

나무의사 EMR 시스템을 위한 디지털 트윈 시스템 설계 및 구현

(Digital Twin-enabled EMR System Design for Arborist Applications)

백으뜸

(Eu-Tteum Baek)

요약

본 논문은 나무 의사의 전자 의료 기록(EMR) 시스템 내에서 나무 상태를 효과적으로 모니터링하고 관리할 수 있는 디지털 트윈 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 가상 공간에서 나무의 일반적인 상태, 건강 상태 및 나무 간의 관계를 시각화하여 실시간으로 중요한 정보를 제공한다. 이를 통해 나무 건강 유지와 질병 통제를 효과적으로 지원할 수 있다. 주요 기능으로는 나무 객체의 삽입, 제거, 관계 매핑 및 질병 영향 시각화를 위한 대화형 도구와, 웹 및 모바일 애플리케이션 간 데이터 통합을 통해 나무 관련 정보를 원활하게 관리하는 기능이 있다. 제안한 시스템은 사용자 친화적인 인터페이스를 제공하여 나무 관리의 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 더불어, 본 시스템을 검증하기 위해 프로토타입을 개발해 제안된 시스템의 유효성과 실질적 응용 가능성을 확인하였다. 이를 통해, 제안한 방법은 나무 건강 관리 및 질병 통제에 있어 실질적인 해결책을 제공할 것으로 기대된다.

■ 중심어 : 디지털트윈; 전자 의료 기록; 나무의사

Abstract

This paper proposes a digital twin system within an electronic medical record (EMR) system for arborists to effectively monitor and manage tree conditions. The proposed system visualizes general tree status, health conditions, and relationships between trees in a virtual environment, providing critical information in real-time. This supports efficient tree health maintenance and disease control. Key features include interactive tools for inserting and removing tree objects, mapping relationships, and visualizing disease impacts, as well as seamless management of tree-related data through integration between web and mobile applications. The proposed system offers a user-friendly interface that significantly enhances the efficiency of tree management. Additionally, a prototype was developed to validate the proposed system, confirming its effectiveness and practical applicability. Consequently, the proposed method is expected to provide a practical solution for tree health management and disease control.

■ keywords : Digital Twin; Electronic Medical Record ; Arborist

I. 서론

도시 내 수목 관리와 보존은 생태계 유지 및 도시 환경 개선에 필수적이다[1]. 이를 체계적으로 지원하기 위해 최근 나무의 상태와 치료 이력을 전자적으로 관리하는 EMR(Electronic Medical Record) 시

스템이 도입되고 있다[2]. EMR 시스템은 수목의 종, 생장 패턴, 병충해 정보, 치료 및 예후 관련 데이터를 중앙 집중화하여 나무의사와 관리자가 효율적인 의사결정을 내릴 수 있도록 지원한다[3].

그러나 기존의 EMR 시스템은 수목 관리의 복잡성과 현실적 다양성을 완전히 반영하지 못하고 있

정회원, 국립경국대학교 컴퓨터공학과

이 논문은 2025년도 국립경국대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

접수일자 : 2025년 03월 31일

재제확정일 : 2025년 05월 01일

교신저자 : 백으뜸 e-mail : geodo100@gmail.com

다[3]. 수목 관리의 복잡성은 다양한 수종의 고유한 생물학적 특성, 기후와 토양 등의 환경 요인, 병충해의 다양성, 성장 단계별 관리법의 차이 등에서 비롯된다[4]. 이는 데이터의 비구조성, 분산성, 시스템 간의 낮은 호환성, 시각화 및 실시간 분석 기능의 부족 등의 문제로 연결된다. 특히, 데이터의 단편화와 분석 기능의 미비는 수목 상태의 정확한 진단과 신속한 관리 대응을 어렵게 한다[5].

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 EMR 시스템과 디지털 트윈(Digital Twin) 기술을 결합한 혁신적인 시스템을 제안한다. 디지털 트윈은 실제 세계의 사물이나 시스템의 상태 및 특성을 가상 환경에서 정확히 복제하고 실시간으로 연동하여 운영하는 기술이다[6]. 최근 IoT(사물인터넷), 센서 네트워크 및 데이터 분석 기술이 발전하면서 디지털 트윈 기술은 제조업, 건설 산업, 스마트팜 등 다양한 분야에서 활발히 활용되고 있으며, 시스템의 설계, 운영, 유지 보수 과정에서 중요한 역할을 하고 있다[6].

