

2006호

2021.07.21.

ISSN 1225-6447

Weekly ICT Trends

# 주간기술동향



- 「주간기술동향」은 과학기술정보통신부 「ICT 동향분석 및 정책지원」 과제의 일환으로 정보통신기획평가원 (IITP)에서 발간하고 있습니다.
- 「주간기술동향」은 인터넷(<http://www.itfind.or.kr>)을 통해 서비스를 이용할 수 있으며, 본 고의 내용은 필자의 주관적인 의견으로 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.
- 정보통신기획평가원의 「주간기술동향」 저작물은 공공누리 “출처표시-상업적 이용금지” 조건에 따라 이용할 수 있습니다. 즉, 공공누리의 제2유형에 따라 상업적 이용은 금지하나, “별도의 이용 허락”을 받은 경우에는 가능하오니 이용하실 때 공공누리 출처표시 지침을 참조하시기 바랍니다.  
(<http://www.kogil.or.kr/info/license.do> 참고)

예시) “본 저작물은 ‘000(기관명)’에서 ‘00년’ 작성하여 공공누리 제0유형으로 개방한 ‘저작물명(작성자:000)’을 이용하였으며, 해당 저작물은 ‘000(기관명), 000(홈페이지 주소)’에서 무료로 다운받을 수 있습니다.”





**기획시리즈:**  
**AR/VR/MR**

**가상현실 기반  
건설 시뮬레이션 기술 동향**

서명배\_한국건설기술연구원 연구위원

I. 서론	2
II. 가상현실 기술 국내외 접목 사례 소개	4
III. 시장선도가 가능한 가상건설 시뮬레이션 기술	8
IV. 결론	11

**ICT 신기술**

**파이썬과 넘파이를 이용한 수치  
데이터 처리 성능 이슈**

황미영\_한국과학기술정보연구원 선임연구원  
강영민\_동명대학교 교수

I. 서론	13
II. 파이썬의 한계와 성공 배경	14
III. 넘파이와 파이썬 리스트의 차이	16
IV. 넘파이의 고성능 데이터 처리	18
V. 작업 병렬화 이슈	23
VI. 결론	25

**ICT R&D  
동향 1**

**개별분리 아키텍처 클라우드를 위한  
이기종 신뢰 실행기술 체계**

김건우\_한국과학기술원 박사과정

I. 결과물 개요	27
II. 기술의 개념 및 내용	27
III. 국내외 기술 동향 및 경쟁력	28
IV. 국내외 시장 동향 및 전망	30
V. 기대효과	31

**ICT R&D  
동향 2**

**사이버범죄 활동 정보추적 기술**

박순태\_한국인터넷진흥원 책임연구원

I. 결과물 개요	33
II. 기술의 개념 및 내용	33
III. 국내외 기술 동향 및 경쟁력	34
IV. 국내외 시장 동향 및 전망	36
V. 기대효과	38

Chapter  
01

# 가상현실 기반 건설 시뮬레이션 기술 동향

서명배\_한국건설기술연구원 연구위원

건설 분야에의 가상현실 적용기술은 3차원 설계기술인 BIM, COVID-19 및 메타버스 등의 등장과 더불어 언택트 기반의 새로운 패러다임 선도 기술로 주목받고 있다. 실제로 건설은 시공이 완료된 후에는 수정에 많은 비용이 들기 때문에 설계단계에서 가상현실 기술을 활용하여 설계검토 및 시공검토를 수행하는 사례가 증가하고 있다. 또한, 증강현실이나 혼합현실 기술을 활용하여 시공단계에서 공정검토, 자재점검 등이 가능하고 시설물 유지관리 단계에서는 눈에 보이지 않는 시설물을 관리하는 등 다양하게 활용되고 있는 실정이다. 하지만 아직 시장에 제대로 활용되고 있지 못하며 대부분 수주를 위한 추가제안 등으로 가상현실 기술을 활용 중에 있다. 본 고에서는 국내외에서 건설 분야에 활용되는 다양한 사례를 소개하고 궁극적으로 기존 건설 프로세스를 개선하고 스마트시티 등에 확대 적용할 수 있는 새로운 건설 시뮬레이션 개발사례를 제시하고자 한다. 또한, 가상현실이 건설에 접목된 새로운 시장 개척을 위해 필요한 사항에 대해 고찰하고자 한다.

## I. 서론

2018년 국토교통부는 건설 분야 생산성 향상 및 안전성 제고를 위해 4차 산업혁명에서 다루고 있는 최신 정보통신 기술을 건설 분야에 접목해서 생산성을 향상시킬 수 있는 「스마트건설기술로드맵」을 발표하였다[1]. 이는 건설현장의 고령화, 위험작업 기피현상 심화, 숙련 인력의 급격한 감소, 근로시간 단축, 외국인 노동자 증가 등에 따른 대응 전략 마련의 필요성이 부각됨에 따라 건설 분야 혁신을 위한 성장산업에 투자하면서 미래 시장을 선도하고자 하는 정부의 의지가 내포되어 있다. 스마트 건설 기술은 건설 분야에 최신 ICT 기술을 접목하여 새로운 산업을 육성하기 위한 전략의 일환으로 3D 모델링 기술인 BIM(Building Information Modeling), 로봇, 드론, 빅데이터, IoT, AI, 가상/증강현실, 모바일 등을 융합

\* 본 내용은 서명배 연구위원(☎ 031-910-0051, smb@kict.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

\*\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.



<자료> 국토교통부

[그림 1] 국토교통부의 스마트건설기술 로드맵

하여 건설 전 단계에 걸쳐 건설기술을 스마트화하는 것을 말한다. 특히, 3차원 설계 기술인 BIM을 기반으로 XR(eXtended Reality)을 포함한 최신 가상현실 기술과 첨단 센서 등을 융합한 새로운 시장에 대한 요구가 급속히 증가하고 있다. 국토교통부의 스마트건설기술 로드맵에는 설계 분야에서 VR 기반의 대안검토 활용 가능성을 제시한 바 있다([그림 1] 참조).

GS건설은 2016년 BIM을 활용한 시공 장비 시뮬레이션을 기반으로 한 최적의 공법활용방안을 제시해 해외 선진 건설사를 제치고 1조 7,000억 원 규모에 해당하는 “싱가포르 차량기지 프로젝트”를 단독으로 수주하였다. 최근 BIM 설계 의무화에 따라 건설과 가상현실이 접목된 기술은 시공사, 발주자, 설계사뿐만 아니라 일반시민인 민원인 등 건설과 관련된 다양한 이해당사자들이 설계 단계 성과품 검토, 시공성 검토, 유지관리 분야에 활용이 가능하기 때문에 건설 프로세스 혁신 가능성이 매우 높으며, 스마트시티 등과 연계하여 디지털 트윈(Digital Twin) 기반기술로도 활용 가능성이 높다. 또한, 가상현실 기술을 단순 시각적인 효과가 아닌 사용자 경험을 바탕으로 한 체험기술로 발전시키고 이를 근간으로 설계인증, 법규검토, 시공교육 등에 활용 시 효과는 무궁무진하다고 할 수 있다[2].

본 고에서는 건설 분야에 가상현실 기술을 접목한 사례를 소개하고 현재 가상건설 기술이 활성화되고 있지 못한 원인 분석과 이를 해결하기 위한 방법, 그리고 현업에서 활용성이 높은 대표적인 가상건설 시뮬레이션 기술을 소개하고자 한다. 이를 위해 II장에서는 기획/설계, 시공/유지관리, 재난/재해, 교육 및 협업 분야 등 건설 전 단계에 걸쳐 가상현실 기술 국내외 접목사례를 소개하고, III장에서는 BIM을 기반으로 가상건설을 활성화하기 위한 데이터 경량화 방안 및 가상건설 접목 사례 중 대표적으로 시장선도가 가능한 VR 기반 화재, 소음 시뮬레이션 기술과 AR과 MR을 접목한 시설물 유지관리 사례를 소개하였으며, IV장에서 본 고의 결론을 제시하였다.

## II. 가상현실 기술 국내외 접목 사례 소개

가상현실(Virtual Reality: VR) 기술은 건설 분야 설계단계, 증강현실(Augmented Reality: AR)과 혼합현실(Mixed Reality: MR) 기술은 건설 시공이나 유지관리 분야에서 활용 가능



〈자료〉 한국건설기술연구원 자체 작성

[그림 2] 건설 분야에 활용 중인 가상현실 기술

성이 높다. 미국의 AECOM과 Marquette 대학 등에서는 도시설계, 건축물설계, 도로설계 검토 등에서 VR 기술을 기반으로 한 의사결정에 활용하고 있고, 핀란드 국립연구소인 VTT 나 미국의 Bentley에서는 시공/유지관리 분야에서 증강현실 기술을 주로 활용하고 있으며, 재난사고가 빈번한 일본은 가상현실 기술을 활용하여 재난, 재해 시뮬레이션에 활용중이다. 그 외에도 시공교육, 유지관리, 원격 협업 분야에도 활발하게 사용 중이다([그림 2] 참조). 국내에서는 건설 분야에 가상현실 기술을 접목하기 위한 다양한 사례가 최근 발표되고 있으나 주요 의사결정 지원, 프로젝트 수주 지원이나 대형 건설사들이 아파트 분양 등의 홍보를 위해 사이버 모델하우스에서 활용하는 등 현업을 대체하기 위한 용도로 활용되는 사례는 많지 않다. 최근 3차원 모델링 기술인 BIM이 의무화되면서 Revit, Rhino 등 3D 모델링 저작도구와 호환되는 가상현실 Third Party 도구를 활용하여 설계검토를 하는 사례는 증가하고 있으나 현업 적용이 아닌 테스트 수준에 머무르고 있다.

## 1. 건축설계

건축 모델을 VR/AR 기반의 혼합형 현실(Mixed reality) 기술과 연동하고 상호작용할 수 있도록 하여 건설업계의 기존 건축 설계 방식에 혁신을 불어넣고 있다. 미국의 트림블(Trimble)사는 마이크로소프트사와의 협업을 통해 혼합현실 장비인 홀로렌즈의 웨어러블 홀로그래픽 기술을 활용하여 빌딩 및 구조 설계 작업의 효율성 개선을 도모하였다[3]. 시공 현장에서 직관적으로 3D 도면 데이터 확인이 가능하고, 원거리에 있는 업체들 간에 협업을



(a) 혼합형 현실 기반의 건축 설계(트림블)



(b) 개발된 AR 스케일(어반베이스)

〈자료〉 Trimble(미국), 어반베이스(한국)

[그림 3] 건축설계 분야 적용 현황

실시간으로 할 수 있는 장점이 있다. 이는 전문가에 국한된 것이 아니라 비전문가도 자유롭게 도면을 검토할 수 있고 정보를 쉽게 검색할 수 있다.

국내 3D 공간데이터 플랫폼 스타트업 어반베이스는 기존의 건축물의 평면도를 3D로 변환하는 것을 넘어서 AR 기술을 기반으로 건축전문 3D 클라우드 기반의 증강현실 프레젠테이션 서비스인 'AR스케일'을 개발하였다[4]. 건축 전문가가 실제 자기의 건축 설계안을 다른 사람들에게 보여주기 위해 실제 모형을 제작하지 않고 AR스케일을 통해 1:1 스케일 모델을 활용하여 실제 건축부지에 3D 모델을 띄어 주변 환경과 건축물의 조화를 미리 확인할 수 있는 특징이 있다(그림 3) 참조).

## 2. 시설물 관리

2018년 12월에 고양시에서 지하시설물 점검을 제대로 하지 않은 상태에서 지하 공사 도중 온수배관 파열로 인한 인제가 발생하였다. 정확한 온열 배관 위치만 알았다면 인재를 막을 수 있었던 안타까운 사고가 발생한 것이다.

