

# WebGPU 기반의 3D 렌더링

## - 디지털 트윈 및 증강 현실 서비스 적용 중심으로 -

□ 강진규 / ㈜공간의파티

요약

최근 GPU의 성능 향상과 웹 API의 발전으로 웹상에서 직접 3D 렌더링을 하려는 시도가 이루어지고 있다. 기존의 WebGL 렌더링의 한계로 인해 웹 브라우저상에서 3D 그래픽 구현 시, 3D 데이터의 최적화를 위해 품질을 낮춰 구현하거나 일부 기능을 제한하는 형태로 구현되었다. 최근 이러한 한계를 극복하기 위해 새로운 API인 WebGPU가 크롬 113 버전부터 지원이 가능해졌다. 따라서 본고에서는 가상 증강 현실에서의 WebGPU에 대한 정의 및 기술에 대하여 살펴보고, 디지털 트윈 및 증강 현실 서비스 환경에서의 기존의 WebGL과 WebGPU를 비교하고자 한다.

## I. 서론

인터넷과 웹 기술의 발전은 단순 문자 형태의 표현을 시작으로 2D 이미지, 3D 데이터와 같은 다양한 형태의 콘텐츠를 웹에서 구현할 수 있게 하였다. 기존에는 웹에서 고사양의 그래픽 렌더링을 위해서는 클라우드 기반의 리모트 렌더링(스트리밍 방식의 클라우드 렌더링)과 같은 기술이 연구되었으나 GPU의 성능 향상과 웹 API의 발전으로 웹상에서 직접 3D 렌더링을 하려는 시도가 이루어지

고 있다. 근래에는 디지털 트윈이나 증강 현실, 메타 휴먼 등을 위한 고품질의 3D 렌더링 작업을 WebGL을 활용하여 Three.js나 Babylon.js, Cesium과 같은 라이브러리를 통해 구현하고 있다.

일반적으로 고품질의 3D 렌더링을 위해서는 고성능 3D 그래픽 처리 장치(HW) 및 데이터 병렬 계산(SW)이 필요하다. 웹 기반의 애플리케이션의 경우, 크로스 플랫폼에서 구현된다는 장점이 있으나, WebGL 렌더링의 경우 고품질 렌더링이 어렵다는 한계가 있다. 때문에 웹 브라우

저상에서 3D 그래픽 구현 시, 3D 데이터의 최적화를 위해 품질을 낮춰 구현하거나 일부 기능을 제한하는 형태로 구현한다. 이러한 한계를 극복하고자 개발 중인 WebGPU가 23년 4월에 발표되었다. WebGPU는 기존 WebGL을 대체하여 고품질의 웹 기반 그래픽을 처리할 수 있는 차세대 API이다.

본고에서는 최신의 WebGPU의 발전과 응용 사례에 대해 알아보하고자 한다. 2장에서는 WebGPU를 설명하고, 3장에서는 WebGPU의 대표적인 적용 사례인 디지털 트윈에 대해 설명한다. 4장에서는 WebGPU를 활용한 웹 기반 디지털 트윈, 증강 현실 서비스 적용 사례를 알아보고 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. WebGPU

WebGPU는 웹 기반 그래픽 및 연산 작업을 위한 고효율 API이다. 2023년 5월 2일에 Google의 Chrome 113 버전에서 정식 지원을 시작하였고, 현재 Mozilla의 Firefox와 Apple의 Safari 및 모바일 버전을 위해 개발 중이다. <그림 1>은 현재 지원하는 브라우저를 나타낸 것이다.