수목 관리 분야에 디지털 트윈을 적용하면, 나무의 상태를 가상 공간에 정확히 구현하여 실시간으로 모니터링하고 예측 진단하는 것이 가능해진다[7]. 이를 통해 나무의 건강 상태를 지속적으로 관리할 수 있을 뿐만 아니라, 질병 발생을 사전에 예측하여 효과적으로 대응할 수 있다. 또한, 디지털 트윈은 데이터 기반으로 수목 간의 상호작용과 질병 전파 경로를 분석하여 군집 관리 및 예방적 조치 수립에도 유용하게 활용될 수 있다[7].

본 논문은 디지털 트윈 기반 EMR 시스템의 설계와 구현 방법을 구체적으로 제안하며, 기존 시스템의 한계를 극복할 수 있는 방안을 제시한다. 또한 개발된 프로토타입을 통해 시스템의 유효성과 성능을 검증하여 실제적인 효과와 가능성을 입증한다. 본 연구는 수목 관리의 효율성과 정확성을 높이고, 나아가 지속 가능한 도시 생태계 조성에 기여하는 것을 목표로 한다.

II. 관련 연구

디지털 트윈 기술은 산림 관리 분야에서 상당한 잠재력을 가지고 있지만, 현재 몇 가지 한계점을 겪고 있다. Helbing와 Sánchez-Vaquerizo (2023)은 숲 생태계와 질병 관리를 모니터링하기 위해 디지털 트윈을 활용하는 연구를 수행했고, 현재의 한계점으로 기술의 복잡성, 데이터 품질 관리의 어려움, 시스템 간 데이터 통합의 어려움, 시각화 도구 부족 등을 지적하였다[7]. Yavitt 등 (2024)은 데이터 품질과 모델 가정의 불확실성이 예측 결과와 관리 결과의 신뢰성에 영향을 미칠 수 있음을 지적하였다[11].

EMR 시스템 또한 나무 건강을 관리하고 모니터링하는 중요한 도구로 인정받고 있지만, 수목 관리의 복잡성 속에서 이를 완벽하게 통합하는 것은 상당한 어려움이 있다. Jawhari 등(2016)은 EMR 시스템 구현에 관한 연구를 수행하여 EMR 시스템 구현의 장점과 도전 과제를 분석하고, 이를 해결하기 위한 구체적인 지침을 제시하였다[3]. Tsai, 등(2022)은 EMR 시스템의 구축 및 관리 과정에서 나타나는 다양한 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위한 새로운 방안을 제안하였다[8]. 이러한 연구를 통해 EMR 시스템의 한계를 극복하고 나무 건강을 효과적으로 관리하기 위한 실질적인 방법들이 모색되고 있다.

최근의 여러 연구에서는 제조업, 건축, 스마트팜 등 다양한 분야에서 디지털 트윈의 응용 가능성을 제시하고 있으나, 각 분야의 특성과 요구 사항을 충분히 고려한 기준, 방법론, 도구 및 기술적 도전 과제에 대한 깊이 있는 분석은 여전히 부족한 실정이다[9]. 특히 디지털 트윈 시스템 구현을 위한 명확한 표준과 정의가 부족하여 기술적 혼란과 시스템 간의 호환성 문제가 지속되고 있다.

종합적으로 디지털 트윈 기술과 EMR 시스템의 한계를 분석해보면 다음과 같은 주요 도전 과제가 나타난다. 첫째, 디지털 트윈 시스템의 표준화와 명확한 정의 부재로 인해 시스템 간 통합성과 확장성 문제가 발생한다. 둘째, 디지털 트윈 기술 구현과 유지보수에 필요한 도구의 부족과 높은 비용으로 인해 실제 적용이 어렵다는 문제점이 제기되고 있다

[10]. 셋째, 디지털 트윈의 활용 과정에서 사회적 수용성과 윤리적 가이드라인의 부재가 예기치 못한

문제를 초래할 수 있다는 우려가 있다.