캐나다 스타트업 기업 Meemim은 지하 시설물 관리를 위해 공간정보를 AR 기술을 통해 시각화할 수 있는 솔루션을 제공하고 있다[5]. Meemim의 'vGIS' 앱은 Microsoft와 Esri의 협업을 통해 GIS와 AR 기술, 그리고 클라우드 기술을 기반으로 만들어진 서비스이다. 해당 서비스는 도로 아래, 즉 지하에 있는 시설물을 위치 데이터와 LiDAR 스캔 기능을 통해 3D 모델화시킨 후 렌더링 작업을 통해 보다 시각적으로 입체감 있게 보여준다. 더불어 vGIS



(a) AR 기술 기반의 지하 관로 뷰(차후)



(b) vGIS 앱 사용된 뷰(Meemim)

〈자료〉 차후(한국), Meemin(캐나다)

[그림 4] AR 기술을 활용한 지하시설물 관리 사례



앱을 통해 현장 근로자는 지하 시설물에 대한 관리 작업을 보다 정확하고 짧은 시간 안에 끝낼 수 있다.

국내 기업 차후사는 “Smart Facility Management System” 개발을 통해 지하 시설물 배수관로에 대한 위치를 AR 기술을 기반으로 정확히 파악할 수 있어 지하시설물 관리의 종합적인 시스템화가 가능할 것으로 보인다[6].

특히, 과거에 매설된 관로에 대해서 보유하고 있는 자료를 변환하여 중요한 전력선 및 상수도관 등의 사전 탐지가 가능할 것이며, 효과적이고 체계적인 지하시설물 관리를 위해서 도면 없이 AR 기술을 토대로 주변 관리에 대한 위치 파악이 가능해져서 굴착 사고를 미연에 방지할 수 있다([그림 4] 참조).

### 3. 건설 교육

위험한 현장에서 다루는 건설산업 특성상 가상증강현실 기반의 교육은 매우 중요한 기술이다. 건설 교육의 안전성을 위해서 증강현실보다 주로 가상현실 기술을 기반으로 다양한 훈련에 활용되고 있다.

해외 건설사인 Gammon은 VR 기술을 통해 근로자들에게 굴착 교육을 시행하고 있다. 특히, 현장 소음에 의해 기존 교육자와 근로자 간의 대화 자체가 불가능했지만, VR 기술을 통해 위험하지 않은 공간에서 쌍방의 대화가 가능하며 일반 굴착 강의 교육보다 전달력이 높고 효율적으로 진행할 수 있어 근로자들의 만족도가 매우 높다고 한다[7].



(a) VR산업안전교육(코오롱베니트)



(b) VR 기반 굴착 교육(Gammon)

<자료> 코오롱베니트(한국), Gammon(홍콩)

[그림 5] AR 기술을 활용한 지하시설물 관리 사례

국내의 경우 코오롱베니트사와 국내 VR 전문기업 엠라인스튜디오사는 건설 현장의 안전 사고 예방을 위해 VR 기술을 활용한 'VR산업안전교육'을 개발하였다[8]. 특히, 건설 현장 안전담당자와 함께 건설 안전사고의 다양한 시나리오(추락, 낙상, 감전, 충돌, 화재, 차량전복, 협착 등) 10대 주요 사고 중 8종의 사고 유형을 적용하였다. 체험 불가능한 사고 상황에 대해서 가상현실 기술을 적용하여 시각효과와 진동효과를 접목시켜 안전사고에 대한 경각심과 함께 근로자의 사고 대비에도 교육할 수 있는 효과가 있다([그림 5] 참조).

### III. 시장선도가 가능한 가상건설 시뮬레이션 기술

#### 1. 가상건설 활성화 첫 단추, 데이터 경량화 및 최적의 활용사례 개발

3차원 정보모델인 BIM을 활용하여 가상현실 콘텐츠를 제작할 때 단순히 모니터를 기반으로 하는 VR 기술로 사용하고자 하면 3D 영화관처럼 글래스 등 간단한 도구를 쓰면 활용 가능하다. 하지만 최근 가상현실 장비 등의 발전으로 사용자의 눈높이가 높아짐에 따라 머리에 착용하는 안경(Head Mounted Display: HMD)과 같은 추가 장비를 활용하여 몰입감이 높은 입체 시뮬레이션을 구현하기 위해서는 많은 시간과 인력 투입이 필요하다. 예를 들면, 200메가 규모의 복잡한 플랜트 시설의 경우 일반 사용자가 어지러움을 느끼지 않는 최소의 기준인 120 FPS(Frame Per Rate)를 만족하는 설계검토 가상현실 콘텐츠를 제작하기 위해서 기초 데이터 분석, 데이터의 경량화, 오브젝트의 최적화 등 약 3개월의 시간이 소요된다. 때문에 초기 데이터의 경량화 작업이 매우 중요하다.

BIM 모델을 VR로 전환하기 위해서는 작성된 BIM 모델을 각각의 BIM 저작 도구(Revit, Civil 3D, AECOSim 등)에서 하나의 게임엔진(Unity, Unreal 등)으로 전달해야 하며, 각기 다른 소프트웨어에서 생성된 파일을 바탕으로 하나의 통합 모델을 생성하기 위해서는 FBX, OBJ, IFC와 같은 중립포맷으로의 변환이 필수적이다. 그러나 BIM 모델을 중립 포맷으로 변환하는 과정에서 모델의 형상이 깨지거나 변형 및 복제되는 경우가 빈번하게 발생하기 때문에, 이는 VR 환경에서 구동 시 심각한 성능의 저하를 불러올 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 상용 소프트웨어를 이용하거나 직접 프로그램을 개발하여 BIM 모델의 메시 수를 줄여야 한다.

BIM 분야가 발전됨에 따라 모델이 점점 복잡해지고 구체화되어, 심지어는 BIM 저작 도구 내에서도 원활한 구동이 어려운 경우가 있다. BIM 모델의 규모와 상세 정도에 따라 위에 언급한 Polygon 수 감소 작업을 거쳤음에도 불구하고, VR 환경에서 항상 모델 전체를 렌더링하는 것은 하드웨어에 무리를 주어 버퍼링을 걸리게 하며 이는 사용자로 하여금 이질감이 들도록 한다. 그에 따라 다양한 렌더링 방법들이 개발되어 왔으며, BIM 모델을 VR 환경에서 구축하기 위해서는 적합한 렌더링 방법을 통해 BIM 데이터 최적화를 해야 할 필요가 있다. 가상건설을 활성화하기 위해서는 건설과 관계된 다양한 이해당사자들이 효과를 실질적으로 체감할 수 있는 현장 맞춤형 콘텐츠를 제작하고 다양한 테스트 및 검증을 기반으로 효과를 검증하는 작업이 매우 중요하다. 이에 건설기술연구원에서는 SOC시설물을 대상으로 공공성, 파급성, 시급성을 고려하여 민간에서 개발하기 어려우면서도 공공적인 성격을 갖는 대표적인 가상현실 시뮬레이션 기술을 개발하였다.

## 2. VR 기반 화재 및 소음 시뮬레이션 기술

3D 모델을 기반으로 VR 기술은 사전검토에 효과가 높아 화재 및 소음 시뮬레이션에 활용 시 매우 큰 효과를 발휘할 수 있다. 화재 시뮬레이션은 화재의 발화위치, 화재 사이즈 등을 임의로 조정할 수 있고 3D 모델 속성 정보가 연동되어 나무, 콘크리트, 단열재 등에 따라 불길 및 연기가 번져나가는 속도를 시뮬레이션할 수 있으며 가상현실 환경에서 트레드밀 같은 장비를 활용하여 실제로 대피 훈련 수행도 가능하다. 이 기술은 기존 기술이 할 수 없는 사용자 경험기반 소방설계에도 활용이 가능하기 때문에 확대 활용 가능성이 매우 높다 ([그림 6] 참조).

또한, 도로공사 및 건축공사 시 소음은 중요한 민원으로 공기를 지연시키거나 갈등을 발생



〈자료〉 한국건설기술연구원 자체 작성

[그림 6] 가상현실 기반 화재 시뮬레이션



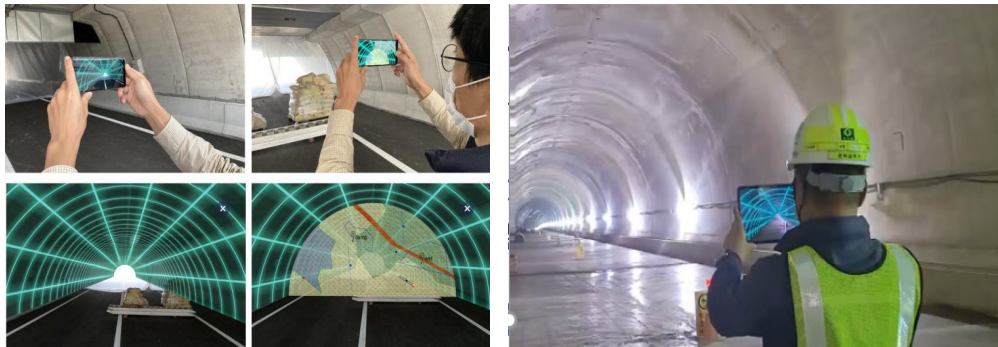
〈자료〉 한국건설기술연구원 자체 작성

[그림 7] 가상현실 기반 소음 시뮬레이션

시키는 등 사회문제를 일으켜 왔다. 이에 도로공사 전이나 후, 또는 건축공사 전에 소음을 사전에 체험하여 민원을 최소화할 수 있는 콘텐츠를 제작하였으며 도로위의 교통량, 방음펜스 크기, 사용자의 경험 등을 기반으로 소음을 체험할 수 있는 시뮬레이션 기능을 개발하였다([그림 7] 참조).

### 3. AR 및 MR 시설물 유지관리 기술

AR 및 MR 기술의 경우 건축물이 완공된 이후 시설물 유지관리 및 성능평가 등에 활용 가능하다. 건설기술연구원은 증강현실 기반의 철도 시설물 성능평가 및 터널 시설물 유지보수, MR 기반 민간인 대상 화재 현장교육 및 경관 검토, 로봇 등과 연계된 장비 원격제어 기술을 개발하였으며 고양시, 서울교통공사, 대곡-소사 4공구 복합터널 현장 등에 적용하여 기술의 효과를 검증하였다. 특히, 터널 내의 시설물 유지관리 기술은 터널 굴착 당시 단면도



〈자료〉 한국건설기술연구원 자체 작성

[그림 8] 증강현실 기반 공사 전 터널 단면 조회 기술

를 AR로 매칭하여 볼 수 있어 향후 터널 내 누수가 발생했을 경우 공사 당시 단면도 등을 2D 도면이 아닌 3D로 조회할 수 있어 활용가치가 매우 높다고 할 수 있다(그림 8) 참조).

## IV. 결론

최근 가상현실, 증강현실 기술이 스마트폰의 보급, 사용자의 시각화 요구와 코로나에 따른 언택트 환경변화 등에 따라 다시 주목받고 있다. 해외에서도 대학 및 민간기업 등을 중심으로 가상실증이 가능한 대규모 실험공간을 구축하여 다양한 시뮬레이션 등을 진행하고 있으며, 강력한 몰입환경을 기반으로 2D에서 3D, 더 나아가 3D+가상현실+시뮬레이션이 융합된 새로운 분야로 진화하고 있음을 알 수 있다. BIM 기반 3D 설계가 더욱 빠르게 정착되기 위해서는 실재감과 몰입감을 기반으로 한 다양한 콘텐츠가 개발되어야 하며, 이를 위해 가상현실 환경 구현이 가능한 인프라 투자와 더불어 가상건설 시뮬레이션에 대한 연구 및 개발이 절실하다고 본다.

