

BIM 모델과 증강현실을 활용한 교량 유지관리방안 연구

최응규*^{id} · 빠 빠 윈 아웅**^{id} · 산육타 아라비카***^{id} · 차기춘****^{id} · 박승희*****^{id}

Choi, Woonggyu*^{id}, Pa Pa Win Aung**^{id}, Sanyukta Arvikar***^{id}, Cha, Gichun****^{id}, Park, Seunghee*****^{id}

Research on Bridge Maintenance Methods Using BIM Model and Augmented Reality

ABSTRACT

Bridges, which are construction structures, have increased from 584 to 38,405 since the 1970s. However, as the number of bridges increases, the number of bridges with a service life of more than 30 years increases to 21,737 (71%) by 2030, resulting in fatal accidents due to basic human resource maintenance of facilities. Accordingly, the importance of bridge safety inspection and maintenance measures is increasing, and the need for decision-making support for supervisors who manage multiple bridges is also required. Currently, the safety inspection and maintenance method of bridges is to write down damage, condition, location, and specifications on the exterior survey map by hand or to record them by taking pictures with a camera. However, errors in notation of damage or defects or mistakes by supervisors are possible, typos, etc. may reduce the reliability of the overall safety inspection and diagnosis. To improve this, this study visualizes damage data recorded in the BIM model in an AR environment and proposes a maintenance plan for bridges with a small number of people through maintenance decision-making support for supervisors.

Keywords : Aging bridges, Cracks, Damage, Maintenance, BIM, Augmented reality

초 록

건설구조물인 교량은 1970년대 이후 584개소에서 38,405개소로 증가하였다. 하지만, 교량의 개소가 증가하면서 공용연수 30년 이상인 교량이 2030년까지 21,737개소(71%) 증가하면서 시설물에 대한 인적자원 기본 유지보수에 따른 인명사고가 발생할 수 있다. 이에 따라 교량의 안전 점검 및 유지관리 방안의 중요성이 높아지고 있으며, 다수의 교량을 관리하는 감독자의 의사결정 지원의 필요성도 요구되고 있다. 현재 교량의 안전점검 및 유지관리 방법은 외관조사망도에 손상 및 상태, 위치, 규격 등을 수기로 기입하거나, 카메라로 촬영하여 기록하는 방식을 사용하고 있지만, 손상·결합의 표기 오류나 감독관의 착각, 오타 등으로 인해 안전점검 및 진단 전체의 신뢰성이 저하될 수 있다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 BIM 모델에 기록된 손상데이터를 AR 환경에 시각화하고, 감독자의 유지관리 의사결정 지원을 통해 소수의 인원이 많은 교량의 유지관리 방안에 대해 제안한다.

검색어 : 노후화 교량, 균열, 손상, 유지관리, BIM, 증강현실

* 정희원 · 성균관대학교 글로벌스마트시티융합전공 석박통합과정 (Sungkyunkwan University · toco717@skku.edu)

** 정희원 · 성균관대학교 글로벌스마트시티융합공학부 석박통합과정 (Sungkyunkwan University · ppwinaung06@skku.edu)

*** 정희원 · 성균관대학교 글로벌스마트시티융합공학부 석사과정 (Sungkyunkwan University · sanyukta.28@g.skku.edu)

**** 정희원 · 성균관대학교 글로벌스마트시티융합공학부 연구교수, 공학박사 (Sungkyunkwan University · ckckicun@skku.edu)

***** 종신회원 · 교신저자 · 성균관대학교 건설환경공학부 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Sungkyunkwan University · shparkpc@skku.edu)

Received October 11, 2023/ revised November 28, 2023/ accepted November 30, 2023

1. 서론

2030년이 되면 우리나라 전체 교량 중 21,737개소가 공용연수 30년 이상이 되며, 교량 노후화에 따라 붕괴 위험도도 높아진다 (Park et al., 2020). 하지만 이를 관리할 수 있는 전문인력이 부족하고, 노후화 교량의 유지관리도 전문 안전관리감독관의 육안 점검으로 진행되는 등 주관적인 의견이 포함되어 신뢰성 저하의 가능성이 존재하고 있다. 이를 위해 국내외적으로 노후화 교량을 관리할 수 있는 다양한 제도를 마련되었지만, 기존 2D 도면과 문서로 관리되고 있는 구조물 유지관리를 위한 자료는 사용자의 신속한 의사결정이나, 협업 업무로 진행하기에는 문제점들이 남아 있다.

이러한 문제를 해결하고자 BIM을 활용하여 구조물 유지관리 연구도 다수 수행되고 있다. 유지관리를 위한 주요 BIM 참조 표준인 IFC(Industry Foundation Classes)를 확장하여 구조물 인프라 유지관리에 사용되고 있으며, BIM의 사용은 SDC(Spatial Development lifeCycle)의 환경 개발에 전략적인 역할을 담당하고 있다(Kalogianni et al., 2020). 한국시설안전공단은 2018년 BIM을 기반으로 유지관리 및 점검업무에 필요한 정보를 관리하고 점검결과 및 점검 이력을 조회할 수 있는 BIM기반 유지관리정보 관리 프로그램을 개발하였다.