WebGPU는 최신 그래픽 하드웨어의 성능을 최대한 활용하기 위해 설계되었으며, GPU 자원을 효율적으로 관리하고 그래픽 렌더링 작업을 효과적으로 분배하는 기능을 제공한다. WebGPU를 이용하여 개발 시, 개발자는 최신 GPU의 모든 기능을 활용할 수 있으며, 웹 애플리케이션에서 직접 고급 그래픽 효과, 데이터 병렬 처리 및 기타 집약적인 컴퓨팅 작업을 할 수 있다. WebGPU의 개발은 3D 그래픽을 웹으로 가져오려고 했던 WebGL로부터 시작되었다고 볼 수 있다. 개발자 측면에서 WebGL을 활용하여 개발 시, 제한적 기능 구현과 복잡한 개발 형태로 인한 문제점들에 직면하게 되어, 보다 효율적이고 유연한 그래픽 API에 대한 필요성이 대두되었다. WebGL도 웹에서 GPU 기능에 액세스할 수 있는 방법을 제공했지만, GPU 리소스에 대한 제한적 제어, JavaScript 중심으로 프로그래밍을 해야 하는 단점들이 있다. WebGPU는 WebGL API에 비해 보다 효율적이고, 유연한 그래픽 프로그래밍이 가능하도록 설계되었다. WebGPU API는 Vulkan 및 Direct3D 12와 같은 저수준 그래픽 API의 영향을 많이 받았다. <그림 2>는 WebGL과 WebGPU의 기반 API와 지원하는 브라우저를 비교한 것이다.

다음은 WebGPU의 주요 특징이다.

	PC					Mobile					
	Chrome	Edge	Firefox	Opera	Safari	Chrome Android	Firefox for Android	Opera Android	Safari on iOS	Samsung Internet	WebView Android
GPU 	✓ 113 *	✓ 113 *	◆ Nightly	✗ No *	✗ No	✗ No	✗ No	✗ No	✗ No	✗ No	✗ No

<그림 1> WebGPU를 지원하는 브라우저



<그림 2> WebGL과 WebGPU를 지원하는 브라우저 비교

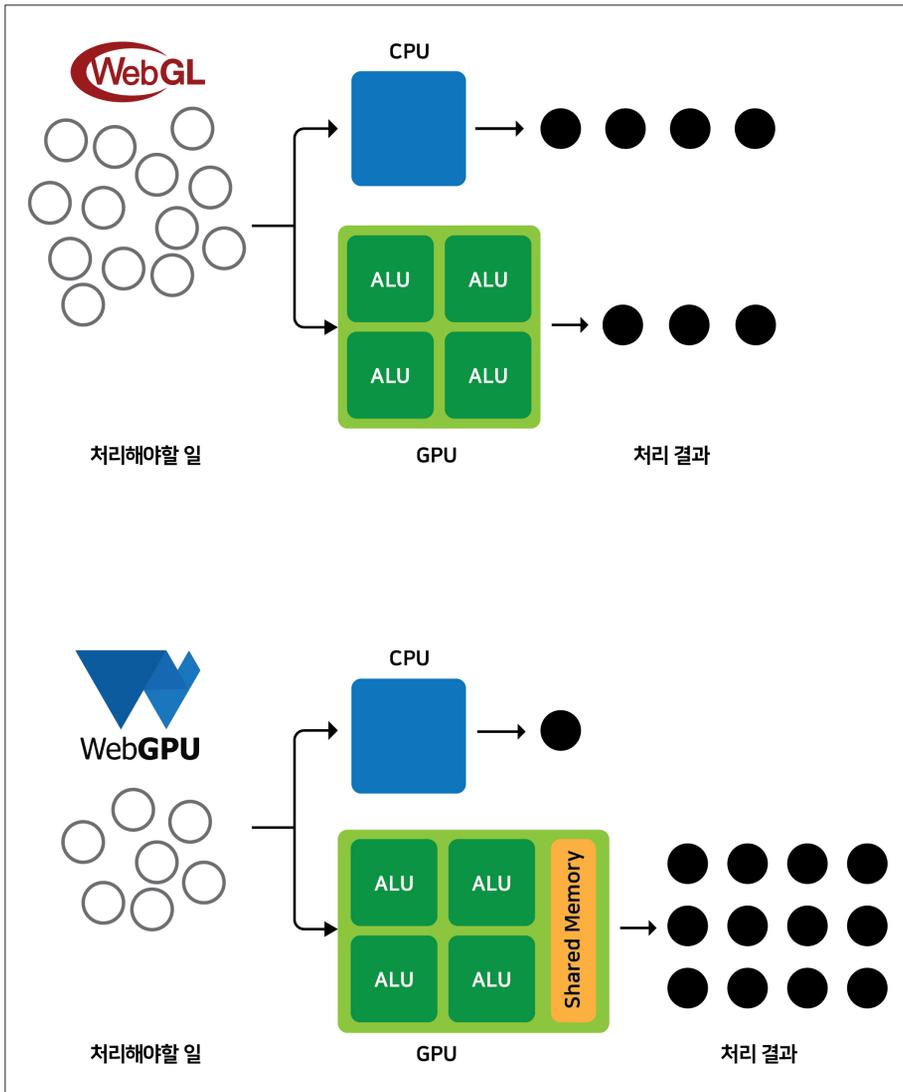
① WebGPU는 개발자가 버퍼, 텍스처 및 셰이더와 같은 GPU 리소스를 세밀하게 제어할 수 있는 저수준 API를 제공한다. 리소스 관리 모델을 도입하여 메모리 사용을 제어할 수 있고, 리소스 처리와 관련된 오버헤드를 줄인다. 이를 통해 개발자는 GPU의 병렬 처리 기능을 효율적으로 활용하여 고품질의 그래픽 결과물을 보여줄 수 있다.