건설 분야 가상현실 융합기술은 코로나19 환경에 대응할 수 있는 언택트 핵심기술로 시장 환경상 폭발적인 성장이 예상되기 때문에 기술적인 경쟁력을 갖추어 다가오는 미래 건설시장을 빠르게 선점하고 성공사례 개발, 응용 분야 추가 연구, 다양한 비즈니스 모델 발굴, 산업 활성화를 위한 제도개선 등 다양한 추가 연구가 필요할 것으로 예상된다. 또한, 스마트 건설기술을 활용한 가상건설 시뮬레이션 연구는 기존 건설산업의 한계인 시간적, 공간적 제약을 극복하고 경제성을 높일 수 있는 새로운 기술로 향후 건설산업의 발전을 선도할 수 있는 기반기술로 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

가상현실 기술이 건설에 결합되면 BIM 기술과 결합하여 새로운 시장창출에 따른 경제적 부가가치 효과가 유발될 수 있다. 또한, 스마트시티 기반기술로 활용 가능하다. 싱가포르의 경우 2014년부터 BIM 의무화를 기반으로 'Virtual Singapore' 사업을 진행하고 있으며 전 국토를 가상화하여 도시설계, 재난관리, 교통시뮬레이션, 환경영향력 분석 등을 통해 도시의 개발과 관리를 통합적으로 수행할 수 있는 시스템 개발을 진행 중이고, 그 핵심기술 중의 하나는 가상현실 기술이 될 확률이 매우 높다. 더불어 가상현실 기술을 건설에 활용시 건설 전 단계의 프로세스 혁신이 가능할 것으로 예상된다. 시공 전에 설계도를 기반으로 복잡한 건물을 가상현실 환경으로 구현하고 사전 설계 검토, 보행체험, 장애인 편의시설 확인, 소방

시설 확인 등 다양한 시뮬레이션이 가능한 기술뿐만 아니라 소방설계 검토, 체험이 어려운 고난이도 시공교육, 화재/지진 등 재난대피 시뮬레이션 등 새로운 시장 개척도 가능하다.

결국, 가상현실 기술을 통한 스마트 건설 가상화 시뮬레이션 기술 개발을 위해 건설산업계에서는 신기술 교육 및 투자에 적극적으로 임해야 하며, 정부의 중장기적 투자 전략 수립과 관련 법제도 정비를 통해 가상건설시장 선점 및 기술 경쟁력 확보의 토대를 마련해야 할 것이다.

### ● 참고문헌

- [1] 국토교통부, “스마트 건설기술 로드맵”, 2018.
- [2] 한국건설기술연구원, “VR/AR 기반 스마트건설 가상화 시뮬레이션 기술 개발”, 2018,
- [3] Trimble, “Data as As Life-Like 3D Hologram,” 2021. 5.
- [4] 어반베이스, “Mew AR Scale,” 2021. 5.
- [5] Meemim, “Do More With YOUR BIM AND GIS,” 2021. 5.
- [6] 차후, “단면도 및 굴착 시뮬레이션”, 2021. 5.
- [7] Gammon, “Gammon Construction On-site Smart Devices for Safety Enhancement,” 2021. 5.
- [8] 코오롱베니트, “가상현실로 산업 안전 교육이 실현되는 시대”, 2021. 5.

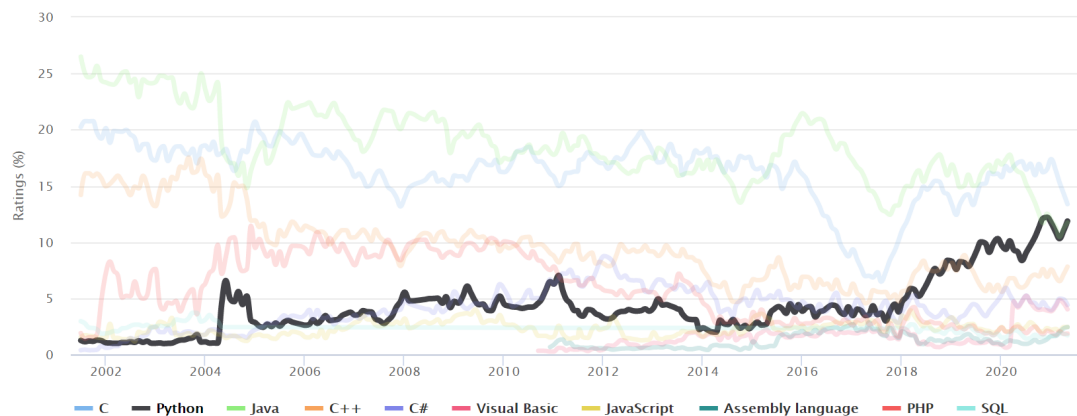
Chapter  
02파이썬과 넘파이를 이용한  
수치 데이터 처리 성능 이슈

황미녕\_한국과학기술정보연구원 선임연구원  
강영민\_동명대학교 교수

## I. 서론

프로그래밍 언어 파이썬의 성장이 눈부시다. [그림 1]은 2021년 5월 기준 TIOBE 프로그래밍 언어 인덱스인데, 파이썬은 자바를 3위로 밀어내며 2위 자리를 되찾았다[1]. 해당 언어에 대한 검색을 기반으로 인기도를 측정하는 PYPL(PopularitY of Programming Language) 인덱스에서는 2018년 이후로 파이썬이 지속적으로 1위를 차지하고 있다[2].

파이썬이 인기를 끄는 큰 이유는 문법이 직관적이고 간결하여 진입장벽이 낮은 언어이기 때문이다[3]. 또한, 효율적인 코딩이 가능해 웹 서버, IoT, 데이터 분석, 인공지능 등의 많은



<자료> TIOBE, TIOBE Programming Community Index 2021.

[그림 1] TIOBE 프로그래밍 커뮤니티 인덱스에 나타난 파이썬의 성장 추세

\* 본 내용은 황미녕 선임연구원(☎ 042-869-1780, mnhwang@kisti.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

\*\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

분야에서 주력 언어로 자리잡고 있다. 특히, 코드의 배포와 공유가 용이해 다른 프로그래밍 언어와 비교해 훨씬 방대한 라이브러리 생태계를 갖고 있다.

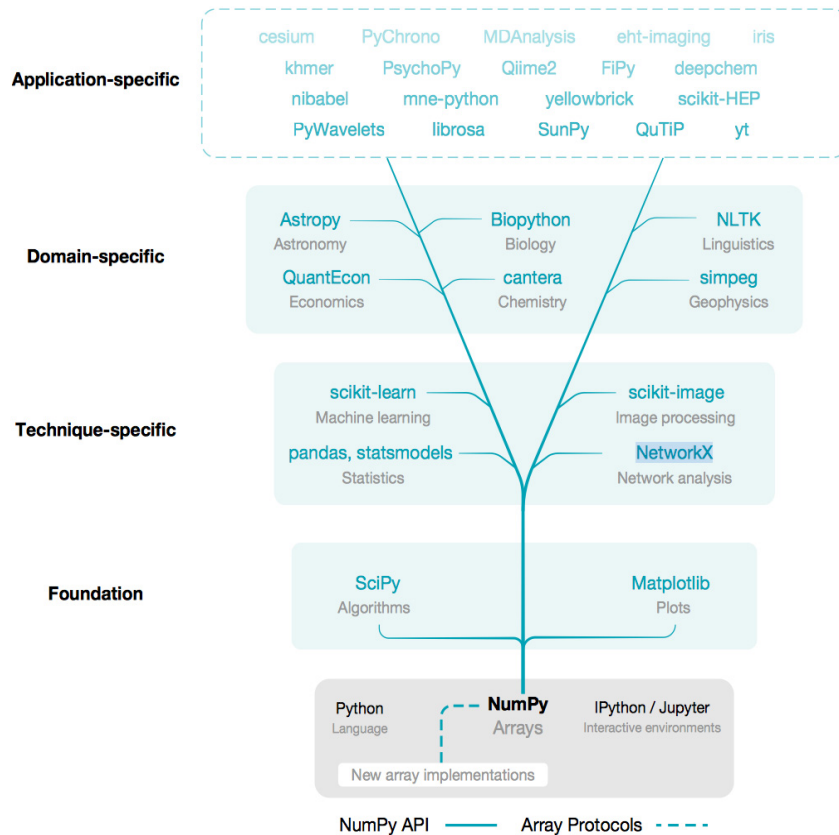
이 언어는 특히 데이터과학과 기계학습 분야에서 압도적인 인기를 얻고 있다. 하지만, 인터프리터 기반의 언어이기 때문에 대규모 수치 데이터를 다루는 데에 있어 여러 가지 성능 이슈가 존재할 수 있다. 본고는 파이썬을 이용한 프로젝트 환경에서 대규모 수치 데이터를 효율적으로 다루기 위해 이해해야 할 요소들을 살펴보고자 한다. 파이썬의 장점인 다양한 라이브러리 패키지 중에서 데이터 처리의 핵심인 넘파이(Numpy)가 가진 데이터 병렬성을 살펴보고, 스레드(thread)와 멀티프로세싱을 이용한 전통적 병렬처리 기법과 관련된 성능 이슈에 대해서도 논의하고자 한다.

## II. 파이썬의 한계와 성공 배경

파이썬 프로젝트의 성능과 관련한 첫 번째 우려는 이 언어가 인터프리터 언어라는 점이다. 인터프리터 언어의 실행속도는 컴파일러 언어에 비해 느리다. 그리고 파이썬이 약한 자료형 언어로 동적 정형(dynamically typed)을 사용한다는 점도 고성능 계산을 요구하는 프로젝트에서는 우려되는 부분일 수밖에 없다. 그러나 파이썬은 소프트웨어 패키지를 C나 C++로 작성하고 이를 파이썬에서 활용할 수 있는 방법을 제공한다. 따라서 CUDA와 같이 그래픽처리장치(GPU)의 고성능 병렬처리 기능을 사용하는 텐서플로우(tensorflow)나, 고차원 배열을 통해 벡터, 행렬, 텐서를 고속으로 다룰 수 있는 넘파이 패키지가 파이썬 환경에서 잘 동작한다. 그러므로 단순히 동적 정형 방식의 인터프리터 언어이기 때문에 속도가 느리다는 것은 파이썬을 이용한 대규모 수치 데이터 처리에서 크게 중요한 문제가 아니라 할 수 있다.

2020년 9월 과학 저널 네이처(Nature)에 넘파이 리뷰 논문이 게재되었다[4]. 이것은 파이썬 넘파이가 과학기술 분야 전반에 미친 영향이 지대했기 때문에 가능한 일이다. 다차원 배열을 효율적으로 다루는 넘파이는 [그림 2]와 같이 과학기술 전반에 파이썬을 이용한 데이터 분석 생태계를 제공했고, 각 분야의 수치 데이터 처리 기술들이 상호운용성을 가질 수 있도록 하는 역할을 했다. 영국 왕립 천문학회도 넘파이를 바탕으로 만들어진 천문학 분야 소프트웨어 패키지 애스트로파이(Astropy) 개발팀에 단체상을 수여했다. 이 프로젝트의 결과가 제임스 웹(James Webb) 우주 망원경, LIGO 중력파 관측소 등 전세계 천문학 연구에





〈자료〉 Harris, C.R., Millman, K.J., van der Walt, S.J. et al. Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362, 2020.