최근에는 BIM만을 사용하지 않고, BIM과 연계하여 ICT/IoT를 활용하거나, AR/VR과 같은 가상 현실 융합형 유지관리에 관한 연구도 활발히 수행되고 있다. 현장에선 관리자가 육안으로 점검 후 종이 외관조사망도에 수기로 기록하고 CAD 전산망에 기록하여야 하지만, 이를 해결하고자 ICT(Information & Communication Technology)를 활용하여 휴대용 PC에 도면화 된 2D CAD 외관조사망도에 기록하면, 클라우드를 통해 BIM 모델에 자동 기록을 통해 수기로 작성되는 외관조사망도의 전산화에 관한 연구를 진행하고 있다(Lee et al., 2022). 더불어 Unity 3D Engine을 사용하여 전산 데이터를 BIM 모델과 연결하고, DB와 통신을 통해 모바일 디바이스를 활용하여 UI(User Interface)로 사용자가 확인하는 방법도 제안되었다. 또한, 설계된 BIM 모델을 현장에 AR을 통해 현실로 구현하여 BIM에 기록된 데이터를 AR(Augmented Realty)를 작업자의 업무 효율 향상과 객관적인 의사결정을 위한 의사결정 시스템 개발하였고(Choi, 2009), 건설 현장의 현대적인 검사를 위한 몰입형 AR 디스플레이를 활용하여 현장 검사 방식에 관한 연구를 진행하였다(Portalés et al., 2018).

이처럼 신뢰성 있는 교량 관리를 위한 연구가 진행되었지만, 아직까지 현장에서 BIM 모델과 현실 구조물을 비교·대조가 어렵다(Yoon and Lee, 2023). 이러한 문제를 개선하기 위해 본 연구에서는 건설현장에서 사용할 수 있는 AR 검증지원 어플리케이션을 개발한다. AR 어플리케이션은 한국도로공사 검증 매뉴얼을 기반으

로 항목을 분류하고, BIM 형상 모델과 검측 메타데이터를 모바일 디바이스를 통해 시각화 할 수 있도록 BIM to AR로 구현하였다. 마지막으로 BIM 모델 및 검측데이터, BIM to AR을 통합한 ‘건설현장 감독자 의사결정 지원 방안’을 제안한다.

2. 방법론

2.1 BIM to AR 시각화

본 연구에서는 BIM 모델을 AR 환경에 구현함을 통해 검측 감독자의 의사결정을 지원하기 위함이다. 시설물의 안전 및 유지관리 매뉴얼을 기반으로 현장에서 점검 감독자의 검측 업무지원이 가능한 데이터로 구조물이 가지고 있는 균열, 균열이 가지고 있는 과거 손상 이력 및 보수 이력 등을 대상으로 진행한다. 매뉴얼 분석으로 분류된 데이터를 C# 코딩을 통해 XLSX 데이터 전처리 및 시각화 구현 테스트를 진행하고, AR기기 BIM 렌더링 테스트, 사용자 인터페이스 모듈의 데이터 시각화 테스트는 Unity 3D Engine을 활용하여 Fig. 1과 같이 진행한다.

2.2 건설 현장 감독자의 안전점검 검측요소 정의

안전점검등의 목적은 현장조사 및 각종 시험에 의해 시설물의 물리적, 기능적 결함과 내재되어 있는 위험요인을 발견하고, 이에 대한 신속하고 적절한 보수, 보강 방법 및 조치방안 등을 제시함으로써 시설물의 안전을 확보하고자 함에 있다. 국토교통부와 국토안전관리원은 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 제 21조 및 같은 법 시행령 제 17조에 따라 ‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)’을 제공하여 법 제 7조에 따른 제1종 시설물, 제2종시설물 및 제3종시설물의 정기안전점검, 정밀안전점검, 긴급안전점검, 정밀안전진단에 적용하였다. 관리주체는 소관 시설물로 안전 및 유지관리계획을 수립하여 체계적이고 일관성 있는 안전점검 실시를 명시하였기 때문에, 검측 감독자의 안전점검 업무지원을 위해 공식적인 세부지침을 기반으로 현장 점검 시 검토해야 할 부분에 대한 체크리스트를 작성해야 한다. 안전점검 업무의 경우 Fig. 2와 같이 정기안전점검, 정밀안전점검, 정밀안전진단, 정밀안전점검·긴급안전점검 및 정밀안전진단 실시결과 검토, 보수·보강 실시, 보수·보강 확인의 6단계로 이루어져 있으며 구조물의 안전 정도나 현장 환경에 따라 긴급안전점검, 안전조치 이행의 과정이 진행된다.

본 연구에서는 현장에서 감독자의 의사결정 지원을 위한 방법으로, 기존 점검 및 진단과정에서 BIM 활용이 가능한 부분을 선택해야 한다. 정기안전점검의 경우 콘크리트 구조물 및 강재 구조물의 현장조사의 경우 상태변화, 외관조사(결함 및 위험요인 발견 사진 촬영)를 실시하며 현재와 이전의 상태 비교검토를 진행하고,

