

## 디지털 트윈간 의미적 상호운용성 지원을 위한 통합 정보 모델 관리

박경현<sup>1\*</sup> · 임영재<sup>2</sup> · 윤대섭<sup>2</sup> · 이양구<sup>2</sup><sup>1,2</sup>한국전자통신연구원 지능화융합연구소

# Unified Information Data Model for Semantic Interoperability of Digital Twins

Kyoung Hyun Park<sup>1\*</sup> · Youngjae Lim<sup>2</sup> · Daesub Yoon<sup>2</sup> · Yang-Koo Lee<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Intelligent Convergence Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon, Korea

### [요 약]

디지털 트윈은 물리적 객체를 디지털 객체로 복제하여 현실 세계의 문제를 해결하기 위한 디지털 융복합 기술로 4차 산업혁명이 시작되면서 다양한 산업분야에 활발하게 적용되기 시작하였다. 하지만 디지털 트윈을 위한 공통 플랫폼이나 표준화가 아직 초기 단계에 머물러 있기 때문에 각 기관이나 기업들은 독자적인 디지털 트윈을 구축하고 있는 상황이다. 따라서 서로 다른 디지털 트윈간에 데이터를 교환하고 디지털 트윈 플랫폼을 연동하는 상호운용성 문제가 발생하게 된다. 이에 본 논문에서는 디지털 트윈 간의 상호운용성 문제를 해결하기 위해 통합 정보 모델을 제안하고 통합 정보 모델을 기반으로 디지털 트윈 플랫폼이 정보를 교환하고 관리하는 방법에 대해 소개한다.

### [Abstract]

Digital twins are IT technologies to solve problems in the real world by replicating physical objects into digital objects and have actively applied to various industrial sectors since the 4th Industrial Revolution. However, due to lack of common platforms or standardization for digital twins, organizations and companies construct their own digital twins. This situation causes the interoperability problem of digital twins. Therefore, in this paper, we propose an integrated information model to support interoperability of digital twins and introduce how to exchange and manage digital twin information with the integrated information model.

**색인어** : 디지털 트윈, 상호운용성, 시맨틱 웹, 데이터 모델, RDF 데이터**Key word** : Digital twins, Interoperability, Semantic Web, Data Model, RDF Data<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.5.823>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 08 April 2021; Revised 03 May 2021

Accepted 03 May 2021

**\*Corresponding Author; Kyoung Hyun Park**

Tel: +82-42-860-6142

E-mail: hareton@etri.re.kr

# 1. 서론

디지털 트윈은 2002년 미시건 주립대의 마이클 그리브스(Michael Grieves) 박사에 의해 처음 그 개념이 소개되었고[1] 그 후로 2012년에 미국 항공우주국(NASA)이 로드맵 보고서를 통해 디지털 트윈이 소개되었다.[2]. 디지털 트윈은 일반적으로 현실 세계의 물리적 객체를 가상의 환경의 디지털 객체로 복제하여 다양한 시뮬레이션을 통해 최적의 해답을 찾아 현실 세계에 적용함으로써 현실 세계의 문제를 해결하고 개선하는 디지털 융복합 플랫폼이라고 정의할 수 있다. 하지만 디지털 트윈은 다양한 기술이 융복합된 개념이기 때문에 어떤 분야에서 어떤 목적으로 사용하느냐에 따라 디지털 트윈의 구체적 정의가 조금씩 다를 수 있다.

산업 도메인의 관점에서 볼 때 제조 분야에서는 ‘물리 세계의 제조 자원을 가상공간에 모사하여 시뮬레이션을 통해 제품의 설계, 생성, 유지보수에 있어서 최적의 의사 결정을 가능하게 하는 융합 기술’로 정의하고 농축수산 분야에서는 디지털 공간상에 가상의 팜을 구축하여 시뮬레이션을 통해 최적의 팜 운영 및 사육 환경을 예측하고 제공하는 융합 기술’로 정의할 수 있다. 또한 스마트 시티 분야에서는 현실 공간을 가상공간에 모사하여 다양한 도시 문제를 감시, 진단, 예측하고 해결 방안을 사전에 학습 시험 및 검증할 수 있는 지속 가능한 도시관리 지능화 융합 기술로 정의한다[3].

이와 같이 현재 디지털 트윈은 다양한 분야에서 활발하게 적용되고 있는데 디지털 트윈 구축에 필요한 공통 플랫폼이나 표준화는 아직 초기 단계에 머물러 있기 때문에 디지털 트윈을 필요로 하는 기관이나 기업들은 플랫폼을 자체 개발하거나 상용 솔루션을 각자의 요구사항에 맞게 적용하고 있는 실정이다. 따라서 서로 다른 디지털 트윈 플랫폼 간에 데이터를 교환하고 연동하는데 있어서 상호운용성 문제가 항상 발생한다.

