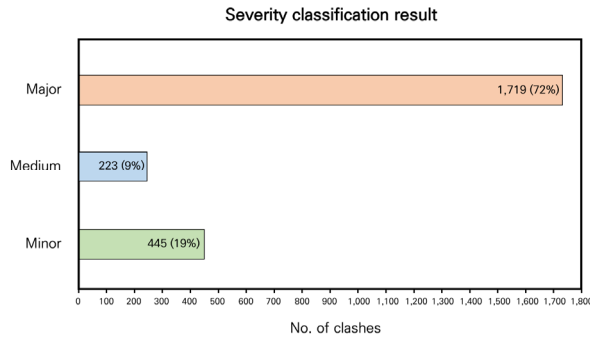


Figure 7. Severity classification results of clash

4.2 BIMClash 분류 정확도 검증

BIMClash의 간섭 유형 및 심각도 자동 분류 정확도를 검증하기 위해, 전문가 그룹의 분류 결과를 기준으로 대학원생 그룹과 BIMClash의 분류 결과를 비교하였다. 대학원생 그룹은 BIM 전공 대학원생 3인(석사과정 2인, 박사과정 1인, 실무 경험 無)으로 구성하여, 동일한 BIM 모델을 대상으로 간섭 인스턴스를 분류하였으며, 개별 분류 결과를 상호 검토 및 협의를 거쳐 최종 합의된 결과를 도출하였다.

또한 BIMClash는 3.4절에서 설계한 Cypher 쿼리를 적용하여 동일 BIM 모델 대상 간섭 탐지와 유형·심각도 분류를 자동으로 수행하였고, 이후 두 그룹의 결과를 전문가 그룹의 분류 결과와 비교·분석함으로써 정확도를 산정하였다. 이때 정확도는 전문가가 분류한 전체 간섭 인스턴스를 기준으로, 동일한 유형 또는 심각도로 분류된 인스턴스 수의 비율로 정의하였다. Table 10은 대학원생 그룹과 BIMClash의 분류 정확도 비교 결과를 제시하였다.

Table 10. Comparison of accuracy between student group and BIMClash

Classification type		Student group accuracy	BIMClash accuracy	Variation (BIMClash - student group)
Clash type	Same discipline	1.00	1.00	-
	Different discipline	1.00	1.00	-
Severity	Major	0.72	0.98	▲ 0.26
	Medium	0.75	0.96	▲ 0.21
	Minor	0.85	0.97	▲ 0.12
Total		0.87	0.98	▲ 0.11

분석 결과, 대학원생 그룹은 간섭 유형 분류에서 모든 클래스에 대해 1.00의 정확도를 기록하였다. 이는 각 간섭 인스턴스를 구성하는 부재의 공중 정보를 기반으로 간섭 유형을 판단하였으며, Navisworks와 같은 기존 간섭 검토 소프트웨어가 제공하는 공중 정보만으로도 명확한 유형 식별이 가능했기 때문으로 해석된다. 그러나 심각도 분류에서는 상대적으로 낮은 일치율을 나타냈으며, 특히 Major와 Medium 클래스에서 각각 0.72, 0.75로 낮은 분류 성능을 나타냈다. 이는 3.1절에서 언급한 바와 같이 설비 공중 심각도 분류에 필요한 메인·가지 부재 구분 기능이 기존 소프트웨어에서 지원되지 않아 수작업으로 이를 구분하였기 때문이다. 특히 대학원생 그룹은 BIM 실무 경험이 부족하여 공간적 맥락에 대한 해석 능력과 메인·가지 부재 판별에 한계가 있었고, 이로 인해 분류 오류가 발생한 것으로 확인되었다.