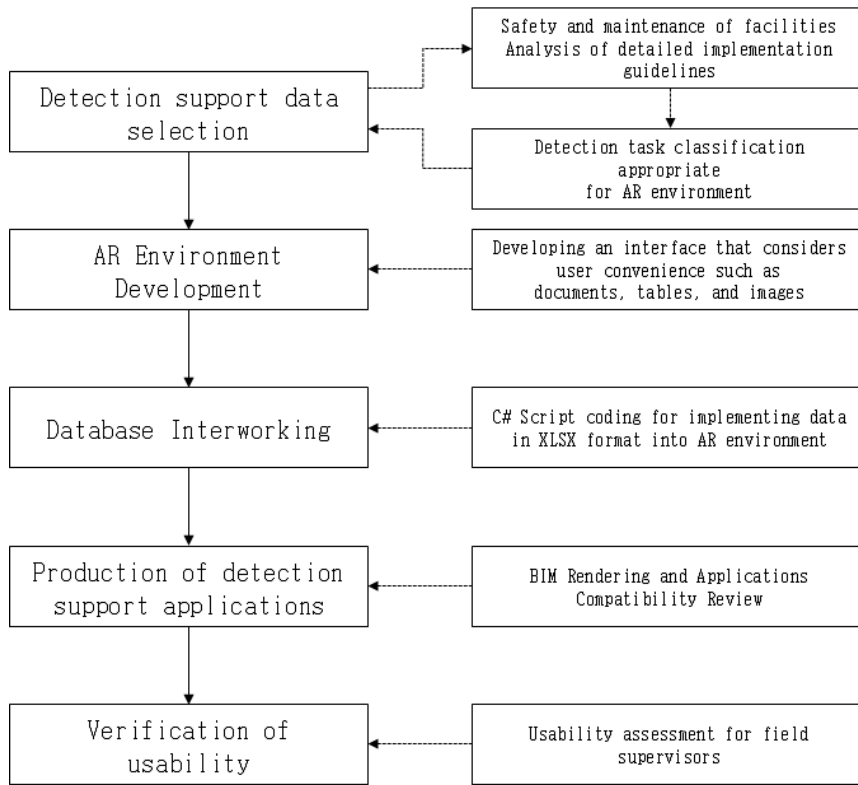


Fig. 1. Research Model

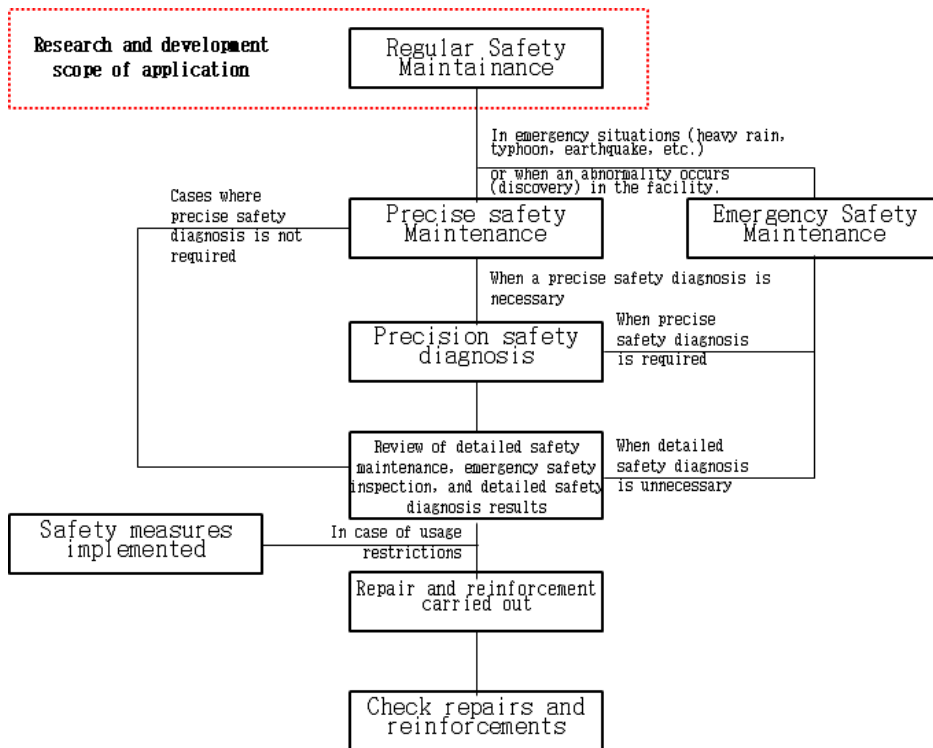


Fig. 2. Work Flow Chart of Safety Management

이러한 경우, AR을 활용하여 과거 점검 사례와 현장점검 시 필요한 데이터를 시각화 한다면, 감독자의 의사결정 지원에 큰 점으로 작용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 정기 안전점검의 부분에 대해 AR을 적용하고, 선별된 데이터로는 구조물이 가지고 있는 균열, 균열이 가지고 있는 과거 이력(손상 이력, 손상 원인, 유사한 손상 보수·보강 사례 등)이며, 이 데이터들을 증강현실을 활용해 현장에서 시각화를 진행하였다.

2.3 3D 엔진 기반 AR 어플리케이션

AR 환경 구성을 위해 대중적으로 많이 사용되고 있는 Unity 3D Engine을 사용하였다. Unity는 3D 환경과 상호작용 콘텐츠를 제작하기 위한 도구로, 개발자의 편리한 작업 환경을 지원하며, 스크립트 빌딩을 통해 결과물의 테스트까지 가능한 통합개발환경(Integrated Development Environment, IDE)를 제공한다(Kim et al., 2017). 또한, BIM 모델의 출력 확장자인 FBX를 Unity 개발 환경 업로드 지원과, AR 환경 구성에 필요한 UI(User Interface)의 디자인 Tool을 지원한다. 완성된 감독자 의사결정지원 어플리케이션은 사용자의 모바일 디바이스 기종에 따라 안드로이드, IOS 등으로 출력할 수 있다.

본 연구에서는 BIM 모델을 AR 환경으로 구현하고, BIM 모델이 가지고 있는 정보는 검측환경에서 의사결정을 위해 세부 지침에 따라 시각화 할 데이터를 선별하였고, 개발 프로세스는 Fig. 3와 같이 진행되며, 세부 지침을 기반으로 현장에서 사용할 시각화 내용이 구성되면, 적합한 시각화 방안으로 선택한다. 감독자가 현장에서 진행하는 점검업무, 주요점검부위 확인 등과 같은 업무는 체크리스트로 표출해 진행될 업무에 대한 파악 및 진행이 가능하다. 서면과 비교하여 검토가 요구되는 항목은 문서 자체를 시각화

하여 표출하거나, 현장 점검 과거 이력, 보수·보강 이력의 경우 객체 선택 시 표출되는 이벤트 형식을 선택한다. AR로 시각화한 BIM 모델은 외관조사망도에 의해 균열이 모델에 입력된 형태이며, 기록된 균열의 경우 Unity 상에서 객체로 변환하여 클릭시 발생하는 이벤트 형식과 연동하여 검토가 가능하다. 이러한 과정 이후 Unity 3D Engine을 활용하여 AR 사용자 인터페이스 적용 및 데이터 시각화를 진행하게 된다.