상호운용성을 지원하지 않는다는 것은 서비스를 개발할 때 해당 플랫폼에 종속되어 특정 API에 맞게 개발해야 한다는 것을 의미한다. 따라서 여러 플랫폼을 연동하는 서비스를 개발하게 되면 연동하는 플랫폼에 비례하여 해당 플랫폼을 연동할 수 있는 어댑터(adapter) 또는 미디어이터(mediator)를 개발해야 하기 때문에 개발 비용이 증가하고 유지보수가 어려워진다[4].

따라서 본 논문에서는 디지털 트윈 간에 상호운용성을 제공할 수 있는 통합 정보 모델을 제안한다. 제안된 통합 정보 모델은 디지털 트윈 정보인 메타데이터를 기술하기 위해 의미적으로 정의된 어휘(vocabulary)로 원격의 디지털 트윈 정보를 검색하고 플랫폼에 상관없이 데이터를 교환할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 디지털 트윈의 상호 운용성을 설명하고 상호운용성을 지원하기 위해 디지털 트윈 정보 모델을 제안한다. 3장에서는 디지털 트윈 정보 모델을 기반으로 정보 모델을 매핑, 생성, 검색, 저장하는 방법에 대해 기술한다. 4장은 디지털 트윈이 통합 정보 모델을 이용하여 다른 디지털 트윈과 연동하는 방법에 대해 기술한다. 마지막으로 5장에서는 연구 내용을 요약하고 향후 개선 사항을 기술한다.

# II. 상호운용성을 위한 디지털 트윈 정보 모델

본 장에서는 디지털 트윈 플랫폼 관점에서의 상호운용성을 기술하고 상호운용성을 지원하기 위한 디지털 트윈 정보 모델을 제안한다.

## 2-1 디지털 트윈의 상호운용성

상호운용성은 디지털 트윈의 핵심 기술 요소 중의 하나로 이 기종의 디지털 트윈 간에 데이터를 상호 교환할 수 있는 기술을 말한다[5]. 국제 표준화 기구인 ISO/IEC는 상호운용성을 ‘사용자가 데이터 전송에 사전 지식 없이도 시스템 간에 데이터를 전송하고 프로그램을 실행하고 서로 통신하는 능력’이라고 정의하고 있다. 또한 IEEE에서는 상호운용성을 ‘두 개 이상의 시스템 또는 컴포넌트가 정보를 교환하고 사용할 수 있는 능력’이라고 정의하고 있다[6].

이와 같은 정의로 볼 때 디지털 트윈의 상호 운용성이란 서로 다른 디지털 트윈간에 서로 디지털 트윈 정보를 공유하고 물리 객체로부터 생성된 데이터를 교환할 수 있는 기술’이라고 이해할 수 있다. 이러한 정의는 디지털 트윈이 디지털 트윈을 구성하는 객체인 머신 또는 디바이스의 정보를 공유할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 사용자는 다른 디지털 트윈의 머신과 디바이스 정보를 검색하고 필요한 객체의 데이터(예를 들어, 디바이스의 센서 데이터)를 가져와 활용할 수 있다.

그림 1은 디지털 트윈간의 상호운용성을 개념적으로 보여준다. 디지털 트윈은 통합 정보 모델을 통해 다른 디지털 트윈과 연동할 수 있다. 본 논문에서는 시맨틱 기반의 통합 정보 모델을 통해 디지털 트윈을 연동한다. 통합 정보 모델은 RDF(Resource Description Framework) 기반의 메타데이터 모델로 다른 디지털 트윈간에 서로 데이터를 교환을 가능하게 해주기 때문에 사용자는 다른 디지털 트윈의 정보를 검색하고 데이터를 저장할 수 있다.

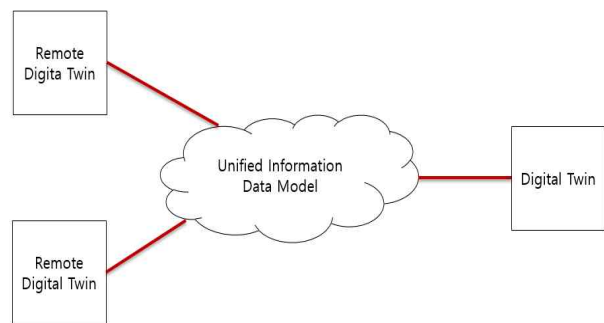


그림 1. 통합 정보 모델을 이용한 디지털 트윈 연동  
Fig. 1. Digital Twin Connection by Unified Information Data Model

상호운용성은 그 특성에 따라 디바이스 상호운용성, 네트워크 상호운용성, 구문적(syntactical) 상호운용성, 의미적(semantic) 상호운용성, 플랫폼 상호운용성으로 구분할 수 있다. 또한 상호운용성을 해결하기 위한 접근 방법도 구현 방법에 따라 어댑터(또는 게이트웨이), 오픈 API, 시맨틱 기술, 표준화 등으로 분류할 수 있다[4].

