

ISSN 2951-1925

치안과학기술리뷰

Police Science Technology Review

제7호 | 2024.10. VOL.02



치안정책연구소

치안과학기술리뷰

제7호 | 2024.10. VOL.02

CONTENTS

만든 사람들
발행처 / 치안정책연구소
발행인 / 이인상
편집인 / 배순일
편집위원 / 방금환·이준호·이지연
문의 / 치안장비연구센터 3D프린팅팀
041.968.2398
발행일 / 2024년 10월 15일
디자인·인쇄 / 디자인글꽃

<https://www.psi.go.kr>

- 치안과학기술리뷰에 실린 내용은 집필자 개인의 견해로서 치안정책연구소의 공식입장과 다를 수 있습니다.
- 치안과학기술리뷰는 치안정책연구소 홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.



권두언

02 3D 프린팅과 AI 기술의 컨버전스 최수영

첨단기술

05 가상현실기술로 치안을 해결한다 이용환

10 검색 증강 생성 기반의 생성형 AI 서비스 기술 안효창

17 고성능 개인용 드론의 AI 드론으로 발전 동향 이승준

25 디지털 혁명시대의 3D 프린팅 신기술 동향 김범준

32 3D 프린팅 두개골의 법정 증거물 사례와 최신 의학용 3D 프린팅 기술 트렌드 신현기

38 3D 스캐닝 기술과 치안현장 응용 백승찬

45 3D 스캐너를 활용한 재난현장 안전사고 조사·분석 사례 연구 최신웅

50 첨단장비 및 3차원 시뮬레이션 기술을 활용한 화학사고 원인 정밀분석 이경수·안수빈

57 치안 현장 활용 로봇 현황 및 향후 전망 오승섭

62 공중기반 능동형 불법드론 대응 시스템 기술 개발 김승범

현장의 목소리

68 3D 프린팅을 통한 경찰장비 제작품 사용 후기 이준희
- 변사자 지문채취 新 키트

72 3D 프린팅을 통한 경찰장비 제작품 사용 후기 김성동
- 발화부 추정 번호판

75 3D 프린팅을 통한 경찰장비 제작품 사용 후기 정재봉
- 스마트지문 채취장비

기술연구방향

78 현장경찰을 위한 3D 융합 기술의 미래
치안정책연구소 3D프린팅팀

3D 프린팅과 AI 기술의 컨버전스

(사)한국3D프린팅협회 회장 최수영



I AI 기술의 시대적 흐름

인공지능(AI)의 발전과 확산은 다양한 산업 분야에 혁신적인 변화를 일으키고 있습니다. 제조업에서는 AI를 통해 생산 공정을 자동화하고 품질 관리를 개선하며 예측 유지 보수를 수행하는 등 효율성을 크게 향상시키고 있습니다. 금융 분야에서는 AI가 고객의 행동을 분석하고 맞춤형 금융 상품을 추천하며 리스크 관리를 자동화하는 데 중요한 역할을 하고 있습니다.

유통업에서는 AI를 활용해 재고 관리를 최적화하고, 고객의 구매 패턴을 분석해 맞춤형 마케팅 전략을 실행하는 데에 집중하고 있습니다. 법률 분야에서도 AI는 문서 검토, 계약서 작성, 법률 리서치 등을 자동화해 법률 전문가의 업무 효율성을 높이고 있습니다. 항공 산업에서는 AI를 통해 비행 경로를

최적화하고, 예측 분석을 통해 항공기 유지 보수 일정을 관리하며 승객 경험을 개선하고 있습니다.

의료 서비스 분야에서도 AI는 의료 진단, 맞춤형 치료, 신약 개발 등에서 혁신을 주도하고 있습니다. AI는 의료 데이터를 분석해 질병을 예측하고, 정확한 진단을 지원하며, 환자 맞춤형 치료 계획을 세우는 데 도움을 주고 있습니다.

이처럼 AI는 각 분야에서 기존 기술과 접목되어 다양한 방식으로 활용되고 있으며, 그 가능성은 계속해서 확장되고 있습니다. 이러한 변화 속에서 학계와 산업계는 끊임없이 AI 관련 기술을 학습하고 최신 동향을 파악하며, 실제 적용 사례를 분석함으로써 시대적 요구에 부합하는 새로운 기술을 개발하고 도입해야 할 필요가 있습니다. 인공지능이 가져올 미래를 준비하기 위해서는 지속적인 학습과 연구가 필수적입니다.

II 3D 프린팅과 AI의 기술 접목

3D 프린팅 기술은 이미 다양한 산업 분야에서 필수적인 기술로 자리 잡았으며, 자동차 산업, 전자, 소비재, 교육, 예술, 정밀 소재 등에서 널리 활용되고 있습니다. 현재 AI가 산업 전반에 걸쳐 빠르게 확산되고 있는 상황에서, 3D프린팅 기술도 AI와의 융합을 통해 더욱 혁신적인 발전을 이루고 있습니다. 이러한 융합은 특히 의료 분야에서 큰 기회를 창출하고 있습니다.

예를 들어, 최근에는 AI 프로그램이 탑재된 솔루션을 활용하여 2D CT나 MRI 영상을 3D로 입체화하는 플랫폼이 소개되었습니다. 이 플랫폼을 통해 시제품을 제작한 사례도 있습니다. AI 소프트웨어는 2D 의료 영상을 분석하고, 이를 바탕으로 정밀한 3D 모델을 생성하여 의료 전문가들이 보다 정확한 진단과 치료 계획을 세울 수 있도록 돕습니다. 이러한 AI와 3D 프린팅 기술의 융합은 의료 혁신의 새로운 길을 열어주고 있습니다.

의료 분야 외에도, AI와 3D 프린팅의 융합은 여러 산업에서 혁신적인 기술 발전을 촉진하고 있습니다.

AI 인공지능, AI 스마트 교량, AI를 활용한 소형 주택, 군 스마트 정비 공장 등 다양한 응용 사례들이 그 예입니다. AI 인공지능은 시각 장애인을 위한 맞춤형 솔루션을 제공하며, AI 스마트 교량은 교량의 상태를 실시간으로 모니터링하고 구조적 이상을 감지하는 데 도움을 줍니다. AI와 3D 프린팅이 결합된 소형 주택은 저비용, 친환경적인 주택 솔루션을 제공하며, 군 스마트 정비 공장은 AI와 3D 프린팅을 통해 군용 장비의 유지 보수를 최적화하고 있습니다.

이처럼 AI와 3D 프린팅 기술의 융합은 각 산업 분야에서 새로운 혁신을 이끌고 있으며, 미래의 산

업 기술 발전에 중요한 역할을 할 것으로 기대됩니다.

디지털 기반의 이러한 기술 혁신은 우리의 삶의 질을 높이고, 다양한 산업에서 효율성과 정확성을 극대화하는 데 기여할 것입니다.

III 치안과 3D 기술

3D 프린팅 기술은 경찰과 치안 분야에서도 중요한 역할을 하고 있으며, 국내외의 다양한 기관들이 이를 적극 도입하여 활용하고 있습니다.

국내에서는 경찰대학 치안정책연구소가 2019년에 3D 프린터를 구축하여 현장 경찰이 필요로 하는 다양한 부분을 지원하고 있습니다. 이 연구소는 3D 프린팅 기술을 활용하여 증거물의 복제, 범죄 현장 재구성, 그리고 교육 훈련용 모형 제작 등을 통해 치안 활동을 지원하고 있습니다. 특히, 범죄 현장 재구성 작업에서 3D 프린팅은 매우 유용한 도구로, 복잡한 사건 현장을 정밀하게 재현함으로써 사건 해결에 중요한 단서를 제공할 수 있습니다.

국외에서도 경찰 및 치안 분야에서 3D 프린팅 기술은 널리 활용되고 있습니다. 예를 들어, 미국 경찰은 3D 프린팅 기술을 사고 현장 재구성, 증거물 복제, 그리고 교육용 모형 제작에 활용하고 있습니다. 이 기술은 복잡한 사건 현장을 시각적으로 재현하는 데 도움을 주며, 법정에서 증거를 제시할 때 효과적으로 사용될 수 있습니다.

영국에서는 경찰이 3D 프린팅을 활용해 총기 범죄와 관련된 증거물, 특히 불법 개조된 총기의 부품을 복제하여 이를 분석하고, 불법 무기의 유통 경로를 추적하는 데 기여하고 있습니다. 또한, 교통 사고 현장 재구성 작업에서도 3D 프린팅 기술이 사용되어, 사고의 원인을 분석하고 재현하는 데 중요

한 역할을 하고 있습니다.

이처럼 3D 프린팅 기술은 치안과 경찰 업무에서 중요한 도구로 자리 잡고 있으며, 범죄 예방과 수사 과정에서 혁신적인 역할을 하고 있습니다.

이를 통해 경찰은 보다 정밀하고 효과적인 치안 활동을 수행할 수 있게 되었으며, 향후에도 이러한 기술의 활용 범위는 더욱 확대될 것으로 예상됩니다.

IV 미래 융합 3D 기술로의 발전

미래의 융합 3D 기술은 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 나노기술, 그리고 가상현실(VR) 및 증강현실(AR)과 같은 첨단 기술들과의 통합을 통해 더욱 혁신적인 방향으로 발전할 것으로 예상됩니다. 이러한 기술들의 융합은 다양한 산업 분야에서 3D 프린팅의 활용 범위를 확장하고, 효율성과 정밀성을 극대화할 수 있는 새로운 가능성을 열어줍니다.

미래의 융합 3D 기술은 다양한 첨단 기술들과의 결합을 통해 더욱 강력하고 유연한 생산 시스템을 구축할 수 있습니다. 이러한 발전은 제조업뿐만 아니라 의료, 교육, 건축, 치안 등 다양한 분야에서 혁신을 주도하며, 효율성과 정밀성을 극대화하는 새로운 산업 표준을 만들어갈 것입니다.

치안정책연구소의 3D 기술 관련 연구활동이 치안 과학 발전에 기여하고, 기반 기술로 자리 잡기를 희망합니다. **PSI**

가상현실기술로 치안을 해결한다

원광대학교 게임콘텐츠학과 이용환

I 서론

현대사회에서 치안 유지와 범죄 예방은 경찰의 가장 중요한 업무 중 하나이다. 그러나 범죄의 양상과 복잡성은 점차 변화하면서, 이에 따라 경찰이 직면하는 과제도 매우 다양해지고 있다. 특히 대도시 지역에서는 인구 증가와 함께 범죄율이 꾸준히 상승하고 있으며, 강력 범죄, 흉악범죄, 테러 위협, 사이버 범죄, 인종 갈등을 포함한 다양하고 새로운 유형의 범죄가 등장하면서 경찰이 직면하는 상황과 위험성은 복잡해지고 있다. [1] 이러한 변화에 효과적으로 대응하기 위해서, 경찰 역량을 지속해서 강화해야 하며, 이를 위한 가장 효과적인 수단 중의 하나가 훈련이다. 경찰 치안 활동은 위험성, 돌발성, 기동성과 같은 특수성을 가지며, 다양화, 지능화, 전문화되는 범죄에 대응하기 위해 인프라 개선과 경찰 역량 강화의 노력이 절실히 필요

한 상황이다. [2] 경찰 훈련은 단순히 이론적 지식을 전달하는 것에 그치지 않고, 실제 상황에서의 신속하고 정확한 대응 능력을 키우는 데 중점을 두어야 한다. 전통적인 훈련 방식이 효과적일 수는 있지만, 최근 ICT 발전으로 가상현실(VR) 기술이 경찰 훈련의 새로운 방법으로 주목받고 있다. [3, 4] VR 기술은 현실과 유사한 환경에서 다양한 시나리오를 체험할 수 있게 훈련하여, 실제 상황에서 경찰의 대응력을 향상하는데 기여할 수 있다. 하이델베르크 대학의 Laura Giessing 연구보고서에 따르면, 경찰 훈련 도구로써 VR은 경찰이 스트레스를 많이 받는 위험 상황에 직면했을 때 보다 쉽게 적용할 수 있는 기술과 기술을 습득함으로써, 사건 대처에 큰 도움을 준다고 하였다. [5]

본 고에서는 가상현실 기술이 치안 강화를 위한 경찰 훈련에 어떻게 적용되는지를 살펴보고 이를 통해, 경찰 훈련에서 가상현실의 역할, VR 기반 훈련의 장점과 실제 활용 사례를 알아본다.

II 가상현실 기술 적용 사례

치안 분야에서 VR 기술이 다양하게 활용되고 있으며, 경찰 훈련과 기타 법 집행 기관이 직면하는 문제 해결의 도구로써 활용성이 점차 높아지고 있다. [6] 본 절에서는 치안 분야에서 VR 기술이 적용된 주요 사례를 살펴본다.

1. VR 훈련 적용 애플리케이션

첫 번째로, 경찰 훈련 시뮬레이션 프로그램이 대표적인 사례이다. VR을 통해 경찰은 복잡하고 위험한 상황을 안전한 환경에서 훈련받을 수 있다. 예를 들어, 인질 대치 상황, 폭력 시위, 테러 공격 등 고난도의 위험 상황을 가상환경에서 시뮬레이션하여 훈련한다. 이를 통해 실제 상황에서의 대응 능력을 습득할 수 있다. 경찰 훈련에 VR 기술을 적용한 실제 사례로, MILO Range Interactive Decision Making Simulator가 있다. <그림 1> 이는 경찰이 총기 기술, 판단 훈련, 범죄자의 무력화 시나리오에 대응하는 VR 훈련 시스템이다. 500개 이상의 대화형 시나리오 옵션을 제공하며, 레이저 센서가 장착된 총기와 가상환경을 투사한 대형 화면에서 시나리오에 따른 상황 시뮬레이션 훈련을 수행한다. [7] 실시간 대응 및 모니터링 훈련 시스템에서는 VR을 통해 실시간으로 가상 재난 상황을 시뮬레이션하고 긴급 상황에서의 대응을 훈련받는다. 이는 실제 상황에서 사용할 수 있는 전략과 전술을 개발하는 데 도움을 준다. 실제로, 뉴욕경찰국(NYPD)에서는 위치 기반 VR 슈팅 훈련 시스템을 활용한다. [8] 해당 시스템에서는 사격 정확도, 총알 경로, 협상 전술을 포함하여 경찰의 진행 상황을 모니터링하며, 훈련생은 총기 안전 문제를 훈련받는다. <그림 2>



<그림 1> MILO Range Interactive Decision Making Simulator



<그림 2> NYPD Uses VR to Train for Active Shooter Scenarios

법 집행 기관을 위해 Axon에서 개발한 VR 교육 프로그램인 V-ACT도 있다. [9] 경찰에게 긴장 완화 기술과 무력 사용 시나리오에 대한 교육을 위해 설계되었으며, VR 헤드셋을 착용하고 현실적인 가상 시나리오와 상호작용하여 테이저 사용 결정을 훈련하는 시스템이다. <그림 3> 또한, 미국에서는 VR을 활용하여 비폭력적 갈등 해결법을 훈련한다. 가상 현실에서 반복적인 훈련을 통해 경찰은 범죄 발생 상황에서의 갈등 완화 전략을 훈련하며, 이는 실질적으로 폭력 사용을 줄이는데 기여하였다.

두 번째 사례로, 범죄 현장 가상 재구성 and 수사 지원 프로그램이 있다. VR 기술을 활용하여 범죄 현장을 3D로 재구성하여 수사를 지원한다. 이 기술은 사건 현장을 상세히 기록하고, 수사관이 현장을 반복적으로 탐색할 수 있도록 도와준다.

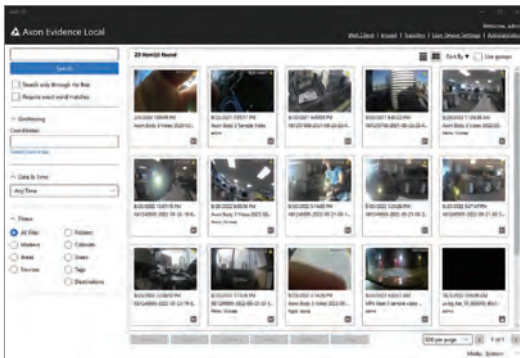
이를 통해 증거 수집과 분석을 정밀하게 훈련할 수 있다. 대표적인 시스템으로는 디지털 증거 관리 플랫폼 Axon Evidence가 있다. [10] 이는 Axon Body3, Flex2와 같은 경찰 신체 부착 카메라와 연동하여 디지털 증거를 안전하게 저장, 관리, 공유하며, 증거 검토 프로세스를 간소화하고 사건 수사에 중요한 역할을 담당한다. <그림 4>



<그림 5> Police Line Virtual Express



<그림 3> Axon Officer Safety VR Training



<그림 4> Axon Evidence 메인 화면

에이치오엔터테인먼트에서는 VR로 실제 사건 사고 현장을 재현한 ‘VR 폴리스라인’을 개발하였다. [11] 이는 성폭력, 아동학대, 강력 범죄 등의 실제 사건을 VR로 재현하고, 사건 유형에 따른 대응 방법을 훈련하는 프로그램이다. <그림 5>

세 번째로, 대중 교육과 범죄 예방 프로그램이 있다. VR을 통해 일반 시민도 경찰이 직면하는 상황을 체험할 수 있도록 교육프로그램이 운영되고 있다. 이러한 프로그램은 일반 사용자가 경찰 업무를 이해하고 긴급 상황에서 어떻게 행동해야 하는지 배울 수 있으며, 이를 통해 경찰과 지역사회 간의 신뢰 구축에도 기여할 수 있다. 또한, 범죄 예방 시뮬레이션을 통해 특정 지역의 범죄 패턴을 분석하고, VR을 통해 예방 전략을 개발하는 데에도 활용된다. 예를 들어, 경찰은 가상환경에서 순찰 경로를 최적화하거나 특정 지역에서의 범죄 가능성을 예측하여 사전 대응책을 준비할 수 있다. 이외에, 드론 등 무인 장비와 연계하여 위험 지역을 실시간으로 탐색하고 경찰이 안전한 위치에서 상황을 평가할 수 있다. 이는 인명 구조나 테러 대응 등에서 중요한 임무를 수행할 수 있게 한다.

2. VR 경찰 훈련의 해외 사례

미국과 해외의 많은 경찰 및 조직에서 VR 기술을 경찰 훈련에 활용하고 있다. [12, 13]

- 새크라멘토(Sacramento) 경찰서에서는 몰입형 비디오 시뮬레이터를 활용하여 실제 시나리오를 재현하고 경찰에게 문화적 역량과 암묵적 편견 교육을 제공한다. 또한, 적절한 의사결정과 동료 개

입에 대한 교육을 받는다.

- 로스앨러모스(Los Alamos) 경찰서에서는 VR 기술을 적용하여 경찰에게 효과적인 긴장 완화 전술을 훈련시킨다.
- 멕시코 시티(Mexico City)에서는 가상 현실 훈련 센터를 설립하고 경찰이 고위험 또는 스트레스가 많은 비상 상황에서 반사신경을 강화하여 훈련 성과를 개선하도록 한다.
- 영국 웬트(Gwent) 경찰서에서는 스트레스 상황에서 더 나은 결정을 내리는 방법을 VR 훈련을 통해 향상한다. 경찰이 마주치는 실전 문제를 기반으로 시나리오를 작성하고 프로그램을 통해 훈련 받는다.
- 네덜란드(Dutch) 경찰은 다양한 시나리오에 대해 훈련하는 VR 시뮬레이션 게임을 개발하였다. 이를 통해 편견 훈련을 제공하고 지식 기반의 인종 프로파일링 예방 훈련을 받으며, 공정한 경찰 업무에 대한 태도에서 긍정적 결과를 얻는다.

III 가상현실 적용 훈련의 장점

VR 기술을 활용한 경찰 훈련은 여러 가지 장점이 있다. [14, 15]

VR 훈련은 사실적이고 몰입감 높은 환경에서 훈련을 받음으로써, 위험요소가 높은 실제 상황에서의 대처 능력을 습득하고 긴장 완화 역량을 강화할 수 있다. VR 활용 훈련을 수행한 경찰은 전통적인 훈련 방법을 거친 사람에 비해 위기관리 능력이 향상된 것으로 분석된다.

미국 법무부 조사에 따르면, VR 기술이 사고나 부상 가능성을 줄여, 훈련 중 경찰의 안전을 개선하였다고 보고하였다. VR은 훈련 연습에 관련된 상황적 위험을 최소화함으로써, 경찰의 부상 가능

성을 감소시킨다.