2.4 AR 어플리케이션과 데이터 레이크 연동

Unity로 구현된 AR 환경 UI 객체와 데이터를 연동시키는 작업이 요구되며, 데이터 연동은 Fig. 4와 같이 진행된다. 점검 대상 교량에 대한 전체 데이터는 데이터 레이크에 저장되어 있고, 네트워크 환경 원활 여부에 따라 2가지 방향으로 나뉜다.

네트워크 환경이 원활한 경우 데이터 레이크에서 감독자가 원하는 데이터를 실시간으로 선별하여 AR 환경에 시각화할 객체와 연동해 사용자가 소지하고 있는 모바일 디바이스를 통하여 출력하게 된다. 네트워크 환경이 원활하지 않은 경우, 감독자가 원하는 데이터의 실시간 연동이 불가능하므로 Unity의 로컬 에셋 번들을 활용한다. 로컬 에셋 번들이란, 사용자가 네트워크 환경이 원활하지 않은 경우, 로컬 디바이스에 저장된 데이터를 출력할 수 있는 기능이다. 로컬 에셋 번들에는 부재정보, 머티리얼, 손상이력 등 사용자가 당일 진행해야 할 검측업무 지원 데이터 중 선별된 데이터들이 저장되어 있으며, 다른 교량에 대한 검측업무 진행시 네트워크가 연결된 환경에서 데이터 업데이트가 가능하다. 이를 통해 타 교량에 대한 원활한 검측 업무 진행이 가능하다.

최종적으로 감독자가 모바일 디바이스를 통한 AR 환경 구동을 위해선 데이터 매칭 과정이 필요하다. 데이터 매칭은 구현된 AR

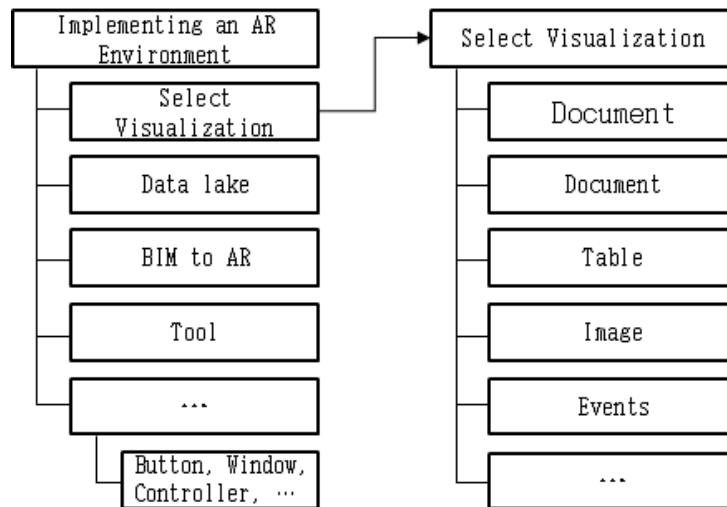


Fig. 3. AR Environment Development Process

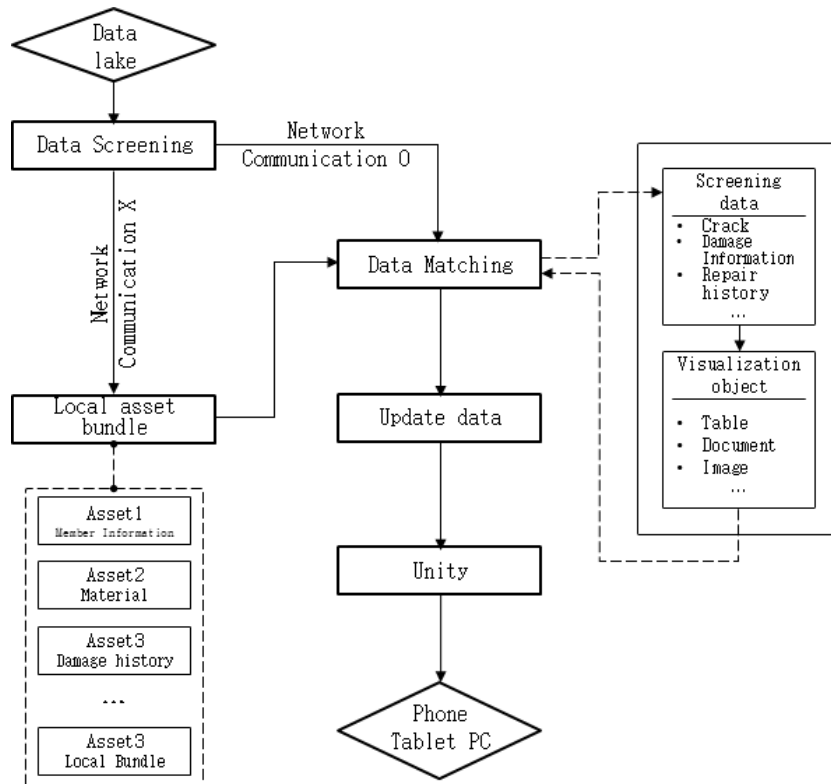


Fig. 4. Data Integration Flow Using Unity

Table 1. Raw Data

Systems	Logical Data Name	Physical Data Name	Data classification	Tag	Field Name (Logic)	Field type	Field Value Range	Terms (standard)	Terms English abbreviations	...
Detection	Detection Plan Information	press_plan_info	Detection Management	Detection_Planning_Information	Detection Process Activity Name	string	50	Work Contents	job_cd	
					Activity measures	number		the amount of measurement	enwk_amnt	
					Activity Measurement Units	string	50	a unit of measurement	enwk_unt	
	Detection History	press_his_info	Detection Management	Detection_Planning_Information	Prior Activity	string	50	Prior work	prec_job	
					Prior Activity Progress Chart	number		Prior work Progress rate	prec_job_prgs_rt	
					Follow-up Activity	string	50	Follow-up Work	aft_job	
					Activity Distribution	string	50	Work Distribution	job_spsm	
Activity Distribution Parameters	string	50	Work Distribution Value	job_spsm_val						
Activity Performance Crew Type	string	50	Working group type	wkgr_kind						
			