② WebGPU는 크로스 플랫폼 API로 설계되었다. Google, Mozilla, Apple 및 Microsoft를 포함한 주요 브라우저 개발/공급 관련 기관으로 구성된 WebGPU 워킹 그룹에서 웹에서의 그래픽 구현 표준으로 개발하고 있다. 현재 윈도우나 리눅스 PC Chrome에서만 정식 지원되고 있으나 다양한 브라우저와 플랫폼용으로 개발 중이다.

③ 그래픽 렌더링 외에도 WebGPU는 GPU를 이용한 범용 컴퓨팅(GPGPU)을 지원한다. 이는 개발자가 데이터 처리, 시뮬레이션, 기계 학습과 같은 그래픽 이외의

고성능 연산 작업에 GPU의 병렬 처리 기능을 사용할 수 있음을 의미한다. 최신 GPU의 대규모 병렬 처리를 이용하면 계산량이 많은 작업에서 상당한 성능 향상을 보여준다.

④ WebGL과 WebGPU는 모두 웹 기반 그래픽 작업을 위한 API이지만 입력 데이터를 처리하는 방식에 차이가 있다. WebGL은 API 호출을 통해 GPU에 데이터를 순차적으로 전달하므로 병렬 처리가 어려운 특징이 있다. 렌더링이나 계산 작업 시 매 과정마다 CPU와 GPU 간 데이터 이동이 발생하므로 API 호출이 늘어날수록 성능 저하가 발생하기 쉽다. 그에 반해 WebGPU는 명령 버퍼와 파이프라인을 사용하여 병렬 처리가 가능하다. 명령 버퍼는 GPU에서 병렬로 실행할 명령어들을 사전에 정의하여 GPU에 일괄로 전달하는 역할을 하며, 파이프라인은 렌더링이나 계산 작업 시 처리 순서 및 처리 방식을 미리 정의하므로 재사용이 용이하고 성능 최적화에 유리하다. GPU 사용에 있어 WebGL에 비해 세밀한 제어가 가능하므로 고품질 렌더링이나 복잡한 계산과 같은 고성능 작업