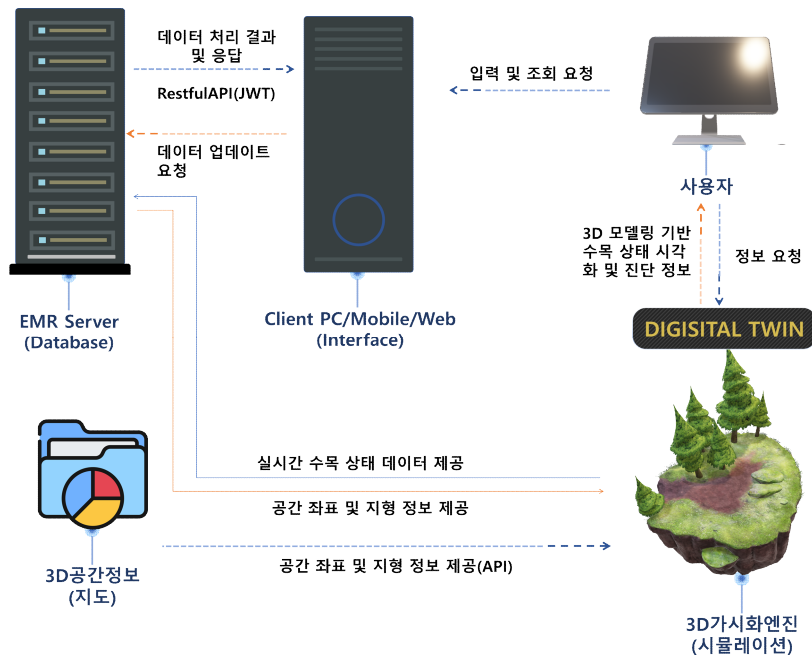


그림 1. 제안된 시스템의 구성도

또한, 디지털 트윈이 수집하는 데이터의 민감성으로 인해 개인정보 보호와 보안의 중요성이 더욱 강조되고 있으며, 이에 대한 구체적이고 효과적인 전략 마련이 필요하다. 마지막으로, 디지털 트윈 기술의 성능과 효과를 체계적으로 평가하고 검증할 수 있는 객관적인 방법론 및 평가 지표 개발이 요구된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 디지털 트윈 기술의 명확한 정의와 특성을 규정하고, 각 산업과 도메인에 적합한 표준 및 프레임워크를 개발하는 것이 필수적이다. 더불어 기술의 윤리적 측면과 데이터 보안을 강화하는 연구도 지속적으로 수행될 필요가 있다.

III. 본 론

수목 관리의 효율성을 높이기 위해 나무의사와 수목 관리자가 사용하는 전자의료기록(Electronic Medical Record, EMR) 시스템에 디지털 트윈 기술을 결합한 맞춤형 통합 시스템 설계 및 구현을 목표로 한다. 이를 통해 수목 관리자는 나무 상태에 대한 정보를 효율적으로 수집 및 처리할 수 있고, 시

각화와 실시간 분석 기능을 통해 빠르고 정확한 의사 결정을 내릴 수 있다.

제안된 시스템은 데이터의 일관성과 신뢰성을 확보하며, EMR 시스템과 디지털 트윈 환경 간의 원활한 데이터 연동과 상호작용을 지원한다. 이를 통해 각 시스템의 강점을 결합하여 수목 관리 프로세스의 품질을 향상시키고, 운영의 효율성을 높일 수 있다.

1. 전체 프로세스

그림 1은 제안된 시스템의 통합 구성도를 나타낸다. 나무 관리자는 웹 기반의 EMR 시스템 인터페이스를 사용하여 나무 관련 데이터를 실시간으로 입력, 수정 및 관리할 수 있다. 입력된 정보는 중앙화된 서버의 데이터베이스(DB)에 저장되며, 서버는 데이터의 무결성과 정확성을 검증한 후 업데이트한다. 동시에 서버는 API(Application Programming Interface)를 통해 데이터를 요청하는 디지털 트윈 시스템에 필요한 최신 데이터를 실시간으로 제공한다.

디지털 트윈 시스템은 제공된 데이터를 기반으로

실제 수목 상태를 가상 환경에서 3차원(3D)으로 정확하게 구현하고 시각화한다. 이를 통해 관리자는 나무의 현재 상태를 직관적이고 효과적으로 파악하고 관리 조치를 취할 수 있다. 본 시스템의 데이터 통신은 RESTful API와 JWT(JSON Web Token) 인증을 활용하여 데이터 보안과 신뢰성을 높이며, 외부 공격 및 데이터 유출의 위험을 최소화한다.