[그림 2] 넘파이 API를 토대로 하는 과학기술 분야 각 영역의 파이썬 생태계

활용되면서 수백 명의 젊은 과학자들에게 버전 제어, 단위 검사, 코드 리뷰, 이슈 트래킹과 같은 전문가 수준의 소프트웨어 개발 경험을 제공했다는 점을 밝혔다. 그리고, 현대의 연구자에게 이러한 기술은 필수적인 요구사항이지만 대학 교육에서는 종종 누락되고 있고, 애스토로파이가 그 역할을 수행했다며 공적을 밝혔다[5]. 방대한 수치를 다루는 천문학 분야에서 성공적으로 활용되었다는 사례를 통해 넘파이의 처리 능력이 매우 강력하다는 것을 확인할 수 있다.

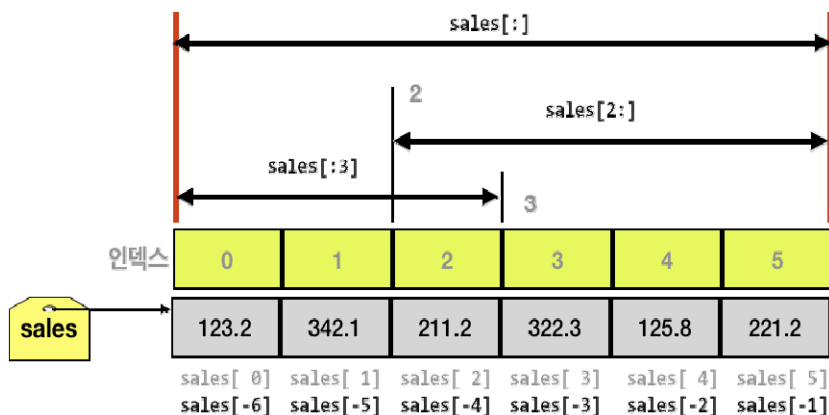
넘파이뿐만 아니라 몇몇 핵심적 라이브러리가 파이썬의 성공적 확산의 동력이 되고 있는데, 대표적인 것으로는 데이터를 다루기 위한 판다스(pandas), 가시화를 위한 맷플롯립(matplotlib), 넘파이를 기반으로 과학기술 분야의 문제를 다루는 사이파이(scipy) 등이다.

그리고 다양한 머신러닝 모델을 지원하는 사이킷런(scikit-learn) 등은 파이썬을 활용한 개발 환경을 더욱 효율적으로 바꾸고 있다. 또한, 텐서플로우(tensorflow)나 파이토치(pytorch) 등의 심층 신경망을 위한 라이브러리는 인공지능 연구를 가속화하는 핵심 라이브러리로 자리잡고 있다. 이들 데이터 모두는 넘파이의 다차원 배열 데이터와 매우 잘 연동된다[6].

### III. 넘파이와 파이썬 리스트의 차이

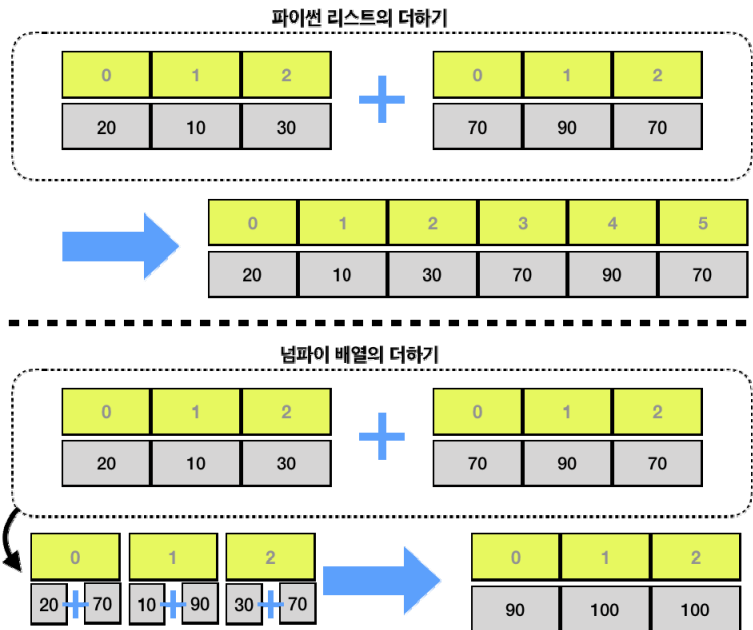
과학기술 분야에서 다루는 수는 보통 벡터인데, 이렇게 데이터가 나열된 것을 다루는 데에 적합한 자료형이 리스트이다. 리스트는 인덱스를 이용한 원소 접근뿐만 아니라 [그림 3]처럼 슬라이싱이라는 매우 편리한 방법으로 데이터의 일부를 가져올 수도 있다. 넘파이는 이러한 자료를 처리하기 위해 다차원 배열을 제공한다. 이것은 리스트와 비슷하지만, 리스트와 달리 하나의 배열에 들어가는 모든 원소는 동일한 자료형을 사용하여 임의 접근(random access)이 가능하다. 넘파이의 효율성이 임의 접근 때문만은 아니지만, 데이터 처리 성능을 높이는 기본적인 원인이 된다.

또한, 리스트 자료형은 두 개의 리스트를 벡터로 간주하지 않아 차원의 동일성을 따지거나, 차원별 연산을 수행하는 개념이 없는 반면, 넘파이의 배열은 언제나 벡터, 행렬, 혹은 텐서로 간주되어 기본적인 연산이 [그림 4]와 같이 벡터 연산으로 처리된다.



〈자료〉 박동규, 강영민, “오픈 파이썬”, 생능출판, 2020.

[그림 3] 파이썬 리스트 데이터에 대한 인덱싱과 슬라이싱 예시

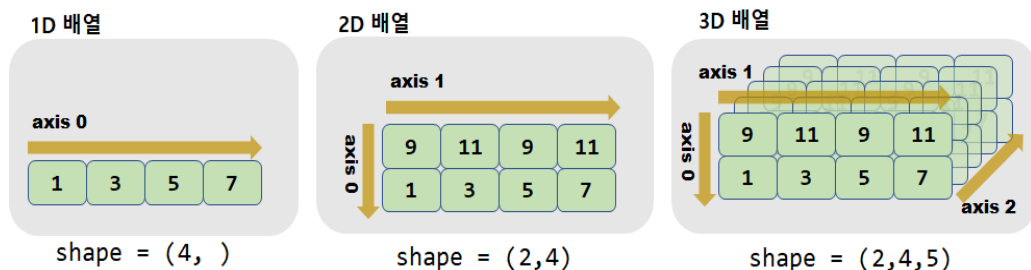


〈자료〉 박동규, 강영민, “응용 파이썬”, 생능출판, 2020.

[그림 4] 파이썬 리스트와 넘파이 배열에 대한 연산의 차이

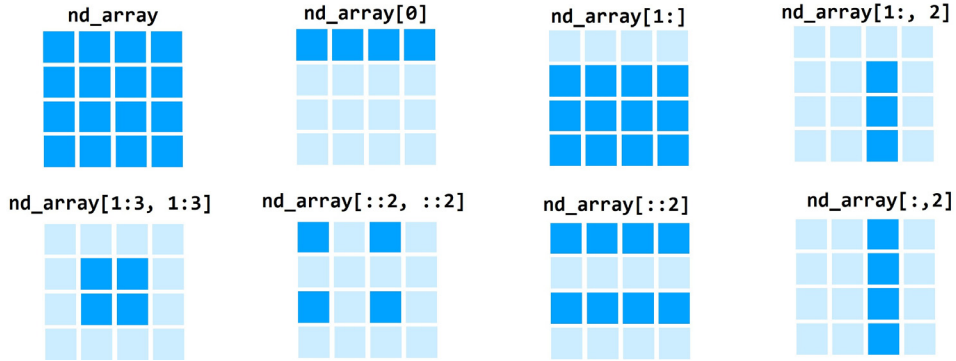
넘파이 다차원 배열의 차원은 축(axis)이라고도 불린다. [그림 5]는 넘파이의 1차원, 2차원, 3차원 배열의 축과 그 형태를 나타내고 있다[6].

리스트에서 사용했던 인덱싱과 슬라이싱은 넘파이 배열에서도 사용할 수 있다. 그런데 넘파이는 나열된 수치를 벡터와 행렬로 다루기 위해 리스트와 다른 넘파이만의 인덱싱을 가지고 있다. 이것은 각 축별로 인덱스를 쉼표로 구분하는 방식이며, 이를 통해 넘파이는



〈자료〉 천인국, 박동규, 강영민, “따라하며 배우는 파이썬과 데이터 과학”, 생능출판, 2020.

[그림 5] 넘파이 고차원 배열의 축(axis)과 형태(shape)



〈자료〉 천인국, 박동규, 강영민, “따라하며 배우는 파이썬과 데이터 과학”, 생능출판, 2020.

[그림 6] 넘파이 인덱싱 스타일을 이용한 슬라이싱

[그림 6]과 같이 다양하고 유연한 방식으로 행렬과 텐서의 일부를 부분행렬(submatrix)이나 부분텐서(subtensor)로 추출하는 일을 수행할 수 있다[7].

## IV. 넘파이의 고성능 데이터 처리

넘파이가 효율적인 저장 방식으로 수치 데이터를 다루고, 일부를 추출하는 데에 효율적인 기능을 제공하고 있지만, 이것만으로 넘파이의 성공 이유를 모두 설명할 수는 없다.

넘파이 1.20.0 버전은 최근 이루어진 가장 큰 폭의 개선이 이루어진 버전으로 2021년 1월 30일 공개되었다(그림 7 참조). 넘파이 공식 사이트에는 이 배포판에 관한 뉴스를 전하

**NUMPY 1.20.0 RELEASE**

Jan 30, 2021 - NumPy 1.20.0 is now available. This is the largest NumPy release to date, thanks to 180+ contributors. The two most exciting new features are:

- Type annotations for large parts of NumPy, and a new `numpy.typing` submodule containing `ArrayLike` and `DtypeLike` aliases that users and downstream libraries can use when adding type annotations in their own code.
- Multi-platform SIMD compiler optimizations, with support for x86 (SSE, AVX), ARM64 (Neon), and PowerPC (VSX) instructions. This yielded significant performance improvements for many functions (examples: `sin/cos`, `einsum`).

〈자료〉 The Numpy community, NUMPY 1.20.0 RELEASE Note, User Guide, 2021.

[그림 7] 넘파이 1.20.0의 가장 중요한 두 가지 변화로 소개된 신규 기능

면서 두 가지 새로운 특징으로 타입 어노테이션(type annotation)과 멀티 플랫폼 SIMD 컴파일러 최적화를 내세우고 있다[8]. SIMD 컴파일러 최적화는 다양한 함수의 성능을 크게 개선한다고 소개되어 있다. 넘파이의 고성능 데이터 처리와 관련하여 가장 중요한 요소가 SIMD 기반 최적화임을 확인할 수 있다.

전통적 병렬 프로그래밍의 주제는 작업 병렬성(task parallelism)이다. 이와 달리 처리해야 하는 데이터를 잘게 쪼개어 각각의 조각에 대해 동일한 작업을 적용하는 방식을 데이터 병렬성(data parallelism)이라고 부른다. 컴퓨터 그래픽스 분야에 적합하다. 이러한 이유로 그래픽처리장치(GPU)는 고성능 데이터 병렬처리로 발전을 하여 현재 슈퍼컴퓨팅 자원으로 적극 활용되고 있다.