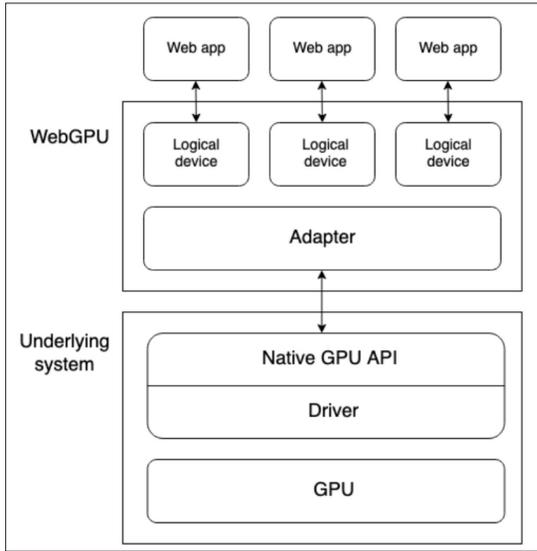
<그림 3> WebGL과 WebGPU의 연산 과정 비교

에 유리하다.

⑤ WebGPU의 또 다른 주목할 측면은 보안 부분이 강화되었다는 점이다. GPU 코드 실행을 위한 샌드박스 환경을 제공하여 악의적이거나 최적화가 제대로 되지 않은 코드가 시스템 안정성이나 사용자 경험에 영향을 미치

지 않도록 방지한다. 이 샌드박스 접근 방식은 WebGPU를 활용하는 웹 기반 애플리케이션이 다양한 장치 및 플랫폼에서 안전하고 안정적으로 실행될 수 있도록 지원한다.

〈그림 4〉는 WebGPU의 작동 프로세스를 나타낸 것이다.



<그림 4> WebGPU 작동 프로세스 (출처: Mozilla Docs)

### III. 디지털 트윈 3D 시각화

디지털 트윈(Digital Twin)은 현실 세계의 물리적 개체를 디지털 가상 객체로 만들고, 라이프 사이클 전반에 걸쳐 실시간 데이터를 사용하여 업데이트하고, 시뮬레이션, 머신 러닝, 추론 등을 통해 의사 결정을 돕는 객체 또는 시스템의 모델을 말한다. 디지털 트윈은 제품 등의 수명 주기 관리 수준을 훨씬 능가하는 새로운 기능을 제공하여 미래 모든 산업의 설계, 개발 및 운영에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

디지털 트윈은 군사 및 항공 우주 분야, 그리고 제조 산업 분야의 디지털 전환, 스마트 시티 분야에서 빠르게 도입되면서 실용화되고 있다. 최근의 디지털 트윈은 메커니즘 시각화, 이상 진단, 위험 예측, 의사 결정 지원 및 기타 응용 프로그램과 연계되어 운송 및 의료와 같은 산업으로도 확장되고 있다.

디지털 트윈에서의 3D 시각화는 다양한 데이터를 3차원 그래픽으로 표현한 것이다. 여기에는 디지털 트윈이 장비, 시설의 3D 데이터 위에 센서 정보, 유지 보수 이력 정보 등 다양한 정보를 시각화하는 것을 포함한다. 이를 직