사용자 정의 가능한 시나리오와 콘텐츠를 통해 VR 훈련은 장비, 탄약, 유지 관리 및 분류와 같은 기존 훈련 요구사항에 대한 예산을 감소시킬 수 있다. VR 활용을 통해 훈련에 필요한 현실감을 유지하면서 대규모 전술훈련에 소요되는 비용을 줄일 수 있다.

애리조나 주립 대학(ASU)의 연구에 따르면, VR을 사용하여 무력사용 의사결정에 대한 훈련을 받은 경찰은 전통적인 훈련을 받은 경찰에 비해, 예상 밖의 폭력적인 접촉에서 무력사용이 48% 감소한 것으로 나타났다. VR 기반 훈련은 압박 상황에서 경찰의 의사결정 능력을 향상하는 것으로 나타났으며, 궁극적으로 무력사용 가능성을 줄이는 데 도움이 된다고 보고하였다.

VR 기반 훈련은 훈련하는 경찰의 수준에 맞게 조정할 수 있는 맞춤형 훈련 시나리오를 제공하여 개인화된 학습 경험을 제공할 수 있다. 런던 경찰청은 몰입형 운전 훈련을 위해 VR을 활용한다. 경찰은 일상적인 순찰에서 고속 추격까지 다양한 운전시나리오를 경험적으로 훈련할 수 있으며, VR 시스템은 훈련 성과에 따라 난이도를 조정할 수 있다. 적응형 VR 훈련은 적절한 수준에서 경찰에게 도전적이고 즉각적인 피드백을 제공하기 때문에 기술 습득 향상에 도움을 준다.

IV 결론

VR 기술은 경찰 역량, 의사결정 능력, 대응 능력을 향상시키는 안전하고 몰입감 있는 현실적 훈련 환경을 제공하여 경찰 훈련에 혁신을 일으키고 있다. VR 기반 훈련은 현실적인 시나리오를 바탕으로, 경찰의 경험적 경력과 관계없이 효과적인 역량

강화 경험을 제공하는 장점을 갖는다. 법 집행 기관은 이론적 훈련과 실제 상황 간의 격차를 줄이고 경찰이 마주치는 복잡한 상황과 위험 상황을 선행적으로 학습하여 지역사회에 효과적으로 봉사할 수 있도록 도와준다.

기술 발전이 진보됨에 따라, 법 집행 기관에서는 차세대 경찰 교육의 강력한 도구로써, 가상현실 기술 도입은 필수적인 요소가 될 것이다. 그러나, VR 시스템 도입에 따른 기존 치안 인프라와의 호환성 문제, 높은 수준의 몰입감 제공과 효율적인 훈련 장비 활용, 범죄 현장 재구성 과정에서의 윤리적 문제, 프라이버시와 데이터 보호 문제, 현행 법률 규제와의 부합성 검토 문제 등 VR 기술의 치안 분야 활용 효과를 극대화하기 위해 꾸준히 노력해야 할 점도 존재한다. **PSI**

참고 문헌

- [1] Markus Murtinger, et al., “Sound of the Police - Virtual Reality Training for Police Communication for High-Stress Operations”, *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(46), 2024.
- [2] 방준성, 이용걸, 신인경, 박원주, “치안 분야 몰입기술 응용”, *한국전자통신연구원 Electronics and Telecommunications Trends*, 2020.
- [3] Polona Caserman, et al., “Impact of Full-Body Avatars in Immersive Multiplayer Virtual Reality Training for Police Forces”, *IEEE Transactions on Games*, 14(4), 2022.
- [4] Johanna Bertram, et al., “Virtual Police: Acquiring Knowledge-in-use in Virtual Training Environments”, *International Symposium on VR Innovation*, 2011.
- [5] Laura Giessing, “The Potential of Virtual Reality for Police Training under Stress: A SWOT Analysis”, *IGI Global*, 2021.
- [6] Markus Murtinger, et al., “Tangible Tactical Belt: Haptic Realism for Virtual Reality Police Training”, *International Conference on Metrology for eXtended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering*, 2023.
- [7] “MILO Range Interactive Decision Making Simulator”, *Hawkeye Community College*, (웹사이트) <https://www.hawkeyecollege.edu/academics/technology/milo>
- [8] Ruggiero Lovreglio, et al., “Prototyping and Testing a Virtual Reality Counterterrorism Serious Game for Active Shooting”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 82, 2022.
- [9] “Axon VR Training”, *Axon Co.*, (웹사이트) <https://www.axon.com/products/vr>
- [10] “Axon Evidence”, *Axon Co.*, (웹사이트) <https://www.axon.com/products/axon-evidence>
- [11] “VR 폴리스라인 교육시스템”, *에이치오엔터테인먼트*, (웹사이트)
- [12] “Transforming Police Training: The Influence of Virtual Reality”, *DataFort*, 2023. (웹사이트) <https://datafort.com/transforming-police-training-the-influence-of-virtual-reality/>
- [13] “How VR Technology is Revolutionizing Police Training”, (웹사이트) <https://hackernoon.com/how-vr-technology-is-revolutionizing-police-training>
- [14] “Virtual Reality in Police Training: Complete Guide(2024)”, (웹사이트) <https://simbott.com/virtual-reality-in-police-training/>
- [15] Lisanne Kleygrewe, et al., “Virtual Reality Training for Police Officers: A Comparison of Training Responses in VR and Real-life Training”, *Police Practice and Reserach*, vol. 25, no. 1, pp. 18-37, 2024.

검색 증강 생성 기반의 생성형 AI 서비스 기술

(주)이노그루 기업부설연구소 소장 안효창



I 연구 배경 및 필요성

최근 전 세계적으로 주목받고 있는 기술은 인공지능(AI) 기술이다. 특히 그중에서도 생성형 AI(Generative AI) 기술이 가장 큰 이슈로 떠오르고 있으며, 이 기술의 대표적인 예로 ChatGPT가 있다. ChatGPT는 OpenAI에서 개발한 생성형 AI 챗봇으로, 거대 언어 모델(LLM: Large Language Model)을 기반으로 하고 있다. 이 거대 언어 모델은 방대한 텍스트 데이터를 학습하여 복잡한 자연어 작업을 수행할 수 있는 능력을 가진다. 이를 통해 고객 서비스, 창의적 콘텐츠 생성, 질의응답 등 다양한 분야에 적용되며, 기업과 기관에서의 도입과 활용 사례가 점차 확대되고 있다.

그러나 거대 언어 모델에는 몇 가지 한계가 존재한다. 이 모델은 사전에 학습된 데이터를 바탕으로 서비스를 제공하기 때문에 도메인 특화된

데이터, 보안 데이터, 최신 데이터에 대해서는 서비스 제공에 어려움이 있다. 거대 언어 모델을 학습하는 데는 상당한 비용과 시간이 소요되며, 새로운 데이터에 대한 적응력이 떨어진다는 문제가 있다. 이러한 이유로, 기존에 학습된 데이터와 관련성이 낮은 질문에 대해서는 정확한 답변을 제공하기 어렵다. 이로 인해, 사용자가 기대하는 심도 있는 정보를 제공하지 못하는 경우가 발생할 수 있으며, 더 나아가 AI가 환각(Hallucination) 현상을 일으킬 가능성도 있다.

환각 현상이란, AI가 자신이 모르는 사실을 적당히 지어내서 설명하는 현상을 말한다. 겉으로 보기에 그럴듯해 보일 수 있지만, 실제로는 잘못된 정보를 제공하는 경우가 많다. 이로 인해 사용자가 잘못된 정보를 얻게 되고, 이를 신뢰하고 사용하는 위험이 따른다. 이러한 한계는 특히 기업 데이터를 다루거나 이를 기반으로 하는 서비스에서 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서, 거대 언어 모델을 활용한

서비스에서는 환각 현상으로 인한 잘못된 정보 제공을 방지하기 위한 대책이 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 검색 증강 생성(RAG: Retrieval Augmented Generation) 기법이 주목받고 있다. 검색 증강 생성 기법은 특히 사실관계의 신뢰성이 중요한 산업 분야에서 유용하다. 이 기법은 프롬프트에 사실 정보를 추가하여 제공하는 인-컨텍스트 학습 방식으로, 질문에 관련된 정보를 외부 문서에서 검색한 후 이를 바탕으로 답변을 생성하는 방법이다. 이를 위해 벡터 데이터베이스(Vector Database)를 활용하여 질문과 관련된 자료를 실시간으로 검색하고, 그 정보를 모델에 제공하여 더 정확한 답변을 생성할 수 있도록 한다.

검색 증강 생성 기법의 핵심은, 거대 언어 모델에게 질문과 관련된 참고 자료를 미리 제공함으로써 환각을 줄이고, 보다 정확한 대답을 생성하는 것이다. 이로 인해, 거대 언어 모델이 가지고 있는 정보 부족 문제를 효과적으로 해결할 수 있다. 또한, 새로운 데이터 학습 없이도 고품질의 응답을 제공할 수 있는 잠재력을 가지게 된다. 따라서, 검색 증강 생성 모델은 다양한 도메인에 효과적으로 적용될 수 있으며, 실제 서비스 환경에서도 매우 유용하게 활용될 수 있는 기술로 평가받고 있다.

II 생성형 AI 기술

생성형 AI는 최근 인공지능 기술의 발전을 대표하는 중요한 개념으로, 방대한 양의 데이터를 학습하여 텍스트, 이미지, 오디오, 비디오 등 다양한 형태의 새로운 콘텐츠를 만들어내는 능력을 갖춘 인공지능 기술이다. 생성형 AI는 단순한 데이터 분석이나 예측을 넘어, 창의적인 콘텐츠 생성이 가능하다는 점에서 기존의 AI와는 뚜렷이 차별화된다. 기

존 AI 기술은 주로 데이터 기반의 예측, 분류, 패턴 인식 등에 국한되어 있었다. 그러나 생성형 AI는 인간의 고유 영역으로 여겨졌던 글쓰기, 그림 그리기, 작곡 등과 같은 창작 활동을 수행할 수 있는 새로운 가능성을 열어주고 있다.

특히, 최근에는 텍스트와 이미지를 동시에 학습할 수 있는 멀티모달(Multi Modal) 모델의 발전이 주목받고 있다. 멀티모달 모델은 텍스트뿐만 아니라 이미지, 소리, 동영상 등 여러 형태의 데이터를 동시에 처리하고, 이를 바탕으로 복합적인 콘텐츠를 생성할 수 있다. 이러한 모델들은 파운데이션 모델이라 불리며, 방대한 양의 데이터를 학습하여 인간의 창의력과 추론력을 모방할 수 있는 능력을 지니고 있다. 파운데이션 모델은 기존의 지도 학습 방식과 달리, 비지도 학습을 통해 대규모 데이터를 기반으로 스스로 학습하며, 이후 다양한 응용 분야에 맞추어 파인튜닝(Fine Tuning) 또는 문맥 내 학습을 통해 더욱 정교하게 적용된다.

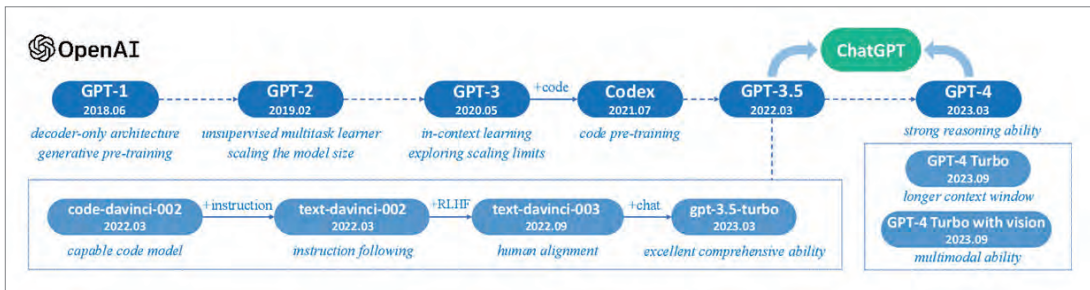
파운데이션 모델의 또 다른 특징은 데이터 형식에 구애받지 않고 다양한 데이터를 처리할 수 있는 능력과, 학습된 데이터를 바탕으로 새로운 통찰이나 해결책을 도출해 낼 수 있는 창발성을 가지고 있다는 점이다. 이러한 특성 덕분에 파운데이션 모델은 특정 문제에 대해 데이터만 제공되면 스스로 해결책을 찾을 수 있는 능력을 발휘할 수 있다. 또한, 모델의 학습 과정에서 균일성을 통해 다양한 문제에 대해 일반화된 지식을 도출할 수 있으며, 이로 인해 점차 더 많은 문제를 해결할 수 있는 범용적인 능력을 갖추게 된다.

이러한 생성형 AI의 대표적인 사례로는 OpenAI에서 개발한 ChatGPT가 있다. ChatGPT는 자연어 처리와 생성 능력을 통해 사용자가 제시한 질문에 대한 답변을 생성하거나, 창의적인 글을 작성하는 등의 기능을 제공한다. ChatGPT 외에도 Google의 Gemini, Microsoft의 Copilot과 같은 생성형 AI

서비스들이 활발히 사용되고 있으며, Naver의 HyperCLOVA와 같은 국내 서비스들도 점차 그 영역을 넓혀가고 있다.

생성형 AI는 이러한 기술적 진보를 바탕으로 다양한 산업 분야에서 혁신을 일으키고 있다. 특히, 창작, 교육, 비즈니스 등에서 사람들의 창의적 작

업을 지원하거나, 반복적이고 시간 소모적인 작업을 자동화함으로써 생산성을 높이는 데 크게 기여하고 있다. 이러한 기술의 발전은 AI가 단순한 도구를 넘어, 인간의 창의적 파트너로서의 역할을 할 수 있는 새로운 시대를 열어가고 있음을 보여준다.



〈그림 1〉 OpenAI의 GPT모델 변화

자연어 처리(NLP)에서 중요한 역할을 하는 거대 언어 모델의 학습 과정은 매우 복잡하고 체계적이다. 이 과정은 크게 네 가지 단계로 나눌 수 있으며, 각각의 단계가 모델의 성능과 품질에 큰 영향을 미친다. 아래에서는 거대 언어 모델의 학습 과정인 데이터 수집 및 전처리, 모델 선택 및 구성, 모델 학습, 그리고 평가 및 파인튜닝에 대해 자세히 살펴 보겠다.

1. 데이터 수집 및 전처리

거대 언어 모델을 학습시키기 위한 첫 번째 단계는 학습 데이터 세트를 수집하고 이를 전처리하는 과정이다. 이 단계는 모델이 이해하고 학습할 수 있는 다양한 텍스트 데이터를 확보하는 것이 핵심이다. 일반적으로 웹 문서, 서적, 논문, 대화 데이터 등 방대한 양의 텍스트가 사용된다. 데이터를 수집한 후에는 데이터의 품질을 높이기 위해 전처리

작업이 이루어진다. 이 과정에서는 불필요한 기호나 중복 데이터를 제거하고, 텍스트를 토큰화하여 모델이 처리하기 쉽도록 변환한다.

2. 모델 선택 및 구성

거대 언어 모델의 중심에는 트랜스포머(Transformer) 아키텍처가 있다. 이 아키텍처는 Google의 BERT나 OpenAI의 GPT와 같은 대형 모델에서 널리 사용되며, 자연어 처리에서 중요한 성과를 이끌어냈다. 트랜스포머는 다층 신경망 구조로, 각 레이어에서 다수의 어텐션 헤드를 통해 텍스트 내 단어 간의 연관성을 학습한다. 모델을 구성할 때는 레이어 수, 어텐션 헤드의 수, 학습 속도 등을 결정하는 하이퍼파라미터와 손실 함수(loss function)를 신중히 설정해야 한다. 이러한 설정이 모델의 성능에 직접적인 영향을 미치기 때문이다.

3. 모델 학습

모델 학습은 주로 지도 학습 방식으로 이루어진다. 이 과정에서 모델은 전처리된 텍스트 데이터를 입력받고, 주어진 문맥에 맞는 다음 단어를 예측하도록 훈련된다. 학습 과정에서 모델은 예측값과 실제값 사이의 오차를 줄이기 위해 가중치를 반복적으로 조정한다. 이 과정은 수백만 번의 반복을 통해 이루어지며, 모델이 충분히 높은 정확도에 도달할 때까지 계속된다. 그러나 이 단계는 대규모 데이터와 고성능 컴퓨팅 자원이 필요하다. 특히 모델과 데이터의 크기가 클수록 학습 시간이 길어지고 계산 자원이 많이 소모되므로, 모델 병렬화와 같은 기술이 필수적으로 적용된다. 이러한 복잡성과 비용 때문에, 완전히 새로운 모델을 학습시키기보다는 이미 학습된 모델을 특정 사용 사례에 맞춰 파인튜닝(Fine-Tuning)하는 방식이 자주 사용된다.

4. 평가 및 파인튜닝

모델 학습이 완료된 후, 모델은 학습에 사용되지 않은 테스트 데이터 세트로 성능 평가를 받는다. 이 과정에서 모델의 일반화 성능을 확인하고, 특정 상황에서의 문제점을 파악할 수 있다. 평가 결과에 따라 하이퍼파라미터를 조정하거나, 모델 아키텍처를 변경하며, 경우에 따라 추가 데이터를 사용해 재학습을 시도하기도 한다. 파인튜닝은 이미 학습된 모델을 특정 목적에 맞게 미세 조정하는 과정으로, 소규모 데이터로도 상대적으로 효율적인 성능 개선이 가능하다. 그러나 이러한 과정 역시 시간과 비용이 많이 들며, 최적의 결과를 얻기 위해 여러 번의 시도와 조정이 필요하다.

거대 언어 모델의 한계 및 고려 사항은 거대 언어 모델은 적합한 데이터를 기반으로 학습되기 때문에, 학습 데이터가 편향되거나 부정확할 경우 그

결과도 신뢰성이 떨어질 수 있다. 또한, 모델은 실제로 이해하지 않고 통계적 패턴에 기반해 답변을 생성하기 때문에, 환각 현상이 발생할 수 있다. 이는 모델이 사실처럼 보이는 잘못된 정보를 생성하는 문제로, 특히 데이터가 불완전하거나 편향된 경우에 더욱 두드러진다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 데이터의 품질 관리와 지속적인 모델 개선이 필수적이다.

결론적으로, 거대 언어 모델의 학습 과정은 매우 복잡하고 다단계적이며, 각 단계마다 많은 고려 사항이 존재한다. 데이터 수집부터 평가 및 파인튜닝에 이르는 전 과정에서 신중한 접근이 필요하며, 이를 통해 더욱 신뢰성 있는 인공지능 모델을 개발할 수 있을 것이다.

〈표 1〉 거대 언어 모델 파라미터 규모

기업	모델	파라미터	공개/비공개
OpenAI	GPT-4 Tuto	5000억 개 이상 추정	비공개
Google	Gemini	1조 개 추정	비공개
Meta	LLaMA2	70~650억 개	공개
Stanford Univ.	Alpaca	70억 개	공개
Naver	HyperClova X	3000~4000억 개 추정	비공개
KT	Mi:DEUM	2천억 개	비공개
KaKao	KoGPT	660억 개 추정	비공개

III RAG를 활용한 생성형 AI

검색 증강 생성 기법은 기존의 거대 언어 모델을 확장하여, 주어진 컨텍스트나 질문에 대해 더욱 정확하고 풍부한 정보를 제공하는 방법이다. 이 기법은 모델이 학습 데이터에 포함되지 않은 외부 데이

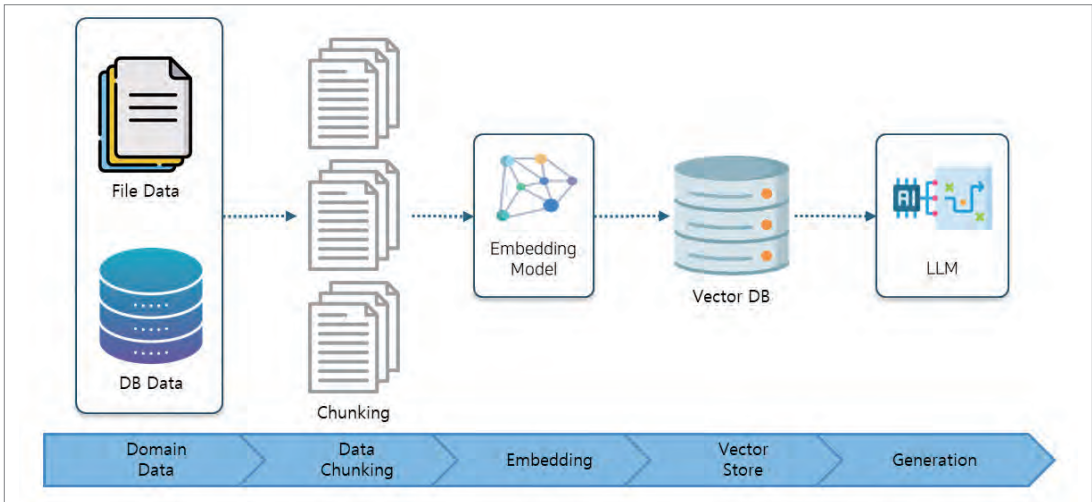
터를 실시간으로 검색하고, 이를 바탕으로 답변을 생성한다.