2. 수목 관리 시스템을 위한 데이터 베이스

제안한 수목 관리 EMR 시스템의 데이터베이스는 수목 데이터 간의 체계적이고 유기적인 연관성을 고려하여 설계되었다. 그림 2는 제안된 EMR 시스템 데이터베이스의 구조를 시각적으로 나타낸 것이다. 본 시스템의 데이터베이스는 수목 정보, 생육 환경 및 관리 정보, 수목 건강 상태, 시각적 자료 및 사용자 관리 정보 등을 포함하는 테이블로 구성된다.

먼저, 수목의 기본 정보는 TreeInformation 테이블에서 관리된다. 이 테이블은 개별 수목의 고유한 식별자(TreeID)를 기본 키로 하여 수목명, 생장 패턴, 소유자 및 관리 책임자 정보 등의 필수 속성으로 구성된다. 이를 통해 나무의사와 관리자는 각 수목의 기본적인 정보를 효율적으로 관리할 수 있다.

수목의 생육 환경 및 관리에 관한 정보는 EnvironmentAndManage 테이블에 기록되며, TreeInformation 테이블의 TreeID를 외래 키(foreign key)로 하여 서로 연계된다. 이 테이블에는 기후 조건, 햇빛 노출, 토양 유형, 토양 산도(pH), 배수 상태 및 습도 등 생육 조건과 관련된 다양한 데이터를 포함하여 효과적인 환경 관리에 활용된다.

나무의 현재 건강 상태 및 병충해 관련 데이터는 TreeCondition 테이블을 통해 관리된다. 본 테이블은 TreeID를 통해 TreeInformation 테이블과 연결되며, 병충해 여부, 수목 건강 지표, 생육 상태 등을 포함한 상세 데이터를 추적할 수 있도록 구성되어 있다.

수목의 시각적 기록 및 관리를 위해 TreePhotos 테이블을 사용하며, 이 테이블 역시 TreeInformation의 TreeID와 연계하여 각 수목에

대한 이미지 자료를 저장하고, 이를 시각적으로 분석할 수 있는 환경을 제공한다.

마지막으로, 시스템에 접근하고 데이터를 관리하는 사용자에게 대한 정보는 Users 테이블에서 관리된다. 사용자 관리 테이블은 사용자 이름, 역할, 계정 정보, 접근 권한, 연락처 등을 포함하여 시스템 접근 및 보안성을 유지하는 데 필수적인 데이터를 관리한다.

3. 데이터 전송 및 업데이트 시스템 설계

EMR 시스템과 디지털 트윈 간의 데이터 연계 및 효율적인 수목 관리를 위해 클라이언트-서버 구조 기반의 시스템을 설계하였다. 시스템의 주요 구성 요소는 웹 기반 EMR 인터페이스, 중앙 서버의 데이터베이스, 디지털 트윈 연계를 위한 API로 구성된다.

EMR 시스템은 클라이언트-서버(Client-Server) 아키텍처를 기반으로, 수목 관리자는 웹 기반 인터페이스를 통해 실시간으로 수목 데이터를 입력, 수정 및 삭제할 수 있다. 관리자는 사용자 친화적 웹 인터페이스를 이용하여 데이터를 관리하며, 입력된 데이터는 서버로 즉시 전송된다. 데이터 전송은 보안과 효율성을 고려하여 HTTPS 프로토콜을 사용하며, 모든 데이터는 서버에 표준화된 포맷으로 저장되어 체계적 관리와 신속한 데이터 업데이트가 가능하도록 한다.

서버는 데이터의 정확성과 일관성을 확보하기 위해 관계형 데이터베이스 관리 시스템(RDBMS)을 사용하며, 트랜잭션 관리 기술을 통해 데이터의 정합성과 신뢰성을 유지한다. 또한, 데이터 오류 발생 시 신속한 복구를 지원하는 롤백(Rollback) 기능을 구현하여 데이터 안정성을 높인다.

또한, 제안한 시스템은 사용자 인증 및 데이터 접근 권한 관리를 위해 JWT(JSON Web Token) 기반의 RESTful API를 사용하여 보안을 강화한다. 사용자는 로그인 요청 시 서버로부터 JWT 토큰을 발급받으며, 이 토큰을 통해 인증된 사용자만이 API 엔드포인트에 접근할 수 있다. 이는 허가된 사

용자만이 데이터 조회(GET), 추가(POST), 수정(PUT), 삭제(DELETE) 작업을 수행할 수 있도록

보장함으로써 데이터의 보안성을 강화한다.