이에 본 논문은 디지털 트윈 간의 상호 데이터 교환을 위해 플랫폼 관점에서 시맨틱 기술을 적용하여 디지털 트윈의 상호운용성 문제를 해결하고자 한다.

### 2-2 디지털 트윈 정보 모델

디지털 트윈 정보 모델(digital twin information data model)은 디지털 트윈 카탈로그간의 상호운용성을 용이하게 하기 위해 설계된 RDF 온톨로지이다. 따라서 각 디지털 트윈은 메타데이터인 디지털 트윈 정보를 변경하지 않고 직접 통합 정보 모델을 생성하여 배포하면 외부 디지털 트윈으로부터 검색이 가능해지고 디지털 트윈 생태계에 편입되는 효과를 가진다.

디지털 트윈 정보 모델의 가장 큰 특징은 시맨틱 웹 기술을 이용한 RDF 온톨로지로 정의된다는 점과 그림 2와 같이 개별 요소들이 dtw:DigitalTwinFactory를 중심으로 계층적으로 구성된다는 점이다. 즉, RDF 온톨로지로 구성된 디지털 트윈 통합 정보 모델은 시맨틱 웹의 장점인 의미 수준의 데이터 호환이 가능하고 각 디지털 트윈에서 각자 메타데이터를 정의해도 의미 충돌이 나지 않는다는 장점이 있다. 또한 시맨틱 검색이 가능하기 때문에 의미에 기초한 검색결과를 제공함으로써 정확한 데이터 검색이 가능해진다.

그림 2에서 보듯이 디지털 트윈 정보 모델은 하나의 분야에 해당하는 dtw:DigitalTwinFactory 클래스를 기준으로 하여 dtw:DigitalTwinMachine 클래스에 해당하는 여러 개의 디지털트윈 장비로 구성되고 디지털 트윈 장비는 다시 dtw:DigitalTwinSensor 클래스에 해당하는 여러 개의 센서로 구성된다.

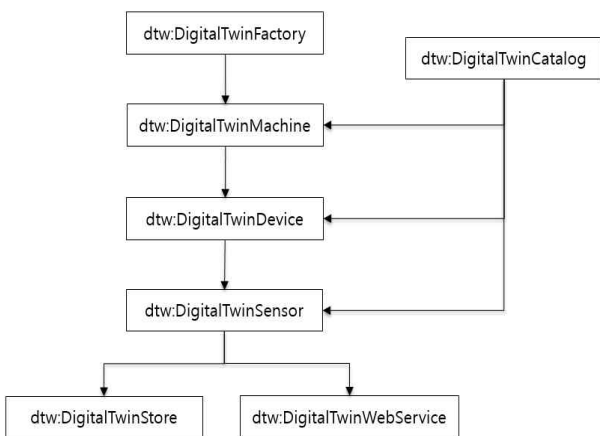


그림 2. 디지털 트윈 통합 정보 모델  
Fig. 2. Unified Information Data Model of Digital Twins

```
<dtw:DigitalTwinFactory>
  <dct:identifier>machiaide:smartfactory</dct:identifier>
  <dtw:DigitalTwinMachine>
    <dct:identifier>machinaide:smartfactory:agv1</dct:identifier>
    <dtw:acl>
      <dtw:read>true</dtw:read>
      <dtw:write>true</dtw:write>
      <dtw:adminstrate>>false</dtw:adminstrate>
    </dtw:acl>
    <dtw:Dimension>
      <dtw:wheelRadius>66</dtw:wheelRadius>
      <dtw:wheelInterval>287</dtw:wheelInterval>
      <dtw:bodyLength>281</dtw:bodyLength>
      <dtw:bodyWidth>306</dtw:bodyWidth>
      <dtw:bodyHeight>141</dtw:bodyHeight>
    </dtw:Dimension>
    <dtw:DigitalTwinDevice>
      <dtw:DigitalTwinSensor>
        <dct:title>batterySensor</dct:title>
        <dtw:batteryLevel>95</dtw:batteryLevel>
        <dtw:lowLevelThreshold>80</dtw:lowLevelThreshold>
        <dct:modified>2021-10-16 15:08:21.234321</dct:modified>
        <dtw:samplingRate>1</dtw:samplingRate>
      </dtw:DigitalTwinSensor>
      <dtw:DigitalTwinSensor>
        <dct:title>LeftWheelSensor</dct:title>
        <dtw:encoderAngle>0.0</dtw:encoderAngle>
        <dct:modified>2021-10-16 15:08:21.234321</dct:modified>
        <dtw:samplingRate>1</dtw:samplingRate>
      </dtw:DigitalTwinSensor>
      <dtw:DigitalTwinSensor>
        ...
      </dtw:DigitalTwinSensor>
    </dtw:DigitalTwinDevice>
  </dtw:DigitalTwinMachine>
</dtw:DigitalTwinFactory>
```