검색 증강 생성은 훈련 데이터 외부 도메인의 특정 질문에 대한 응답을 생성할 때 발생할 수 있는 대규모 언어 모델의 한계, 즉 잘못된 정보 생성이나 환각을 해결할 수 있다. 이 기법은 외부 데이터 소스에서 정보를 검색하고 이를 대규모 언어 모델에 컨텍스트 정보로 전달하여 응답을 생성한다. 이를 통해 생성된 응답의 사실 정확성과 관련성을 향상한다. 그러나 검색 증강 생성은 검색된 문서의 구성에 민감하기 때문에, 효과적인 검색 파이프라인을 구축하기 위해 맞춤화가 필요하다. 검색 증강 생성의 핵심 단계는 다음과 같다.

첫 번째, 외부 데이터 수집을 통해 다양한 외부 데이터 소스에서 사용자의 쿼리와 관련된 정보를 수집한다. 여기서 외부 데이터는 API, 데이터베이스, 문서 리포지토리 등에서 가져온다. 수집된 데이터는 임베딩 언어 모델을 사용하여 벡터화한다.

두 번째, 사용자의 질문도 벡터화한 후, 이전에 수집된 데이터베이스의 벡터와 비교하고 매칭을 통해 가장 관련성이 높은 데이터를 식별한다.

세 번째, 관련 데이터가 식별되면, 이를 사용하여 사용자의 입력을 보강하여 모델이 보다 정확하게 응답할 수 있도록 프롬프트를 확장한다. 이후, 검색 증강 생성은 이러한 정보를 기반으로 최종적인 응답을 생성한다.



〈그림 2〉 RAG 서비스 플랫폼

검색 증강 생성 기법은 거대 언어 모델을 기반으로 보다 정확하고 관련성 높은 응답을 생성하기 위한 일련의 정교한 절차를 포함한다. 이 과정은 데이터의 초기 로드부터 최종적인 답변 생성에 이르기까지 여러 단계를 거쳐야 하며, 각 단계는 정보의 신뢰성과 정확성을 높이기 위해 신중하게 설계되어야 한다. 검색 증강 생성 기법의 구현 과정은 다음과 같이 구성된다.

1. 데이터 로드

검색 증강 생성의 첫 단계는 데이터 로드이다. 이 단계는 외부 데이터 소스로부터 필요한 정보를 수집하여 시스템에 로드하는 과정을 포함한다. 여기에는 공개 데이터 세트, 웹 크롤링을 통해 수집된 데이터, 또는 사전에 정리된 자료 등이 포함될 수 있다. 수집된 데이터는 모델이 사용자에게 제공할

지식이나 정보를 담고 있어야 하며, 그 형식은 검색 효율성을 극대화할 수 있도록 변환되어야 한다. 이 단계의 핵심은 데이터를 정확히 수집하고 이를 시스템이 처리할 수 있는 형태로 정리하는 것이다.

2. 텍스트 분할

로드된 데이터는 텍스트 분할 과정을 거친다. 이 단계에서는 방대한 양의 데이터를 보다 작은 단위, 즉 청크(Chunk)로 나누어 관리한다. 이는 자연어 처리 기술을 활용하여 큰 문서들을 문단, 문장, 또는 형태소 단위로 세분화하는 작업이다. 이렇게 분할된 텍스트는 이후 단계에서 처리하기 용이하다.

특히, 거대 언어 모델이나 API가 입력할 수 있는 데이터 크기에 제한이 있는 경우, 텍스트를 적절한 크기로 줄이는 것이 필수적이다. 지나치게 긴 텍스트는 중요한 정보를 희석하거나 시스템의 처리 효율을 저하할 수 있으므로, 적절한 크기로 분할하는 과정이 매우 중요하다.

3. 인덱싱

인덱싱은 분할된 텍스트를 검색 가능한 형태로 만드는 단계로, 이 과정에서는 임베딩 모델을 사용하여 텍스트를 벡터로 변환하고, 이를 벡터 저장소(Vector Store)에 저장한다. 벡터는 텍스트의 의미를 수치적으로 표현한 것으로, 검색 과정에서 매우 중요한 역할을 한다. 인덱싱을 통해 모델은 검색 속도를 크게 단축시킬 수 있으며, 검색의 정확도 역시 높일 수 있다. 주어진 쿼리와 가장 유사한 문서를 빠르게 찾아내기 위해 임베딩 간의 거리 또는 유사도를 계산한다.

4. 검색

사용자의 질문이나 주어진 컨텍스트에 가장 적합한 정보를 검색한다. 사용자의 입력을 바탕으로 쿼리를 생성하고, 인덱싱 된 데이터 중 가장 관련성이 높은 정보를 검색한다. 이 과정은 전체 검색 증강 생성 기법에서 핵심적인 부분으로, 검색 파이프라인의 정확성과 효율성이 매우 중요하다. 정확한 정보가 빠르게 검색될수록, 모델이 제공하는 응답의 품질이 높아진다.

5. 응답 생성

앞서 검색된 정보를 바탕으로 사용자의 질문에 대한 최종적인 답변을 생성한다. 거대 언어 모델은 사용자의 입력과 함께 검색된 결과를 결합하여, 보다 정확하고 신뢰성 있는 응답을 생성한다. 모델은 사전 학습된 지식과 검색된 최신 정보를 통합하여 주어진 질문에 최적화된 답변을 생성하며, 이를 통해 사용자에게 더 유용한 정보를 제공한다.

검색 증강 생성 기법은 모델이 방대한 정보에 실시간으로 접근할 수 있다. 이는 모델이 최신 정보를 반영할 수 있게 하며, 특히 최근 이벤트나 특정 데이터에 관한 질문에 더욱 상세하고 정확한 응답을 제공할 수 있다. 이로 인해 검색 증강 생성 기법은 다양한 분야에서 활용될 수 있으며, 사용자가 신뢰할 수 있는 정보를 보다 효과적으로 얻을 수 있다.

IV 결론

기존의 범용 거대 언어 모델을 활용한 대화형 질의응답 시스템은 여러 측면에서 한계를 드러낸다. 특히 도메인 특화 데이터의 제공, 심도 있는 정보

의 전달, 그리고 환각 현상의 최소화에서 그 한계가 분명히 나타난다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는, 검색 증강 생성 기법을 도입하여 도메인 데이터의 검색과 분석에 적용하는 것이 필요하다.

검색 증강 생성 기법은 도메인 데이터를 보다 효율적으로 생성형 AI 서비스에 활용할 수 있게 한다. 이를 위해 먼저 도메인 데이터를 임베딩 벡터로 변환하여 저장하는 과정이 필수적이다. 이 과정은 데이터를 검색 가능하게 만들어, 특정 도메인에 특화된 정보를 사용자의 질의에 맞춰 제공할 수 있도록 한다. 또한, 검색 모델을 통해 도메인 데이터에 접근하여 정확한 정보를 확보하는 것이 가능하다. 이 과정에서 생성형 AI를 활용하여 필요한 데이터를 보완하고, 이를 바탕으로 사용자가 원하는 정보를 보다 정확하게 제공할 수 있다. 검색 증강 생성 기법은 단순한 정보 전달을 넘어, 사용자에게 제공되는 정보의 신뢰성을 높이고 환각 현상을 최소화하는 데 중요한 역할을 한다.

특히, 경찰에서 치안에 대응하는 매뉴얼과 같은 도메인 특화된 데이터를 다룰 때, 검색 증강 생성 기반의 생성형 AI 서비스를 활용하는 것은 매우 효과적일 것이다. 이를 통해 경찰은 보다 빠르고 정확한 대응이 가능하며, 상황에 따라 적절한 정보를 신속하게 제공받을 수 있다. 이는 실제 상황에서의 대응력을 크게 향상시키며, 효율성을 높이는 데 기여할 수 있다. **PSI**

참고 문헌

- [1] Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., ... & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive nlp tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, pp.9459-9474.
- [2] Li, C., Wang, J., Zhang, Y., Zhu, K., Hou, W., Lian, J., ... & Xie, X. (2023). Large language models understand and can be enhanced by emotional stimuli. *arXiv preprint arXiv:2307.11760*.
- [3] Hadi, M. U., Qureshi, R., Shah, A., Irfan, M., Zafar, A., Shaikh, M. B., & Mirjalili, S. (2023). Large language models: a comprehensive survey of its applications, challenges, limitations, and future prospects. *Authorea Preprints*.
- [4] Shuster, K., Poff, S., Chen, M., Kiela, D., & Weston, J. (2021, November). Retrieval Augmentation Reduces Hallucination in Conversation. In *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021*, pp. 3784-3803.
- [5] Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., & Wang, H. (2023). Retrieval-augmented generation for large language models: A survey. *arXiv preprint arXiv:2312.10997*.
- [6] Huang, Y., & Huang, J. (2024). A Survey on Retrieval-Augmented Text Generation for Large Language Models. *arXiv preprint arXiv:2404.10981*.
- [7] Bommasani, R., Hudson, D. A., Adeli, E., Altman, R., Arora, S., von Arx, S., ... & Liang, P. (2021). On the opportunities and risks of foundation models. *arXiv preprint arXiv:2108.07258*.
- [8] Zhao, W. X., Zhou, K., Li, J., Tang, T., Wang, X., Hou, Y., ... & Wen, J. R. (2023). A survey of large language models. *arXiv preprint arXiv:2303.18223*.

고성능 개인용 드론의 AI 드론으로 발전 동향

인천국제공항공사 이승준



I 들어가며

최근 몇 년간 시스템 온 칩(System on Chip : SoC) 반도체의 발전은 소형, 경량화, 빠른 데이터 처리 속도가 필수적인 무인 비행체의 성능에 많은 발전을 가져왔다. 특히 모델 변화가 빠른 개인용 드론은 다양한 사용자의 요구를 수용하며 고성능화되고 있어, 활용 분야가 개인 레저용에서부터 전문 분야까지 폭넓게 확장되고 있다. 이러한 발전은 개인용 드론이 전문 혹은 특수 분야 드론과의 성능 격차를 좁힐 뿐만 아니라 대신할 가능성이 높다.

또한 고성능 드론이 인공지능(AI) 기술과 결합되면서, 드론의 기능과 적용 범위는 더욱 확장되고, 치안 등의 분야에도 AI 드론의 활용으로 새로운 패러다임을 제시할 것이다.

본 글에서는 고성능 개인용 드론의 기술성능 현

황 및 개인용 드론이 AI 드론으로 발전하는 과정과 그 영향을 분석한다. 특히 기존 GPU로 처리하던 산술연산을 대신할 특화된 반도체 ‘온 디바이스 인공지능(AI) 반도체’의 발전은 기존 드론을 AI 드론으로 빠르게 진화시킬 것이므로, 드론 기술의 미래인 AI 드론으로 진화에 대해 알아보고자 한다.

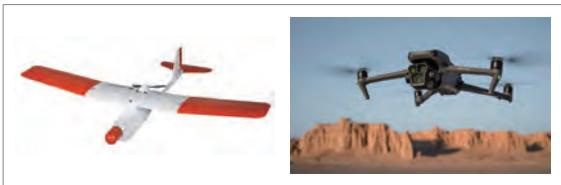
II 항공기형 드론의 종류

항공기형 드론의 종류는 비행날개의 형태에 따라 보통 2종로 나뉘며 고정익과 회전익(멀티콥터)이 일반적으로 많이 사용된다.

고정익 드론은 전통적인 항공기 형태로 고정된 날개를 이용하여 비행한다. 이러한 드론은 빠른 속도와 장시간 비행이 가능하여 장거리 비행에 적합

하다. 따라서 주로 장거리 정찰, 환경조사, 지형조사, 촬영, 군사용으로 사용된다.

고정의 드론은 이·착륙 시 활주로가 필요하며, 원거리 통신 방식 등이 요구되어 군사 및 특수 분야에 사용되며 개인용, 레저용으로 사용되는 경우는 많지 않다.



〈그림 1〉 고정의 드론(해양경찰청)과 회전익드론(DJI)

회전익 드론은 주회전날개(Rotor)가 1개인 헬리콥터와 다수의 회전날개로 비행하는 멀티콥터가 있다.

헬리콥터의 경우 가변피치 회전날개를 사용하므로 가변피치 부분의 기계적인 기체 정비의 어려움과 비행에 숙련된 전문성이 요구된다. 반면 고정피치 회전날개를 사용하여 기계적 구조가 간단한 멀티콥터는 비행 컨트롤러(Flight Controller : FC)를 사용하여 비행 안정성과 편의성을 확보한다. 비행 컨트롤러는 과거 마이크로 프로세서를 이용한 제어 장치와는 다른 고성능 원칩 컴퓨터(One Chip Computer)의 고속으로 계산되는 비행 자세제어 알고리즘을 사용하여 안정되고 쉬운 비행조종성능을 제공하며, 장착된 비행 컨트롤러에 따라 센서형 드론과 FPV(First Person Video) 드론으로 불린다.



〈그림 2〉 센서형 드론 FC(Pixhawk)와 FPV드론 FC(Hobbywing)

센서형 드론은 드론에 부착된 각종센서(가속도 센서, 기울기센서, 지자기센서, 기압센서, 이미지 센서, GPS, 위치보정용 카메라, 적외선센서, 거리 센서, 전력센서 등)의 정보를 비행 컨트롤러 내부의 고성능 컴퓨터에 프로그램된 알고리즘을 통해 계산하고 제어하여 정지비행, 자동비행, 충돌방지 비행, 장애물 회피 비행, 목표물 자동추적비행, 자동감시비행 등의 기능을 안정적으로 수행한다. 항공촬영, 배달, 농업, 소방, 구조, 탐색, 지도제작, 지형분석 등에 사용되는 드론이 센서형에 속한다.



〈그림 3〉 센서형 드론(DJI) 기체에 장착된 각종 센서(적색원)

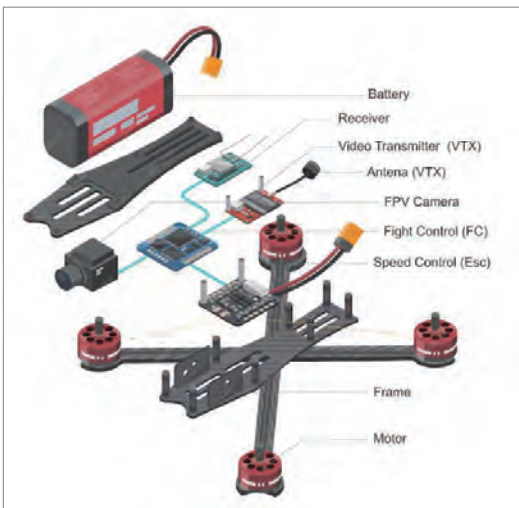
센서형 드론의 많은 센서가 측정한 각종 정보는 비행제어뿐만 사용자에게도 제공되어 필요한 부분에 사용될 수 있고 조종기 화면에도 표시된다.



〈그림 4〉 센서형 드론(DJI) 조종기 화면

FPV 드론은 드론 전방에 장착된 카메라가 전송하는 영상을 고글 혹은 모니터로 보고 조종한다. 비행을 위해서는 어느 정도 숙련된 조종능력이 필요하며 180Km/h 이상으로 기동성 높은 비행이 가능하다.

비행자제제를 위해 단지 자이로, 기압계 센서 정도만 장착 사용하여 구조가 간단하고 제작이 어렵지 않아 쉽게 부품 형태로 구입하여 사용자가 직접 조립 후 비행제어 소프트웨어에 기체 및 비행 관련 정보를 입력, 설정하면 비행할 수 있다.



〈그림 5〉 FPV드론 구성부품



〈그림 6〉 FPV 드론 조종기 화면

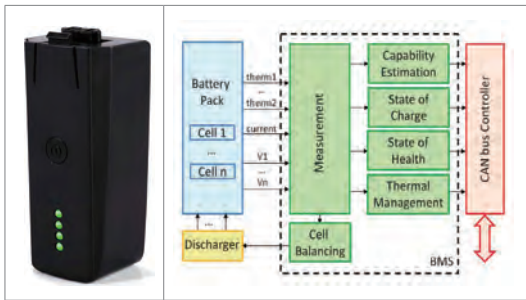
〈표 1〉 센서형 드론과 FPV 드론 비교

항 목	센서형 드론	FPV 드론
센서	많음	적음
비행성능	안정적	역동적
비행속도	저속	고속
조종 난이도	쉬움	숙련 필요
구조	복잡	간단
크기	크다	작다
무게	무겁다	가볍다
가격	고가	저렴
판매형태	완성품 판매	부품형태 판매
활용성	개조 어려움	개조 쉬움

III 개인용 드론 성능

드론 기술은 배터리, 디지털 영상전송기술 발전과 함께 발전되었다. 드론의 비행시간은 무게와 밀접한 관계가 있다. 초기 단계 비행에 사용된 니켈-카드뮴(Ni-Cd) 배터리는 무겁고 에너지 밀도가 낮아 비행 시간이 몇 분으로 극히 제한적이었으며, 이는 드론의 실용화에 커다란 걸림돌이었다. 1990년대 후반 상

용화된 리튬폴리머(LiPo) 배터리는 가볍고 높은 에너지밀도를 가지며 고속충전과 고효율 방전으로 드론의 비행시간(20~40분)을 연장하고 기동성을 비약적으로 발전시켰다. 리튬폴리머 배터리 개발과 함께 개발된 배터리 관리시스템(Battery Management System : BMS)은 특별한 전문지식 없이 배터리가 항상 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 관리하고 안정성을 높여 준다.



〈그림 7〉드론용 스마트 배터리와 배터리 관리 시스템 구조

초기 드론의 비행범위는 조종자가 드론을 시각적으로 식별할 수 있는 100~200m 정도의 시계비행(Visual Line of Sight : VLOS)에 불과했다. 최근에는 고화질 카메라의 영상을 압축 저장하는 기술과 저전력으로 장거리 무선 전송이 가능한 영상 처리용 반도체 제조기술의 발전 덕분에 시계비행을 넘어 비시계비행(Beyond Visual Line of Sight : BVLOS)이 가능해졌다.

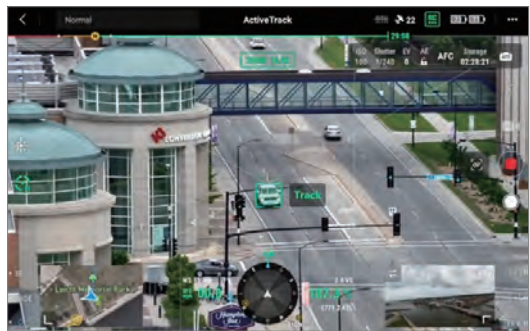


〈그림 8〉드론용 고화질 송신기와 카메라, 수신기(Caddx)

〈표 2〉상용화된 개인용 소형 드론 성능 예(DJI)

항 목	성 능
무게	249g
비행시간	최대45분
비행속도	57.6Km/h
최대비행가능거리	25Km
항법위성 시스템	GPS+Galileo+BeiDou
정지비행 정확도	±0.1m(비전)
사진 이미지	8064×6048
카메라(동영상 저장)	4K(3840×2160) 120fps
카메라안정 시스템	3축 짐벌(틸트, 롤, 팬)
동영상 무선전송	HD(1080×720) 60fps
최대전송거리	20Km(FCC), 10Km(CE)

영상처리 반도체의 발전은 드론이 촬영된 피사체를 선택하여 자동추적하는 비행 기능과 비행 시 충돌 가능 장애물을 판단하여 회피하는 기능으로 발전하였다.