GPU는 다수의 스레드(thread)를 만들어 동일한 연산을 수행하게 하는데, 이러한 구조를 단일 명령어 다중 스레드(single instruction multiple thread) 혹은 SIMT 방식이라고 한다. 스레드를 생성하지 않고, 하나의 연산이 다수의 데이터에 동시에 적용되도록 하는 방식



<자료> The Numpy community, SIMD Optimizations, API Reference, 2021으로 저자 재구성

[그림 8] 스칼라 프로그래밍 방식과 배열 프로그래밍의 벡터화 연산의 차이

을 단일 명령어 다중 데이터(single instruction multiple data) 혹은 SIMD 방식이라고 한다. 넘파이는 강력한 배열(array) 프로그래밍 기능 덕분에 지금의 인기를 누리게 되었다. 이것은 데이터에 연산을 적용할 때, 원소별로 순차적으로 처리하지 않고 [그림 8]과 같이 한 번에 데이터를 구성하는 값 전체에 적용되도록 하는 SIMD 방식을 사용한다는 것을 의미한다[9].

## 1. 벡터화 연산

넘파이를 사용하면 프로그래머는 특별한 부가 노력 없이도 효율적 코드로 고성능의 데이터 병렬처리가 가능하다. 스칼라 프로그래밍 언어를 사용한다면 이 두 배열을 더하는 코드는 개별 원소를 일일이 접근하는 방식으로 구현될 것이다. 그러나 배열 프로그래밍을 지원하는 언어는 `arr_sum = arr_a + arr_b`와 같은 표현이 가능하다. 이런 표현은 연산의 대상이 되는 피연산자가 벡터 데이터라는 것을 가정하기 때문에 가능하다. 그리고 이러한 연산을 벡터화 연산(vectorized operation)이라고 한다. 벡터화 연산은 강력한 데이터 병렬성이 뒷받침되어야 한다. 넘파이는 현대 CPU가 제공하는 SIMD 구조를 적극적으로 활용하여 고성능 수치 계산이 가능하게 만든다. 원소의 수가  $n$ 개인 두 배열을 원소별로 더하는 작업과 벡터화 연산을 통한 덧셈의 소요시간 비를 성능으로 표현하면 [표 1]과 같은 결과를 얻을 수 있다. 여기서  $K$ 는 1,000,  $M$ 은 100만을 의미한다. 이 결과는 구글 코랩(colab) 환경에서 수행된 실험을 정리한 것이다.

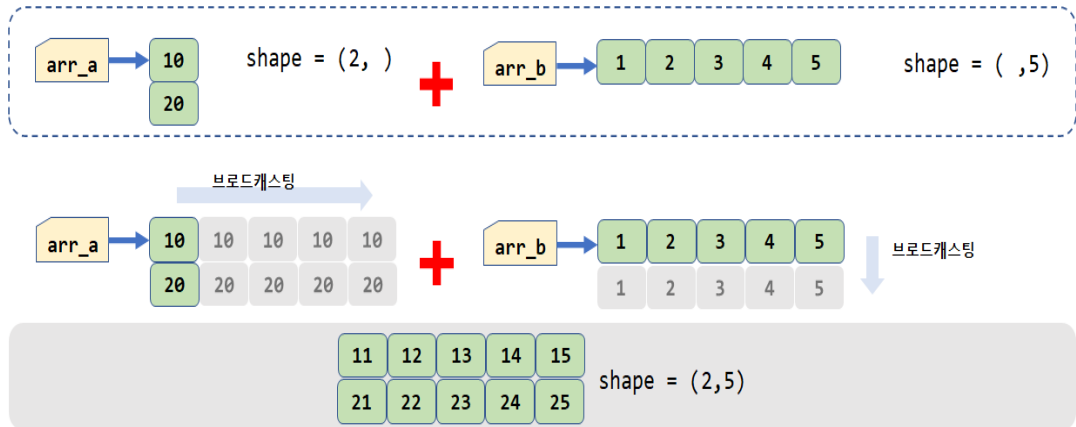
[표 1] 원소  $n$ 개 배열 덧셈의 원소별 접근 대비 벡터화 연산의 성능 개선 정도

$n$	10K	20K	40K	100K	200K	400K	1M	2M	3M	4M	5M
성능	46	148	126	143	150	179	187	195	177	182	206

<자료> The Numpy community, SIMD Optimizations, API Reference, 2021. 내용에 따라 저자 실험 분석 및 작성

## 2. 브로드캐스팅

브로드캐스팅(broadcasting)은 다른 형태를 가진 데이터들 사이에도 벡터화 연산이 가능하게 만들어 준다. [그림 9]와 같이 1차원 배열에 스칼라 값을 더하는 경우를 생각해 보자. 벡터화 연산을 적용할 수 있도록 스칼라 값은 1차원 배열과 같은 크기에 동일한 값을 가진



〈자료〉 Harris, C.R. et al. Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362, 2020으로 저자 재구성

[그림 9] 1행 배열과 1열 배열 사이의 벡터화 연산에 적용되는 브로드캐스팅

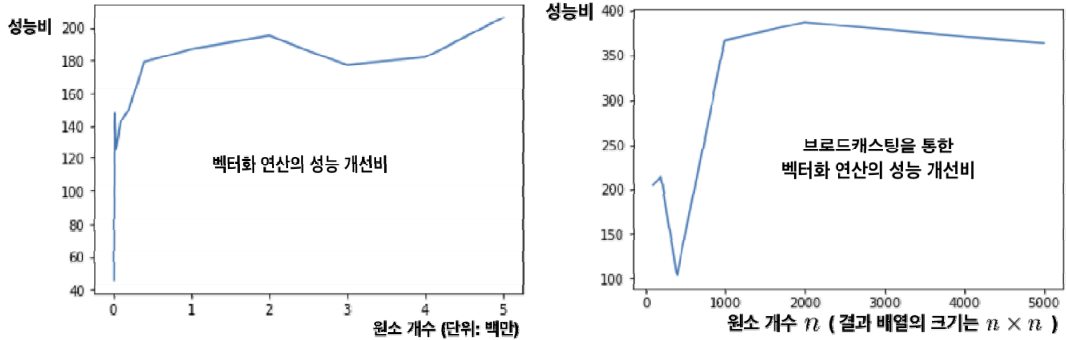
배열로 간주된다. 그런데 실제로 스칼라 값을 배열에 복사하는 일을 수행하지 않고, 이런 계산을 수행하는 것이다. 따라서 데이터 복사에 필요한 계산 시간을 단축시킬 수 있다. 이것은 물론 2차원 이상의 고차원 배열에 대해서도 적용이 가능하다. 세로로 한 개의 열을 가진 배열과 한 개의 행을 가진 배열을 더하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

[표 2]는 원소의 개수가  $n$ 개인  $(n, 1)$  배열과  $(1, n)$  배열을 브로드캐스팅을 이용하여 더해  $(n, n)$  행렬을 만들 때, 스칼라 프로그래밍 방식으로 동일 크기의 배열을 만들어 더하는 작업에 비해 브로드캐스팅과 벡터화 연산을 적용했을 때 얼마나 성능이 개선되는지를 확인한 결과이다. 매우 큰 속도 향상이 있음을 확인할 수 있다. 벡터화 연산과 브로드캐스팅을 이용한 속도 향상 실험을 보이고 있는 [표 1]과 [표 2]의 내용을 시각적으로 정리하면 [그림 10]과 같다.

[표 2]  $(n,1)$  배열과  $(1,n)$  배열에 대한 브로드캐스팅 연산을 통한  $(n,n)$  배열 생성 성능 개선 정도

$n$	100	200	400	1000	2000	4000	5000
성능	203.9	214.8	103.6	366.2	386.4	370.4	363.6

〈자료〉 The Numpy community, SIMD Optimizations, API Reference, 2021. 내용에 따라 저자 실험 분석 및 작성



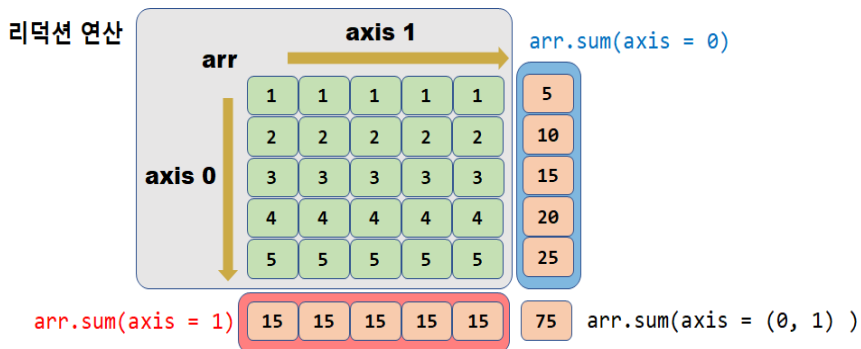
〈자료〉 The Numpy community, SIMD Optimizations, API Reference, 2021. 내용에 따라 저자 실험 분석 및 작성

[그림 10] 배열의 규모에 따라 벡터화 연산과 브로드캐스팅의 성능 개선 비율 가시화

### 3. 리덕션

리덕션은 여러 개의 수로 이루어진 배열을 하나의 수로 집계(aggregation)하는 것이다. 넘파이는 이 집계를 위한 함수로 `sum()`, `mean()`, `min()`, `max()` 같은 함수를 제공한다. 물론, 임의의 집계 함수를 만들 수도 있다. 이 리덕션 기능은 벡터화 연산 방식으로 적용되어 높은 성능을 보여 준다. 넘파이의 리덕션은 적용되는 축을 지정하여 이루어진다.

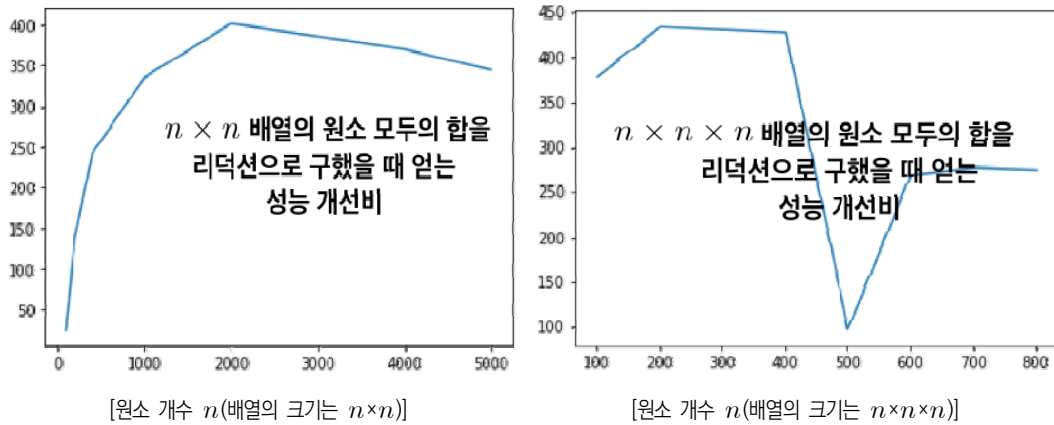
[그림 11]과 같이 2차원 배열이 있다면, 축은 0번과 1번의 두 개가 존재한다. `sum()`을 적용할 때 축을 지정하면 해당 축 방향으로 원소의 개수를 유지하며 리덕션을 수행하고, 두 축을 모두 주면 전체 리덕션이 이루어진다. [그림 12]는  $n^2$ 개의 원소를 가진 배열과  $n^3$ 개



〈자료〉 Harris, C.R. et al. Array programming with NumPy. Nature 585, 357-362, 2020으로 저자 재구성

[그림 11] 축 별 리덕션 연산과 두 축을 대상으로 하는 리덕션 연산





〈자료〉 The Numpy community, SIMD Optimizations, API Reference, 2021. 내용에 따라 저자 실험 분석 및 작성

[그림 12] 리덕션 연산을 통해 얻는 성능 개선비

의 원소를 가진 2차원, 3차원 배열의 원소들이 가진 값의 총합을 계산할 때 리덕션을 사용한 경우에, 단순 합계에 비해 얼마나 큰 성능 개선을 얻을 수 있는지를 보인다.