그림 3. 디지털 트윈 정보 예  
Fig. 3. Digital Twin Information Example

센서로부터 생성되는 데이터 정보는 배포 방식에 따라 두 가지로 정의하였는데 DigitalTwinStore 클래스는 파일 또는 데이터베이스 형태로 배포되는 데이터 정보에 해당되고 DigitalTwinWebService 클래스는 오픈 API 또는 클라우드 서비스를 통해 배포되는 데이터에 해당된다.

그림 3은 공장의 무인운반차량(Automated Guided Vehicle, AGV)의 데이터를 디지털 트윈 정보 모델에 따라 변환된 예를 보여준다.

### III. 디지털 트윈 시맨틱 정보 모델 관리

디지털 트윈은 시맨틱 정보 모델을 통해 상호운용성을 지원하기 때문에 정보 모델을 기반으로 메타데이터를 저장 관리한다. 따라서 본 장에서는 디지털 트윈 정보 모델을 기반으로 메타데이터를 관리하는 방법 즉, 디지털 트윈 모델의 매핑 기법과 디지털 트윈 정보의 생성, 검색, 저장 방법에 대해 기술한다.

#### 3-1 정보 모델 매핑

디지털 트윈은 데이터를 저장하기 위해 다양한 저장소를 사용한다. 특히 가장 많이 사용되고 있는 저장소 중의 하나는 관계형 데이터 모델(relational data model)을 기반으로 하는 관계형 데이터베이스(Relational Database Management Systems, RDBMS)로 RDF 형태의 반구조적 데이터 모델(semi-structured

data model)을 따르는 디지털 트윈 정보 모델과 충돌이 발생한다. 따라서 정보 모델로 생성된 데이터를 관계형 데이터베이스에 저장하기 위해서는 먼저 디지털 트윈 정보 모델과 관계형 데이터 모델 간의 매핑 관계가 존재해야 한다.

디지털 트윈 매핑 도구는 디지털 트윈 정보와 관계형 데이터베이스간의 매핑 정보를 관리하는 도구로 다음과 같이 3단계로 세분화할 수 있다.

**단계 1. 디지털 트윈 저장소 연결**

매핑 도구를 이용하여 데이터를 통합 데이터모델로 변환하기 위해서는 먼저 디지털 트윈의 데이터에 접근해야 하는데 다음과 같이 3 가지 방법으로 데이터에 접근할 수 있다.

- 데이터베이스 계정을 이용한 데이터 접근  
데이터베이스 계정을 이용하여 데이터베이스에 직접 접근하는 방법이다. 이 방법은 디지털 트윈의 데이터에 직접 접근할 수 있다는 장점이 있지만 데이터베이스에 직접 접근하여 조작하기 때문에 보안에 취약할 수 있다.

- 디지털 트윈 정보 API를 이용한 데이터 접근  
오픈 API는 디지털 트윈 정보를 공개할 수 있는 가장 일반적인 방법으로 사용자에게 오픈 API를 통해 자유롭게 디지털 트윈 정보를 활용할 수 있다. 오픈 API는 보안 및 편리성 측면에서 장점을 가지지만 통합 데이터 모델을 지원하는 API를 개발해야 하는 단점이 있다.

- 디지털 트윈 RDF 파일을 이용한 데이터 접근  
디지털 트윈은 디지털 트윈 정보를 RDF 파일로 변환하여 제공할 수 있다. 이와 같은 방법은 메타데이터 API처럼 보안과 편리성 측면에서 강점을 가지며 API를 추가로 개발할 필요가 없다는 장점이 있지만 공개해야 하는 디지털 트윈 정보를 미리 RDF 파일로 변환하여 제공하기 때문에 변경된 데이터를 실시간으로 반영하기가 어렵다. 따라서 RDF 파일 형태로 디지털 트윈 정보를 제공하려면 주기적으로 RDF 파일을 갱신해야 하는 단점이 있다.

위의 방법들 중 디지털 트윈 API와 RDF 파일은 자동으로 정보 모델과 매핑이 가능하지만 데이터베이스 연결 방식은 매핑 도구 사용자가 데이터베이스와 정보 모델의 매핑 작업을 진행해야 한다.