반면, BIMClash는 정확도 0.98을 기록하였으며, 모든 클래스에서 0.96 이상의 높은 정확도를 나타냈다. 특히 'Major' 클래스는 전체 1,719건 중 1,685건(98.0%)을 정확히 분류하였으며, 'Medium'은 223건 중 213건(95.5%), 'Minor'는 445건 중 433건(97.3%)으로 나타났다. 이는 BIMClash가 시멘틱 지식그래프 내 공간 정보를 별도의 노드로 구조화하고, 간섭 부재가 위치한 공간의 특성을 기반으로 설비 메인 부재를 자동 식별함으로써, 명시적 규칙에 따라 도출된 것으로 확인되었다. 다만, 일부 간섭 인스턴스에서는 간섭 부재의 유형이나 공간 정보와 같은 속성 값이 누락되거나 오류가 포함되어 있어, 규칙 기반 로직이 정상적으로 작동하지 못한 사례도 확인되었다. 이는 BIMClash 자체의 한계라기보다는, BIM 모델의 정확성이 확보되지 않은 데에 기인한 것으로 분석되었다.

이러한 결과를 통해, 실무 경험이 부족하고 간섭 검토 소프트웨어의 활용 역량이 제한된 상황에서는 수작업 기반의 심각도 분류가 정확성을 확보하는 데 한계가 있음을 확인하였다. 반면, 시멘틱 지식그래프 기반의 자동 분류 방식은 간섭 부재의 의미론적 관계와 공간 정보를 체계적으로 반영함으로써, 우수한 분류 정확도를 나타내는 것으로 분석되었다.

4.3 BIMClash 실무 효율성 검증

분류 정확성에 대한 검증에 이어, BIMClash의 실무 효율성을 추가 검증하였다. 이를 위해 전문가 그룹이 수작업 기반으로 협의를 통해 간섭 검토를 수행하는 데 소요된 시간과 BIMClash를 활용하여 자동으로 간섭 검토를 수행하는 데 걸린 시간의 비교를 통해 작업 소요시간 측면에서 BIMClash 실무 효율성을 분석하였다.

수작업 기반 전문가 검토의 작업 소요시간은 Navisworks를 활용한 간섭 탐지, 개별 간섭 인스턴스 검토 및 전문가 3인의

상호 협의를 통한 최종안 도출에 소요된 시간을 기준으로 측정하였다. 한편, BIMClash의 경우에는 구동을 위한 초기 환경 설정 시간을 제외하고 간섭 탐지 및 간섭 유형·심각도 분류에 실제 소요된 작업시간만을 기준으로 하였다.

Table 11은 두 방식의 작업 소요시간을 비교한 결과를 제시한 표이다. 수작업 기반 방식에서는 간섭 탐지 및 분류 작업에 총 318분이 소요된 반면, BIMClash 프레임워크는 전체 작업을 약 10.2분 만에 완료한 것을 확인할 수 있었다. 세부적으로, 간섭 탐지 및 유형 분류에 있어 수작업 방식은 약 8분이 소요되었으나, BIMClash는 단 2.2분으로 작업이 완료되어 72.5%의 작업시간 단축율을 보이는 것으로 확인되었다. 또한, 간섭 심각도 분류 작업의 경우, 수작업 방식에서 약 200분 소요된 반면, BIMClash는 약 8분 만에 수행되어 96.0%의 작업 소요시간 절감 효과가 확인되었다.

Table 11. Comparison of man-hr input by work scope

Scope of work	Manual-based	BIMClash-based	Reduction rate
Clash detection & clash type classification	8mins	2.2mins	▼ 72.5%
Severity classification	200mins	8mins	▼ 96.0%
Total	208mins	10.2mins	▼ 95.1%

