

## 변형 가능한 4D프린팅 부품을 적용한 서비스 기반 웹

윤건영 · 이용구<sup>†</sup>

광주과학기술원 기전공학부

### Service-oriented Web for Transformable 4D Printing Components

Gun-Yung Yun and Yong-Gu Lee<sup>†</sup>

School of Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology

Received 12 February 2016; received in revised form 3 April 2016; accepted 5 April 2016

#### ABSTRACT

4D printing is a method that manufactures a programmed transformable 3d printed components that can be transformed in a pre-designed environment. We propose a service-oriented web architecture for supporting 4D printing system. Service model is classified under four kinds of functions: design, sharing, application and production. We designed RESTful web APIs for these functions. Some preliminary designs about the web API architecture and data modeling is discussed.

**Key Words:** Transformable component, REST API, Web service, 3D printing, 4D printing

## 1. 서 론

3D프린팅의 발전은 기존 시제품 생산에만 적용되었던 rapid prototyping(RP)을 additive manufacturing(AM)이라는 제조업의 한 분야로 그 적용 범위를 확장시켰다. 이는 생산효율의 증대와 기술의 발전으로 대량생산에 대한 가능성을 보인 결과이다. 완성도 있는 자동화 생산 시스템을 구축하기 위한 노력으로 3D프린팅 기술의 필요성은 지속적으로 대두되고 있으며 이에 대한 투자와 연구가 활발하다. 그 중 하나의 연구가 4D프린팅이다. 4D프린팅은 특정한 외부환경(온도, PH, 전기, etc.)에 자극을 받아 구동하는 smart material를 3D프린팅 출력물에 적용하여 target environment에서

스스로 변형하며 기능을 수행하는 smart model을 생산하는 기술이다. 인간의 개입이 최소화 되어야 하는 미시적 환경이나 위험한 환경에서 스스로 역할의 수행이 가능한 model을 생산하는 4D프린팅 기술의 응용분야는 매우 넓다.

이러한 4D프린팅의 기술발전을 도모하기 위해서는 외부자극요소(trigger)에 반응하는 material의 정보를 명확히 기술하고 공유하여 개발자와 사용자가 동일한 결과를 예측하고 사용하도록 도와야 한다. 또한 쉬운 인터페이스로 접근을 높여 정보의 활용을 증가시키고 양질의 데이터를 토대로 기술의 개선과 발전방향을 제시할 수 있어야 한다. 하지만 다양한 종류의 3D프린터와 사용자의 device 환경은 다양한 data format 기법을 사용하고 있어 원활한 data stream을 이끌어내기 어렵다. 따라서 서로간의 정보 처리 및 교환을 동기화하고 지능적인 연결을 유도하는 정보의 통합 연결고리가 필요

<sup>†</sup>Corresponding Author, lygu@gist.ac.kr  
©2016 Society of CAD/CAM Engineers

하다.

이 통합 모델로서 인터넷을 통해 확립된 UX를 기반으로 본격화되는 cloud 컴퓨팅 시대에 적합한 RESTful web service를 제안하고자 한다. Device vendor는 embedded system에서 인터넷의 정보 제공자 역할을 수행하기 위해 RESTful architecture style의 web server를 탑재하고 있다. SOAP, WSDL, UDDI 표준을 사용하는 기존의 web service architecture는 embedded system에 구현하기에는 무겁고 복잡하기 때문에, Hypertext Transfer Protocol (HTTP) 기반으로 REST API(Application programming Interface)를 제공하는 웹 애플리케이션 서버(WAS)가 채택되었다. REST API는 기존의 web service와 다르게 서버와 클라이언트 간 낮은 결합도(loosely coupled)를 가지는 장점이 있어 2 tier 구조(server - client) 뿐 아니라 3 tier 구조(server - gateway - client) 이상의 복잡한 architecture로 구성된 다양한 서비스를 생성할 수 있다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서는 REST API로 설계한 web service를 통해 4D프린팅에 적용이 가능한 material의 정보를 기술하고, 이 정보를 토대로 만들어낸 components를 공유하여 양질의 데이터를 수집하고 client의 OS/제품 platform에 상관없이 연동하여 정보를 교환하고 처리하는 방법을 제시한다.