〈그림 9〉개인용 드론의 피사체 추적비행 기능(DJI)

드론에서 전송된 실시간 영상은 영상수신기(조종기)와 스마트폰과 연결만 하면 간단하게 유튜브 등 실시간 방송이 가능하다.



〈그림 10〉 드론 영상 실시간 방송 구성도(SK텔레콤)

GPS를 이용한 자동비행 기능은 목표지점(Waypoint)과 비행조건 등을 지정한 후 미션을 실행시키면 목표지점에 비행하여 사진 촬영 등의 정해진 미션을 자동으로 수행한다. 자동비행기능은 조종신호 이상 및 배터리 부족 등 기체 이상 감지 시 자동으로 복귀하는 기능도 포함한다.



〈그림 11〉 경로지정 자동비행 화면(DJI)

IV 드론관련 규제 및 자격

우리나라에서는 드론을 초경량 비행장치 중 무인비행장치로 분류하여 항공법으로 규제하였으나, 개인 소유 드론 증가 및 고성능화로 2017년 3월 30일 이후에는 안전한 운항과 공중에서의 사고 예방을 위해 관련 법령을 확대 제정하여 현재는 항공안전법, 항공사업법 및 공항시설법으로 드론을 규제하고 있다.

드론 관련 규제는 지방자치단체나 특정 기관에서 추가적으로 제정할 수 있으므로 해당 지역의 규제를 확인하여야 한다. 이러한 규제 강화에도 개인용 드론의 소형화와 고성능화로 인해 비행금지 구역에서 미승인 비행이나 사생활 침해 등으로 인한 신고 건수는 증가 추세이다.

〈표 3〉 서울지역 불법드론 단속 건수(국토교통부)

년도	적발건수	증가율
2020년	98	-
2021년	130	32.6%
2022년	210	61.5%
2023년	345	64.3%

항공안전법 주요 규제와 기준 내용은 장치신고(기체등록) 및 인증, 운항제한, 비행 고도와 거리, 조종자 자격, 보험가입, 촬영 및 사생활 보호, 사고 및 안전관리에 관한 내용이다. 항공안전법에서 정한 조종자 자격 종별은 조종 가능한 기체의 허용 중량으로 종별 최대 허용중량 이하의 기체만 조종하여야 한다.

〈표 4〉 자격 종별 조종 허용기체 중량(국토교통부)

자격종 종별	조종 허용기체 중량
1종	25Kg 초과 150Kg 이하
2종	7Kg 초과 25Kg 이하
3종	2Kg 초과 7Kg 이하
4종	250g 초과 2Kg 이하
없음	250g 이하

〈표 5〉드론관련 승인 및 신고 담당기관

항 목	담당기관	비고
비행승인	지방항공청·국방부	
조종자증명	한국교통안전공단	
항공촬영승인	국방부	
장치신고(비사업)	한국교통안전공단	2Kg 초과
장치신고(사업용)	한국교통안전공단	모든 장치
안전성인증	항공안전기술원	25Kg 초과
사업등록	지방항공청	

서울지방항공청에서는 각 기관의 승인 및 신고 내용을 한 곳에서 서비스하는 “드론 원스톱 민원 포털 서비스(<https://drone.onestop.go.kr>)”를 운영 중이며 드론 관련 각종 신청 및 허가 민원 서비스를 제공한다.

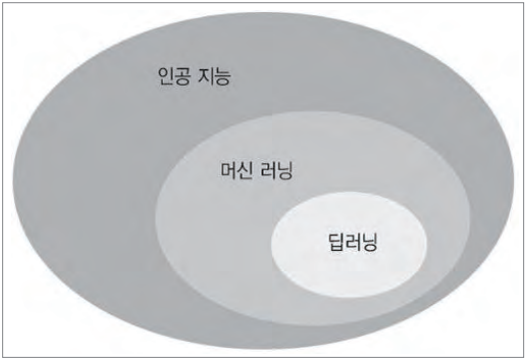


〈그림 12〉드론 원스톱 민원 포털 서비스 화면(서울지방항공청)

V 개인용 드론의 발전 방향

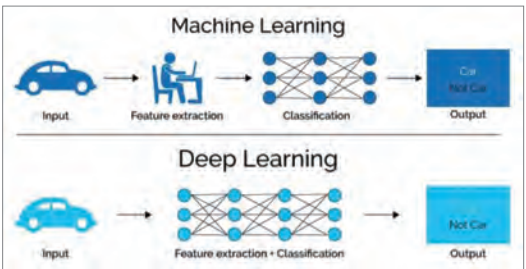
짧은 시기에 고성능 소형화된 개인용 드론의 기술 발전과 속도는 인공지능(AI) 기술의 적용 방향으로 어렵지 않고 빠르게 진행될 것으로

보인다. 인공지능 기술 분야에는 머신러닝(Machine Learning) 기술이 있으며 세분화된 딥러닝(Deep Learning) 기술이 있다.



〈그림 13〉인공지능, 머신러닝, 딥러닝 관계

머신러닝은 인공지능의 중요한 분야로, 데이터를 분석하여 패턴을 학습하고 예측을 수행하는 알고리즘을 의미한다. 딥러닝은 머신러닝의 한 종류로 인간의 뇌의 구조를 모방한 인공 신경망을 통해 학습하는 방식이다.



〈그림 14〉머신러닝과 딥러닝 차이

머신러닝과 딥러닝의 차이는 컴퓨터인식 과정 중 하나인 특징 추출 알고리즘을 인간이 제공하느냐 컴퓨터가 스스로 만들어 적용하느냐의 차이이다.

머신러닝은 특징 추출에 제공된 알고리즘을 사용

한다. 특정 작업을 자동으로 수행하기 위하여 설계된 알고리즘이 많은 양의 정보를 수집한 후 이를 바탕으로 통계, 논리적 규칙이나 알고리즘을 사용하여 추론된 정보를 바탕으로 결정을 내린다. 미리 입력된 알고리즘 만드는 과정을 거치지 않아 속도가 빠르며 드론에 장착된 엣지 컴퓨터나 조종자 컴퓨터에서 결과 추출이 가능하다. 반면 딥러닝은 많은 데이터를 처리하여 특징 추출 알고리즘을 컴퓨터가 만들어야 하므로 클라우드 컴퓨터에 네트워크로 연결하여야 하는 복잡성을 가지며 결론 추출에 시간이 필요하다.

드론에 우선 적용될 분야는 영상 인식 기술에 인공지능 기술을 적용한 객체 인식이다. 이를 통해 분석과 추적 기능이 향상될 것으로 보인다.



〈그림 15〉 영상에서 객체 인식 및 추적

AI자율비행은 3차원 지도 비행데이터와 객체인식이 복합된 형태의 자율비행으로, 비행경로를 자동으로 설정하고 장애물을 예측하여 회피비행을 수행한다. 이를 통해 최적의 비행 경로를 추출하고 비행시간을 단축시키며, 충돌 위험을 줄여 비행안전성을 높일 수 있다.

대규모의 드론이 동시에 비행하는 군집드론의 비행은 자동비행이 필수적이며 여기에 AI기능이 적용되면 드론과의 협업으로 더 많은 기능을 수행할 것으로 기대된다.



〈그림 16〉 자율비행 예측경로(노란색)와 비행경로(검은색)

AI드론은 우크라이나와 러시아의 전쟁에서 보듯이 전쟁의 양상을 바꾸고 있다. 정찰용 드론이 영상 속 군복을 분석하여 적군과 아군을 구별하고, 위치와 이동 방향을 촬영하여 전송하며, 심지어 폭탄을 투하하기도 한다. 전쟁에 사용된 드론은 개인용 드론에 기능을 추가한 것으로, 이것은 개인용 드론과 특수분야 드론과의 기술 격차가 크지 않음을 증명한다.



〈그림 17〉 전쟁에 사용된 개인용 드론(폭탄 투하, 정찰용)

VI 맺음말

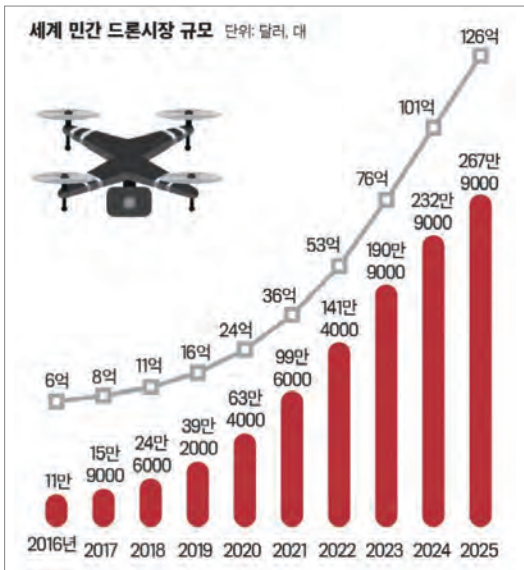
드론의 발전은 여러 분야에서 기존의 패러다임을 변화시켰다. 그 예로 항공촬영 분야는 대부분 드론

으로 대체되었다. 인력, 비용 측면에서 절감을 가져오고 무인촬영 비행으로 그동안 촬영이 어려운 분야도 완벽히 수행하며 사람을 대체하거나 협업하고 있다.

부작용으로 비행금지 구역 미승인 비행, 불법 촬영, 사생활 침해 등으로 민간항공기 이·착륙 지연 등 커다란 피해와 사회적 문제를 발생시키기도 한다.

AI 드론은 통신기술 발달로 조종거리 확대와 고성능 카메라에 의한 영상으로 자율 비행이 가능하여 불법 비행 중인 드론 위치로 원거리에서 조종자를 적발하는 것은 점점 어려워질 것으로 예상된다.

드론 불법 비행 적발 사례를 보면 관련 규정을 모르거나 미확인으로 적발되는 경우가 많고 국내규정을 모르는 유학생, 여행 중인 외국인이 비행하다 적발되는 경우가 많다. 민간 드론 시장 규모가 상승하는 만큼 개인용 드론 비행도 늘어날 것으로 관련 규정 홍보 및 기술발전에 따른 규정 보완이 필요할 것으로 보인다.



〈그림 18〉 세계 민간 드론시장 규모

고성능 개인용 AI 드론은 특수분야 업무를 수행하는 드론과의 업무 간격을 좁히며 프로그램 수정 등으로 상당 부분 대체할 것으로 보인다. AI 드론과의 협업 시스템은 치안유지의 효율화를 높이고, 보다 안전한 사회를 만드는데 기여할 것이다. AI 드론의 치안분야 적용 방안으로는 다중 드론 협업으로 넓은 지역을 감시하고 수집한 데이터의 실시간 공유, 공공장소나 중요시설 실시간 감시를 통한 범죄예방, 긴급대응, 증거수집, 범죄자 추적, 재난대응으로 피해지역 탐사, 실종자 수색 등에 활용할 수 있다. **PSI**

참고 문헌

- [1] “제2차 드론산업발전 기본계획(’23~’32) 규제혁파로드맵2.0”, 국토교통부 <https://www.molit.go.kr/>
- [2] “전자통신동향분석”, 제16권, 2001. 4.
- [3] “드론 원스톱 민원포털시스템”, 서울지방항공청 <https://drone.onestop.go.kr>
- [4] <https://www.dji.com/>
- [5] <https://caddxfpv.com/>

디지털 혁명시대의 3D 프린팅 신기술 동향

오산대학교 김범준 교수

I 3D 프린팅 기술배경 및 개념

일반적으로 제품을 제조하는 과정은 크게 4가지 방식으로 나누어지는데 하나는 전통적인 절삭가공, 기존의 모양만 변형시키는 소성가공이나 단조, 파우더소재를 녹여서 형틀에 부어 제작하는 주조방식이다. 이러한 4가지 방식 중에서 제품이 만들어지는 과정을 고려해 볼 때 만들고자 하는 형틀에 소재를 녹여 넣어 냉각시킨 후 제품을 꺼내는 주조방식이 3D 프린팅 제작방식과 유사하다고 볼 수 있다.

다만 주조는 제품을 형틀에서 냉각 후 한 번에 꺼내는 방식이고, 3D 프린팅은 제품을 슬라이싱하여 한층 씩 쌓아서 최종 제품을 만들어내는 방식이다. 보다 정확하게 설명을 하자면 “3D 프린팅 기술”은 디지털 설계 또는 3D 스캐너「입체 스캐너」를 통해 얻어진 3차원 설계 데이터를 자동화된 출력장치를 통해 입체화하는 프로세스를 말하며, 분말, 액체,

고체 형태의 특정소재를 3D 프린터를 통해 자유도에 따른 X, Y, Z좌표를 분사 및 적층형태로 제어하면서 노즐을 통하여 3차원 형태의 입체물을 제작하는 것을 정의한다. [1]

3D 프린팅 기술이 20세기에 들어서면서 디지털기술의 혁신적인 발전으로 개발되었기보다는 이미 40여 년 전인 1983년에 시작되어, 3D 프린팅 기술 전문 업체 3D 시스템스(3D Systems)의 공동 창업자 찰스 헐(Charles W. Hull)에 의해 고안된 바 있다.

1988년에 3D 프린터가 세계 최초로 상용화된 이후로 3D 프린터가 대중에게 알려지고 익숙해진 시기는 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식이 상용화된 시기로 볼 수 있다. 여기서 FDM 방식은 가열된 노즐을 통해 재료가 압출되어 나오면서 경화된 층을 쌓는 제조방식을 말하는 것이다. 3D 프린터라는 용어가 쓰이기 시작한 시기는 Rapid Prototyper라는 이름으로 기업에서 목업을 제작하는데 주로 사용, 비교적 생산비용이

저렴하고 제작 시간이 짧은 FDM 방식이 상용화한 시기를 기점으로 했음을 알 수 있다.

3D 프린팅 기술은 대량생산 중심이었던 산업 구조를 다변화된 다품종-소량 생산 체제로 바꿔놓은 4차 산업을 이끄는 핵심 디지털 기술 중의 하나로 평가되면서 도깨비방망이 같은 역할을 해줄 것으로 기대되었다. [2] 현재까지 3D 프린팅 기술은 산업계/의료계를 비롯 관련 분야 등에서 매우 핫한 이슈를 불러일으켰으며 제작방식에 따른 다양한 3D 프린팅 기술이 개발되어 시제품을 개발하거나 상용화를 위한 연구용으로 그 기술이 급속히 발전해가고 있는 추세이다.

II 3D 프린팅 기술

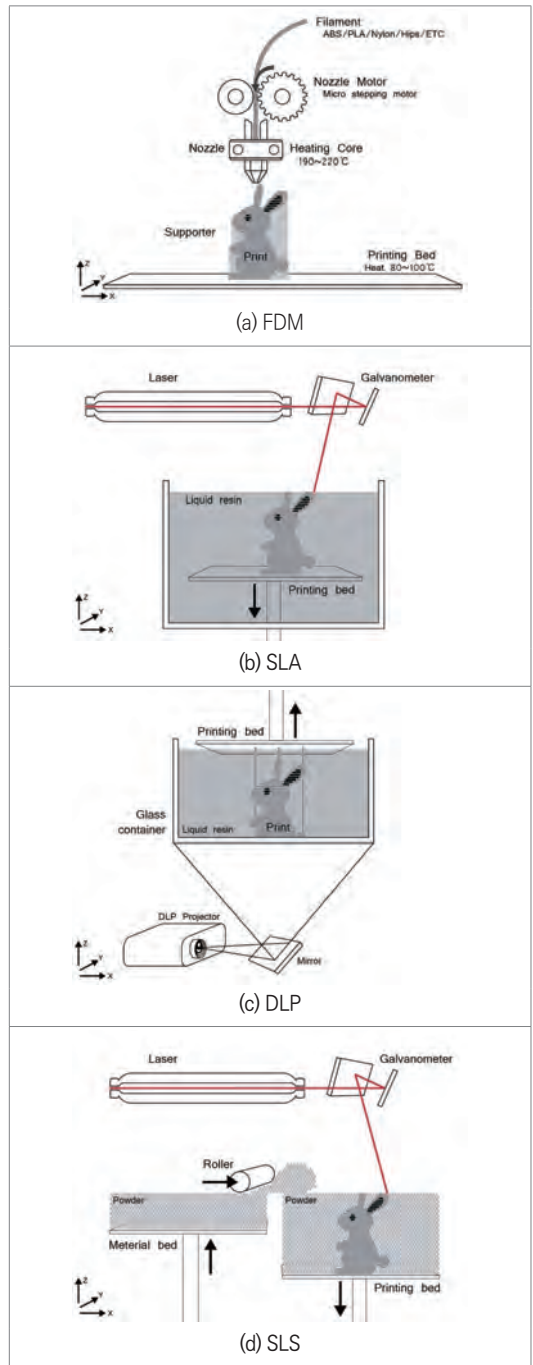
3D 프린팅을 활용한 실물 제작 단계는 모델링 (Modeling), 프린팅(Printing), 후처리(Finishing)의 3단계로 구분할 수 있다.



〈그림 1〉 3D 프린팅 과정

첫째, 모델링은 3D 도면을 제작하는 단계이며 3D CAD나 3D 모델링 프로그램 또는 3D 스캐너 등을 이용하여 제작하는 단계로서 제품을 출력하기 위해 제품의 입체 형상을 컴퓨터 내부의 가상공간에 만들어 내는 것으로, 자신이 원하는 형상을 자유롭게 모델링해서 출력할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다.

둘째, 프린팅 단계는 모델링 과정에서 제작된 3D 도면을 이용하여 물체를 만드는 단계로 적층형이 가장 대표적이다.



〈그림 2〉 3D 프린팅 적층방식 및 원리

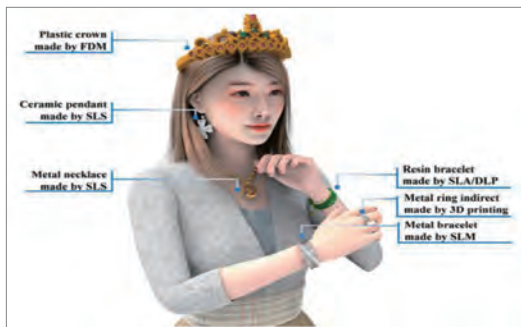
3D 프린팅에 사용되는 소재는 액상, 분말, 고형 기반의 3가지 방식으로 구분되며 소재에 따른 프린팅 방식으로 용융 적층 모델링 방식(FDM)과 광경화성 수지 조형 방식(DLP), 레이저 수지 조형 방식(SLA), 파우더소재의 선택적 레이저 소결 방식(SLS), 그리고 금속분말 레이저 적층방식(SLM) 기술이 대표적이다.

<그림 2>는 대표적인 프린팅 방식에 따른 적층원리를 보여준다. <표 1>은 3D 프린팅 소재와 제작방식에 따른 기술을 나타낸다.

<표 1> 3D 프린팅 제조방식 기술 분류

방식	대표 기술	원리	장점
액상	SLA	액체 수지를 레이저로 경화	높은 정밀도, 빠른 속도
분말	SLS	분말을 레이저로 소결	금속 등 재료의 다양성, 견고성
고형	FDM	필라멘트형 원료를 녹여 적층	낮은 제조단가, 높은 강도, 내습성
	SLM	금속재료 분말을 레이저로 적층	재료의 다양성, 정교, 높은 강도

마지막으로, 후처리 단계로서 산출된 제작물에 대해 보완 작업을 하는 단계로 색을 칠하거나 표면을 연마, 염색, 표면재료 증착 등 상품화를 위한 마무리 공정이 있다.



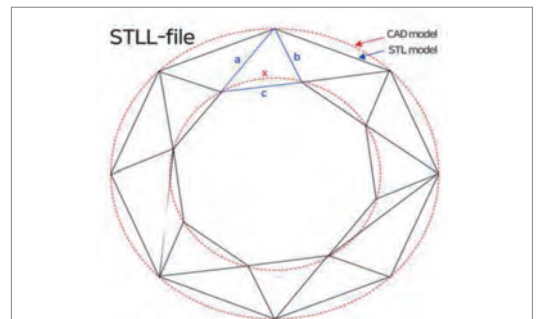
<그림 3> 주얼리 및 장식품에서 제조 방식 응용 사례 [3]



<그림 4> 폴리셔(Polysher)로 표면처리를 완료한 모습 (출처: 킥스타터) [4]

특히, 3D 프린팅을 위한 기술에 있어서 3차원 설계 데이터가 반드시 있어야 프린팅을 할 수 있으므로 3D 형상을 설계하기 위한 전문 소프트웨어가 있어야 한다.