**단계 2. 스키마 매핑**

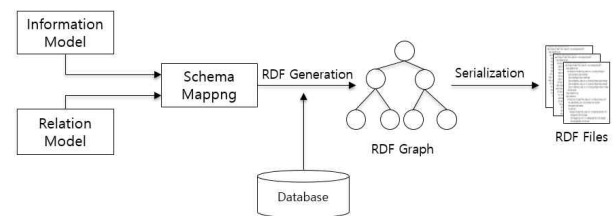
관계형 데이터 모델과 디지털 트윈 정보 모델은 그 구조가 다르기 때문에 데이터 변환을 위해서는 서로 간의 매핑 정보가 필요하다. 따라서 매핑 도구를 이용하여 스키마 매핑을 수행해야 한다. 매핑 도구는 데이터베이스로부터 테이블과 필드 정보를 읽어 온 후, 디지털 트윈 정보 모델과 함께 테이블 형태로 보여준다. 매핑 도구 사용자는 디지털 트윈 정보 모델의 속성을 선택

한 후 정보 모델의 속성에 해당되는 테이블과 필드 정보를 매핑한다. 이때 정보 모델의 속성에 해당되는 필드가 다수의 테이블 간 조인연산을 통해 얻을 수 있을 수 있다. 따라서 매핑 도구는 테이블과 필드 정보 외에도 조인키 정보도 함께 설정해야 한다.

**단계 3. RDF 파일 생성**

단계 2에서 스키마 매핑이 끝나면 그림 4와 같이 데이터베이스에서 데이터를 읽어 매핑 정보를 이용하여 RDF 그래프를 구축한다. 구축된 RDF 그래프는 직렬화(serialization)을 통해 RDF 데이터 파일로 변환된 후 공개된다. 변환된 RDF 데이터 파일은 외부에서 접근 가능하도록 URL 정보가 함께 생성되며 매핑 도구는 변환된 모든 RDF 데이터 파일 정보를 관리한다.

만약 디지털 트윈 정보가 갱신될 경우 이미 생성된 RDF 파일은 갱신된 정보를 반영하지 못하기 때문에 변환도구를 이용하여 주기적으로 RDF를 업데이트해야 한다.



**그림 4. 통합 정보 모델 기반 RDF 데이터 생성**  
**Fig. 4. Creating RDF Data based on Unified Information Model**

**3-2 정보 모델 검색**

디지털 트윈은 디지털 트윈 정보를 얻기 위해 RDF 데이터를 가져오는데 일반적으로 미리 생성된 RDF 데이터는 디지털 트윈의 정보를 모두 포함하고 있다. 따라서 디지털 트윈의 정보 중 일부만이 필요할 경우에는 RDF 데이터를 요청할 때 조건을 추가하여 요청할 수 있다. 이때 디지털 트윈이 RDF 데이터를 URL을 통해서 가져오느냐 또는 오픈 API를 통해서 가져오느냐에 따라 검색 구조가 달라진다.

디지털 트윈 정보를 URL을 통해서 가져오는 경우 이미 생성된 RDF 데이터를 가져오는 것이기 때문에 원격 디지털 트윈이 제공하는 데이터를 모두 읽어 RDF 그래프를 구축한 후에 조건에 맞는 질의를 수행해야 한다. 따라서 디지털 트윈은 질의에 상관없이 데이터 전체를 전송받아야 하기 때문에 네트워크 부하가 크다는 단점이 있다.

오픈 API를 통해 데이터를 가져오는 경우에는 원격 디지털 트윈 플랫폼에서 질의를 처리한다. 즉 원격 디지털 트윈은 정보 검색 요청 메시지를 받으면 조건에 맞는 질의를 생성하여 데이터베이스를 검색한다. 데이터베이스 검색 결과는 RDF 데이터로 변환되어 요청한 디지털 트윈에게 전달한다. 따라서 URL을 이용한 방법과 달리 오픈 API를 이용하는 방법은 네트워크 부하는 줄일 수 있다.



### 3-3 정보 모델 저장

원격 디지털 트윈으로부터 받은 디지털 트윈 정보는 RDF 그래프로 구축된 후 파싱 과정을 거쳐 데이터베이스에 저장된다. RDF 데이터를 저장하는 과정은 정보 모델을 생성하는 절차의 역순이다. 따라서 디지털 트윈은 통합 정보 모델과 데이터베이스의 변환 규칙을 가지고 있어야 하고 RDF 데이터는 정의된 변환 규칙에 따라 테이블과 컬럼에 매핑되어 관계형 데이터베이스에 저장된다.

## IV. 통합 정보 모델을 이용한 디지털 트윈 연동

본 장에서는 제안한 디지털 트윈 정보 모델을 바탕으로 디지털 트윈 연동 관점에서 디지털 트윈이 데이터를 교환하고 활용하는 방안에 대해 기술한다.