## 2. Open API

### 2.1 Open API 웹 서비스

대표적인 Open API의 방식으로 SOAP(Simple Object Access Protocol), JSON(JavaScript Object Notation)-RPC(Remote Procedure Call), XML(Extensible Markup Language)-RPC, RESTful (Representational State Transfer), BPEL(Business Process Execution Language) 등이 있다. 이 장에서는 널리 사용되는 SOAP, RESTful 웹 서비스방식을 통해 정보의 전달체계와 웹 서비스의 동향을 분석한다.

웹 서비스(web service)는 네트워크 상에 분산되어 있는 컴퓨터의 정보를 표준화된 방식으로 공유하는 기술로써 SOA(Service Oriented Architecture) 개념을 실현하는 대표적인 기술이다. 웹 서비스를 제공하는 기술은 크게 SOAP 기반과 RESTful 기반의 웹 서비스로 양분화되어 있다.

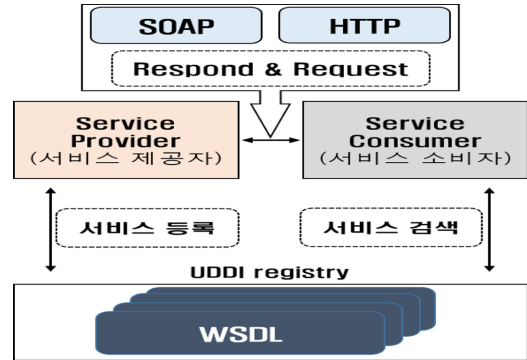


Fig. 1 SOAP conceptual diagram

SOAP(Simple Object Access Protocol)은 일반적으로 잘 알려진 HTTP, HTTPS, SMTP 등의 protocol을 사용하여 XML 기반의 정보를 컴퓨터 네트워크 상에서 교환하는 protocol 방식이다. SOAP는 프로그래밍 언어 및 device 플랫폼에 독립적이다. Fig. 1은 SOAP의 기능을 표현한 diagram이다. 웹 서비스 제공자는 UDDI(Universal Description and Integration) registry에 웹 서비스를 WSDL(Web Service Description Language)로 등록한다. 이후 웹 서비스 소비자는 UDDI register에서 사용하고자 하는 WSDL 형태의 웹 서비스를 검색한다. 그리고 웹 서비스를 요청하고 요청에 대한 응답을 수신한다. 웹 서비스 제공자와 소비자의 요청 및 응답 절차에는 SOAP를 이용하여 이루어진다<sup>[2]</sup>.

RESTful은 웹의 장점을 활용하기 위한 네트워크 기반의 architecture로 Roy Fielding에 의해 정의되었다<sup>[3]</sup>. RESTful은 웹 서비스 개발자나 사용자에게 손쉽게 데이터를 제공할 수 있으며 HTTP를 통해 JSON이나 XML 같은 데이터의 전송을 수행하기 때문에 SOAP와 마찬가지로 프로그래밍 언어 및 OS/제품에 독립적이다.

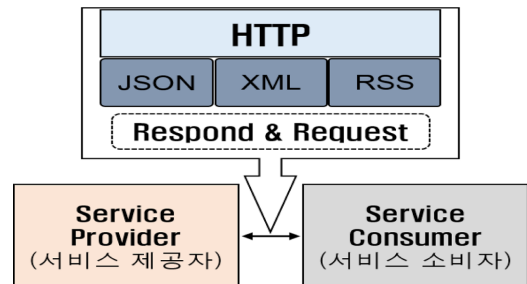


Fig. 2 RESTful conceptual diagram

Fig. 2는 RESTful의 통신 방식을 표현한 diagram이다. 소비자와 제공자는 HTTP의 GET, PUT, POST, DELETE method를 이용해 JSON, XML, RSS의 data format으로 통신을 처리한다.

RESTful은 표준의 부재로 설계에 어려움이 따르지만 구현의 용이성과 빠른 동작이라는 장점을 지닌다.

### 2.2 Open API 동향

웹 서비스를 제공하기 위한 표준(WSDL, UDDI, WS-\*)이 잘 정립된 SOAP는 가장 많이 쓰이는 웹 서비스의 방식이었다. 하지만 표준에 의한 복잡한 구조로 인해 오버헤드가 발생했고 동작이 무거워 상대적으로 속도가 느리며 개발 난이도가 높아 개발 환경의 구축이 어려운 단점을 지니고 있었다. 이러한 단점을 보완하기 위해 2000년에 Roy Fielding는 REST 기반의 웹 서비스를 발표하였고 각광을 받게 되었다. Fig. 3은 Google trend로 분석한 SOAP API와 REST API의 검색빈도를 나타낸다. 자료를 통해 알 수 있듯 REST API의 검색 사용량은 SOAP API의 사용량을 2008년 후반부터 앞지르기 시작하며 그 차이는 해가 넘어갈수록 커지고 있다.