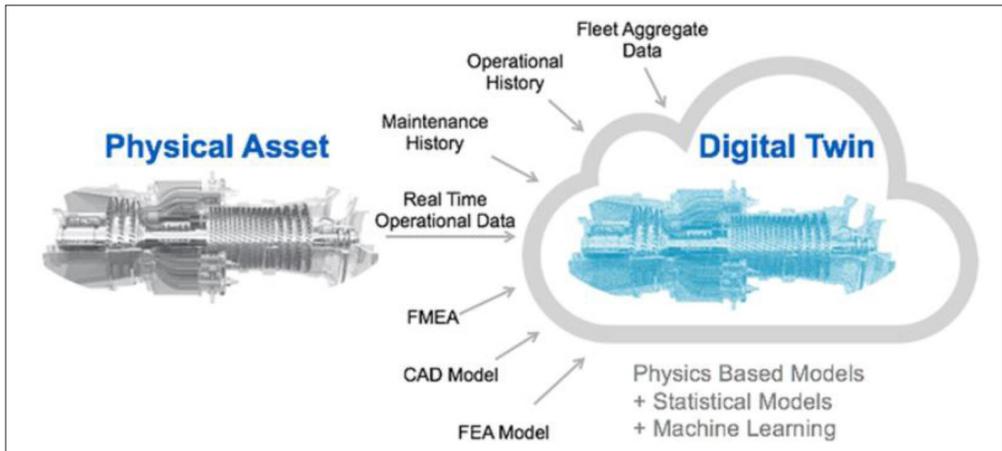
관적으로 시각화한 디지털 트윈을 이용하여 관리자, 현장 작업자가 효율적으로 시설 및 장비를 유지 보수 관리할 수 있게 지원한다. 이때 3D 시각화는 사실적이고 몰입감 있게 표현되어 물리적 개체, 시스템 또는 환경을 디지털 트윈을 통해 이해, 분석하고 데이터와 인간의 상호 작용을 향상시킨다.

3D 시각화는 디지털 트윈 시스템상의 기본틀이면서 동시에 기존의 디지털화된 HMI(Human Machine Interface)와 큰 차이를 보인다. 사용자는 실시간에 가깝게 업데이트된 센서 데이터, 시설 현황 등에 대한 조회, 제어 및 이벤트 대응이 가능하다. 여기에는 디지털 트윈 내에서 특정 구성 요소 또는 관심 영역을 회전, 확대/축소, 패닝 및 선택하는 작업이 포함될 수 있다. 상호 작용에는 시나리오를 시뮬레이션하거나 변경 사항을 적용하거나 동적 동작을 관찰하는 기능도 포함된다.

특히, 웹 기반의 디지털 트윈 시스템은 기존의 웹 기반 HMI, CCTV 등 기존 관리 시스템과의 연계가 수월하고, 커스터마이징 솔루션들로 확장 가능하기에 APP에 비해 상대적 약점으로 여겨졌던 고퀄리티 3D 렌더링이 WebGPU를 통해 가능해지면서 빠르게 새로운 디지털 트윈의 트렌드로 자리잡고 있다. 디지털 트윈의 3D 시각화, 컴퓨터 그래픽 및 가상 현실과 관련된 몇 가지 표준 및 사양은 다음과 같다. 이는 3D 시각화 기술에 대한 지침, 형식 및 상호 운용성 프레임워크를 제공한다.

① COLLADA(COLLaborative Design Activity): COLLADA는 3D 모델 및 자산을 위한 XML 기반 교환 형식이다. 서로 다른 소프트웨어 응용 프로그램 및 플랫폼 간에 3D 모델을 교환할 수 있으므로 상호 운용성과 일관된 시각화가 가능하다.

② WebGL(웹 그래픽 라이브러리): WebGL은 웹 브라우저 내에서 대화형 3D 그래픽을 렌더링하기 위한 JavaScript API이다. 이를 통해 웹 애플리케이션은 하드웨어 가속 3D 렌더링을 위해 GPU(Graphics Processing



<그림 5> 디지털 트윈 개념 (이미지 출처: Entso-E)

Unit)를 활용할 수 있으며 웹 기반 3D 시각화를 위한 표준화된 접근 방식을 제공한다.

③ OpenSceneGraph: OpenSceneGraph는 실시간 3D 애플리케이션 구축에 널리 사용되는 오픈 소스 3D 그래픽 툴킷이다. 대화형 3D 시각화 개발을 위한 프레임워크를 제공하고 다양한 파일 형식과 렌더링 기술을 지원한다.

④ VRML(Virtual Reality Modeling Language): VRML은 대화형 3D 개체 및 장면을 설명하기 위한 개방형 텍스트 기반 파일 형식이다. 가상 현실 및 3D 시각화 응용 프로그램에서 사용된다.

<그림 5>는 디지털 트윈의 개념에 대해 나타낸 것이다.