그림 2. 제안된 시스템의 데이터베이스

디지털 트윈 시스템은 서버로부터 제공된 표준화된 데이터(JSON 형식)를 RESTful API를 통해 실시간으로 요청하여, 데이터를 받아 가상 환경에서 3D로 시각화한다. 이를 통해 나무의 건강 상태와 환경적 요인을 실시간으로 시각화하여 관리자가 즉각적으로 나무의 상태를 파악하고 의사결정을 내릴 수 있게 한다. 이러한 구조적 설계는 시스템 데이터 처리의 신속성, 데이터의 무결성 및 보안성을 확보하고, 수목 관리자가 실시간으로 효율적인 수목 관리 및 의사결정을 지원할 수 있도록 한다.

4. 디지털트윈 시뮬레이션 설계

본 연구에서는 디지털 트윈 기술을 활용하여 현실 세계의 수목 상태를 가상 환경에 정확하게 반영하고, 효율적인 관리를 위한 시뮬레이션 시스템을 제안한다. 이를 통해 수목 관리자는 실시간으로 수목의 건강 상태를 파악하고, 시각적 진단과 예측을 수행하여 신속하고 정확한 의사 결정을 내릴 수 있다.

제안된 디지털 트윈 시뮬레이션은 개별 수목의 형태를 3차원(3D) 모델로 표현한다. 이를 통해, 수목

관리자는 시각적으로 직관적인 상태 파악과 분석을 수행할 수 있도록 지원한다. 또한, 시스템 사용자는 인터랙티브한 시각화 인터페이스를 통해 나무 상태를 탐색하고, 보다 효과적인 관리를 할 수 있다. 또한, 각 수목에 대한 실시간 모니터링을 수행하여 손상되거나 병충해가 발생한 영역을 명확하게 식별하고 시각화한다. 관리자는 이를 통해 손상된 부위를 즉각적으로 인지하고 빠른 치료 방안을 수립하여 수목 건강 악화를 예방할 수 있다.

또한, 디지털 트윈 시뮬레이션은 다른 나무들의 질병 영향력을 반영하여 질병의 예후를 예측하고, 실시간으로 나무의 건강 상태를 모니터링하여 적시에 대응할 수 있도록 한다.

IV. 프로토타입 구축 및 검증

제안된 디지털 트윈 기반 EMR 시스템의 실현 가능성과 타당성을 검증하기 위해 프로토타입을 구축하고, 다양한 시나리오를 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템의 프로토타입은 Unity 엔진을 활용하

여 3차원 가상 환경을 구현하고, 웹서버와 모바일 환경을 통해 클라이언트-서버 간 실시간 데이터 연동이 가능하도록 설계하였다.

구체적으로, 유니티 기반의 디지털 트윈 클라이언트는 서버로부터 전달받은 데이터를 바탕으로 수목의 상태를 실시간으로 시각화하며, 사용자는 웹 또는 모바일 애플리케이션 인터페이스를 통해 나무의 상태 데이터를 입력, 수정 및 조회할 수 있다. 서버는 모바일 클라이언트로부터 수집된 데이터를 RESTful API 기반의 웹서비스를 통해 실시간으로 받아들이고, 이를 데이터베이스에 즉시 반영함으로써 데이터의 최신성과 일관성을 유지하도록 하였다.

그림 3은 디지털 트윈 모듈을 보여주는데, 유니티(Unity) 기반의 3차원 가시화 엔진을 사용하여 실제 환경의 수목 상태를 시각화하며, EMR 서버로부터 받은 데이터 및 3D 공간 정보(지리적 좌표 정보)를 통해 실시간으로 수목 상태를 반영한 가상환경을 보여준다. 사용자는 인터페이스를 통해 디지털 트윈 환경에 접근하여 수목의 현재 상태를 직관적이고 효과적으로 모니터링할 수 있으며, 이를 통해 신속한 의사 결정과 질병 관리 대응이 가능하다.