### 4-1 디지털 트윈 데이터 수집

디지털 트윈은 등록된 디지털 트윈으로부터 디지털 트윈 정보 및 데이터를 수집할 수 있다. 그림 5는 디지털 트윈 데이터를 수집하는 절차를 보여준다. 우선 (1) 원격 디지털 트윈은 공개하고자 하는 데이터를 RDF 데이터로 변환한 후 공개한다. (2) 디지털 트윈은 접근하고자 하는 디지털 트윈의 URL을 등록하고 데이터를 요청한다. (3) 원격 디지털 트윈은 요청에 따라 RDF 데이터를 전달한다. (4) 디지털 트윈은 원격 디지털 트윈 정보를 확인하고 필요한 데이터를 요청한다. 이때 필요한 데이터는 URL, 오픈 API, 데이터베이스 등 다양한 방법으로 표현될 수 있다. (5) 원격 디지털 트윈은 요청에 따라 데이터를 전달한다.

이와 같은 방법은 공개할 데이터를 미리 RDF 데이터로 변환하여 공개하기 때문에 구조가 단순하고 개발 비용이 낮다는 장점을 가진다. 하지만 RDF 데이터의 사이즈가 크거나 질의를 처리를 해야 할 경우 효율성이 떨어진다. 또한 데이터가 갱신될 때마다 다시 변환하여 공개해야하기 때문에 실시간성이 떨어진다는 단점을 가진다.

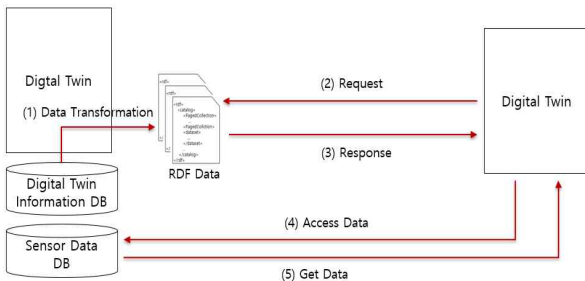


그림 5. 디지털 트윈 데이터 수집 절차  
Fig. 5. Data Collection Procedure in Digital Twins

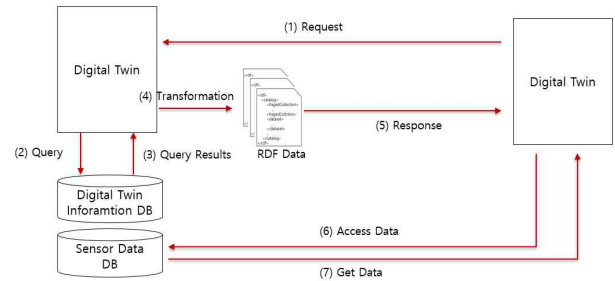


그림 6. 개선된 디지털 트윈 데이터 수집 절차  
Fig. 6. Advanced Data Collection Procedure in Digital Twins

그림 6은 이와 같은 단점을 해결하기 위해 개선된 데이터 수집 방법으로 그 절차는 다음과 같다. (1) 디지털 트윈은 직접 원격 디지털 트윈의 정보를 요청하는데 검색 조건을 함께 요청한다. 즉, 기존의 방법은 URL로 RDF 데이터에 접근하지만 개선된 방법은 오픈 API를 이용하여 데이터를 요청한다. (2) 요청을 받은 원격 디지털 트윈은 요청에 맞는 질의를 생성하여 데이터베이스 검색을 수행한다. (3) 데이터베이스는 검색 결과를 반환하고 (4) 반환된 검색 결과는 통합 데이터 모델에 맞게 RDF로 변환된다. (5) 변환된 RDF 데이터는 오픈 API 호출의 결과로 디지털 트윈에 전달된다. 이후의 데이터 전달 절차는 기존의 데이터 수집 구조와 동일하다.

이와 같은 개선된 데이터 수집 방법은 데이터 수집시 조건을 설정할 수 있고 실시간으로 메타데이터를 검색하고 가져올 수 있다는 장점을 가진다.

### 4-2 디지털 트윈 정보 접근 권한 관리

디지털트윈 정보는 외부에서 자유롭게 접근이 가능한 공개된 정보이다. 따라서 디지털 트윈은 보안 정책에 따라 공개할 데이터를 선별하여 공개해야 한다. 디지털 트윈 정보는 매핑 도구를 통해 URL을 공개하거나 오픈 API를 개발하여 공개할 수 있다. 매핑도구를 이용하여 데이터를 공개할 경우에는 보안 정책을 반영하여 사용자가 직접 모델을 매핑하고 생성하기 때문에 공개 정책이 변경될 경우 RDF 데이터를 업데이트할 때마다 반영할 수 있다.

오픈 API의 경우에는 디지털 트윈 플랫폼이 보안 정책에 따라 사용자 권한을 관리하고 사용자로부터 데이터 요청이 들어오면 사용자 권한에 따라 차별적으로 데이터를 공개할 수 있다.