REST API는 API를 제공하는 측면에서 진화 가능성(evolvability)와 유지 보수성(maintainability)의 장점을 갖는다. 하지만 API를 사용하는 측면에서 보면 가독성(readability)이 떨어지는 단점을 지닌다. 성공적인 REST API의 설계는 도메인(domain)의 이해를 돕는 문서(document)의 수준에 달려 있다. API를 제공하는 device 혹은 플랫폼에 대해 기본 지식이 있어야 API를 사용 가능하기 때문에 이를 위한 기본 지식을 잘 정리된 문서가 필요하다. 이 문서에는 API에서 사용된 용어에 대해 기반 지식(background knowledge)이 없는 개발자도 이해할 수 있는 수준으로 기술되어야 한다<sup>[3]</sup>.

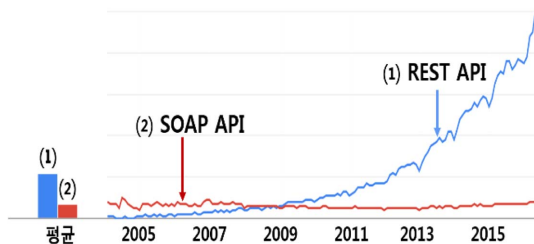


Fig. 3 Google trend: SOAP API vs REST API

4D프린팅 service를 위한 guide 문서의 API설계와 data-server 구축을 3장에서 소개한다.

## 3. 4D printing API

### 3.1 Component data 설계

4D프린팅 웹 서비스를 성공적으로 설계하기 위해서는 적용 가능한 material로 만들어낸 components를 상세하게 기술하고 그 data를 통해 사용자뿐만 아니라 3D 프린터 기기에서도 특정 data를 선별하고 처리할 수 있도록 하여야 한다. Data는 type이 명확하고 중복되지 않으며 튜플(tuple) 단위로 쪼개어 사용할 수 있어야 한다.