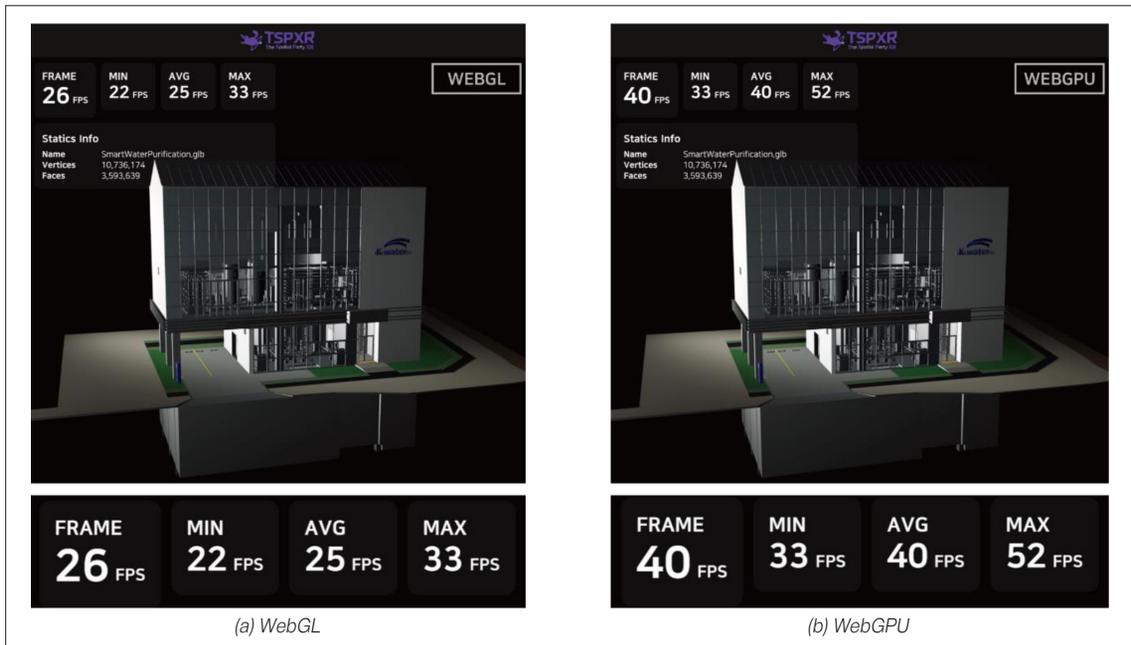
#### IV. WebGPU 기반 3D 렌더링: 디지털 트윈/증강 현실

WebGL은 기존의 웹 그래픽 API의 표준이었으나,

WebGPU가 새로운 표준으로 자리잡았다. 본 장에서는 WebGL과 WebGPU의 성능을 비교하기 위해 디지털 트윈 시스템과 증강 현실 시스템에서 3D 렌더링 성능을 비교하였다. 고품질 3D 그래픽스 처리 및 렌더링에서는 WebGPU가 WebGL에 비해 향상된 성능을 보였다. 이러한 결과는 WebGL의 한계를 넘어서 WebGPU가 새로운 웹 그래픽스 표준이 될 수 있음을 시사한다.

<그림 6>은 스마트 정수장의 디지털 트윈 3D 데이터를 WebGL과 WebGPU를 사용하여 렌더링한 결과를 나타낸 것이다. 비교를 위해 약 1,000만 개의 점과 350만 개의 면으로 구성된 디지털 트윈 탑재용 3D 데이터를 사용하였고, FXAA(Fast approximate anti-aliasing)를 적용하여 진행하였다. 렌더링 결과 WebGL의 경우 최소 22FPS(초당 프레임 수)에서 최대 33FPS의 성능을 보였으며 평균 25FPS를 기록하였다. WebGPU의 경우 최소 33FPS에서 최대 52FPS의 성능을 보였으며 평균 40FPS를 기록하여 WebGL과 비교하여 평균 프레임 기준 60%의 성능 향상을 보였다.