### 4-3 원격 디지털 트윈 데이터 활용

디지털 트윈은 제품 라이프 사이클 개선 등에 활용할 수 있으며 필요시 외부 디지털 트윈의 데이터를 활용할 수 있다. 외부 디지털 트윈은 매핑 도구에 URL 또는 오픈 API 타입으로 등록되기 때문에 매핑 도구로부터 디지털 트윈 정보를 가져와 관리할 수 있다.

디지털 트윈은 등록된 URL 또는 오픈 API를 호출하여 디지털 트윈 정보를 확인하고 디바이스의 센서 데이터와 같은 필요한 정보들을 수집한다. 이때 센서 데이터 정보는 URL, 오픈 API, 데이터베이스 등의 형태로 디지털 트윈 정보에 포함될 수 있다. 수집된 데이터는 분석을 통해 지식을 추출하고 제품 라이프 사이클이 개선되도록 반영할 수 있다.

## V. 결 론

디지털 트윈의 상호운용성은 디지털 트윈 플랫폼의 핵심 기술 중의 하나로 하나의 디지털 트윈 생태계에서 디지털 트윈 간 데이터를 교환하기 위한 플랫폼 연동 기술이다. 4차 산업혁명이 시작되면서 디지털 트윈도 산업 현장에 활발하게 적용되기 시작했지만 서로 다른 디지털 트윈간의 통합을 위한 표준이나 공통 플랫폼의 활성화는 아직도 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 디지털 트윈의 효율적인 데이터 교환을 위해 플랫폼 상호운용성의 관점에서 시맨틱 기술을 적용한 의미적 상호운용성 지원 방법을 제안하였다.

우선 디지털 트윈 간에 데이터를 공유하기 위해 디지털 트윈 정보 모델을 정의하였다. 디지털 트윈 정보 모델은 서로 다른 디지털 트윈이 데이터 교환을 위해 공유하는 표준 데이터 모델로 RDF 형태의 온톨로지이다.

디지털 트윈 정보 모델은 dtw:DigitalTwinFactory를 기준으로 계층적으로 디지털 트윈 정보를 기술할 수 있고 dtw:DigitalTwinCatalog를 통해 카테고리별로 디지털 정보를 분류하여 관리하고 공개할 수 있다. 디지털 트윈 정보 모델은 디지털 트윈의 메타데이터로 디바이스의 센서 데이터와 같은 실제 측정 데이터는 별도의 데이터 관리가 필요하다.

본 논문에서는 두 가지 방법으로 디지털 트윈 정보를 제공한다. 첫 번째 방법은 RDF 데이터 파일 형태로 제공하는 방식으로 디지털 트윈 정보 모델을 기반으로 하는 매핑도구를 통해 디지털 트윈 저장소인 관계형 데이터베이스의 데이터를 RDF 데이터로 변환한 후 공개한다. 두 번째 방법은 요청이 들어올 때마다 데이터베이스에서 데이터를 검색하여 그 결과를 RDF 형태로 전달하는 방법이다.

두 가지 방법 모두 RDF 형태로 데이터를 전달하지만 첫 번째 방법은 데이터 매핑이 자유로운 반면 실시간성이 부족하기 때문에 주기적으로 RDF 파일을 생성해야 하고 두 번째 방법은 실시간성을 보장하고 질의를 처리할 수 있다는 장점이 있지만 매핑 방법이나 보안 정책이 변경될 경우 이를 반영하기가 어렵다.

디지털 트윈은 RDF 형태의 디지털 트윈 정보를 URL을 통해 수집하기 때문에 데이터 전송 오류가 발생하게 되면 처음부터 다시 보내야 한다. 따라서 RDF 데이터의 크기가 커지면 네트워크 부담이 증가하게 된다. 따라서 향후 연구로 디지털 트윈 정보를 데이터 전송에 최적화된 페이지 단위로 RDF 데이터를 생성하여 순차적으로 데이터를 전송하는 방법이 필요하다.

또한, 디지털 트윈 정보 모델은 디지털 트윈의 메타데이터 교환을 위한 데이터 모델이기 때문에 센서 데이터와 같은 실제 디바이스의 측정 데이터를 교환하는 방법에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 예를 들어 실제 측정 데이터는 빅데이터의 성격을 지니고 데이터의 접근 방법도 URL, 오픈 API, 데이터베이스 등 다양하기 때문에 각 접근 방법과 데이터 저장소에 따라 효율적으로 데이터를 저장하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 "국제공동기술개발사업 (과제번호 P064100006-다중 디지털 트윈 상호운용성을 위한 지식 기반 제조 머신 분석 및 최적화 기술 개발)"의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.