## V. 작업 병렬화 이슈

데이터 병렬성뿐만 아니라 작업 병렬화를 도입하여 더욱 높은 수준의 고속화를 시도할 수도 있을 것이다. 그러나 널리 사용되는 파이썬 구현인 CPython은 악명 높은 GIL(global interpreter lock)을 채용하고 있어 I/O 바운드가 아닌 CPU 바운드 스레드를 늘려도 성능 향상을 이루기 힘들다. [표 3]은 5,000만 개의 원소를 가진 배열의 원소들을 단순히 합산하는 일을 다중 스레드로 진행했을 때 소요되는 시간을 계산한 것이다(이때 넘파이 등을 사용하여 데이터 병렬성을 활용하는 일을 배제하였다). 이 실험은 2.66GHz 6-코어 인텔 제온 CPU를 두 개 장착한 12 코어 MacOS 환경에서 이루어졌다. 다중 스레드 방식은 효과가

[표 3] 5,000만  $n$ 개 원소 배열에 대한 접근 작업에서 스레드의 개수에 따른 소요시간 비교

스레드 수	1	2	4	8	16	32
소요시간(sec)	7.0598	7.0664	7.0586	7.0818	7.0979	7.1574

〈자료〉 한국과학기술정보연구원 자체 작성

없는 것을 확인할 수 있다.

GIL은 파이썬 스레드들이 경쟁 상태(race condition)에 빠져 문제를 일으키는 것을 회피하기 위해 스레드들이 파이썬 인터프리터를 동시에 사용할 수 없도록 한 파이썬 설계이다. 이것은 명백히 CPU 바운드 작업의 멀티 스레딩 효과를 무효화할 수 밖에 없다. 물론 I/O 바운드 작업들은 스레딩을 통해 여전히 효율을 향상시킬 수 있다. GIL은 단점만 존재하는 것은 아니다. 이 설계를 통해 파이썬은 인터프리터 수준에서 스레드 안전(thread safe)을 보장할 수 있고, 싱글 스레드 프로그램의 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 이러한 이유로 Python 2에서 Python 3으로 전면적인 변화가 일어날 때에도 여전히 이 방식을 유지한 것이다[10].

대규모 수치 데이터를 처리할 때에는 넘파이와 같은 데이터 병렬을 활용하는 도구뿐만 아니라 작업 병렬성을 이용한 고성능 계산이 필요하다면 파이썬 개발 환경에서는 멀티 프로세싱 방식을 사용할 수밖에 없다. 앞서 살펴본 5,000만 개의 배열 원소를 더하는 프로그램을 멀티 프로세싱 방법으로 변경하여 소요시간을 동일한 환경에서 다시 계산하면 [표 4]와 같은 결과를 얻을 수 있다. 프로세스의 수를 늘림으로써 일정한 수준까지 성능의 향상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 그러나, 멀티 프로세싱을 적용할 때에는 기본적인 오버헤드(overhead)가 존재하여 4개의 프로세스를 생성했을 때에야 비로소 싱글 스레드 방식과 유사한 성능을 갖게 되었다. 이러한 이유로 멀티 프로세싱을 적용할 때에는 그 이익과 비용을 충분히 따져 구현할 필요가 있다. 물론, 프로세스의 수가 하드웨어가 지원하는 코어의 수를 초과하면 성능은 다시 저하된다.

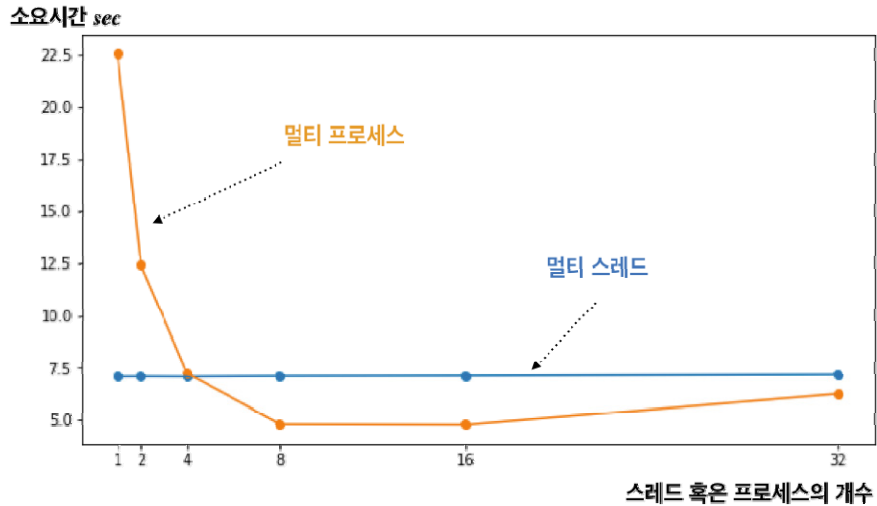
[표 4] 5,000만  $n$ 개 원소 배열의 합을 멀티 프로세싱 방식으로 계산할 때의 소요시간 비교

프로세스 수	1	2	4	8	16	32
소요시간(sec)	22.5582	12.4350	7.2122	4.7747	4.7520	6.2276

(자료) 한국과학기술정보연구원 자체 작성

멀티 스레드를 사용한 방법과 멀티 프로세스를 사용한 방법의 성능을 비교한 결과가 [그림 13]에 나타나 있다. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 CPU 바운드의 작업을 대상으로 비교한 결과 멀티 스레드는 성능 향상 효과가 없고, 멀티 프로세스 방식은 오버헤드가 존재하지만, 작업 병렬화를 통한 성능 향상 효과를 기대할 수 있다.

CPython에서 GIL의 한계를 극복하려는 시도가 있다. Gilectomy라고 불리는 이 프로젝



〈자료〉 한국과학기술정보연구원 자체 작성

[그림 13] 멀티 스레드와 멀티 프로세스 방식의 병렬처리 성능 비교

트는 래리 헤이스팅스(Larry Hastings)가 시도한 프로젝트로 CPython을 포크(fork)한 프로젝트이다[11]. 이 프로젝트는 많은 주목을 받았으나 현재 정체 상태에 빠져있다. 또 다른 가능성은 파이썬 확장 디자인 제안 554번인 다중 인터프리터를 활용하는 방법이다[12]. 아직 파이썬의 GIL을 완전히 극복하지는 못했지만, 다중 스레드 방식의 이점을 활용하기 위한 다양한 노력이 이루어지고 있다.

## VI. 결론

파이썬은 대규모 수치 데이터를 다루기 위해 SIMD 구조를 용이하게 활용할 수 있는 넘파이 패키지를 제공한다. 이것은 파이썬이라는 언어의 성공에 매우 중요한 역할을 했다. 따라서 대규모 수치 데이터를 다룰 때 넘파이를 적극적으로 활용하고, 이 패키지가 최대의 성능을 발휘할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 스칼라 프로그래밍 방식의 코드로 배열 프로그래밍의 장점을 희석시키지 않도록 해야 한다. 아울러 추가적인 성능 개선을 위해 스레드를 사용하는 것은 파이썬 구현의 설계에 따라 효과를 발휘할 수 없다는 점에 유의해야 한다. 작업 병렬화를 통한 성능 개선이 반드시 필요한 경우에는 멀티 스레딩보다는 멀티

프로세싱 방식의 접근법을 사용해야 한다. 이 과정에서 멀티 프로세스를 사용하는 데 필요한 오버헤드나, 데이터 병렬성으로 얻는 이익을 손상하지 않는지 역시 유의할 필요가 있다.

### ● 참고문헌

- [1] TIOBE, "TIOBE Index for May 2021," 2021.
- [2] PYPL, "PYPL Popularity of Programming Language," 2021.
- [3] 박동규, 강영민, "으뜸 파이썬", 생능출판, 2020.
- [4] Harris, C.R., Millman, K.J., van der Walt, S.J. et al. "Array programming with NumPy," Nature, 585, 357-362, 2020.
- [5] Royal Astronomical Society. Astropy Project: 2020 Group Achievement Award(A), 2020.
- [6] Geron, A. Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras and TensorFlow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems(2nd ed.). O'Reilly, 2019.
- [7] 천인국, 박동규, 강영민, "따라하며 배우는 파이썬과 데이터 과학", 생능출판, 2020.
- [8] The Numpy community, NUMPY 1.20.0 RELEASE Note, User Guide, 2021.
- [9] The Numpy community, SIMD Optimizations, API Reference, 2021.
- [10] Ajitsaria, A. What is the Python Global Interpreter Lock(GIL)?, Real Python, 2019.
- [11] Victor Sinner, Gilectomy, Python C API(pythoncapi), 2018.
- [12] Python Software Foundation, PEP 554 Multiple Interpreters in the Stdlib, Python Developer's Guide, 2017.

Chapter  
03개별분리 아키텍처 클라우드를 위한  
이기종 신뢰 실행기술 체계 개발

김건우\_한국과학기술원 박사과정

## I. 결과물 개요

개발목표시기	2023. 3. 31.	기술성숙도 (TRL)	개발 전	개발 후
			2	5
결과물 형태	SW-Platform/SW-system, Service	검증방법	자체 검증	
Keywords	개별분리 시스템, 접근제어 모델, Disaggregated System, Access Control Model			
외부기술요소	Open Source 사용	권리성	특허, SW, SW-IP, HW-IP, 논문	

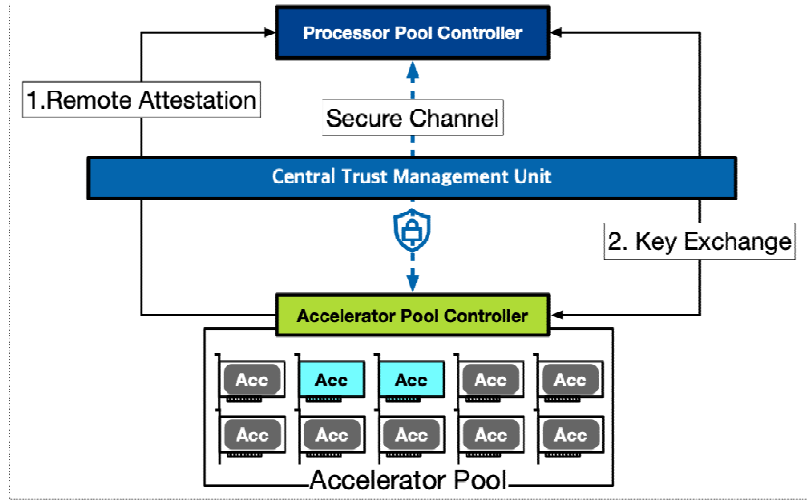
## II. 기술의 개념 및 내용

- 개별분리 클라우드를 위한 신뢰접근 제어 보안기술 체계 개발
  - 개별분리 시스템을 위한 Memory Access Control 모듈 개발(HW/SW)
  - 개별분리 시스템상의 프로세서 신뢰 접근제어 보안 프레임워크 개발(SW)
  - 개별분리 시스템 상의 Accelerator(GPU 등)를 위한 Secure Offloading Framework (HW/SW)

\* 본 내용은 김건우 박사과정(☎ 042-350-8305, signal@kaist.ac.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

\*\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

\*\*\*정보통신기획평가원은 현재 개발 진행 및 완료 예정인 ICT R&D 성과 결과물을 과제 종료 이전에 공개하는 "ICT R&D 사업화를 위한 기술예고"를 2014년부터 실시하고 있는 바, 본 칼럼에서는 이를 통해 공개한 결과물의 기술이전, 사업화 등 기술 활용도 제고를 위해 매주 1~2건의 관련 기술을 소개함