그림 4는 웹 브라우저를 통해서 EMR 시스템을 활용한 예시이다. 그림에서 보이듯, 진단서는 나무의사가 특정 수목의 건강 상태를 평가하고 질병 여부 및 처방 정보를 기록할 때 사용된다. 화면에서는 수목의 기본 정보(수목 ID, 수종, 흉고 직경, 수고 등)가 상단에 명시되며, 수목의 현재 상태, 병충해 발생 여부, 잎과 줄기의 이상 징후, 뿌리의 상태 등 구체적인 진단 결과가 포함된다.

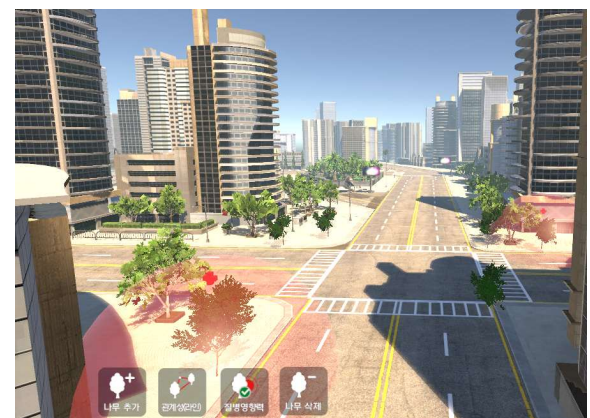
또한, 진단서에는 수목의 상태를 기반으로 한 전문가의 처방 및 치료 방안이 명시되며, 처방된 치료 방법의 상세 내용과 추가적인 관리 권고사항이 기록된다. 이러한 진단서는 데이터베이스에 실시간으로 업데이트되어 디지털 트윈 시뮬레이션과 연동되며, 수목 관리자가 3차원 가상 환경에서 즉각적으로 나무의 상태를 확인하고 적절한 대응 조치를 취할 수 있도록 한다.



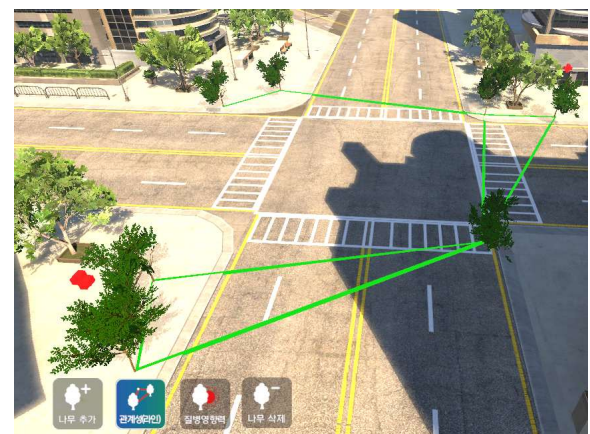
(a) 나무 추가 및 생성



(b) 나무 삭제



(c) 나무 질병 영향력 시각화



(d) 나무 관계성 그래프 시각화



(e) 수목의 정보 시각화

Fig. 3. 디지털 트윈 기반 EMR 시스템의 프로토타입

진단서 등록

수목 진단 및 처방전 등록을 위한 페이지입니다. 이 페이지의 총 5개의 항목을 작성 후 페이지 맨 아래에 있는 진단서 저장하기 버튼을 눌러주세요.

수목 정보

수목종: 수목: 위치:

수목상태:

수목정보, 수목환경 및 관리사항, 수목의 상태, 수목의 상태 사진, 진단 및 처방

생육환경 및 관리사항

생육환경: 관리사항:

생육환경, 관리사항, 수목의 상태, 수목의 상태 사진, 진단 및 처방

(a) 진단서 등록 예시

진단서 목록

Search members

소유주 *	수목 종류 *	수목 이름 *	수목 소재지 *
아이원스	가문바나무	아이원스나무	전남 순천시 강남로 61
qwer	가문바나무	text	경기 화성시 우정읍 남양면로 318
qwer	가문바나무	text	경기 화성시 우정읍 남양면로 318
qwer	가문바나무	text	경기 화성시 우정읍 남양면로 318
qwer	가문바나무	text	경기 화성시 우정읍 남양면로 318
참조아파트	가문바나무	트리닥터	부산 해운대구 APEC로 17 부산 해운대구 APEC로 17
참조아파트	가문바나무	트리닥터	부산 해운대구 APEC로 17 부산 해운대구 APEC로 17
참조아파트	가문바나무	트리닥터	부산 해운대구 APEC로 17 부산 해운대구 APEC로 17
참조아파트	가문바나무	트리닥터	부산 해운대구 APEC로 17 부산 해운대구 APEC로 17
참조아파트	가문바나무	트리닥터	부산 해운대구 APEC로 17 부산 해운대구 APEC로 17