이를 통해 BIMClash가 실무에 적용될 경우, 간섭 탐지 및 분류 작업의 노동집약적 특성을 효과적으로 개선할 수 있음을 확인하였다. 특히, 간섭 유형 및 심각도 분류 자동화를 통해 인력 및 시간 자원의 투입을 획기적으로 절감할 수 있으며, 이를 통해 설계 단계에서의 업무 효율성 향상과 생산성 개선에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구는 복합 공종 BIM 모델에서 발생하는 간섭을 체계적으로 관리하기 위해, 시멘틱 지식그래프 기반의 자동 검토 프레임워크(BIMClash)를 제시하였다. 제안된 체계는 기존 상용 소프트웨어가 제공하지 못했던 맥락적 정보와 해결 난이도를 반영하기 위해, 실무 요구에 근거한 간섭 유형 및 심각도 분류 기준을 마련하고 이를 온톨로지 기반 지식그래프 구조로 구현하였다. 나아가 Cypher 쿼리를 활용한 자동 분류 기능을 통해, 기존 방식이 한계로 지적받았던 의미론적 관계 기반의 간섭 분석을 가능하게 하였다.

본 프레임워크를 적용한 결과, BIMClash는 전문가 그룹과

비교하여 동등한 수준의 유형 분류 정확도를 확보하였으며, 심각도 분류에서도 98%의 높은 정확도를 기록하였다. 특히, 심각도 분류의 경우 BIM 전공 대학원생 그룹의 분류 결과 대비 약 10% 높은 정확도를 보였으며, 전문가 그룹의 수작업 방식에 비해 작업 소요시간이 약 95% 단축되어, 실무 경험이 부족한 사용자도 전문가 수준의 간섭 검토 업무를 수행할 수 있음을 확인하였다.

다만, 본 연구에서는 간섭 심각도를 주로 간섭 유형 및 설계 변경에 따른 협의 필요 여부를 기준으로 분류하였으나, 실제 실무에서는 간섭 해결 가능성에 따라 심각도를 유동적으로 조정하는 사례가 존재한다. 일례로, 본 연구에서 Major로 분류된 건축-MEP 간 간섭이라 하더라도, 이후 천공 내지 슬리브(sleeve) 설치 등을 통해 해결 가능한 경우 실무에서는 이를 Medium 또는 Minor 수준으로 하향 조정한다. 이에 향후 연구에서는 간섭 해결 가능성을 반영한 심각도 조정이 가능하도록, 간섭 발생 부재의 이동 가능성, 슬리브 설치를 통한 해결 가능성 등의 정보를 고려한 고도화된 간섭 검토 프레임워크 개발을 계획한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22AATD-C163269-02).

References

- Allen, C., Balažević, I., Hospedales, T. (2019). Interpreting Knowledge Graph Relation Representation from Word Embeddings, arXiv preprint arXiv:1909.11611.
- Chahrouh, R., Hafeez, M. A., Ahmad, A. M., Sulieman, H. I., Dawood, H., Rodriguez-Trejo, S., Kassem, M., Naji, K. K., Dawood, N. (2020). Cost-benefit Analysis of BIM-enabled Design Clash Detection and Resolution, *Construction Management and Economics*, 39(1), pp. 55-72.
- Hartmann, T. (2010). Detecting Design Conflicts using Building Information Models: A Comparative Lab Experiment, In *Proceedings of the CIB W78 2010: 27th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry*, 78, pp. 2010.
- Hasannejad, A., Majrouhi Sardroud, J., Shirzadi Javid, A. A., Purrostan, T., Ramesht, M. H. (2022). An Improvement in Clash Detection Process by Prioritizing Relevance Clashes using Fuzzy-AHP Methods, *Building Services*