Data 설계를 위해 component의 운동과 자극을

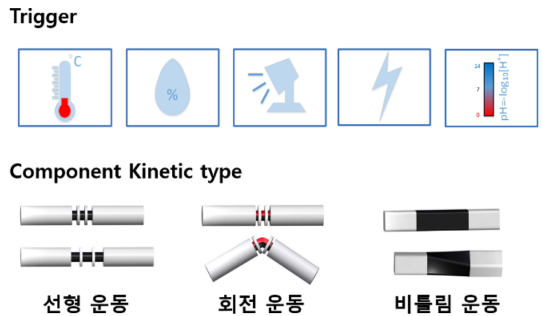


Fig. 4 Trigger and kinetic type

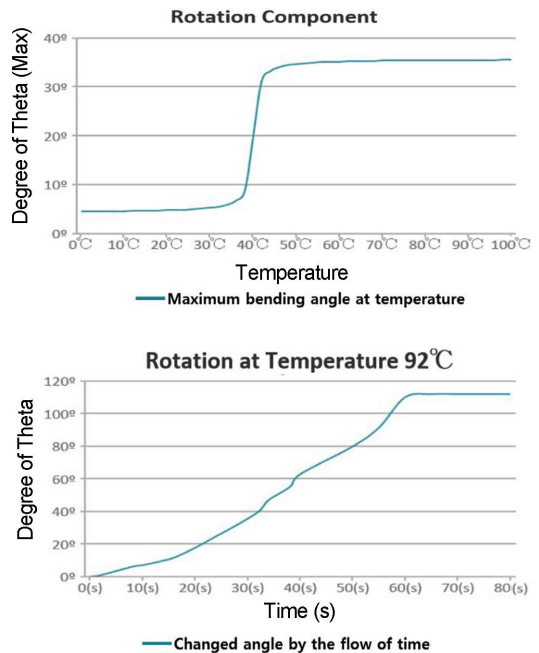


Fig. 5 Trigger: Temperature

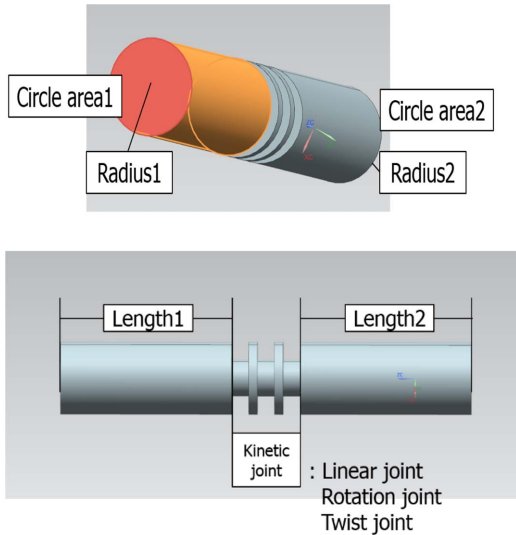


Fig. 6 Component data designation

받는 외부자극요소(trigger)를 정의한다.

Material이 반응하는 자극의 요소는 매우 많다. 본 논문에서는 5가지의 대표적인 자극의 요소를 정하여 data를 설계해 나간다.

외부자극요소(trigger)는 온도, 습도, 빛, 전기, 산도(PH)로 분류하고 자극요소의 크기에 따른 material의 반응변화를 시간을 기준으로 data를 설계하였다.

Fig. 5는 외부자극을 받았을 때 material의 온도에 따른 최대 반응과 특정 온도에서 시간에 따른 반응변화를 나타낸 그래프이다. 온도에 따른 최대 반응변화를 상위 data로 가지며, 이때의 상세 정보를 요청하였을 때, 해당 온도에서 material의 시간에 따른 변화를 하위 data로 제공한다. 이와 같은 방식으로 습도, 빛, 전기, 산도의 외부자극요소의 크기와 그에 따른 반응변화를 정의하고 사용자의 직관적인 이해를 돕기 위해 data를 Fig. 5과 같이 이중 그래프로 표현하였다.

외부자극요소에 따른 component의 반응변화를 kinetic type으로 정의하고 크게 세 가지로 분류하였다. 평행으로 늘어나는 선형 운동, 구부러지는 회전 운동, 뒤틀어지는 비틀림 운동으로 나누고 외력에 따른 적용요소를 length, theta, phi로 구분하였다.

Fig. 6은 component의 data를 설계하기 위한 각 요소의 명칭이다.

Data의 디자인에서 각 component의 운동을 설

명하기 위하여 설계한 부분으로 kinetic joint는 매우 중요하다.

Kinetic joint는 외부자극요소에 의해 실제로 변화하는 component의 구간이다. 각 운동의 kinetic joint는 그 운동에 적합한 조건의 data를 mapping 한다. Linear joint (initial length, final length, trigger start, trigger end), Rotation joint (initial theta, final theta, trigger start, trigger end), Twist joint (initial phi, final phi, trigger start, trigger end)의 형태로 자극과 변화의 시작점과 끝점을 포함하는 data를 연결하여 운동을 설명하도록 설계하였다.

### 3.2 UML 설계

REST API로 설계한 service를 널리 배포하고 이 용하게 하기 위해서는 사용자가 쉽게 이해하고 사용할 수 있는 설명서가 필요하다.

본 논문에서는 설명서를 기술하는 언어로 UML을 사용하였다. UML은 OMG에서 1997년 11월에 객체 모델링 기술과 OOSE 방법론 등을 연합하여 만든 통합 모델링 언어로 객체 지향적 분석, 설계 방법론을 표준화한 모델링 언어이다<sup>[4]</sup>. 잘 만들어진 UML은 관련분야의 지식이 부족하더라도 직관적이며 쉽게 system의 흐름을 이해시킬 수 있다.