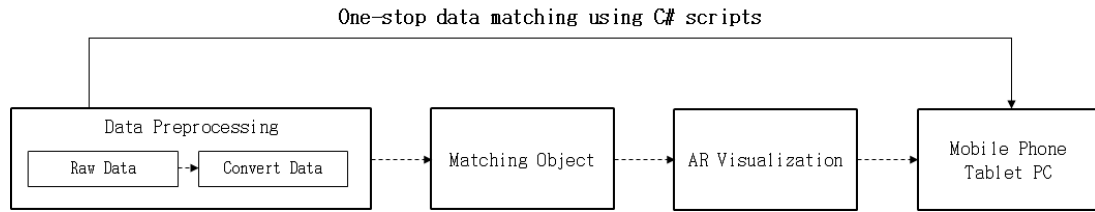


Fig. 5. AR Environment Data Linkage Flow

환경에 어플리케이션 아이콘 터치 시 나타난 객체와 표출할 데이터를 매칭하는 과정이다. 데이터 레이크에 저장된 교량 정보 데이터는 Data.xlsx와 같은 엑셀 형식으로 저장되어 있지만, Unity Engine에서는 자체적으로 엑셀 데이터를 불러오는 형식은 지원하지 않으며, 엑셀 데이터 또한 기계가 처리할 수 있는 측면에서 xls 형식은 특정 소프트웨어에 의존적이기 때문에 csv 형식을 권장한다 (Kim, 2013). 데이터 매칭 과정은 AR 환경 데이터 연계를 위한 데이터 전 처리, Unity 환경에 데이터 적용을 위한 오브젝트 매칭, 적용된 데이터의 시각화 구현 테스트로 총 3단계로 진행되며 Table 1은 정제되지 않은 Raw Data이다.

교량 점검의 경우 관리를 위해 XLSX 형식으로 저장되어 있으며, 이러한 형식의 확장자는 Unity 상에서는 불러올 수 없고, 모바일 디바이스를 통해 많은 데이터를 시각화하는 데 어려움이 있다. 1단계에선 이를 해결하기 위해 Raw Data인 .xlsx 확장자를 Unity 상에서 데이터를 읽어올 수 있게 한다. 2단계는 사용자가 원하는 오브젝트에 원하는 데이터를 표출할 수 있게 오브젝트와 데이터를 연결시키는 과정이며, 앞선 2단계의 과정을 포함해 사용자가 보는 AR 화면을 휴대폰이나 태블릿 PC로 확인하는 과정까지 C# Scripts를 통해 한 단계로 Fig. 5와 같이 구현한다.

3. 검측 의사결정 지원을 위한 AR 어플리케이션 개발

3.1 BIM to AR 어플리케이션 구현

본 연구에서는 BIM 모델과 현실 구조물을 비교·대조를 통해

검측 업무의 의사결정을 지원하기 위해 AR 환경을 활용한 검측 어플리케이션을 개발하였고, 다음의 성과를 확인할 수 있었다.

개발된 어플리케이션의 작동 확인은 Unity시뮬레이션과 휴대폰에 어플리케이션 설치를 통해 확인하였다. 시뮬레이션은 Unity 환경에서 사용자 UI 컨트롤, 데이터 베이스, C# 소스 코딩을 확인할 수 있게 하였고, 이때 사용되는 BIM 모델 특성상 많은 데이터를 포함하기 때문에 BIM 모델 경량화가 필요하다. 경량화 되지 않은 BIM 모델을 AR 환경에 구현한다면, 데이터를 로딩하는 과정에 많은 시간이 소요되며, 이 과정에서 BIM이 사진 형상 부분의 데이터와 모델이 가진 정보들을 분리하고, BIM 모델의 Mesh 감소 및 사용자가 필요한 데이터만 로드하는 형식을 통해 AR 환경에 구현하였다.

그 결과 Fig. 6와 같이 BIM 모델을 경량화하지 않은 경우, 평균 FPS는 약 61, 경량화를 진행한 경우 약 285로 나타났고, 경량화를 진행하여 빠른 속도로 BIM 모델을 AR 환경에서 확인 가능하였다. 데이터 표출을 위한 시각화 오브젝트는 이미지, 표, 문서, 스크롤 등의 정보를 확인하는데 있어 정확하게 시각화를 나타낼 수 있었고, 최종적인 시뮬레이션 결과, Fig. 7과 같이 BIM 모델은 빠른 속도로 AR 환경에 나타났으며, 사용자가 원하는 시각화 오브젝트는 명령에 알맞은 오브젝트 표기도 오류 없이 정상적으로 작동하였다.