[그림 1] 개별분리 CPU TEE, 가속기 원격인증 및 키 교환 모델

### III. 국내외 기술 동향 및 경쟁력

#### 1. 기술의 특성 및 성능

- ▶ 안전한 프로토콜: 개별분리 아키텍처에서 사용되는 프로토콜은 다양한 공격시나리오에 대비하여 설계해야 함. 대표적인 예로 메시지 패킷 변조 및 위조 공격이 있으며, 그 외에도 내/외부에서 프로토콜의 취약점을 이용한 공격이 발생할 수 있음
- ▶ 가속기 접근제어 모델: 가속기들이 하나의 균을 이루어 다른 pool에서 가속기 pool에 속해 있는 모든 가속기에 접근할 수 있으며, 가속기도 자체 메모리를 가지고 있기 때문에 악의적인 공격으로부터 메모리를 보호할 필요가 있음. 예를 들어, 개별분리 아키텍처에서는 GPU를 다른 사람과 공유하는 상황이 발생하므로 해당 GPU 메모리에 남아 있는 정보들을 도용하는 공격을 할 수 있음
- ▶ 메모리 접근제어 모델: 개별분리 시스템에서 다른 pool과 메모리 pool 간의 메모리 접근 제어를 함으로써 악의적인 사용자가 다른 사용자의 데이터에 접근하는 것을 차단할 수 있음

- 안전한 가속기 오프로딩: 가속기와 CPU에서 실행될 코드와 데이터를 처리하고, 서로 데이터를 주고받으면 데이터의 무결성을 보장하기 위해 암호화된 채널을 통해 안전하게 오프로딩하는 프로토콜이 필요함

## 2. 경쟁기술/대체기술 동향 및 현황

- RASc(Rack Scale computing)의 대표적인 초기 제품의 예를 들면 HP의 Moonshot, AMD의 SeaMicro 15000-OP, Facebook의 Yosemite 그리고 인텔이 제안한 rack-scale Architecture가 있음
- Google의 TPU 이외에도 RASC는 해외 시장에서 이미 많은 우수 기업에서 많은 모델을 제안하고 제품을 출시하였으나, 아직 완전하게 정형화된 아키텍처나 제품이 존재하고 있지는 않으며, 최근 Gen-z Consortium이 등장하여 여러 기업들과 학계의 노력으로 표준화 작업을 진행 중에 있음

## 3. 우수성 및 차별성

경쟁기술	본 기술의 우수성/차별성
기존 기술 부재	개별분리 아키텍처는 데이터-중심 클라우드 환경 구성에 있어 확장성과 성능적 이점이 분명함. 아키텍처의 가장 큰 숙제 중 하나인 보안 문제를 해결함으로써 클라우드의 새로운 방향에 기여하고 최근 많은 요구가 있는 클라우드에서의 안전한 GPU 이용 인공지능 학습 및 추론 기능을 클라우드 서비스 제공자나 다른 사용자가 열람하지 못하도록 안전하게 격리하여 수행할 수 있음

## IV. 국내외 시장 동향 및 전망

### 1. 국내 기술 동향 및 수준

- 국내 기업 중 클라우드 매출 규모가 가장 큰 KT는 공공기관을 대상으로 하는 G-Cloud를 서비스하고 있음
- 네이버는 인공지능이나 자율주행기술 개발과 라인 등의 서비스를 위해 자체 데이터센터를

- 운영한 경험을 바탕으로 2017년부터 기업 클라우드 사업을 시작하였으며, 국내뿐만 아니라 일본, 동남아, 독일, 미국 등에서 10개의 자체 데이터센터를 운영 중
- ▶ SK C&C는 2016년 8월 IBM과 공동으로 판교에 데이터센터를 건립하고 클라우드 사업을 운영해 왔으며, 최근 알리바바와 제휴
  - ▶ 2017년 클라우드 산업 실태조사에 따르면, 국내 클라우드 공급 기업은 700개(중견기업 이상 55개, 중소기업 645개)이며, 전체 700개 기업 중 SaaS가 253개로 가장 큰 비중을 차지하며, 클라우드 소프트웨어 기업이 135개, IaaS가 131개로 조사
  - ▶ 해외 진출을 하고 있는 기업 비중이 2016년 11.6%에서 2017년 5.2%로 감소한 것으로 나타났으며, 기술력이 열악하고 기업 규모가 영세한 기업들이 많아 주로 대기업 클라우드 사업자의 서드파티 역할을 담당하고 있으며, 응답 기업들의 75.8%가 전문인력 수급에 어려움을 겪는 것으로 나타남

## 2. 국외 기술 동향 및 수준

- ▶ 2006년 상업용 클라우드 서비스를 처음 시작한 AWS가 전 세계 시장의 34%를 차지하면서 시장을 지배하는 가운데, MS와 구글, 알리바바가 빠르게 성장
- ▶ 아마존의 AWS는 규모의 경제를 바탕으로 저렴한 가격과 많은 고객을 바탕으로 컴퓨팅 자원 활용률을 높게 유지할 수 있어 시장 지배적 위치를 계속 유지
- ▶ 시장 진입이 늦었으나 MS는 'Cloud First' 전략을 바탕으로 AWS를 추격하고 있으며, 구글도 머신러닝 분야의 우위를 바탕으로 빠르게 성장
- ▶ AWS가 연간 약 45%씩 성장하는 반면, MS와 구글은 85~98%의 성장률을 기록하고 있으며, 중국 시장을 중심으로 빠르게 성장하고 있는 알리바바와 텐센트는 아시아·태평양 지역에서 시장점유율 2위와 5위를 기록

## 3. 제품화 및 활용 분야

활용 분야(제품/서비스)	제품 및 활용 분야 세부내용
클라우드 서비스	클라우드 서비스 제공자는 우리 기술의 도입으로 메모리 및 가속기 등의 컴포넌트를 유연하게 증감할 수 있음



## V. 기대효과

### 1. 기술도입으로 인한 경제적 효과

- 본 과제 결과를 산업에 적용한다면 해당 기술을 많은 선진국으로부터 수입할 필요가 없어 국가적으로 많은 비용절감을 이룰 수 있을 것으로 예상됨
- 또한, 개별분리 아키텍처를 적용한 기업은 각 컴포넌트(CPU, 메모리, GPU 등)를 큰 어려움 없이 추가/제거할 수 있어 유지/보수 측면에서 생산성 향상 및 비용 절감 등 매우 큰 이점이 있음
- 이러한 기술을 오히려 수출한다면 시장을 키울 수 있으며 새로운 산업 동력이 될 수 있는 등 경제적 효과를 기대할 수 있음

### 2. 기술사업화로 인한 파급효과

- 세계 최대 규모를 자랑하는 국내 두 DRAM 관련 기업인 삼성과 SK하이닉스는 HP의 주도로 개별분리 아키텍처의 표준화를 선도하는 Gen-Z 컨소시움에 참여 중이며, 본 연구의 기술개발 결과를 해당 기업에서 필요로 하는 부분과 공통점이 있는 부분에 대해서 기술 이전 등의 현장 적용이 가능하며, 이로 인한 결과는 국내의 개별분리 아키텍처 기술 수준을 견인할 것임
- 또한, 대규모의 서버가 밀집되어 있는 기업(SKT, KT 등 클라우드 기업, 인터넷 포털 기업)뿐만 아니라 정부부처 데이터센터 등 앞으로 서버를 활용하는 각계에서 개별분리 아키텍처 관련 기술의 수요가 있을 것으로 예상됨
- 개별분리 아키텍처는 컴퓨터 아키텍처의 근간을 흔드는 새로운 패러다임이며, 수없이 응용될 수 있는 원천 기술로, 이러한 기술을 먼저 확보한다면 국내 업계가 필요로 하는 기술을 해외에서의 수입 없이 원활한 기술 이전이 가능할 것으로 기대됨
- 개별분리 아키텍처 기술은 HP가 선도하고 있지만 어느 것도 표준으로 정립되어 있지 않아 먼저 기술을 확보하는 주체가 선두를 가지게 될 것이므로, 본 연구를 통해 얻은 기술로 선두를 확보한다면 표준으로의 정립을 기대할 수 있으며, 후속 연구를 통해 얻은

- 기술 또한 마찬가지로 표준으로 정립될 가능성이 매우 높음
- 개별분리 아키텍처는 새로운 패러다임이기에 기존의 서버 관련 기업 또는 신생기업의 신사업 창출 아이템으로서 매우 적합함

Chapter  
04

## 사이버범죄 활동 정보추적 기술

박순태\_한국인터넷진흥원 책임연구원

## I. 결과물 개요

개발목표시기	2023. 12.	기술성숙도 (TRL)	개발 전	개발 후
			4	6
결과물 형태	SW-system	검증방법	자체 검증, 시험인증	
Keywords	사이버범죄, 범죄활동, 정보추적, 다크웹, Cyber Crime, Crime Activity, Information Tracking, Dark Web			
외부기술요소	Open Source 사용, 자체개발	권리성	특허, SW, 설계도	

## II. 기술의 개념 및 내용

- 가상자산 부정거래 추적 및 다크웹 기반 사이버범죄 활동 정보 수집 기술
  - 가상자산 지갑주소의 소유자 추적을 위한 가상자산 취급업소 식별 기술
  - 사이버범죄 유형별 가상자산 거래정보를 학습 및 클러스터링 모델 생성을 통해 범죄 특징과 유사한 가상자산 부정거래 흐름 탐지 및 추적 기술
  - 사이버범죄 활동 정보를 추적하기 위해 다크웹 및 표면웹으로부터 다양한 범죄 관련

\* 본 내용은 박순태 책임연구원(☎ 061-820-1030, spark12@kisa.or.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

\*\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

\*\*\*정보통신기획평가원은 현재 개발 진행 및 완료 예정인 ICT R&D 성과 결과물을 과제 종료 이전에 공개하는 "ICT R&D 사업화를 위한 기술예고"를 2014년부터 실시하고 있는 바, 본 칼럼에서는 이를 통해 공개한 결과물의 기술이전, 사업화 등 기술 활용도 제고를 위해 매주 1~2건의 관련 기술을 소개함



[그림 1] 기술개념도

- 정보를 수집하고 연관관계를 분석하는 기술
- 다크웹 동작방식을 파악하기 위한 Tor 네트워크 기반의 테스트베드 구축

### III. 국내외 기술 동향 및 경쟁력

#### 1. 기술의 특성 및 성능

- 국내외 10종 이상의 가상자산 취급업소 지갑주소 분류를 위하여 취급업소별 지갑주소 생성/관리/거래 특성을 고려한 가상자산 취급업소 식별 모델 생성
- 가상자산 부정거래 탐지 정확도 향상을 위해 범죄거래를 5가지 이상의 유형으로 분류하고 클러스터링 모델을 통해 다양한 학습정보(Feature) 확보
- 사이버범죄에 97% 이상 사용되는 가상자산을 대상으로 상용 환경에 적용 가능한 95% 이상의 부정거래 탐지성능 확보
- 다크웹 등 비정형 범죄정보 기반 행위자 정보 연계를 위한 다양한 속성정보 확보 및 Tor 네트워크 동작방식 분석이 가능한 테스트베드 구축 가능