Fig. 7은 사용자의 Application에서 구축한 data-server의 data를 이용하는 과정을 설명한 class diagram이다. 사용자는 web에서 사용 플랫폼에 맞는 interface를 다운받아 그에 맞는 class를 생성한다. Interface와 함께 data의 규격을 설명하는 문서를 제공하여 server의 접근을 돕는다. 사용자는 interface를 통해 자신이 원하는 component의 정보를 불러오고 application에 적용하여 사용할 수 있다. Data의 전달은 JSON(JavaScript Object Notation) 형태의 format을 표준으로 한다. JSON은 key와 value로 data를 구분짓는 structure로 data가 가볍기 때문에 정보의 처리속도가 빠르며 언어와 플랫폼에 구애받지 않고 데이터를 전달할 수 있다. Fig. 8은 JSON의 key와 value를 통해 data를 연결하는 그림이다. JSON은 string/value 형태의 쌍으로 collection type을 정의하고 다양한 언어들에서 이 collection은 object, record, structure, dictionary, hash table, key가 있는 list 또는 연상배열로서 실현될 수 있다. 이러한 구조는 보편적인 data 구조로 사실상 모든 현대의 프로그래밍 언어들은 어떠한 형태로든 data 구조를 지원한다.

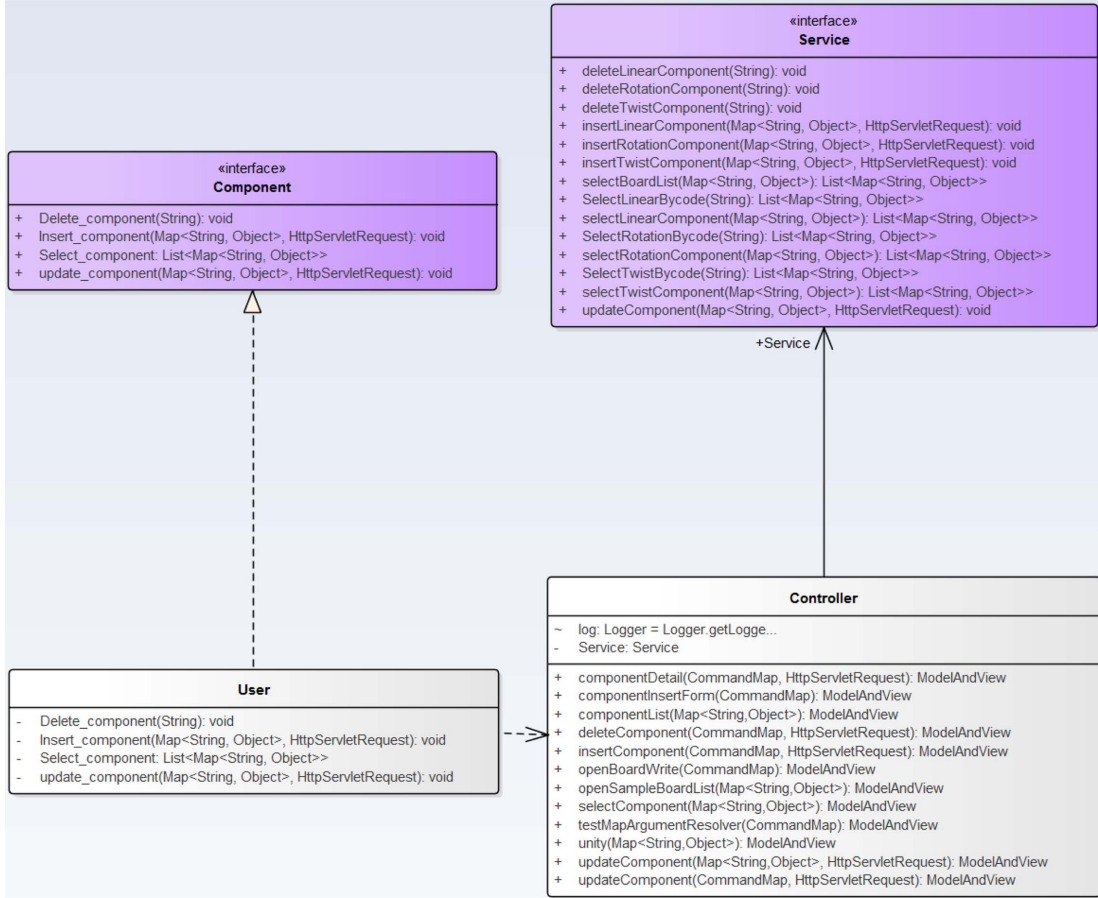


Fig. 7 4D printing interface class diagram

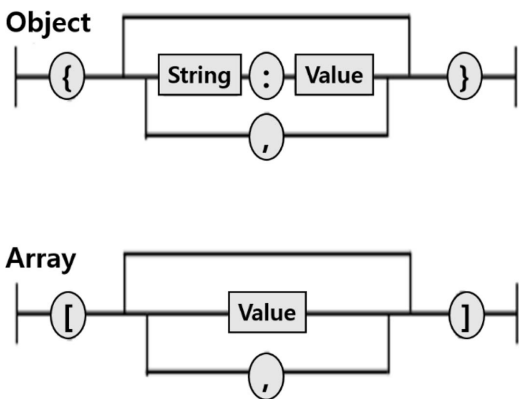


Fig. 8 The structure of JSON

JSON 이외에도 널리 쓰이는 XML 방식으로 data를 처리하고 교환할 수 있도록 controller의 method를 구성하였다. 이와 같은 구조를 지니는 data들은 URL로 쉽고 간편하게 controller에 도달할 수 있

으며 이는 service의 범용적 사용을 도울 것이다.

Fig. 9는 4D printing web에서 제공하는 user interface이다. 사용자는 자신이 등록한 component를 확인하고 수정 및 삭제할 수 있으며 다른 사용자가 올린 component 정보를 열람하여 필요한 정보만을 선택적으로 취합할 수 있다. 취합한 component의 정보들을 simulator로 보내기 전에 간단한 simulation을 web상에서 실행하여 필요한 component를 다시 한번 선별할 수 있다.

Fig. 10은 4D프린팅 웹 서비스의 전체적인 흐름도이다. 사용자는 웹을 통해 component를 제작하고 잘 다듬어진 component를 서로간 공유할 수 있다. 사용하고자 하는 component의 정보를 simulator에 넘기고 component의 변화를 trigger와 시간에 대해 simulation한다. 제작하고자 하는 component와 model의 정보를 3D프린터와 제작자에게 전달하여 제작을 시행한다. 그리고 web을 통해 제작과