3D 형상을 제작하는 소프트웨어는 소프트웨어의 종류에 따라 3D 설계파일을 저장하는 포맷이 각각 다르므로 3D 모델링 된 데이터를 3D 프린터에 사용하기 위해서는 국제표준형식 중 하나인 STL (Stereo Lithography) 파일로 저장하여야 하는 과정을 거쳐야 한다. 여기서 STL 파일은 3차원 데이터를 표현하는 국제 표준 형식 중 하나로 3D 시스템즈의 공동설립자 척 헐(Chuck Hull)이 파일형식을 창안하였다. STL은 입체 모형을 삼각형 면으로 분할하여 구성하는 것이 특징이며, 이를 세밀하게 조절하여 프린팅 대상의 표면조도를 원형에 가까운 모형으로 설계할 수 있는 특징을 가지고 있다.



<그림 5> STL 파일 포맷 [5]



〈그림 6〉 모델링 파일 형식 [6]

3D 프린팅 기술에 있어서 프린팅 제작방식 이외에 프린팅 소재개발 또한 매우 중요한 기술 부분을 차지하고 있다. 3D 프린팅 제조기술이 우수해도 소재개발의 기술이 받쳐주지 않으면 의미가 없기 때문이다. 3D 프린팅 소재에 대한 기술개발동향은 일반 플라스틱이나 파우더 분말 소재뿐만 아니라 알루미늄, 스테인리스, 티타늄, 인코넬 등 다양한 금속 혹은 합금 소재까지 활용 가능한 단계로 발전되고 있다.

〈표 2〉는 3D 프린팅 소재 및 적용 제품분야를 나 타낸다. [7]

〈표 2〉 3D 프린팅 소재 및 적용 제품분야
(자료: 한국산업은행 기술평가부)

소재	종류	적용 제품	비고
수지	폴리스티렌, 나일론, ABS 등	패션, 완구, 시제품	기술개발 완성단계
금속	티타늄, 알루미늄, 코발트, 철 등	금형, 기계부품, 의료	기술개발 초기단계
기타	종이, 목재, 식재료, 고무 등	건축, 음식	-

III 3D 프린팅 기술 적용분야

3D 프린팅 기술은 단순한 제조 방식을 넘어, 인류의 삶에 있어서 다양한 영역에 혁신을 가져오고

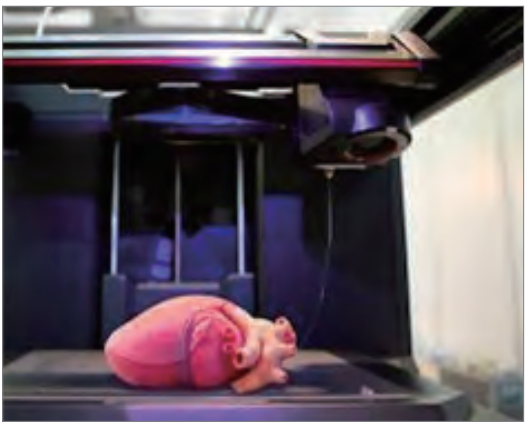
있다. 복잡한 형상의 물체를 층층이 쌓아 올려 제작하는 3D 프린팅은 디자인의 자유도를 높이고, 제작 시간과 비용을 절감하며, 맞춤형 제품 생산을 가능하게 함으로써 다양한 산업분야의 기술혁신에 지대한 영향을 미치고 있다.

주요 기술적용분야로는 의료 분야, 식품분야, 제조업 분야, 건축 분야, 교육 분야, 예술 분야를 비롯하여 첨단과학기술분야인 우주 항공 분야 등이 있다.

의료분야의 경우, 개개인의 신체적 특성을 고려한 맞춤형 의료 기기의 개발로 환자의 해부학적 구조에 맞춰 인공 관절, 보청기, 치과 보철물 등을 제작하여 수술 성공률을 높이고 환자의 편의성을 향상하는데 적용되고 있다.

또한, 바이오 프린팅기술을 개발해 인간의 피부 조직이나 장기를 대체할 수 있는 인공 장기, 조직, 혈관 등을 3D 프린팅하여 이식용 조직 개발과 질병 모델 연구에 활발한 기술개발이 이루어지고 있다.

더 나아가, 환자의 3D 모델을 제작하여 수술 계획을 세우고 시뮬레이션을 진행하는데 응용이 되고 있다.



〈그림 7〉 3D 프린팅 장기(organ) [8]

국내 의료계의 성공사례로 가톨릭중앙의료원 김성원 가톨릭대 이비인후과 교수 연구팀은 공동연구를 통해 지난해 8월 동종 성체줄기세포 기반 3D 바이오프린팅 인공기관을 성공적으로 이식했다고 밝혔다. 공동 연구팀은 살아있는 세포를 실제 장기 구조와 유사하게 마이크로 프린팅하여 활성화된 이식용 장기와 조직을 만드는 3D 바이오 프린팅 방식을 활용했다.

건축분야에서는 건축설계단계에서 3D 프린팅으로 건물 모델을 제작하여 디자인 검토와 의사소통을 효율적으로 진행을 할 수가 있으며, 주택 건설 시 소규모 주택이나 비상 대피소 등을 3D 프린팅으로 건설하여 건축 기간을 단축하고 비용을 대폭적으로 절감할 수가 있다.

제조업 분야에 있어서는 3D 프린팅 기술이 빠르고 유연하게 시제품을 제작하여 아이디어 검증과 설계 변경을 용이하게 할 수 있는 장점이 있으며 개인 맞춤형 제품인 신발, 안경, 의류 등 개인의 체형과 취향에 맞춘 맞춤형 제품 생산이 가능해진다.



〈그림 8〉 3D 프린팅 맞춤형 신발 [9]

또한, 3D 설계 데이터만 있으면 현장에서 바로 필요한 예비부품을 3D 프린팅 하여 생산 중단 시간을 최소화하고, 유지보수 비용을 절감할 수가 있다.

교육분야의 경우는 학교를 비롯하여 각 지자체에서 메이커 스페이스라는 창의 활동 공간을 마련하여 3D 프린팅으로 다양한 교육 자료를 제작하여 학생 및 일반인을 대상으로 체험학습 효과를 높이고 창의력을 증진하는데 적극적으로 활용되고 있다.

특히, 대학 현장에서는 공학 관련 전공수업이나 캡스톤 디자인 제품설계에 필요한 모델을 3D 프린팅 하여 창의공학분야에 활발하게 사용하고 있다.

예술분야의 경우, 기존 조각가들이 어렵게 작업하던 조각작업이나 조형작업을 3D 모델링 프로그램을 활용하여 독창적인 조각 작품을 디자인하고 3D 프린팅으로 실제 작품을 제작하는 데 사용하고 있는 실정이다. 산업 디자인, 패션 디자인 등의 분야에서는 3D 프린팅을 활용하여 디자인 아이디어를 구체화하고 시각적으로 표현하는데 활용되고 있으며 개인의 취향을 반영한 맞춤형 의류, 액세서리 등을 제작하는 데 사용되고 있다.

3D 프린팅 기술이 적용되는 흥미로운 분야로는 식품분야가 있는데 개인의 영양 요구에 맞춘 식품을 3D 프린팅으로 제작하여 건강관리에 도움을 줄 수 있는 식단에 기여할 수가 있으며 케이크, 초콜릿 등 음식 장식에 3D 프린팅을 활용하여 마치 예술작품처럼 더욱 정교하고 독특한 수준의 다양한 식품을 만드는데 응용되고 있다. 실례로서 미국 우주항공기업 NASA의 3D 푸드 프린팅 기술을 사업화한 미국 스타트업 비헥스(BeeHex)는 2017년 3D 프린터로 6분 만에 수요자가 원하는 모양과 재료를 갖춘 피자를 만드는 기술을 선보였다. 최근 비헥스는 페플라스틱을 미생물과 반응시켜 추출한 단백질 성분을 3D 프린터에 원료로 넣어 스테이크나 닭가슴살 등을 제조하는 푸드테크시스템을 연구개발 중이다.

특히, 우주항공분야의 경우 경량화된 우주선 부품을 3D 프린팅 하여 발사 비용을 절감하고 임무 수행 능력을 향상하는 데 사용되고 있으며 소형 위성용 3D 프린팅으로 제작하여 우주 탐사 비용을 절감하고 다양한 우주 임무를 수행하는 데 많은 기여를 해오고 있다.

이러한 성공사례로서 2017년에 설립된 인도의 신생기업 아그니쿨 코스모스가 3D 프린팅을 이용해 단일 부품으로 만든 엔진을 갖춘 로켓을 발사하는데 성공을 했으며 일부가 아닌 전체를 3D 프린팅 기술을 이용해 통째로 제작한 엔진을 탑재한 로켓이 발사에 성공을 함으로써 3D 프린팅기술이 과학계의 도깨비방망이 같은 역할을 했다고 해도 과언이 아닌 것이다. 특히, 우주 정거장 내의 소모품이나 교체를 요하는 부품을 지구로부터 다시 가져오려면 상당한 비용을 요하므로 정거장 자체 내에 3D 프린터를 설치하여 직접 부품을 제작하여 사용한다.



<그림 9> 3D 프린터를 이용해 단품으로 제작한 아그니쿨의 로켓 엔진. (아그니쿨 제공) [10]

IV 3D 프린팅의 미래

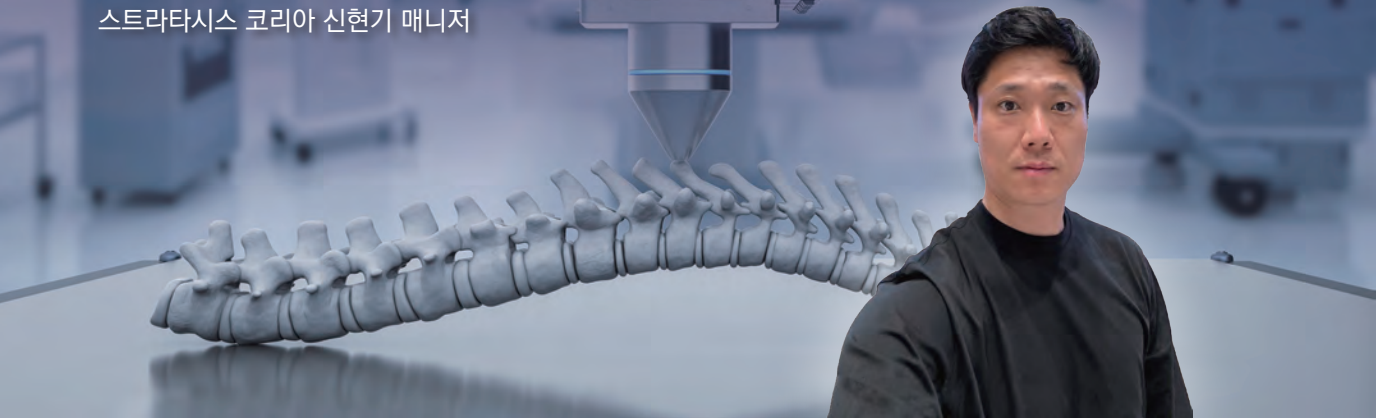
최근에 유튜브에 ‘3D 프린트된 폴사이즈 매킨토시’라는 제목의 영상을 통해 3D 프린팅 기술을 활용해 애플의 개인용 컴퓨터 ‘매킨토시플러스’를 제작하는 과정을 보인 바 있다. 이스라엘의 패션 디자이너 대니트 펠레그(Danit Peleg)의 사례 역시 3D 프린팅으로 만든 재킷을 온라인 웹사이트에서 판매하기 시작했는데 사이즈와 색상 등 100개 항목을 선택해 맞춤 제작할 수 있다. 대니트 펠레그는 이번 온라인 판매를 통해 ‘집에서 혹은 지정된 매장에서 누구나 파일과 프린트 옷을 살 수 있는 세상’에 대한 비전을 밝히기도 했다. 결국 3D 프린터에 대한 시장의 종착점은 대중화에 있으며 개인화된 맞춤 제작, 다품종 소량 생산, 생산의 민주화 그리고 지속 가능한 생산과 새로운 산업 창출만이 3D 프린팅 기술에 디지털 생명을 끊임없이 불어넣는 원동력이 될 것이다. **PSI**

참고 문헌

- [1] 김성천, 신기술과 소비자법제 연구 II : 3D프린팅, 정책연구 16-09, 한국소비자원(2016), p. 15.
- [2] 3D 프린팅과 산업혁명 4.0, P.27, 한국폴리텍 II 대학, 최성권(KISTEP 포럼 발표자료)
- [3] Ayyaz Mahmood, etl., On the Evolution of Additive Manufacturing (3D/4D Printing) Technologies: Materials, Applications, and Challenges, p. 22, polymers(2022)
- [4] <https://techg.kr/14636/>
- [5] 고재경, 3D 프린팅 기술 현황 . 소재산업을 중심으로, (사)국가생명윤리정책원(2014), p. 91.
- [6] <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5874518&cid=51399&categoryId=51399>
- [7] 고재경, 3D 프린팅 기술 현황 . 소재산업을 중심으로, (사)국가생명윤리정책원(2014), p. 91.
- [8] <https://www.theregreview.org/2019/12/10/kunwar-uncertainty-regulating-3d-organ-printing/>
- [9] <https://www.core77.com/posts/119988/Custom-Fitted-3D-Printed-Machine-Washable-Sneakers>
- [10] https://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/1145088.html

3D 프린팅 두개골의 법정 증거물 사례와 최신 의학용 3D 프린팅 기술 트렌드

스트라타시스 코리아 신현기 매니저



I 들어가며

3D 프린팅 기술이 항공우주, 자동차, 방산, 의료, 전기전자, 교육 등 다양한 분야에서 혁신적인 변화를 일으키고 있다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다. 본 기고문에서는 일반적인 3D 프린팅 기술의 개요, 3D 프린팅 기술방식 및 작동원리, 광범위한 산업분야의 적용사례에 대한 틀에 박힌 소개보다는, 치안 현장과 법의학 수사에 3D 프린팅 기술이 중요한 도구로 활용될 가능성에 대해서 중점적으로 살펴보았다.

3D 프린팅 기술이 더욱 발전을 거듭하면서 현장에서의 증거를 더 정확하게 재현할 수 있게 되었고, 이로 인해 범죄 수사와 법정에서의 시각적 증거와 도구로서 어떤 영향을 미칠 수 있을지를 실제 범죄 사건 사례를 통해 확인해 보았다.

나아가 인체 조직의 물리적 특성과 복잡한 해부

학적 구조까지 정밀하게 재현할 수 있는 최신 의학용 3D 프린팅 기술 트렌드를 살펴보고, 고도화되고 있는 지능형 범죄에 대응하기 위한 치안과학기술의 발전에 어떠한 도움을 줄 수 있을지 고민해 보았다.

II 3D 프린팅의 법정 증거 활용 사례

1. 사건 개요

Frazer Brabant는 자신의 집 앞 정원에서 심각한 머리 부상을 입은 채로 발견되었다. 이후 3개월 간 병원에서 의식을 회복하지 못하고 32세의 나이로 사망했다. 부검 결과 피해자는 여러 차례 머리와 얼굴에 공격을 당했으며 외상의 형태와 손상 정도를 봤을 때 마체테(정글도) 같은 날카로운 무기가 사용된 것으로 추정되었다. 이 사건은 2019년 10월

31일, 영국 베이징스토크 (Basingstoke)에서 발생한 Frazer Brabant 살인 사건이다.

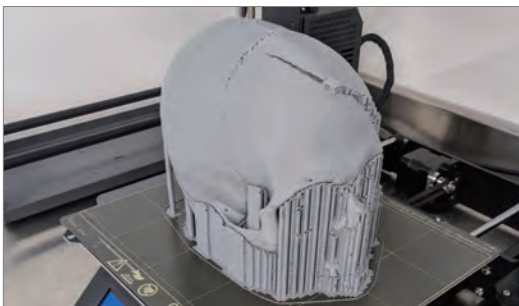
2. 3D 프린팅 기술의 활용

1) 디지털 모델 제작

피해자의 두개골을 재현하기 위해 포츠머스 대학교(University of Portsmouth)와 햄프셔 및 화이트 섬 경찰대(Hampshire and Isle of Wight Constabulary)의 영상분석팀은 피해자의 CT 스캔과 고해상도 X-ray 스캔 데이터를 기반으로 부상의 형태를 3차원으로 보여주는 디지털 모델을 만들었다.

2) 3D 프린터로 물리적 모델을 제작

스캔을 통해 얻은 1차 디지털 모델은 법정에서 배심원들이 직접 손으로 부담 없이 만져보며 살펴보다도 충분히 견고할 수 있도록 두개골 내부에 구조적 안정성 향상을 위한 지지대(Support)를 추가하는 2차 작업이 진행되었다.



〈그림 1〉 3D 프린팅으로 출력된 피해자 두개골 재현 모델



〈그림 2〉 사건 피해자 (Frazer Brabant) 사진
(출처: 햄프셔 경찰)

이러한 과정을 거쳐 최종 완성된 디지털 모델을 기반으로 포츠머스 대학교 기계설계공학과 (School of Mechanical and Design Engineering) 모건 로더 박사 (Dr. Morgan Lowther, Senior Scientific Officer)는 FDM (Fused Deposition Modeling, Material Extrusion) 방식의 3D 프린터와 PLA(폴리락틱산) 소재를 사용하여 물리적인 두개골 모델을 재현하였다.

영향	방식	주 사용소재	
	재료 압출 방식 (Material Extrusion, ME)	고온가열 혹은 에너지로 가하여 흐름성이 확보된 재료를 높은 압력을 이용하여 연속적으로 밀어내면서 지정된 경로에 압출하여 구조물을 형성하는 적층제조 공정	고분자, 세라믹 (필라멘트, 페이스트)
	액조 광경화 방식 (Vat photopolymerization, VPP)	광경화 소재 혹은 광경화 소재가 포함된 복합물에 자외선 혹은 가시광선 영역대의 빛을 조사하여 선택적으로 고형화시키는 적층제조 공정	Resin (액체, 페이스트)
	접착제 분사 방식 (Binder jetting, BJT)	분말형태의 소재 위에 액체성상의 접착제를 도출시켜 분말끼리의 결합을 유도하여 구조물을 형성시키는 적층제조 공정	고분자 (분말, 액상접착제)
	재료 분사 방식 (Material jetting, MJT)	용액형태의 소재 자체를 분사방식으로 도출시키고 자외선 등을 이용하여 고형화시키는 적층제조 공정	고분자, 왁스 (액체)
	에너지 제어 용착 방식 (Direct energy deposition, DED)	레이저, 전자빔 등 집중된 열 에너지로 재료를 용융시켜 용착시키는 적층제조 공정	금속, 세라믹 (분말, 선재)
	분말 베드 용해 방식 (Powder bed fusion, PBF)	열 에너지가 분말 베드의 영역들을 선택적으로 용해시키는 적층제조 공정	고분자, 금속, 세라믹 (분말)
	판재 적층 방식 (Sheet lamination, SL)	판형 재료를 접착하여 구조물을 생성하는 적층제조 공정	종이, 금속, 고분자 (판재)

〈그림 3〉 7가지 적층 제조 방식 분류
(KSDISO/ASTM 52900 기준)

출처: 과학기술정보통신부 3D프린터 안전 이용 가이드

3) 3D 프린팅된 두개골이 중요한 법정 증거로 활용

법정에서 이 3D 프린팅된 두개골 모델은 중요한 증거로 활용되었다. 병리학자는 배심원들에게 3차원 모델을 다양한 각도로 보여주면서, 피해자가 입은 부상의 순서와 각도, 그리고 공격이 동일한 가해자의 무기에서 나온 것인지 여부를 심층적으로 설명할 수 있었다.