3.2 데이터 연동 결과

AR 환경에서 BIM 모델 구현 및 시각화 오브젝트의 구성 이후

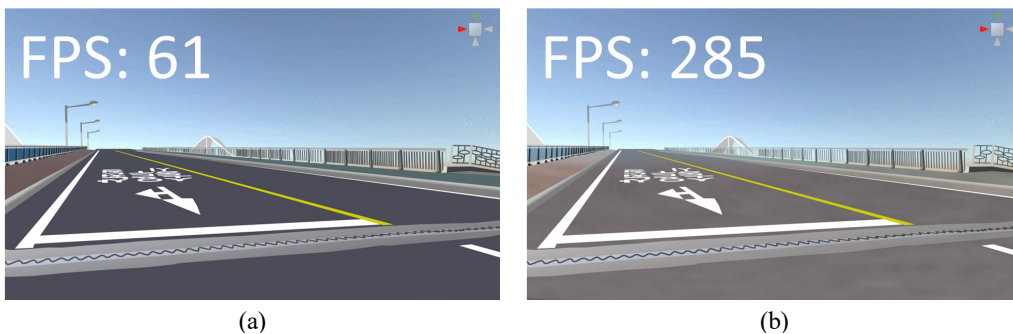


Fig. 6. BIM Model FPS Comparison: (a) Before Optimization, (b) After Optimization

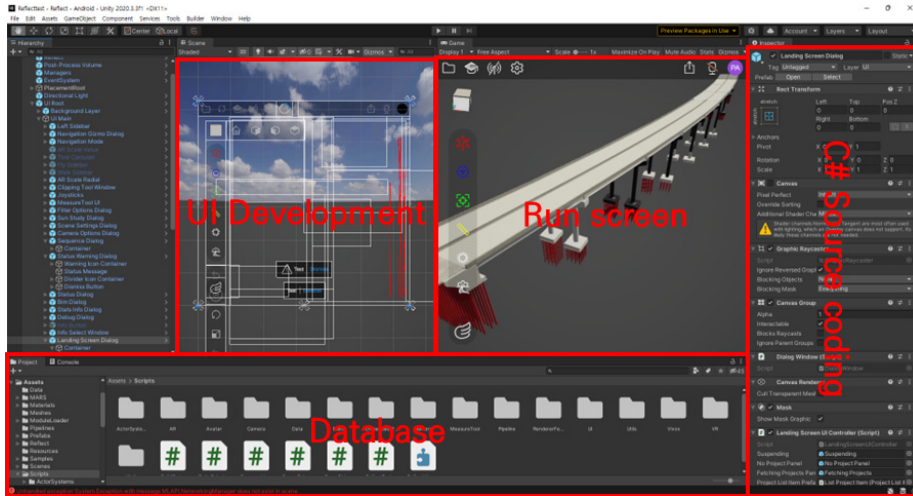


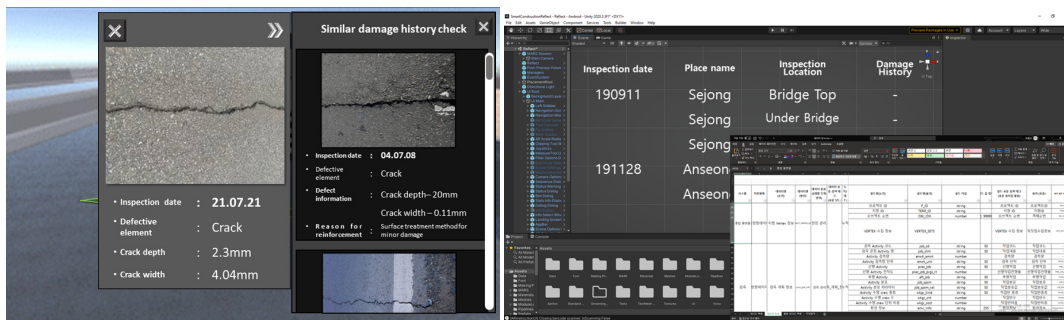
Fig. 7. UI and Database Linkage Testing Through C# Source Coding

데이터베이스에 존재하는 데이터를 각 오브젝트에 사용자가 원하는 형식의 데이터 확인 여부와, 데이터 변동이 발생하는 경우 AR 환경에서 업데이트를 Unity 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

데이터베이스에 저장된 데이터의 경우 Raw Data인 XLSX 형식으로 저장되어 있다. 기존의 Unity에서 데이터 로드를 위해 csv 형식으로 변환하고, 이를 표 형식의 경우 각 셀에 어떤 데이터가 어떤 형식으로 들어갈지 정하고, 각 오브젝트는 그 형식의 데이터만 표현할 수 있는 속성을 가지게 만들었다. 즉, 1행 1열의 셀에는 사용자가 선택한 날짜에 균열 정보만 표출 가능한 속성을 부여한다면, 날짜를 선택할 경우 그에 부합한 균열 정보를 표 형태의 정보로 확인이 가능한 것이다. 시뮬레이션을 통해 데이터베이스는 XLSX 형식의 데이터로 저장되어 있고, AR 환경까지 문서 및 표 형식, 이미지 형식인지 구분하여 데이터를 한 번에 시각화가 가능하였다. Fig. 8과 같이 BIM 모델의 균열을 터치했을 때 균열에 대한 정보를 이미지와 표 형식으로 나누어 시각화 되었으며, 유사손상 이력을 보기위해 화살표를 터치하였을 때 그림과 같이 각 균열에 대한

이미지, 균열 이력의 조회, 그리고 다수의 데이터의 경우 스크롤 형식으로 구동됨을 확인하였다. 데이터 변동의 경우, 데이터베이스에 저장된 XLSX 데이터를 열고, 저장된 string 속성을 가진 데이터의 항목을 변경하였을 때 시뮬레이션의 AR 환경에서 데이터도 변경되어 지정된 셀에 변경이 반영됨을 확인하였고, Int 및 number 등과 같은 데이터 형식 모두 정상적으로 변동이 반영되는 것도 확인 가능하였다. 이 모든 과정을 통합하여 C# 스크립트 형식 코딩을 통해 제작하였으며, 그 결과 여러 단계를 거치지 않고 한 단계로 구현이 가능하였다.