# CATALOG






Component	Name	Code	Update	Delete	Download	Select
	Rotaion175	1007	<input type="button" value="Update"/>	<input type="button" value="Delete"/>	<input type="button" value="Down"/>	<input type="button" value="Select"/>
	Rotaion135	1006	<input type="button" value="Update"/>	<input type="button" value="Delete"/>	<input type="button" value="Down"/>	<input type="button" value="Select"/>
	Rotation90	1003	<input type="button" value="Update"/>	<input type="button" value="Delete"/>	<input type="button" value="Down"/>	<input type="button" value="Select"/>
	Rotaion95	1004	<input type="button" value="Update"/>	<input type="button" value="Delete"/>	<input type="button" value="Down"/>	<input type="button" value="Select"/>
	Rotaion105	1005	<input type="button" value="Update"/>	<input type="button" value="Delete"/>	<input type="button" value="Down"/>	<input type="button" value="Select"/>

Fig. 9 4D printing web user interface

징과 배송과정의 정보를 확인하고 최종적으로 사용자는 물품을 받아 component를 model에 적용하여 4D프린팅 model을 완성시킨다.

4D프린팅 웹 서비스는 서로 다른 환경의 사용자와 제작자를 연결하고 data를 교환하여 각자의 needs를 충족시켜 줄 수 있는 사업모델이다. 이 사업모델은 3D프린팅의 사용과 대중화를 장려시키며 동시에 4D프린팅의 개념을 전파하고 사용을 유도하고 변형 가능한 material의 정보를 수집하여 4D프린팅과 관련된 연구를 활성화시키는 기틀이 될 것이다.

#### 4. 결론 및 향후 연구방향

인터넷의 발달과 다양한 스마트 디바이스의 등

장으로 OS/제품의 언어나 플랫폼에 제약을 받지 않고 데이터를 교환하고 처리하는 초연결 시대가 도래하였다. 그에 따라 인터넷과 스마트 디바이스 간에 통신을 기반으로 새로운 융합 mash-up서비스가 출현하였다. 본 논문에서 제안하는 4D프린팅 웹 서비스는 사용자와 제작자를 연결시켜 주는 3D프린팅 시장의 기능을 web을 기반으로 제공하는 mash-up service이다. 이 서비스는 아직은 활성화되지 않은 3D프린팅 시장의 한 영역으로 4D프린팅 제작을 도입시킬 것이다.