미국 속담에 ‘A picture is worth a thousand words’라는 말이 있다. 즉, ‘사진 한 장이 천 마디 말의 가치가 있다’는 뜻으로, 우리 고사성어의 백문불여일견(百聞不如一見)과 정확히 의미가 상통한다. 하물며 2D 사진이 아닌 3D 모델(증거물)은 어떤가. 저자는 자신 있게 ‘A 3D model is worth a thousand pictures’, 즉 ‘3D 모델 하나가 천 장 사진의 가치가 있다’고 말할 수 있다.

이처럼 3D 프린팅된 두개골 증거물은 배심원들에게 사건의 복잡한 증거를 시각적으로, 다양한 각도에서 이해할 수 있는 기회를 제공하였으며 이를 통해 법정에서 범행의 세부 사항을 설명하는데 실제적인 도움이 되었다.

4) 사건의 결론 및 시사점

8주간의 재판을 거친 후 다섯 명의 피고인은 살인 혐의로 유죄 판결을 받았고 이중 네 명이 종신형을 선고받았다.

영국경찰청 수석 과학고문 폴 테일러 (Paul Taylor)는 “증거를 배심원에게 설명하기 위해 3D 프린팅 기술을 혁신적으로 사용하는 것은, 스캐닝과 컴퓨터 모델링 역량의 급속한 발전과 더불어 향후 범죄 수사와 법정에서의 증거 제시에 있어 중요한 역할을 할 것”이라고 강조하며, “전문가들이 증거 제시에 있어 2D 사진에만 그치지 않고, 앞으로 3D 증거물의 도움으로 배심원들이 복잡한 증거에 더 쉽고 효과적으로 접근할 수 있도록 만들어 줄 것

으로 기대한다”고 말했다.

Frazer Brabant 사건은 3D 프린팅 기술이 법의학과 범죄 수사에 실제적인 기여를 할 수 있다는 것을 보여주는 중요한 사례이다. 저자는 특히 당시 두개골 출력에 사용된 3D 프린팅 기술과 소재가 기본적인 수준이었음에도 수사에 기여한 바가 상당히 크다는 점에 주목하였다.

이후 3D 프린팅 기술은 장비 하드웨어, 소재 다양성 측면에서 획기적인 발전을 거듭하였기 때문에, 이러한 최신 3D 프린팅 기술 트렌드를 법의학 및 범죄 수사에 활용한다면, 피해자의 신체 상태를 더욱 사실적으로 시뮬레이션하는 등의 기존 3D 프린팅 기술에 비할 수 없는 수준의 실감나는 리얼리즘과 정밀도를 제공할 수 있을 것이라 기대해 볼 수 있다.

이에 다음 장에서는 Stratasys社에서 공급하는 의학용 3D 프린팅 솔루션을 통해 업계의 최신 기술 트렌드를 살펴보고, 범죄 수사 및 치안 현장에 적용 가능성에 대해서 검토해 보았다.

III 최신 의학용 3D 프린팅 트렌드

1. Digital Anatomy 3D 프린터

Digital Anatomy 3D 프린터는 의료 분야에서 혁신적인 역할을 수행하는 장비로, 특히 인체 조직과 장기의 실제 구조와 물성을 매우 정밀하게 해부학적 모델로 재현할 수 있는 기술을 제공한다. Stratasys社의 최신 J850™ Digital Anatomy™ 3D Printer는 복합재료와 풀컬러를 지원하여 인체 조직의 물리적 특성과 복잡한 해부학적 구조를 정밀하게 재현할 수 있다.

2. 기술 사양 및 특징

해상도: 최소 적층 두께 14 μ m의 높은 해상도로 매우 세밀한 구조를 출력할 수 있으며, 미세한 혈관이나 신경 등의 복잡한 해부학적 구조를 정밀하게 표현할 수 있다.

풀컬러 출력: 50만 가지 이상의 컬러, 투명도, 질감 및 텍스처 처리된 모델의 구현을 통해 사실적인 모델 제작 및 시뮬레이션이 가능하다.

디지털 재료: 고무 재질로 연조직을 표현하거나, 단단한 재질로 뼈를 재현하는 등 인체 조직의 물리적 특성과 유사한 모델의 제작이 가능하며, 여러 종류의 재료를 동시에 분사(jetting)하여 복합적인 구조를 한 번에 출력할 수 있다.

3. Digital Anatomy 재료

Digital Anatomy 재료는 조직과 뼈의 해부학적 특성을 사실적으로 구현하기 위해 부드러움(softness), 유연성(flexibility) 및 밀도(density)가 다양한 고유한 재료 조합이 사용되며, 다음의 네 가지 옵션이 제공된다.

1) BoneMatrix™ (본 매트릭스)

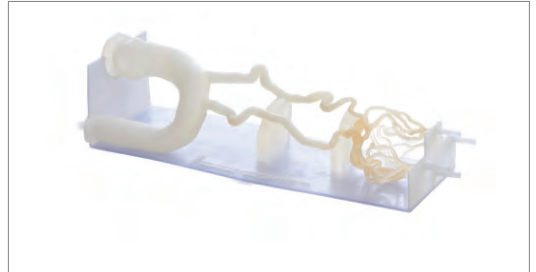
다공성 뼈 구조, 섬유 조직 및 인대를 모방한 복잡한 재료 적층 패턴을 만들어 절단 및 드릴 작업 시 가장 사실적인 피드백을 제공한다.



〈그림 4〉 본 매트릭스(출처: Stratasys)

2) GelMatrix™ (젤 매트릭스)

독자적인 GelMatrix 재료 및 GelSupport™ 적층 패턴으로 사용자는 매우 복잡한 혈관 구조를 설계 및 출력하고 내부 서포트 재료를 쉽게 제거할 수 있다.



〈그림 5〉 젤 매트릭스(출처: Stratasys)

3) TissueMatrix™ (티슈 매트릭스)

업계에서 가장 부드러운 3D 프린팅 재료로, 힘을 가했을 때 원래의 장기 조직 같이 반응하는 탄성있는 모델을 만들 수 있다.



〈그림 6〉 티슈 매트릭스(출처: Stratasys)

4) RadioMatrix™ (라디오 매트릭스)

X선 및 CT에서 방사선의 사실적 특성을 나타내는 방사선 불투과성 의료 모델을 프린트로, HU값을 제어하여 특정 대비(contrast levels)를 달성해 다양한 해부학적 구조를 모방, 실제로 X선이나 CT로 출력된 모델을 촬영해 보면, 인체를 촬영한 것과 유사한 이미지를 얻을 수 있다.



〈그림 7〉 라디오 매트릭스(출처: Stratasys)

4. 주요 용도

- 1) 의료 교육: 의대 학생들에게 실제 인체와 유사한 모델을 제공하여, 이론 교육뿐만 아니라 실습 교육도 가능하게 한다.
- 2) 수술 시뮬레이션: 수술 전에 특정 환자의 해부학적 구조를 재현하여 수술 계획을 세우고 연습할 수 있다. 이는 수술의 성공률을 높이고 환자의 안전을 도모하는 데 큰 도움이 된다.
- 3) 의료 연구: 새로운 수술 기법이나 치료법을 개발하는 과정에서 정교한 해부학적 모델을 활용할 수 있다.
- 4) 환자 상담: 의사가 환자에게 자신의 신체 상태를 시각적으로 설명할 때 실제 모델을 사용하여 더 쉽게 이해할 수 있도록 돕는다.

이러한 최신 의학용 3D 프린터 기술적 특징과 다양한 용도를 살펴보면 이것이 범죄 수사에서 현장 상황과 증거물을 사실적으로 재현하는 목적, 또는 앞서 소개한 Frazer Brabant 살인 사건에서와 같

이, 법정 증거물로의 활용에 있어 기존보다 더 사실적인 증거물로서 활용될 수 있을 것이라 예상해 볼 수 있다.

IV 나오며

날이 갈수록 범죄 수법은 더욱 지능화·다양화되고 있으며, 범죄자들의 법의학적 증거를 남기지 않기 위한 시도와 전략도 점차 고도화되고 있다. 따라서 수사기관이 이에 대응하기 위해 치안과학기술의 성숙도와 활용도를 동시에 높이는 것이 매우 절실하다고 할 수 있다.

3D 프린팅 기술은 1990년대에 본격적으로 대중화와 상업화가 시작된 이래, 소재와 기술의 다양화 및 고도화가 계속 진행 중이다. 따라서 3D 프린팅 기술의 활용도 과거 재료압출 방식(FDM/FFF)이나 광조형 방식(SLA) 등의 고전적인 기술적 한계에서 벗어날 필요가 있다.

폴리젯(PolyJet) 기술이 탑재된 최신 3D 프린터를 활용하면, 여러 재료를 동시에 프린팅하거나 사실적인 풀컬러 구현이 가능하다. 또한 의학분야에서 널리 활용되고 있는 Digital Anatomy 3D 프린터의 경우, 뼈, 피부, 장기 등 인체 조직의 물리적 특성과 복잡한 해부학적 구조까지 정밀하게 재현할 수 있기 때문에, 더욱 사실적인 법정 증거물 제작, 또는 치안현장 상황 재현 등 다양한 목적을 응용이 가능할 것으로 예상된다.

이 외에도 경찰 현장이나 경찰 R&D 분야에서 필요로 하는 다양한 장비나 부품, 기구물 제작에 최신 3D 프린팅 기술을 적용하게 되면, 경찰장비 개선과 최적화 및 R&D 성과 달성에도 도움이 될 것이다.

PSI



〈그림 8〉 Stratasys社 J55 Prime 복합재료 풀컬러 3D 프린터

참고 문헌

- [1] “Murder conviction helped by 3D-printed skull”, University of Portsmouth Blogs, <https://www.port.ac.uk/news-events-and-blogs/news/murder-conviction-helped-by-3d-printed-skull>, 2023. 10. 24.
- [2] “Men jailed for the murder of Frazer Brabant in Basingstoke”, Hampshire and Isle of Wight Constabulary News, <https://www.hampshire.police.uk/news/hampshire/news/news/2023/july/men-jailed-for-the-murder-of-frazer-brabant-in-basingstoke/>, 2023. 07. 14.
- [3] “3D프린터 안전 이용 가이드라인”, 과학기술정보통신부, p. 24.
- [4] Stratasys 웹사이트, <https://www.stratasys.com/en/industries-and-applications/3d-printing-industries/medical/>

3D 스캐닝 기술과 치안현장 응용

경일대학교 백승찬 교수



I 서론

최근 몇 년간 3D 스캐닝 기술은 컴퓨팅, AI, 메타버스 등 첨단 기술의 발전과 함께 그 응용 범위가 급속히 확장되고 있다. 3D 스캐닝 기술은 객체나 공간의 3D 형상과 기하 정보를 정확하게 역설계하여 디지털 데이터로 변환하는 기술로, 다양한 산업 분야에 적용되어 혁신적인 변화를 유발하고 있다. 특히, 건축·토목, 제조, 의료, 엔터테인먼트 분야에서 3D 스캐닝 기술은 필수 요소기술로 간주되며, 생산성 향상과 품질 개선에 기여하고 있다. 건축·토목 분야에서는 시설물의 정밀 측량과 유지관리에 활용되고, 의료 분야에서는 환자의 신체 데이터를 3D로 기록하여 정밀한 치료 계획을 수립하는 데 사용되고 있다. 정밀도와 효율성을 장점으로 하는 3D 스캐닝 기술은 다양한 분야에서 응용 가능성을 계속 확장해나가고 있다.

3D 스캐닝 기술은 그동안 제조업과 같은 산업 분야에서 주로 활용되어 왔으나, 최근에는 기술의 발전과 그 적용 범위가 확장되면서 치안 및 사건 수사와 같은 분야에서도 주목받고 있다. 기존의 치안현장 조사 방식은 현장 보존을 위해 조사관들이 사진 촬영을 실시하고 2차원 평면체로 현장 증거를 데이터화하였다. 하지만 이러한 2차원 영상 데이터는 다각도로 현장 정보를 분석하기에 한계가 있으며, 평면 위주의 자료들은 사후 분석과정에서 현장을 재구성할 때 오류를 범할 수도 있다. [1] 또한, 2차원적인 사진만으로는 치안현장 전체를 종합적으로 파악하고 증거들은 유기적으로 연결하여 분석하는데 큰 어려움이 있다. [2, 3]

이와 같은 한계를 극복하고 조사의 객관성과 신뢰성 향상을 위해 치안현장 조사에 3D 스캐닝 기술이 주목받고 있다. 3D 스캐닝 기술은 현장을 정확하게 역설계하여 디지털 데이터를 구축하며, 이를 통해 사건 발생 당시 현장의 사실관계를 완벽하게

재현할 수 있다. 또한 이러한 3D 데이터는 법적 증거물로써 신뢰성을 가지며, 사건의 사실관계 파악에 도움이 된다. 최근 3D 스캐닝 기술은 교통사고 현장 재현 및 시뮬레이션, 사건의 현장 3D 재구성 등에 활용된 바 있다. 특히, 최근에는 컴퓨팅 기술의 발전과 함께 3D 역설계 기술의 정밀도가 향상되고 데이터 구축 속도가 빨라짐에 따라 현장 조사를 수행할 때 3D 스캐닝 기술의 활용이 점차 증가하고 있다. 이러한 장점에도 불구하고 국내에서 치안 현장 조사에 있어 3D 역설계 기술의 적용은 논의만 진행되고 있을 뿐 기술의 실제 적용 사례는 미흡한 실정이다.

이에 본 기사에서는 3D 스캐닝 기술과 치안현장 적용 사례를 고찰함으로써 해당 기술의 활용성에 대해 논의하고자 한다. 3D 스캐닝 기술은 전통적인 현장 조사 방법의 한계를 극복하고, 치안 조사 분야에서 새로운 패러다임을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

II 3D 스캐닝 기술 [4]

3D 스캐닝 기술은 물체에서 반사되거나 투과되는 에너지를 측정하는 광학식 3D 모델링 기법이 주로 연구되어 왔다. 특히, 광학식 기법 중 능동방식 스캐닝 기술과 수동방식인 포토그래메트리(Photogrammetry) 기술이 광학 기술 발전과 컴퓨팅 성능 향상으로 활발히 연구되어 다양한 분야에서 활용되고 있다. 능동방식 스캐닝 기술은 정밀한 3D 데이터 생성을 위한 대표적인 방식으로, 물체에 빛이나 특정 패턴을 투영하고 물체의 표면에 투영된 패턴의 왜곡(굴곡)을 취득한 후, 물체의 깊이와 표면 정보를 계산하여 3D 모델링을 수행하는 기술이다. 이 기술은 3차원 좌표뿐만 아니라 구조

물 표면의 재질까지도 표현 가능한 정확도를 제공한다. 따라서 건설, 고고학, 문화유산 보존, 지질학, 제조 등 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 특히, 의료와 역공학 분야에서 정밀한 측정을 위해 활용되고 있다. 포토그래메트리 기술은 2차원 이미지를 기반으로 기하학적인 3차원 형상 정보를 구축하는 기술로, 여러 위치에서 물체를 촬영한 영상을 통해 위치, 형상, 크기 등을 파악하여 3차원 데이터를 생성한다. 주로 지형 지도 제작, 건축, 엔지니어링, 품질 관리, 경찰 조사, 문화유산 및 지질학과 같은 분야에 사용되고 있다. [5]

3D 스캐닝 기술 중 일반적으로 활용되는 방식은 포토그래메트리 방식과 능동방식 스캐닝 기술로, 치안현장에서 주로 활용되는 기술은 포토그래메트리 방식이다. 포토그래메트리 방식은 RAW 데이터로 2차원 이미지를 활용함으로써 구축된 3D 모델에 텍스처를 표현할 수 있는 장점이 있다. 이에 본 장에서는 포토그래메트리 방식에 대해 설명하고자 한다.

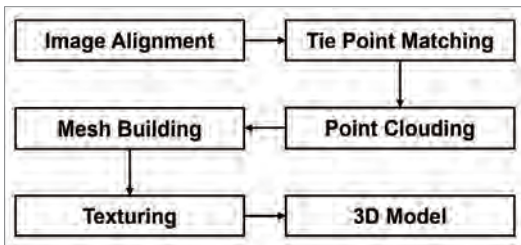
포토그래메트리 기술은 SIFT(Scale-invariant feature transform), SfM(Structure from Motion), SGM(Semi Global Matching) 등의 기술을 기반으로 3D 모델을 구축하며 이러한 기술들은 축척 및 카메라의 설정, 외부표정요소 등 여러 요소들에 제약받지 않고 비교적 간단하게 영상을 정합하여 3D 모델을 구축할 수 있는 장점이 있다.

SIFT(Scale-invariant feature transform) 기법은 영상정보를 국부적 축척 불변의 특징점으로 변환하는 기법으로 영상의 밝기가 지역적으로 극대 또는 극소인 후보 특징점을 추출하고 명암비가 낮은 특징점 중 영상정합에 활용할 특징점 필터링을 통해 선별한다. 선택된 특징점들을 중심으로 Gradient를 통해 방향성분을 얻고, 이를 바탕으로 관심 영역을 재설정하여 특징점의 크기를 산출하고 서술자를 생성한다. 이렇게 추출 및 서술된 특징점은 서술자를

이용하여 영상 간 공통된 특징점을 정합한다.

SfM(Structure from Motion) 기법은 SIFT 기법에 의해 대상물과 카메라의 위치, 축척과 관계없이 영상정합을 구현할 수 있으며 정합된 영상을 번들조정하여 영상기하 관계를 재구성한다. 이렇게 추출된 카메라의 위치에는 방위정보 및 축척이 없으므로 생성된 3D Point Cloud는 상대적 공간좌표가 되며 절대좌표 기반 3D 모델을 구축하기 위해서는 기준점 좌표를 바탕으로 절대좌표로 변환하여야 한다.

포토그래메트리 기술은 기본적으로 Point Cloud를 구성하여 3D 모델을 구축하며, 여기에서 Point Cloud란 좌표계에서 데이터 점의 집합으로 X, Y, Z 좌표 값에 의해 정의되어 공간적인 구성을 나타낸다. 이러한 데이터 점들은 밀도가 높아질수록 정확도가 높은 Data가 되며 3D 모델로서의 의미를 가질 수 있게 된다. 포토그래메트리 기술 기반 3D 모델 생성 과정은 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 포토그래메트리 기반 3D 모델 생성 과정

카메라를 통해 영상을 취득하고 위치정보 또는 기하정보를 활용하여 이미지를 정렬한다. 정렬된 이미지를 바탕으로 각 이미지 간의 중첩영역에서 Tie Point를 추출한다. 다음으로, 중첩된 영역에 대한 상호 참조의 결과로 추출된 Tie Point에 대하여 점군 데이터를 형성한다. 이렇게 형성된 3D Point Cloud 데이터는 3차원 좌표정보만 가지고 있

으며, 인접 점들과의 연결 정보는 가지고 있지 않다. 이러한 연결 정보가 없는 둘 이상의 점군 데이터 간 중복 영역을 찾고 일치시키는 변환 행렬을 산출하고 적용시킴으로써 하나의 모델로 정합하는 과정을 통하여 통합한다. 이때 불필요한 노이즈 데이터 값들이 생성된 경우 삭제하여 다시 점군 데이터의 구축을 수행한다. 마지막으로, 구축된 점군 데이터를 기반으로 메쉬 생성 단계와 텍스처를 맵핑 단계를 거쳐 면이 형성되고 이를 기반으로 3D 모델이 구축된다. 이렇게 생성된 3D 모델은 2D 이미지를 기반으로 벡터화된 3D 모델로 기하정보와 텍스처 정보를 포함한다.

III 치안현장 응용

■ 응용사례 1: Las Vegas Mass Shooting (2017) [6]

개요: 2017년 10월 1일, 미국 네바다주 라스베이거스에서 대규모 총격 사건이 발생하였다. 본 사건은 라스베이거스 스트립에 위치한 만달레이 베이 호텔의 32층 객실에서 스티븐 패덕(Stephen Paddock)이 Route 91 Harvest 음악 축제에 참가한 수천 명의 관중을 향해 무차별적으로 총격을 가함으로써 발생하였다. 이로 인해 58명이 사망하고 850명 이상이 부상을 입는 대규모 인명 피해가 발생하였다. 총격범 패덕은 범행 후 호텔 방에서 자살하였으며, 본 사건은 미국 역사상 가장 치명적인 대규모 총격 사건으로 기록되었다.