(b) 진단서 목록 예시

Fig. 4. 수목 상태 진단서의 프로토타입 화면 예시

V. 결 론

본 연구는 수목의 효율적이고 체계적인 관리를 위한 디지털 트윈과 전자 의료 기록 시스템 통합을 위한 새

로운 시스템 설계하고 프로토타입을 구축하였다. 제한된 시스템은 수목 상태 정보를 실시간으로 수집·저장하고, 디지털 트윈 기술을 활용하여 이를 3차원 가상 환경에서 정확히 시각화하여 수목 관리자의 신속하고 정확한 의사결정을 지원하는 것을 목표로 하였다. 제한된 연구를 통해 모든 데이터를 유기적으로 연결하고 관리할 수 있도록 데이터베이스를 설계하였고, EMR 시스템과 디지털 트윈의 연동을 위한 RESTful API와 JWT 기반의 보안 인증 프로토콜을 적용하여, 데이터의 안정성과 신뢰성을 높이는 동시에 클라이언트-서버 간 실시간 데이터 전송과 처리를 효율적으로 구현하고, 유니티(Unity) 엔진과 웹·모바일 인터페이스를 이용한 프로토타입 구축을 통해 실시간으로 수목 상태를 직관적으로 시각화하고, 이상 상태 감지 및 질병 예측을 가능하게 하는 시뮬레이션 환경을 성공적으로 구축하였다. 향후 연구에서는 본 시스템의 현장 적용을 확대하여 더욱 다양한 수종 및 관리 시나리오에서 시스템 성능과 신뢰성을 평가하고, 인공지능 기술을 도입하여 질병 진단 및 예측의 정확성을 더욱 향상시키는 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

- [1] 장철수, 석현덕, 장우환, "도시림 관리정책의 개선방향," *농촌경제*, 제25권, 제2호, 1-21쪽, 2002년
- [2] van Doorn, N. S., Roman, L. A., McPherson, E. G., Scharenbroch, B. C., Henning, J. G., Östberg, J. P., Vogt, J. M., *Urban tree monitoring: a resource guide*, Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-266, vol. 266, pp. 132, 2020.
- [3] Jawhari, B., Ludwick, D., Keenan, L., Zakus, D., Hayward, R., "Benefits and challenges of EMR implementations in low resource settings: a state-of-the-art review," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 16, pp. 1-12, 2016.
- [4] Jiang, X., Jiang, M., Gou, Y., Li, Q., Zhou, Q., "Forestry digital twin with machine learning in Landsat 7 data," *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, pp. 916900, 2022.
- [5] Botín-Sanabria, D. M., et al., "Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 6, pp. 1335, 2022.
- [6] Thelen, A., et al., "A comprehensive review of digital twin—part 1: modeling and twinning enabling technologies," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 65, no. 12, pp. 354, 2022.

- [7] Helbing, D., Sánchez-Vaquerizo, J. A., "Digital twins: potentials, ethical issues and limitations," *Handbook on the Politics and Governance of Big Data and Artificial Intelligence*, pp. 64-104, 2023.
- [8] Tsai, C. H., Eghdam, A., Davoody, N., Wright, G., Flowerday, S., Koch, S., "Effects of electronic health record implementation and barriers to adoption and use: a scoping review and qualitative analysis of the content," *Life*, vol. 10, no. 12, pp. 327, 2020.
- [9] Thelen, A., et al., "A comprehensive review of digital twin—part 1: modeling and twinning enabling technologies," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 65, no. 12, pp. 354, 2022.
- [10] Botín-Sanabria, D. M., et al., "Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 6, pp. 1335, 2022.
- [11] Yavitt, J. B., "Quantifying Forest Ecosystems: The Role and Challenges of Forest Biometrics," *Journal of Forest Research*, vol. 13, pp. 513, 2024.

 저 자 소 개



백으뜸(정희원)

 2015년 광주과학기술원 정보통신공학
부 석사 졸업

2019년 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 박사 졸업.

2022년~2025년 호남대학교 컴퓨터공학부 조교수

2025년 국립경국대학교 컴퓨터공학부 조교수

<주관심분야 : 인공지능, 컴퓨터비전>