## 2. 경쟁기술/대체기술 동향 및 현황

- KAIST는 불법거래로 의심되거나 범죄혐의가 있는 비트코인 거래를 추적하고 모니터링 하는 방법을 연구
- Uppsala Security사는 블록체인 보안 플랫폼(Sentinel Protocol)을 통해 가상자산 취급 업소를 식별하고, CARA(Crypto Analysis Risk Assessment) 솔루션을 활용하여 가상 자산 주소에 대한 위험도를 평가함
- Coinfirm사의 경우, 가상자산 주소에 대한 거래 패턴을 시각화하여 식별할 수 있는 기술을 활용함
- Onionscan은 단순 다크웹 취약점뿐만 아니라 목표 다크웹의 정보들을 수집하여 다크웹 사이트들을 추적하고 연구와 조사를 목적으로 모니터링을 통해 보고서를 작성

## 3. 우수성 및 차별성

경쟁기술	본 기술의 우수성/차별성
Sentinel Protocol, CARA	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 다양한 가상자산 취급업소의 지갑주소 특성을 고려한 학습모델 생성               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 10종 이상의 가상자산 취급업소 지갑주소의 생성/관리/거래 특성을 이용한 식별모델 생성</li> </ul> </li> <li>➢ 범죄유형별 거래정보 클러스터링을 통한 부정거래 탐지 정확도 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요 범죄유형(랜섬웨어, 투자사기 등)에 대한 범죄데이터 분석을 통해 다양한 학습정보 확보 및 클러스터링 학습 수행</li> </ul> </li> <li>➢ 익명 네트워크에서의 범죄활동 정보 추적 및 검증 국내 기술력 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다크웹 등 비정형 범죄 행위자 정보 연계속성 및 Tor 네트워크 동작방식 분석 가능 테스트 베드 구축 기술 확보</li> </ul> </li> </ul>

## 4. 표준화 동향

- 표준화 동향
  - TTA, ITU-T, ISO 등에서 이상금융거래 탐지, 사이버위협 정보 공유 등을 추진하고 있으나, 가상자산 부정거래 탐지, 다크웹 위협 대응에 대한 표준화는 미비한 상황
  - ITU-T SG17에서는 금융거래에서의 이상금융거래 탐지 프레임워크(X.1157)에 대한 표준을 개발함

- TTA PG504에서 이상금융거래 탐지 및 대응 프레임워크에 대한 표준을 개발하였으며, 이상금융거래 정보 공유 규격에 대한 표준을 개발 중임
  - IETF는 침해사고 데이터형식 IODEF(Incident Object Description Exchange Format) 와 침해사고 프로토콜 RID(Real-time Inter-network Defense)에 대한 표준을 개발
  - ISO/IEC JTC1 SC27에서는 디지털 증거의 식별, 수집, 분석 등의 과정에 대한 가이드 라인과 사건 조사 방법에 대한 가이드를 표준으로 제정하고 있음
- 관련 보유특허
- 기술이전 시 대외 공개 가능

## IV. 국내외 시장 동향 및 전망

### 1. 국내외 시장 동향 및 전망

- (가상자산 추적 기술 시장 현황) 가상자산 시장 규모는 전년대비 47% 상승하여 증가하고 있지만(2019. 12. 28기준, BLOCK MEDIA), 가상자산 추적 기술은 현재 연구·개발 초기 단계로 시장이 형성되어 있지 않음
- 가상자산 추적 기술 시장 규모는 금융기관, 수사기관 등 수요기관(20개), 가상자산 추적 기술 솔루션 비용(60만 달러/년, 1,200원/달러)을 추정하여 산정([표 1] 참조)

[표 1] 가상자산 추적 기술 시장 규모 (단위: 억 원)

구분	2020년	2024년	2026년
세계 시장 규모	4,320	6,558	8,080
한국 시장 규모	144	198	232

※ 세계 시장 규모의 경우, OECD 상위 30국으로 선정  
 ※ 2024년, 2026년 시장 규모는 세계 정보보호 시장 연평균성장률 11%(MarketandMarket, 2017), 한국 정보보호 시장 연평균성장률 8.3%(2018 국내 정보보호산업 실태조사, 2018)를 반영

- (가상자산 거래소 해킹 피해 현황) 2017~2019년 가상자산 거래소에서 개인정보, 가상자산 유출 등 해킹 피해가 발생하고 있어 보안 강화가 필요

[표 2] 국내 가상자산 거래소 해킹 피해 현황

No	발생일	가상자산 거래소	피해 내용	추정 피해액
1	2017. 04	야피존	가상자산 유출	약 55억 원
2	2017. 06	빗썸	악성코드 감염, 개인정보 유출	약 70억 원
3	2017. 09	코인이즈	가상자산 유출	약 21억 원
4	2017. 12	유빗	가상자산 유출	약 170억 원
5	2018. 06	코인레일	가상자산 유출	약 500억 원
6	2018. 06	빗썸	가상자산 유출	약 189억 원
7	2019. 03	빗썸	가상자산 유출	약 100~200억 원
8	2019. 11	업비트	가상자산 유출	약 580억 원


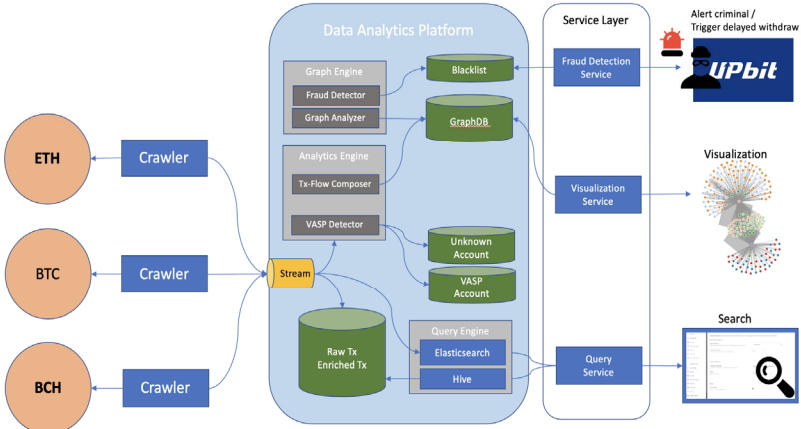
- (다크웹 시장 현황) Chainalysis사의 2020년 보고서에 의하면 전세계 다크웹 활성 시장은 2019년 말 기준으로 49개가 존재하고 있으며, 시장매출 규모는 가상자산 가치로 환산하여 7억 9,000만 달러로 성장하였고, 향후 지속적으로 성장할 것으로 예상됨
- (다크웹을 통한 범죄 악용 현황) 범죄자들은 다크웹의 가장 큰 특성인 사용자의 익명성, 추적 불가능성을 악용하여 수사기관의 추적을 피하고 있으며, 다크웹 블랙마켓을 통해 마약과 무기와 같은 물품 외에 살인청부, 인신매매 등 범죄 의뢰도 이루어지고 있으며, 랜섬웨어, 악성코드와 같이 사이버 공격 도구와 서비스도 거래됨

[표 3] 다크웹 웹페이지 현황

종류	위조	정보 공유	웹 호스팅, 메일	가상 자산	일반 거래	해킹	신용 카드	무기	마약	개인 정보 유출	정부 기밀 공개	채팅, 파일 공유	불법 영상	기타
비율	18%	12%	9%	8%	8%	7%	5%	3%	3%	2%	2%	6%	2%	15%

〈자료〉 Darkowl, Demystifying the Darknet, 2017.10.

## 2. 제품화 및 활용 분야

활용 분야(제품/서비스)	제품 및 활용 분야 세부내용
<p>다크웹 위협 정보 인텔리전스 서비스</p>	<p>                     &gt; 다크웹 데이터를 활용한 다크웹 위협 정보 인텔리전스 서비스                      - 보안/관제업체, 기업 보안팀에 사전 위협예방을 위한 정보 제공                 </p> 
<p>가상자산 부정거래 추적 솔루션</p>	<p>                     &gt; 자금세탁방지 및 가상자산 취급업소 모니터링 솔루션                      - FATF 권고안 준수를 위한 가상자산 흐름 추적 및 부정거래 위험 방지                 </p> 

## V. 기대효과

### 1. 기술도입으로 인한 경제적 효과

- > 가상자산 부정거래 추적을 위하여 국외 서비스를 이용할 경우 이용비용이 지속적으로 발생하나 본 기술 개발을 통해 비용절감 및 불필요한 외화 소비 감소가 기대



- ▶ 가상자산 부정거래 탐지 및 추적을 통해 범죄에 사용된 계좌 동결, 피해자 구제, 범죄수익 환수 등이 가능

## 2. 사업화로 인한 파급효과

- ▶ 사이버범죄자의 랜섬웨어 유포를 통한 가상자산 요구, 다크웹을 이용한 자금세탁 등을 추적하고 예방할 수 있어 대국민 피해 감소가 기대
  - 최근 2년 간 다단계, 사기, 마약거래 등 가상자산 관련 서민 다중 피해 범죄 총 피해액은 약 2조 6,985억 규모(출처: 대검찰청 서민다중피해범죄대응TF)
- ▶ 다크웹에 노출된 한국인 개인정보 및 개인정보 유통을 조기에 탐지하고 국제 사법공조 등을 통하여 삭제 및 범죄자 검거로 국민 불안 해소가 가능

## 주간기술동향 원고 공모

정보통신기획평가원은 주간기술동향의 ICT 기획시리즈에 게재할 “스마트 모빌리티(주행환경인식/차량제어/차량휴먼인터페이스/모빌리티 통신/드론 군집비행 등)” 분야 원고를 모집하고 있습니다.

관심 있는 전문가 분들의 많은 참여를 바랍니다.

□ 원고 주제 : “스마트 모빌리티” 관련 기술·시장·정책 동향

(※ 제목과 목차는 저자가 자율적으로 결정)

□ 제출 자격 : 대학, 연구기관, 산업체 재직자

□ 접수 기간 : 2021년 7월 16일~2021년 9월 15일 기간 내 수시접수

□ 제출처 : 주간기술동향 원고접수메일([wttrends@iitp.kr](mailto:wttrends@iitp.kr))로 제출

□ 원고 양식: 파일참조(원고양식)

□ 원고 분량: 13페이지 내외

□ 기타

- 게재 원고에 대하여 소정의 원고료 지급(200자 원고지 10,000원/1매, 최고 40만 원)
- 기획시리즈 칼럼은 매주 1편씩 발간 예정
- 원고제출 시 반드시 원고심의의뢰서(첨부파일참조)를 함께 제출하여 주시기 바랍니다.
- 게재된 원고로 인해 지적재산권 침해문제가 발생할 경우, 원고저자는 원고료 반환, 게시물 삭제 및 정보통신기획평가원이 입게 될 손실·비용에 대한 배상 등의 불이익을 받을 수 있습니다.

□ 제출 및 문의처


- (34054) 대전광역시 유성구 유성대로 1548 정보통신기획평가원  
기술정책단 융합정책팀 주간기술동향 담당
- Tel : 042-612-8296, 8210 / Fax : 042-612-8209 / E-mail : [wttrends@iitp.kr](mailto:wttrends@iitp.kr)

- 사업책임자: 문형돈(기술정책단장)
- 과제책임자: 이성용(융합정책팀장)
- 참여연구원: 이재환, 이효은, 권요안, 김용균, 박주혁, 김우진,  
김도현, 전영미(위촉)

## 주간기술동향

통권 2006호(2021-28)

---

발행년월일 : 2021년 7월 21일  
발행소 :  정보통신기획평가원  
편집인겸 발행인 : 전성배  
등록번호 : 대전 다-01003  
등록년월일 : 1985년 11월 4일  
인쇄인 : (주)승일미디어그룹

---

 정보통신기획평가원

(34054) 대전광역시 유성구 유성대로 1548(화암동 58-4번지)  
전화 : (042) 612-8296, 8210    팩스 : (042) 612-8209

---



깨끗한 IITP, 신뢰받는 IITP

**IITP** 정보통신기획평가원  
<http://www.iitp.kr>



**IITP** 부정비리 신고센터