3D 스캐닝 기술의 적용: 라스베이거스 총격 사건에서 3D 스캐닝 기술은 범피 현장의 모든 세부 사항을 정밀하게 기록하고 분석하는 데 중요한 역할을 하였다. 3D 스캐닝 기술을 통해 총격범이 위치했던

호텔 방과 창문 위치, 그리고 총격이 발생한 콘서트 현장까지의 모든 공간 및 객체가 정밀하게 스캔되었다. 스캔 과정에서 총격이 발생한 창문, 사용된 무기, 탄약의 위치 등 주요 물리적 증거들이 정확히 모델링 되었으며, 피해자들이 위치했던 콘서트 현장의 방향과 각도, 피해자들의 위치 등을 정밀하게 분석할 수 있었다. 이러한 3D 스캐닝 결과는 사건 현장의 물리적 증거를 디지털화하여 사건 재구성에 중요한 역할을 하였다. 디지털로 재구성된 사건 현장은 법적 절차와 조사에서 핵심 증거로 사용되었으며, 법정에서 사건의 사실관계를 명확하게 설명하는 데 중요한 자료로 활용되었다.



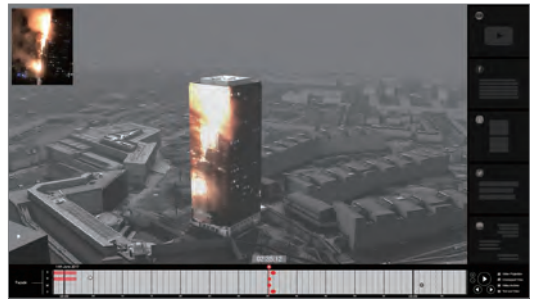
〈그림 2〉 Las Vegas Mass Shooting 3D 모델 [6]

■ 응용사례 2: Grenfell Tower Fire (2017) [7]

개요: 2017년 6월 14일, 영국 런던의 그렌펠 타워(Grenfell Tower)에서 대규모 화재가 발생하였다. 이 화재는 24층짜리 고층 아파트 전체로 빠르게 확산되었고, 이로 인해 72명이 사망하고 수백 명이 부상을 입는 참사가 발생하였다. 화재는 건축물 외장재로 인해 급속히 확산된 것으로 밝혀졌다.

3D 스캐닝 기술의 적용: 그렌펠 타워 화재 현장에서 3D 스캐닝 기술은 화재 이후 건축물의 상태를 분석하기 위해 사용되었다. 스캐너를 통해 건축물의 구조적 손상, 잔해의 분포, 건축물의 내부 및 외부 구

조가 정밀하게 스캔되었다. 3D 스캐닝을 통해 화재 당시의 상황을 재구성하고, 구축된 데이터는 화재 원인과 확산 요인을 분석하는 데 중요한 역할을 하였다. 또한, 스캔된 3D 데이터를 바탕으로 건물의 손상 정도와 화재의 영향 범위를 평가할 수 있었으며, 이는 법적 절차와 조사에서 핵심 증거로 사용되었다.



〈그림 3〉 Grenfell Tower Fire 3D 모델 [7]

■ 응용사례 3: 35세 남성의 화물선 사망 사건 [8]

개요: 35세 남성이 폭풍 중 침수된 갑판을 점검하던 중 화물선의 차량 운송용 창고에서 사망한 채로 발견된 사건이다. 해당 사건의 현장 조사는 3D 스캐너를 통해 수행되었으며, 3D 모델은 6mm의 정확도로 구축되었다. 구축된 3D 데이터는 사건 현장의 사실관계 파악에 활용되었다.

3D 스캐닝 기술의 적용: 조사 과정에서 전면과 측면이 손상된 트럭이 확인되었고, 시신에 대한 부검도 함께 진행되었다. 시신의 여러 부위에서 골절, 찰과상, 혈종, 타박상 등의 상처가 발견되었으며, 이러한 상처들은 트럭과의 충돌에 의해 발생한 것으로 추정되었다. 3D 스캐닝을 통해 사건 현장을 완벽하게 재구성할 수 있었고, 이를 통해 시신의 상처와 트럭 손상과의 상관관계를 명확히 분석할 수 있었다. 3D 데이터와 부검 결과를 통해 남성의 사망 원

인은 트럭과의 충돌로 인한 것임이 확인되었으며, 3D 스캐닝 기술은 사건의 사실관계를 명확히 파악하는 데 중요한 역할을 하였다.

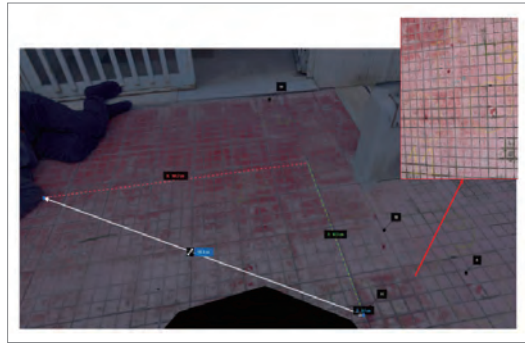


〈그림 4〉 화물선 사망 사건 3D 모델 [8]

■ 응용사례 4: 34세 남성의 추락 사망 사건 [8]

개요: 34세 남성이 우울증을 앓고 있던 중 자신의 건물 내 안뜰에서 추락하여 사망한 사건이다. 피해자는 땅에 쓰러진 채로 발견되었으며, 주민이 안뜰에서 기어가는 남성을 목격하고 신고하였다.

3D 스캐닝 기술의 적용: 부검 결과, 가슴뼈의 골절 외에 다른 폭행의 흔적은 발견되지 않았다. 사건 현장은 3D 스캐너를 통해 정밀하게 스캔되었으며, 이 과정에서 열린 공간, 안뜰, 발코니, 혈흔과 시신 간의 거리 등이 분석되었다. 사망 원인은 추락으로 인한 가슴 외상으로 판단되었으며, 이는 신체가 안뜰의 단단하고 딱딱한 지면에 충돌한 결과로 나타난 전형적인 부상으로 판명되었다. 3D 데이터의 물리적 환경, 정황 증거, 부검 결과를 종합적으로 분석한 결과, 사건은 추락으로 인한 자살로 판명되었다.

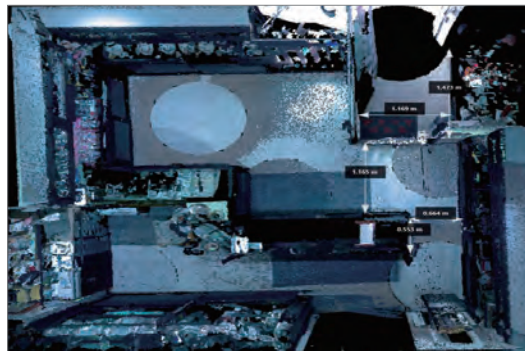


〈그림 5〉 34세 남성의 추락 사망 사건 3D 모델 [8]

■ 응용사례 5: 보석상 강도 살인 사건 [8]

개요: 보석상 주인이 두 명의 강도를 권총으로 사살한 사건으로, 증거들의 역학 관계를 검증하기 위해 3D 스캐닝 기술이 활용되었다.

3D 스캐닝 기술의 적용: 3D 스캐너를 활용하여 사건 현장이 역설계되었으며, 디지털 3D 모델에서 사건의 사실관계를 검증할 수 있는 중요한 증거가 발견되었다. 출입구 근처 왼쪽 벽의 바닥 92cm 높이, 하얀색 금속 고리 안에서 크기 2cm의 회색 금속 조각이 발견되었으며, 이는 범인이 사용한 무기의 직접적인 증거로 분석되었다.



〈그림 6〉 보석상 강도 살인 사건 3D 모델 [8]

■ 응용사례 6: 86세 남성의 총상 사망 사건 [8]

개요: 우울증, 당뇨병, 백혈병, 심장 및 호흡기 질환을 앓고 있던 86세 남성이 자신의 아파트에서 총상을 입고 사망한 채로 발견된 사건이다. 사건의 핵심 쟁점은 사망의 원인을 밝히는 것으로, 3D 스캐닝을 통해 현장 증거들의 역학적 관계가 검증되었다.

3D 스캐닝 기술의 적용: 범죄 현장 조사 과정에서 3D 스캐닝 기술이 활용되었으며, 이를 통해 총알과 무기 사이의 거리, 무기와 시신 사이의 거리, 그리고 방 안에 존재하는 혈흔의 위치와 패턴을 정밀하게 분석할 수 있었다. 이러한 3D 데이터 분석과 부검 결과를 바탕으로 사망의 원인은 자살로 판명되었다.



〈그림 7〉 86세 남성의 총상 사망 사건 3D 모델 [8]

IV 결론 및 시사점

최근 3D 스캐닝 기술은 급속도로 발전하였고 치안 분야에서도 그 활용성이 증명되고 있다. 기존의 치안현장 조사 방식은 2차원 평면 데이터를 기반으로 하였기 때문에, 현장의 입체적 정보와 증거들 간의 유기적 관계를 파악하는 데 한계가 있었다. 기존의 현장 조사 방식은 사건의 사실관계 파악에 어

려움을 초래하며, 정확한 현장 재구성에 한계가 있었다.

그러나 치안현장에 3D 스캐닝 기술의 도입은 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 패러다임을 제시하고 있다. 3D 스캐닝 기술은 현장을 정확하게 역설계하여 디지털 데이터로 변환하고, 이를 통해 사건 발생 당시의 현장을 사실적으로 재현할 수 있게 한다. 또한, 이러한 3D 데이터는 법적 증거로써 높은 신뢰성을 가지며, 사건의 진실을 규명하는 데 중요한 역할을 한다.

응용사례에서 볼 수 있듯이, 3D 스캐닝 기술은 라스베이거스 총격 사건, 그렌펠 타워 화재, 화물선 사망 사건 등 다양한 사건 현장에서 정확한 현장 재구성과 사실관계 분석에 중요한 기여를 하였다. 이러한 기술은 기존의 2차원적 분석 방법으로는 얻을 수 없었던 입체적 정보와 벡터 데이터를 제공하여, 사건의 사실관계를 보다 명확히 이해할 수 있도록 도와준다. 특히, 사건 현장 재구성 및 시뮬레이션, 법적 절차에서 핵심 증거로 활용되며, 사건 수사의 객관성과 신뢰성을 높이는 데 중요한 역할을 하고 있다.

하지만 국내에서는 아직 3D 스캐닝 기술의 적용 사례가 미흡한 실정이다. 3D 스캐닝 기술은 치안 분야에서 새로운 표준을 제시할 수 있는 핵심 기술이다. 이 기술의 활용은 사건 현장의 정확한 재구성과 분석을 가능하게 하며, 법적 절차에서 중요한 증거로써의 가치를 제공한다. 향후 3D 스캐닝 기술의 표준 기술 개발과 적극적인 활용을 통해 사건 수사의 신뢰성을 높이고, 치안현장에서의 혁신적인 변화를 이끌어 나가야 할 것으로 판단된다. **PSI**

참고 문헌

- [1] 소방드론 매핑 시스템을 이용한 화재조사 방안 연구, 이수호 외, 한국화재소방학회, 2018. 11.
- [2] 3D 계측장비를 이용한 법의·과학적 활용 (I), 정낙은 외, 대한법의학회, 2012. 05.
- [3] 무인비행시스템 기반 제천 스포츠센터 화재 현장의 3D 모델 구축, 이지수 외, 그린빌딩(한국그린빌딩협회의지), 2019. 09.
- [4] 無人飛行시스템과 Deep Learning 基盤 建築物 外觀의 安全點檢 시스템 開發, 백승찬, 경북대학교, 2019.
- [5] 고해상도 3D 데이터 생성 기술 분석 및 연구 동향, 김현주 외, 한국전자통신연구원, 2022. 06.
- [6] How the Las Vegas Strip shooting unfolded, Washington Post Staff, Washington Post, 2017. 10.
- [7] THE GRENFELL TOWER FIRE, Eyal Weizman 외, Forensic Architecture, 2018. 03.
- [8] Advances in Technologies in Crime Scene Investigation, Massimiliano Esposito 외, Diagnostics, 2023. 10.

3D 스캐너를 활용한 재난현장 안전사고 조사·분석 사례 연구

소방청 소방경 최신웅



I 소방 재난환경 및 3D 스캐너 개념

최근 재난 양상의 대형·복합·다양화로 소방수요는 매년 증가하고 있고 화재진압, 구조, 구급 등 위험이 상존하는 재난현장 특성상 현장활동 소방대원의 순직과 안전사고 또한 증가 추세에 있다. 최근 10년간 현장에서 순직한 소방공무원은 총 40명으로 연평균 4명, 최근 5년간 현장에서 부상 등 안전사고는 2,472명으로 연평균 494명에 달한다. 특히, 최근에는 화재현장에서 예상치 못한 돌발 붕괴, 급격한 연소 확대 등으로 순직사고가 지속적으로 발생하고 있어 예방대책 마련이 절실하다. 이에 소방청에서는 국립소방연구원과 협업하여 소방공무원 순직, 중요 안전사고 등 재난현장에 대해 과학적으로 측정·분석하고자 3D 스캐너를 도입하여 활용 중이다. 3D 스캐너는 재난·안전사고 현장을 수치화하고 입체적 이미지 기록을 위해 3차원 점군

데이터를 수집하고, 이를 전용 소프트웨어를 활용하여 후처리 과정을 통해 정합·분석하는 시스템이다. 그 주요 구성은 3D 스캐너 본체, 전원 장치 소프트웨어, 운송 단말기 등 데이터 처리 장치로써 스캔된 관련 이미지는 <그림 1>의 우하단과 같이 구현할 수 있다.



<그림 1> 3D 스캐닝 시스템 이미지

※ 이해를 돕기 위한 이미지이며 특정 제품과 무관함

II 3D 스캐닝 기술 현황 분석

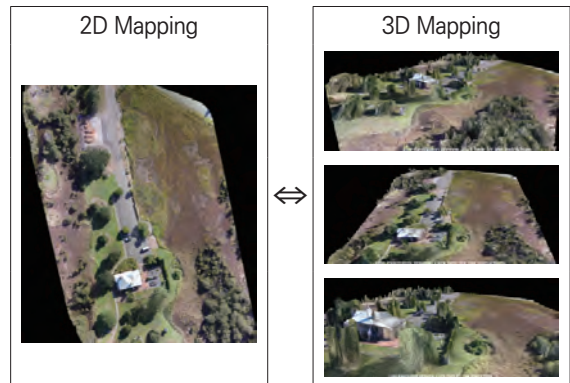
3D 스캐닝은 각종 건축·건설 산업, 문화재 보존, 측량, 인테리어 등 분야에서 활용되고 있으며, 소방에서는 전통적으로 화재 원인 조사 및 피해 조사 감식 분야에서 활용하고 있다. 재난조사에서 3D 스캐닝의 접목은 현장 보존의 관점에서 매우 뛰어나며 측정지점으로부터 전 방향을 스캔하고 위치를 이동하며 측정하기 때문에 음영지역이 최소화된다. 또한, 각 지점에서 측정된 3차원 데이터를 하나로 엮게 되면(Registration) 가상현실 세계와 같이 3차원 실내 모델이 만들어져 외부인이 직접 현장에 가지 않더라도 현장을 파악하는데 용이하다. 이미 국외 선진국에서는 스캐닝을 통해 화재조사 또는 사고조사에 직접적으로 활용하여 사건 증거물로 제출하고 있는 수준까지 도달하였다. 미국 미시건 경찰의 경우 폭발사고, 총격 사고, 교통사고 등 다양한 사건 현장에 해당 기술을 활용하고 있으며 <그림 2>, 모델화된 현장 매핑 자료를 통해 외부 전문가를 활용하여 사건 분석을 실시하고 있다.



<그림 2> 미국 미시건 경찰청 스캐닝 활용 사례

매핑(Mapping)은 사전적으로 지도(Map)를 만드는 것을 뜻하며, 다양한 장비를 활용하여 특정 공간을 수치화된 데이터를 기반으로 2차원 혹은 3차원 컴퓨터 모델로 만드는 것이다. 2차원 컴퓨터 모델은 대상을 평면으로 구현하는 것으로 정밀한 평면지도를 만드는 것이며, 3차원 컴퓨터 모델

은 입체공간 내 물체를 구현하는 방식이다. 매핑은 입체적인 주변을 시각적으로 이해를 높이고 위치정보 등 수치적인 데이터를 제공해 주기 때문에 다양한 업무의 기초자료로 활용되고 있다. 3차원 매핑의 경우 도면이 없거나 기하학적인 형상, 실내 인테리어 설계 등 역설계 차원에서 많이 활용하고 있다.



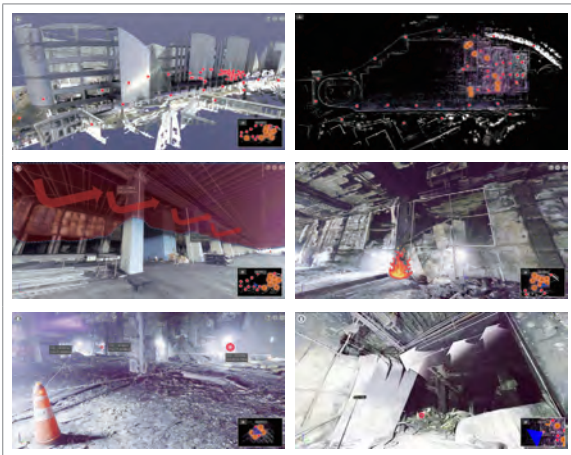
<그림 3> 2차원 매핑과 3차원 매핑

III 안전사고 조사·분석 사례

현장 소방 활동 중 소방공무원 순직사고 및 중요 안전사고 발생 즉시 소방청은 국립소방연구원과 협업하여 건축물, 지형지물 및 환경 등을 파악하기 위해 현장조사를 실시하고, 소방 합동조사단이 구성됨에 따라 여러 차례로 현장조사·분석과 관련 사고 재현 등 실증실험 등이 이루어진다. 그중 최근 3년간 3D 스캐너를 활용하여 조사·분석한 유의미한 사례를 다음과 같이 소개하고자 한다.

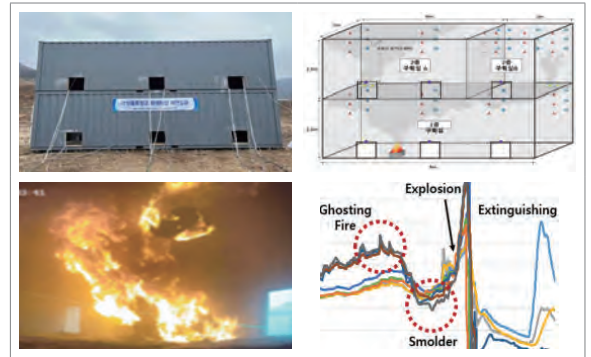
첫 번째는 2022년 1월 5일(수) 경기도 평택 소재 신축공사장에서 발생한 대형화재로 인하여 인명 검색 및 화재진압 활동 중 구조 대원 3명이 순직하고 2명이 부상당한 사고이다. 이 사고 현장은 신축 공사장 건축물로 축구장 28개 크기의 대형 냉동창

고 용도로 연면적 199,762㎡에 달하며 프리캐스트 콘크리트(PC) 구조이다. 광범위한 현장을 감안하여 사고 현장 외부에서 건축물 내 발화층인 1층을 거쳐 순직사고가 발생한 2층으로 한정하여 총 58 셋업 포인트를 측정하여 링크하였고, 각 셋업별 내·외부의 파노라마 이미지 및 거리별 데이터 분석하고 동영상 제작하였다. <그림 4> 화재현장 1층 도크 방향으로 화재 확산 방향과 그을음 흔적이 기둥 높이 9m의 상부 4.8m 부분에 나타났고, 건물 내부 1층 발화 추정 지점 좌측 26㎡, 우측 37㎡에 상당하는 면적의 손상과 화재 패턴이 관찰되었다. 또한, 순직 대원 발견 위치별 이격 거리는 11.7m, 23m, 23.4m로 각각 측정되었고, 2층 208호 공간 일부는 당시 폭압으로 인해 파괴된 철재 구조물 등을 관찰할 수 있었다.