BIM-AR 어플리케이션을 실제 휴대폰에 설치 후 Fig. 9과 같이 BIM 모델에 존재하는 균열을 터치하였을 때 터치한 부분은 하이라이트로 변하고, 균열에 대한 데이터(검수 일자, 결합요소, 균열 깊이 등)이 정상적으로 UI를 통해 시각화 되었다. 또한, 유사 손상 이력 조회를 통해 유사한 손상을 가진 정보를 표출하여 보수·보강 업무 지원을 위한 정보도 표출됨을 확인하였다. XLSX 형식의 검측 업무지원 데이터가 UI를 통해 정상적으로 구동되는 것을



(a)

(b)

Fig. 8. Application Simulation In Unity: (a) BIM Data, (b) Data Linking

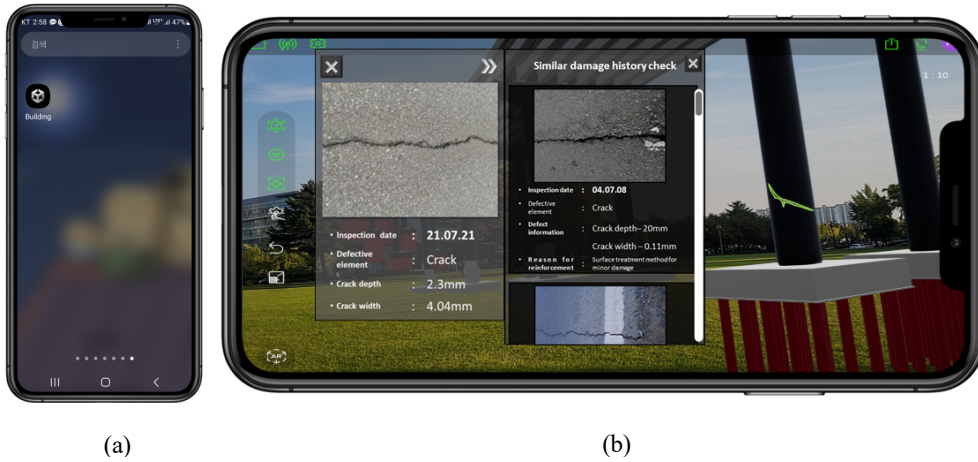


Fig. 9. BIM - AR Application: (a) App, (b) Mobile Phone Installation and Actual Test

확인하였고, 시각화 방법에 따라 표와 이미지 등을 정상적으로 표출하였다. 데이터 변동의 경우, 데이터베이스 상에서 XLSX 형태의 검측 업무지원 데이터의 변동이 발생하여, 데이터 변동이 발생하면 AR 환경에서 데이터도 정상적으로 적용되었다. AR 기기 호환성 확인을 위하여 안드로이드 운영 체제 기반 모바일 디바이스인 휴대폰으로 설치 및 구동 테스트를 진행하였고, BIM 모델과 연동된 데이터 시각화도 AR 환경에서 정상적으로 구동하였다.

위 결과를 통해 XLSX 데이터의 C# 스크립트 코딩을 통한 데이터연동, AR 환경에서 UI를 통해 사용자가 원하는 형식의 데이터 표출(표, 이미지, 문서 등), BIM 모델의 AR 환경 렌더링, BIM 모델의 균열 정보 표출을 AR 기기의 호환성 검증을 통해 작동함을 확인하였다.

3.3 현장 작업자 인터뷰를 통한 어플리케이션 사용성 검증

본 연구를 통해 개발된 AR 어플리케이션의 현장 감독자 사용성 검증을 위해 현재 현장에서 근무하고 있는 감독자 55명을 대상으로 설문 조사를 실시하였다. 현장 감독자는 최소 6년 이상의 현장

근무 경험이 있는 감독자를 대상으로 선정하였으며, 설문 조사 진행 전 개발된 어플리케이션 체험을 통해 감독자의 업무 의사결정 지원에 이점이 작용하는지에 대한 질의 응답 및 객관식 등으로 구성되었다. 감독자의 체험 및 설문 조사 결과는 Table 2와 같이 나타났다.

문항은 총 16개로 구성되어 있으며, 문항에 따라 공통 항목을 5가지로 분류하여 나타났다. 본 연구를 통해 개발된 AR 어플리케이션의 필요성은 5점 중 4.5점, 필요성에 의한 사용 의향은 89.8%였다. 작업 시간 단축이나 업무 효율 향상에 관한 항목에서 4.4점으로 나타났으며, 사용의향은 88.7%였다. 휴대하거나 어떤 상황에서 사용 가능한 문항의 편의성은 4.3점과 사용의향 86.2%。 처음 사용하는 사용자의 접근성에 대한 항목은 4.4점, 사용의향 87.6%이며, 감독자들이 직접 사용해 보고 전체적인 사용성에 대한 점수는 4.9점에 사용의향 98.5%로 높은 점수를 달성하였다. 평균적으로 감독자들은 AR 어플리케이션에 대한 사용의향은 90.16%로 나타났으며, 도입된다면 작업 효율 또한 향상 가능하다는 의견을 나타냈다.