## 참고문헌

- [1] Michael Grieves, *Origins of the Digital Twin Concept*, Florida Institute of Technology, 2016. 8.
- [2] Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J. and Wang, L., "Technology Area 11: Modeling, Simulation, Information Technology and Processing Roadmap," *NASA Office of Chief Technologist*, November, 2012. 4.
- [3] IITP, *Weekly ICT Trends*, No. 1931, 2020.
- [4] Mahda Noura, Mohammed Atiquzzaman, MartinGaedke, "Interoperability in Internet of Things: Taxonomies and Open Challenges," *Mobile Networks and Applications*, No. 24, pp. 796-809, 2019.
- [5] Marie C. Platenius-Mohr, Somayeh Malakut, Sten Gruner, Johannes Schmit, Thomas Goldschmidt, "File- and API-based interoperability of digital twins by model transformation: An IIoT case study using asset administration shell," *Future Generation Computer Systems* No. 113, pp. 94-105, 2020.
- [6] ISO/IEC Organization, ISO/IEC 21823-1 Internet of things (IoT) - Interoperability for iot systems - Part 1: Framework, 2019.
- [7] Yuqian Lua, Chao Liub, Kevin I-Kai Wangc, Huiyue Huang, Xun Xua., "Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, No. 61, 2020.
- [8] Marie Platenius-Mohr, Somayeh Malakuti, Sten Gruner, Thomas Goldschmidt, "Interoperable Digital Twins in IIoT Systems by Transformation of Information Models," *IoT 2019*, pp. 22-25, 2019.

[9] K. Czarnecki, S. Helsen, "Feature-based survey of model transformation approaches," *IBM Systems Journal*, No.45, Vol. 3, 2006.

[10] Maxime Lefrancois, Antoine Zimmermann, and Noorani Bakerally, "A SPARQL extension for generating RDF from heterogeneous formats," *In European Semantic Web Conference*, Springer, pp. 35-50, 2017.

[11] Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day, Chris Barlow, "Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research," *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 108,952-108,971, 2020.

[12] Juuso Autiosalo, Jari Vepsalainen, Raine Viitala, Kari Tammi, "A Feature-Based Framework for Structuring Industrial Digital Twins," *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 1,193-1,208, 2019.

[13] Y. T. Lee, "Information modeling: From design to implementation," *Proceedings of the second world manufacturing congress*, pp. 315-321, 1999.

[14] F. Tao, H. Zhang, A. Liu, A. Y. C. Nee, "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, No. 15, vol. 4, pp. 2405-2415. 2019.

[15] D. H. Akehurst, S. J. H. Kent, "A Relational Approach to Defining Transformations in a Metamodel," *Proceedings of the 5th International Conference on the Unified Modeling Language*, pp. 243.258, 2002.

[16] Maxime Lefrancois, Antoine Zimmermann, Noorani Bakerally, "A SPARQL extension for generating RDF from heterogeneous formats," *In European Semantic Web Conference*, Springer, pp. 35-50, 2017.

[17] Damjanovic-Behrendt, V., Behrendt, W., "An open source approach to the design and implementation of Digital Twins for Smart Manufacturing," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, pp. 1-19, 2019.

[18] S. Biffl, O. Kovalenko, A. Luder, N. Schmidt, R. Rosendahl, "Semantic mapping support in AutomationML," *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, pp. 1-4, 2014.



**박경현(Kyoung Hyun Park)**

1999년 : 충북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
 2001년 : 충북대학교 전자계산학과 대학원 (이학석사)  
 2018년 : 충북대학교 컴퓨터과학과 대학원 (공학박사)

2001년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
 ※ 관심분야 : 대용량 분산 데이터 플랫폼, 오픈데이터 플랫폼, 디지털 트윈, 디지털 헬스케어 등



**임영재(Youngjae Lim)**

1998년 : 전북대학교 대학원 (공학석사-제어전공)  
 2015년 : 전북대학교 대학원 (박사수료-메카트로닉스)

2000년~현재 : 한국전자통신연구원 인지·교통ICT연구실 책임연구원  
 ※ 관심분야 : 머신비전(Machine Vision), 영상처리(Image Processing), HMI, 디지털트윈(DT) 등



**윤대섭(Daesub Yoon)**

2003년 : Auburn University, CSSE (공학석사)  
 2005년 : Auburn (공학박사 -Human-Computer Interaction))

2005년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
 ※ 관심분야 : eyetracking, attentive user interface, mental workload and human factors, digital, smart factory



**이양구(Yang-Koo Lee)**

2002년 : 충북대학교 대학원 (이학석사)  
 2010년 : 충북대학교 대학원 (공학박사-전자계산학)

2010년~2011년: 충북대학교 Post-doc  
 2011년~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 ※ 관심분야 : 스마트 팩토리(Smart Factory), 빅데이터(Big Data), 기계학습(Machine Learning) 등