향후에는 완성도 있는 웹 서비스 제작을 위해 API의 library를 구축하고 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)의 IDL(Interface Definition Language)를 활용하여 Java, C++, C# 등의 여러 언어로 interface를 구현할 계획이다. 또

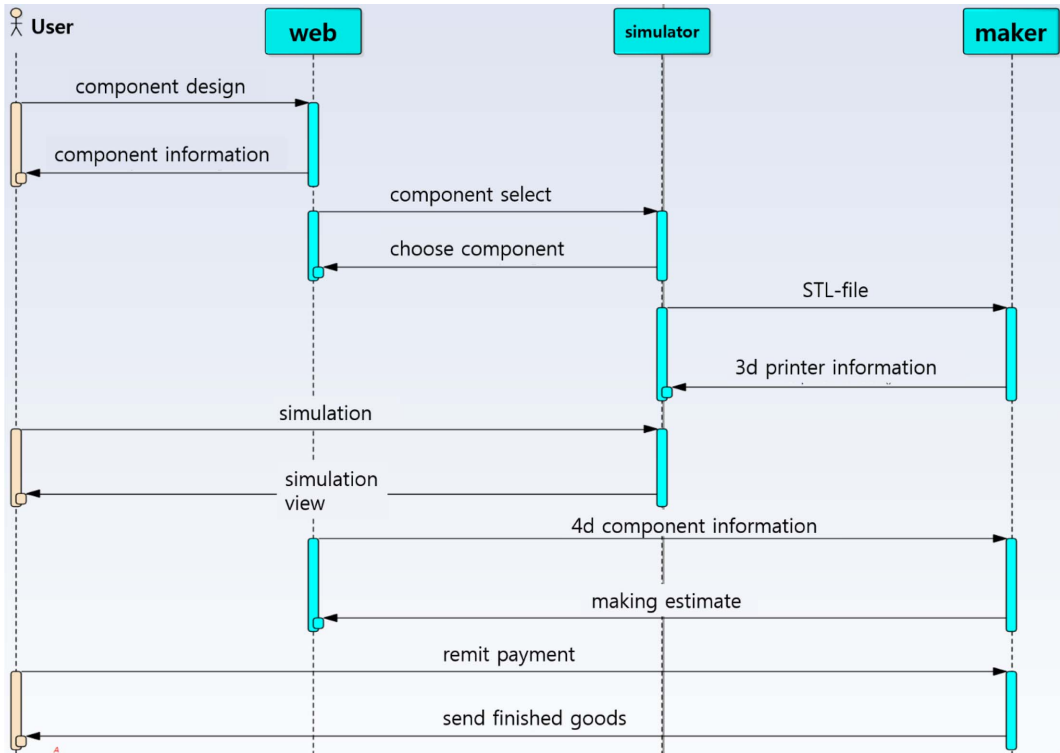


Fig. 10 4D printing service sequence diagram

한 사용자의 데이터를 안전하게 유지하며 통신하기 위해 RSA(Rivest Shamir Adleman) 암호화 기법을 활용하여 시뮬레이터와 web 서버의 데이터를 은닉하는 보안을 적용시킬 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음[R0190-15-2040, 창의소재 활용이 가능한 3D 프린팅 콘텐츠 형상관리 시뮬레이터 연구].

### References

1. Cho, H.H. and Ryu, S.Y., 2014, REST to JavaScript for Better Client-side Development, *Workshop of WS-REST 2014*, Session2: APIs & Consumers.
2. Kim, T.Y. 2015, State of Art on Open API Development, *Journal of KNOM Review*, 18(1).
3. SOAP Web Service, (<http://www.nextree.co.kr/p2010/>).
4. UML: class diagram, (<http://www.nextree.co.kr/p6753/>).



**윤 건 영**

2014년 전남대 물리학 학사  
2015년 광주과학기술원 소프트웨어  
개발 위촉연구원  
2016년~ 한국농수산식품유통공사  
IT부서 사원



**이 용 구**

1992년 서울대 기계설계학과 공학사  
1994년 서울대 기계설계학과 공학  
석사(CAD)  
1997년 서울대 기계설계학과 공학  
박사(CAD)  
1997년~2000년 삼성SDS 책임  
연구원  
2000년~2003년 미국 NIST 객원  
연구원  
2010년~2011년 미국 NIST 객원  
연구원  
2015년~현재 에이탐벤처스 기술 고문  
2015년~현재 리트로핏코리아 CTO  
2003년~현재 GIST 기계공학부 부  
교수  
관심분야: 3D 프린팅, 리버스 엔지  
니어링, 포토닉스, CAD

---