주관식 문항에 대한 답변으로는 AR을 활용한 검측 업무지원 (BIM 모델의 AR 구현을 통한 균열 확인, 손상 이력 조회, 유사 손상 이력 검토 등) 어플리케이션을 사용해 봤을 때, ‘AR을 기반으로 3D 모델을 통해 현장에서 검토한다면 효율적일 것’, ‘외관조사방도를 대신할 3D 모델을 현장에서 비교할 수 있다면, 추가적인 조사 불필요’, ‘검측 데이터를 AR을 통해 시각 데이터를 통해 보면, 검측 효율 향상에 도움’, ‘데이터 시각화가 구현되어 육안으로 쉽게 확인 가능, 현장에 도입한다면 필요성이 높을 것으로 판단’으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 건설현장 감독자의 검측 업무지원을 위해 BIM

Table 2. Validation of Usability for Field Supervisors

(Response: 55 people)


	Category		Scores (points)	Intent to use (%)
1	BIM to AR Application	Necessity	4.5/5	89.8
2		Efficiency	4.4/5	88.7
3		Convenience	4.3/5	86.2
4		Accessibility	4.4/5	87.6
5		Usability	4.9/5	98.5
Average intention to use				90.16%





to AR 시각화 어플리케이션을 개발하였다. AR 어플리케이션은 건설현장에서 감독자의 디지털 검측 업무가 가능함을 확인하였다. 한국도로공사 검측 매뉴얼을 기반으로 항목을 분류하였고, AR 환경에서 원활한 데이터 연동을 위해 데이터 전처리 및 시각화를 진행하였다. 기존의 BIM 모델을 AR 환경에 직접 구현하는 방식과 다르게, BIM 형상 데이터와 메타데이터를 분리하여 AR 환경에 각 정보를 매칭 및 시각화하였고, 데이터 레이크에 저장된 XLSX형식 데이터를 감독자가 모바일 디바이스로 필요한 정보만 불러오게 하여 작업 시간의 단축을 확인할 수 있었다. 제시한 AR 기반의 현장 감독자 검측 의사결정 지원 방법은 가속화되는 교량 노후화를 대비하여 전문 인력의 신속한 업무를 지원하고, 육안으로 실시되는 검측 업무의 신뢰성 향상에 기여할 수 있었다. 이와 같이 교량 구조물을 검측하는 데 있어, BIM 모델을 AR 환경에 시각화함과 동시에 검측 업무에 대한 의사결정 지원을 하는데 크게 기여할 것이라고 판단되며, 추가적인 업무를 진행할 필요없이 검측 업무에서 사용되는 BIM 모델이 현장에서 활용 가능할 수 있도록 하는데도 기여할 수 있다고 판단된다. 향후 연구에서는 GPS를 기반으로 하여 구조물과 AR에 구현된 BIM 모델을 매칭하여 정확한 계측 업무까지 지원하고자 하며, 검측과 계측의 연계성을 고려하여 세부적인 검측 업무지원이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

This research was supported in part by “National R&D Project for Smart Construction Technology (22SMIP-A158708-03)” funded by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement under the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, and managed by the Korea Expressway Corporation. “through Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) as 「Innovative Talent Education Program for Smart City」” and in part by Research Program to Solve Regional Convergence Issues (RS-2023-00270205) through NRF (National Research Foundation of Korea), both funded by Ministry of Science and ICT.

ORCID

Woonggyu Choi  <https://orcid.org/0000-0003-4107-8878>

Pa Pa Win Aung  <https://orcid.org/0000-0003-2868-6457>
 Sanyukta Arvikar  <https://orcid.org/0009-0003-6423-5722>
 Gichun Cha  <https://orcid.org/0000-0002-6327-8742>
 Seunghee Park  <https://orcid.org/0000-0001-8970-0668>

References

- Choi, J. W. (2009). “A technological review to develop an AR-based design supporting system.” *Mixed Reality in Architecture, Design and Construction*, X. Wang and M. A. Schnabel, Springer, Dordrecht, pp. 53-74, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9088-2_4.
- Kalogianni, E., van Oosterom, P., Dimopolou, E. and Lemmen, C. (2020). “3D land administration: A review and a future vision in the context of the spatial development lifecycle.” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, MDPI, Vol. 9, No. 2, 107. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020107>.
- Kim, H.-L. (2013). “Emerging considerations for accelerating open data.” *Review of Architecture and Building Science*, AIK, Vol. 57, No. 11, pp. 46-49 (in Korean).
- Kim, S.-J., Hong, M. and Choi, Y.-J. (2017). “Design of wind-cloth simulator supporting AR-based real-time interaction.” *Proceedings of the Fall Korea Information Processing Society Conference*, KIPS, pp. 1015-1018, <https://doi.org/10.3745/PKIPS.y2017m11a.1015> (in Korean).
- Lee, J.-W., Kim, J.-H., Hamza, K., Jamshed, A. and Lee, M.-C. (2022). “Unity-based haptic device implementation of a virtual robot manipulator operation system.” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Institute of Control, Robotics and Systems, ICROS, Vol. 28, No. 8, pp. 740-748, <https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2022.22.0095> (in Korean).
- Park, J.-H., An, H., Han, M., Min, J. and Lee, J.-H. (2020). “Examination of correlation between the condition evaluation results of superstructure and the safety and load-carrying capacity of bridges.” *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol. 24, No. 4, pp. 64-71, <http://doi.org/10.11112/jksmi.2020.24.4.64> (in Korean).
- Portalés, C., Casas, S., Gimeno, J., Fernández, M. and Poza, M. (2018). “From the paper to the tablet: on the design of an AR-based tool for the inspection of pre-fab buildings. preliminary results of the SIRAE project.” *Sensors*, MDPI, Vol. 18, No. 4, 1262. <https://doi.org/10.3390/s18041262>.
- Yoon, J.-W. and Lee, S.-H. (2023). “Development of a construction-site work support system using BIM-marker-based augmented reality.” *Sustainability*, MDPI, Vol. 15, No. 4, 3222. <https://doi.org/10.3390/su15043222>.