<그림 7>은 증강 현실 서비스에 WebGL과 WebGPU를 사용하여 렌더링한 결과를 나타낸 것이다. 모바일용 브라우저에서 WebGPU를 지원하지 않으므로 PC 크롬에 웹캠을 사용하여 구현하였다. 비교를 위해 약 8만 개의



<그림 6> 디지털 트윈 적용 사례 및 렌더링 결과 (이미지 출처: ㈜공간의파티)



<그림 7> 증강 현실 적용 사례 및 렌더링 결과 (이미지 출처: ㈜공간의파티)

점과 14만 개의 면으로 구성된 3D 데이터를 사용하였다. WebGL의 렌더링 결과는 최소 33FPS에서 최대 50FPS의 성능을 보였으며, 평균 46FPS를 기록하였다. WebGPU의

경우 최소 47FPS에서 최대 58FPS의 성능을 보였으며, 평균 53FPS를 기록하였다. WebGL과 비교 시 평균 프레임 기준 약 15.2%의 성능 향상을 보였다.

## V. 결론

인터넷과 웹 기술의 발전으로 웹상에서 다양한 콘텐츠를 제공할 수 있게 되었으나 고사양 그래픽 렌더링에는 한계가 있었다. 디지털 트윈이나 증강 현실, 메타 휴먼 등을 웹에서 구현하기 위해 WebGL과 같은 기술을 사용하였으나 성능상의 문제로 품질을 낮춰 3D 데이터를 처리하였다. 이러한 문제를 극복하기 위해 WebGL을 대체하여 웹 기반 그래픽 처리할 수 있는 WebGPU API가 개발

되었고, 본고에서는 최근 정식으로 공개된 WebGPU API를 이용하여 기존의 WebGL과 웹에서의 3D 렌더링 속도 결과를 비교해 보았다. 동일한 데이터에 대한 렌더링 비교 결과, 3D 데이터가 복잡할수록 WebGPU가 WebGL에 비해 성능이 우수함을 확인하였다. 향후, WebGL을 대체하여 웹상에서 디지털 트윈이나 증강 현실과 같은 고품질 3D 렌더링이 요구되는 서비스들이 WebGPU를 통해 수월하게 구현되리라 예상된다.

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT기반 개방형 혁신 제품·서비스 개발지원사업의 일환으로 수행하였음.  
[RS-2022-00156041, 증강현실 인터리어 서비스를 위한 객체/도면생성 기술 및 웹 어플리케이션 개발]

## 참 고 문 헌

- [1] World Wide Web Consortium (W3C), <https://www.w3.org/TR/webgpu>
- [2] Mozilla Foundation, [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGPU\\_API](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGPU_API)
- [3] Fransson, Emil, and Jonatan Hermansson. "Performance comparison of WebGPU and WebGL in the Godot game engine." (2023)
- [4] Kimmersdorfer, Gerald, Dominik Wolf, and Manuela Waldner. "WebGPU for Scalable Client-Side Aggregate Visualization." (2023)
- [5] Yang, Lijuan. "Recommendations for metaverse governance based on technical standards." *Humanities and Social Sciences Communications* 10,1 (2023): 1-10
- [6] Hyun, Wook. "Study on standardization for interoperable metaverse." *2023 25th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. IEEE, 2023

## 저 자 소 개



### 강진규

- 고려대학교 지구환경과학과 학사
- UPenn 건축 석사
- (전) SHAPE in UAE 건축디자이너
- (전) 성균관대학교 서피스학과 디지털디자인 스튜디오 겸임교수
- (전) 세종대학교 건축학과 스튜디오 강사
- (현) ㈜공간의파티 대표
- 주관심분야 : 웹 기반 디지털 트윈, 3D 그래픽스, 3D 공간정보 데이터, AR AE(AR Architectural Environments) 등