- Engineering Research and Technology, 43(4), pp. 485–506.
- Hogan, A., Blomqvist, E., Cochez, M., d’Amato, C., de Melo, G., Gutiérrez, C., Kirrane, S., Gayo, J. E. L., Navigli, R., Neumaier, S., Ngomo, A. C. N., Polleres, A., Prud’hommeaux, E., Sequeda, J., Maleshkova, M. (2021). Knowledge Graphs. *ACM Computing Surveys*, 54(4), pp. 1–37.
- Hu, Y., Castro-Lacouture, D. (2019). Clash Relevance Prediction based on Machine Learning, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33(2), pp. 1–15.
- Hu, Y., Castro-Lacouture, D., Eastman, C. M. (2019). Holistic Clash Detection Improvement using a Component Dependent Network in BIM Projects, *Automation in Construction*, 105, pp. 1–16.
- Hu, Y., Xia, C., Chen, J., Gao, X. (2023). Clash Context Representation and Change Component Prediction based on Graph Convolutional Network in MEP Disciplines, *Advanced Engineering Informatics*, 55, pp. 1–10.
- Huang, Y., Lin, W. Y. (2019). Automatic Classification of Design Conflicts Using Rule-based Reasoning and Machine Learning – An Example of Structural Clashes Against the MEP Model, 2019 Proceedings of the 36th ISARC, Banff, Canada, pp. 324–331, <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0044>.
- Kwon, O. C., Cho, J. W. (2015). BIM Clash Quality Control by Expert System, *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 20(1), pp. 22–35.
- Lee, W. B. (2024). A Study on Automated Clash Type Classification of Building Information Modeling based on Artificial Intelligence, Masters Thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- Leite, F., Akinci, B., Garrett, Jr, J. (2009). Identification of Data Items Needed for Automatic Clash Detection in MEP Design Coordination, In *Construction Research Congress 2009: Building a Sustainable Future*, pp. 416–425.
- Mehrbod, S., Staub-French, S., Mahyar, N., Tory, M. (2019). Characterizing Interactions with BIM Tools and Artifacts in Building Design Coordination Meetings, *Automation in Construction*, 98, pp. 195–213.
- Noy, N., McGuinness, D. (2001). *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford Knowledge Systems Laboratory, http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf (Apr. 7, 2025).
- Radke, A. M., Wallmark, T., Tseng, M. M. (2009). An Automated Approach for Identification and Resolution of Spatial Clashes in Building Design, In *2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 2084–2088.
- Sacks, R., Wang, Z., Ouyang, B., Utkucu, D., Chen, S. (2022). Toward Artificially Intelligent Cloud-based Building Information Modelling for Collaborative Multidisciplinary Design, *Advanced Engineering Informatics*, 53, pp. 1–19.
- Savitri, D. M., Juliastuti, Pramudya, A. A. (2020). Clash Detection Analysis with BIM-based Software on Midrise Building Construction Project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1), 012002.
- Sulaiman, H. A. B., Othman, M. A., Aziz, M. Z. A. A., Bade, A. (2015). Implementation of Axis-Aligned Bounding Box for OpenGL 3D Virtual Environment, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(2), pp. 701–706.
- Taheriyani, M., Knoblock, C. A., Szekely, P., Ambite, J. L. (2016). Learning the Semantics of Structured Data Sources, *Journal of Web Semantics*, 37, pp. 152–169.
- Vogt, L., Kuhn, T., Hoehndorf, R. (2023). Semantic Units: Organizing Knowledge Graphs into Semantically Meaningful Units of Representation, *arXiv preprint arXiv:2301.01227*.
- Wang, Y., Zhang, L., Yu, H., Tiong, R. L. (2022). Detecting Logical Relationships in Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) Systems with BIM Using Graph Matching, *Advanced Engineering Informatics*, 54, pp. 1–13.
- Wang, Z., Ouyang, B., Sacks, R. (2023). Graph-based Inter-Domain Consistency Maintenance for BIM Models, *Automation in Construction*, 154, pp. 1–14.
- Xiang, Y., Zhang, Z., Chen, J., Chen, X., Lin, Z., Zheng, Y. (2021). OntoEA: Ontology-guided Entity Alignment via Joint Knowledge Graph Embedding, *arXiv preprint arXiv:2105.07688*.
- Zhang, X., Di, R., Feng, X. (2012). Ontology Based Data Conversion from Spreadsheet to OWL, In *2012 Seventh ChinaGrid Annual Conference*, pp. 76–79.