〈그림 4〉 경기도 평택 신축공공장 화재 순직사고 현장 내·외부 3D 스캐닝 측정

상기 3D 데이터를 기반으로 소방청, 국립소방연구원과 협업하여 대형 물류창고의 화재 상황을 모사하여 급격한 화재확산(화재가스발화(FGI), 연기폭발(smoke explosion))현상에 대한 재현실험을 진행하였다. <그림 5>



〈그림 5〉 급격한 화재확산(FGI, smoke explosion) 재현실험

그 결과 1층 구획실(발화실)은 약 6분 후 플래시오버가 발생하고, 2층 A구획실은 약 17분 후 플래시오버가 발생, 2층 B구획실에서는 1층 플래시오버 이후 온도가 점차 상승하여 약 3분간의 훈소현상 직후 연소 범위에 도달하여 연기 폭발이 발생하였다.

따라서, 주수로 화재 발생 구획의 화세가 소강상태가 되더라도 인접 구획에 미연소된 가연성가스가 유입·발생하면서 체류하여 산소 유입 시 연기 폭발 가능성이 있음을 알 수 있었다. 아울러 상황에 따라 연기는 다량의 미연소된 가연성가스를 함유할 수 있고, 이 경우 급격한 화재 확산이나 연기 폭발로 이어질 수 있음을 분석할 수 있었다.

두 번째는 지난 2024년 1월 31일(수) 경북 문경 소재 식품가공업 공장에서 발생한 화재로 인명검색 및 화재진압 활동 중 급격한 연소 확대로 고립되어 구조 대원 2명이 순직(2월 1일)한 사고이다. 이 사고 현장은 약 13시간 동안의 화재로 인해 남아있는 건축물만으로 원인을 분석하기엔 어려움이 있어 건물 내 CCTV, 활동 대원 증언, 동영상 등을 종합적으로 고려하여 3D 스캐닝 측정 결과와 비교하였다. 총 2차례 29 셋업 포인트를 링크하였고 주요 물리적 측정 결과 캡처본은 <그림 6>과 같다.



〈그림 6〉 경북 문경 화재 순직사고 현장 3D 스캐닝 측정

하부로 휘어진 3층의 데크 플레이트는 측면 H 형강 기둥 최 좌측에서 3번째까지 휨의 각도가 크게 발생하였고, 우측 사무공간 1 ~ 4층(수평 약 21m) 부가 끝나는 지점부터 좌측으로 치우친 U 형태로 휘어져 순직자가 발생된 지점으로 진입하는 정면 좌측면은 1층 바닥과 근접해 있는 것을 알 수 있다. 정면에서 확인한 건물 높이는 화재로 인해 약 2.2m 낮아졌고, 순직자 발견 지점으로 들어가는 세 번째 기둥과 네 번째 기둥 내 탈락된 데크 플레이트가 관찰되었고, 발견된 지점은 만곡이 심하게 발생(129.5°)하였으며 기존에 연결된 계단실 등과 분리된 상태임을 알 수 있다.

그 결과 순직 대원 2명은 공장 건물 3층에서 활동 중 튀김유의 급격한 연소 확대로 샌드위치 패널인 천장 반자가 급격히 박리, 탈락되면서 고립되었고, 튀김기가 있는 공간의 열과 압력이 높아진 상태에서 샌드위치 패널 구조체의 팽창 등으로 3층 바닥층이 붕괴된 것으로 직접·환경적 원인으로 추정할 수 있었다.

세 번째는 2023년 12월 1일(금) 제주 서귀포 소재 감귤창고에서 발생한 화재로 인하여 진압활동 중 창고 처마가 붕괴되어 대원 1명이 순직한 사고이다. 총 13 셋업 포인트를 측정하였고 추가 사고 위험으로 인해 붕괴된 잔해를 중심으로 링크한 결

과를 〈그림 7〉에 나타내었다. 붕괴된 창고의 전체적인 외벽, 너비 등 물리적 수치와 붕괴된 처마 철근콘크리트 잔해의 물리적 위치, 수치 등을 측정하여 관련 동영상과 비교·분석하였다. 그 결과 순직 대원은 창고 출입문으로부터 약 1.8m 이격된 위치에서 화재진압 활동 중 창고 처마(콘크리트)가 붕괴되면서 깔렸고, 그 충격력은 약 486,640 ~ 97,320N으로 KFS 방화 헬멧 최고 전달 충격력 성능 기준 4,540N(≈463kg)에 비해 약 최대 107 ~ 최소 21배에 해당하는 것으로 추정할 수 있었다.



〈그림 7〉 제주 창고 화재 순직사고 현장 3D 스캐닝 측정

IV 3D 스캐닝 활용 방안

상기 안전사고 조사·분석 사례에서 보듯이 3D 스캐닝을 통해 생성된 모델은 현장을 사실적으로 반영하는 여러 가지 기초자료로 활용될 수 있다. 고해상도로 촬영된 이미지의 확대를 통해 화재 확산 경로, 패턴 및 건축 구조물의 특성을 분석할 수 있다. 또한, 수치 정보를 가지고 있어 화재 피해 면적과 포인트 위치를 감지하여 자동으로 포인트 간의 거리를 측정하여 쉽게 산출할 수 있다. 아울러 3D 스캐닝 데이터는 현장을 직접 방문하지 않더라도 다양한 전문가의 의견을 수렴할 수 있도록 돕고

그 자료를 영구적으로 보존이 가능하다. 이에 소방에서는 전통적인 화재 원인 조사뿐 아니라 각종 재난현장 및 소방공무원 안전사고 원인 규명을 위한 과학적 분석 시스템을 확보하게 하여 대내·외 신뢰성을 확보하고 과학적 데이터 기반의 현장 순직(안전) 사고 저감대책 마련에 기여할 것으로 기대해 본다.

나아가 치안정책에서는 범죄현장을 기록하여 3D 재구성, 교통안전 분야에서는 교통사고 분석을 위한 기초 자료, 중대재해 예방을 위한 산업재해 분야에서는 위험성 평가를 위한 디지털 기술로 활용될 수 있을 것으로 전망된다. **PSI**

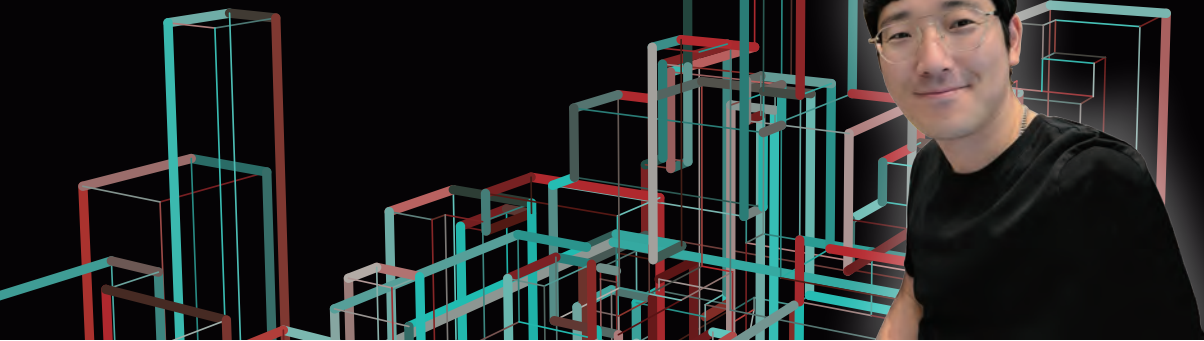
참고 문헌

- [1] “화재조사(감식) 기초자료 제공을 위한 매핑(mapping)기술 활용기법 연구”, 국립소방연구원, 2018. 12.
- [2] “화재조사 이론과 실무”, 동화기술, 2015.
- [3] “소방공무원 순직사고 조사·분석 보고서 중 언론 보도 등 공개자료 발췌”, 소방청, 2022~2024.

첨단장비 및 3차원 시뮬레이션 기술을 활용한 화학사고 원인 정밀분석

국립재난안전연구원 재난원인조사실 이경수 재난사고조사팀장

국립재난안전연구원 재난원인조사실 안수빈 연구관



I 재난원인조사 개요

재난원인조사는 「재난 및 안전관리 기본법」 제2조에서 정의하고 있는 재난이나 각종 사고의 발생 원인과 재난 발생 시 대응과정에 관한 조사·분석·평가를 하는 업무를 말한다. 재난·사고는 국민의 생명을 위협하고 재난피해를 발생시키는 등 예고 없이 발생한다. 특히, 사회적·경제적 파급효과가 큰 대형사고와 재난은 오랜 시간에 걸친 고질적인 문제들이 누적되어 발생하게 된다. 따라서, 행정안전부 국립재난안전연구원에서 수행하는 재난원인조사의 목적은 재난·사고의 원인조사분석을 통해 제도개선 사항 등 근본적 대책을 마련하여 유사 재난·사고의 재발을 방지하고 피해를 최소화하는 데 있다.

재난·사고의 원인을 분석하기 위하여 현장에서는 각종 첨단장비를 활용한 물리적·화학적 자료의 계측·관측, 비파괴 조사 등과 같은 현장감식, 관계자

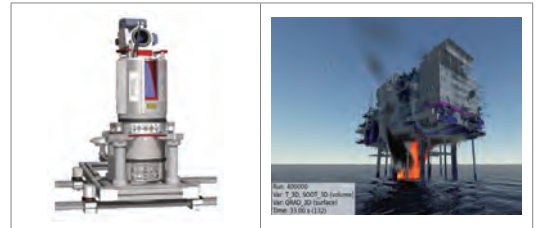
면담, 각종 안전관리 매뉴얼의 준수 여부 등 사실 자료의 확인과 상황에 따라 실험 및 시험, 시뮬레이션을 수행하여 재난발생의 원인을 분석하는 것이 일반적이다. 이러한 과정에서 확인된 문제점 등을 전문가 자문, 관련 중앙부처 확인 등을 통해 유사재난 재발 방지를 위한 방안 마련 및 법·제도적인 개선사항을 도출하는 것이 일반적인 재난원인조사 절차이다.

II 장비와 소프트웨어 소개

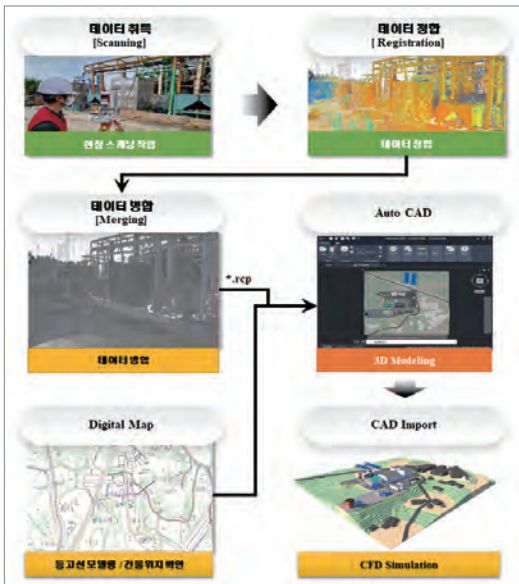
본 고에서는 재난원인조사 절차에서 화학사고의 원인을 분석하기 위해 3차원 시뮬레이션(FLACS Model)을 활용한 사례를 소개하고자 한다. 시뮬레이션을 위해서는 해당 플랜트의 설비나 장치류를 대상으로 LiDAR 스캐너를 이용하여 3차원 형상으로 모델링(그림 1)하는 작업이 선행되어야 한다. 이

작업을 3D 역설계라 하며 대상물을 3차원으로 모델링하기 위해 가장 먼저 LiDAR 스캐너로 모델링 대상이 되는 플랜트 설비나 장치를 스캔한다. 대규모의 설비나 장치가 운영되는 화학공정은 한 번에 스캔하는 것이 어렵기 때문에 여러 지점으로 나누어 스캔하고 스캔된 데이터를 병합함으로써 하나의 완성된 형상을 만들어 낸다. 여러 번에 걸쳐 획득한 스캔 데이터 결합 시 등록기법을 활용하며 이는 결합하고자 하는 두 개 이상의 모델에 대응점을 지정하여 폴리곤으로 결합시키는 과정이다. 이를 위한 기본 절차는 점(Point) 데이터들로부터 부분 폴리곤을 작성하고 부분 폴리곤들의 정합 및 결합작업 통해 폴리곤 모델을 작성한 후 커브 추출과 면 생성 그리고 텍스처 매핑(Texture mapping) 과정을 거쳐 최종의 3차원 모델을 형성하게 된다. <그림 1> 이러한 절차를 거쳐 실제 사고대상 설비 및 장치를 재현하고 FLACS Model을 활용하여 3차원 정밀 분석을 수행한다.

FLACS(FLame ACcerleration Simulator) Model은 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 기반의 누출·확산, 폭발사고 원인 및 피해영향범위 분석을 위해 범용적으로 활용되고 있는 3차원 모델이다. 노르웨이의 Gexcon사에서 개발하였고, 사고현장의 지형·기상 특성 등 실제 조건을 고려하여 정밀한 사고분석 가능한 것이 특징이다. <그림 2>는 3D 역설계를 위한 데이터 취득에 필요한 3차원 지상 LiDAR 장비이며, <그림 3>은 FLACS Model의 계산결과 예시를 보여주고 있다.



<그림 2> 3차원 LiDAR [2] <그림 3> FLACS Model [3]



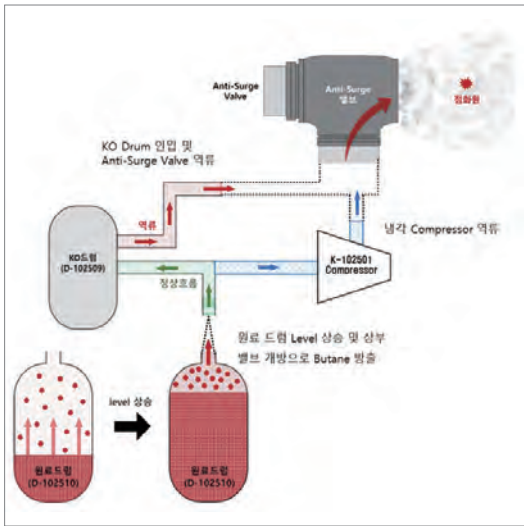
<그림 1> 3D 역설계 모델링 절차 [1]

III 사고개요

화학사고 정밀분석 사고 사례는 2022년 5월 울산광역시 울주군에 소재 한 공장의 Alkylolation 공정¹⁾에서 Anti-surge Valve²⁾ 유지보수 정비작업 중 C4(부탄)가 약 1분 정도 누출되고 미상의 점화원에 의해 폭발이 발생하여 사상자 10명이 발생한 사고이며, 사고 발생 과정은 다음과 같다. <그림 4>

1) 부탄을 이용해 Alkylate(고급 휘발유 원료)를 생산하는 공정

2) 압축기 역류 방지를 위해 유량을 조절하는 밸브



〈그림 4〉 Anti-Surge Valve C4(Butane) 역류 및 누출과정 [4]

- 냉동압축기 가동 과정에서 Anti-Surge 밸브 작동에 문제(밸브 고착으로 인해 밸브가 완전히 개방되지 않음)가 발생하였음을 인지하고 정비 작업 실시
- 밸브의 정비작업 중 Debutanizer 원료드럼 내부에서 원인미상으로 Level 상승
- 또한, 원료드럼 상부 밸브 2개가 자동으로 개방되어 KO드럼을 통해 Anti-Surge 밸브 방향으로 부탄가스 역류
- 점검 중이던 Anti-Surge 밸브에서 약 1분 정도 부탄가스가 누출되면서 폭발 및 화재 발생

IV 분석내용 및 결과

1. 수식 계산에 의한 누출량 예측

공정조건을 고려한 누출량의 예측은 사고 당시 정확한 정보 즉, 설비체적, 공정압력 및 온도에 대한 정보가 필수적으로 요구된다. 그러나 본 사고의 경우, 정보의 미흡으로 인해 보수적으로 가정하여

예측하였다. 누출량 예측은 Eq. 1과 2를 통해 계산하였으며 결과는 다음 <표 1>과 같다.

$$\dot{m} = C_d \times A_h \times P_o \times K \times \sqrt{\frac{W_g}{\gamma \times R \times T}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$K_{sonic} = \gamma \times \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}} \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, $\dot{m}$ 은 누출유량(kg/sec), C_d 는 누출공 방출계수, A_h 는 누출공 단면적(m^2), P_o 는 용기 내 저장압력(kPa), W_g 는 저장물질의 분자량(g/mol), γ 는 비열비, T 는 저장온도(K), R 는 가스 기체상수(kJ/kmol·K), 누출속도 계수, K 는 누출 속도 계수이다.

〈표 1〉 입력변수 및 누출유량 계산결과 [4]

항목	정보	비고
누출 물질	N-BUTANE	-
방출 계수	19.3	-
누출 면적	0.321536 m^2	직경 64 cm
저장 압력	176 kPa	-
저장 온도	292.3 K	대기온도 가정
비 열 비	1.09	일반 조건 값 적용
누출 계수	1.0	밸브가 파열되지 않은 원형형상 적용
누출 유량	273 kg/sec	-

누출 유량 계산 결과 273kg/sec이 산정되었으며, 누출시간 60sec을 적용하면 예상 누출량은 16,380kg이 된다. 그러나, 일반적으로 누출의 동력원(Driving force)은 압력으로 제한된 공간에 대기압 이상의 압력으로 저장되어 있는 가스가 외부로 누출될 경우, 누출과 동시에 압력 또한 배출됨에 따라 동력원인 압력의 감소로 누출유량이 시간에 따라 감소하게 된다. 즉, 초기 누출유량을 일정하게 60sec 동안 누출된다고 가정하게 되면 과다

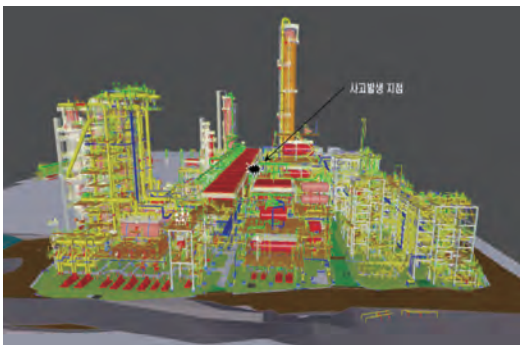
산정된다고 볼 수 있다. 따라서, 시뮬레이션을 통해 시간변화에 따른 누출량을 계산하였다.

2. 시뮬레이션 기반의 누출량 예측

본 사고의 누출량을 산정하는 데 있어 앞에서 제시한 바와 같이 한계가 있음에 따라 시뮬레이션 기법을 적용해 누출량을 예측하기 위하여 사고지점에서 약 93m 떨어진 <그림 5> 건물의 유리창 파열 압력을 기준³⁾으로 폭발 과압의 영향으로 인한 누출량을 예측하였다. <그림 6>은 앞에서 설명한 3D역설계를 통해 FLACS Model에 Import한 형상을 보여주고 있다.

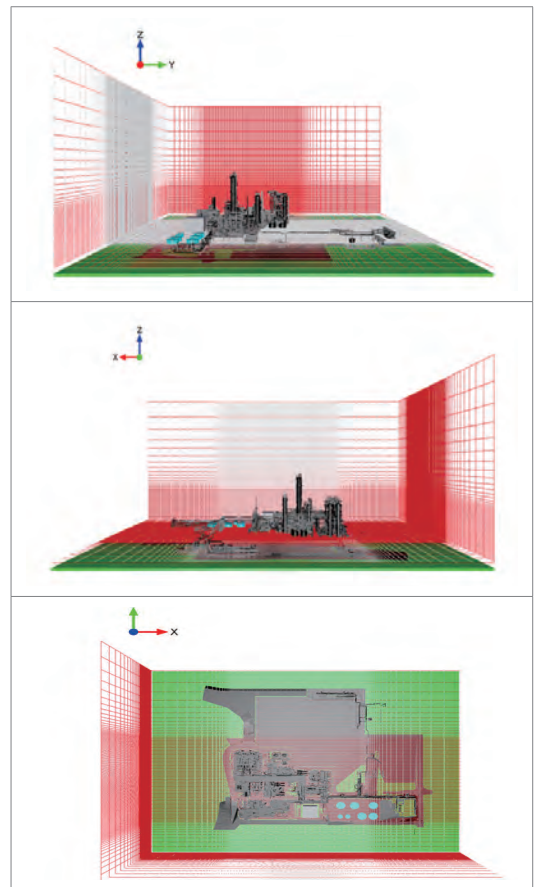


<그림 5> 폭발사고 지점 주변의 확인된 피해결과 [4]



<그림 6> 폭발 시뮬레이션을 위한 CFD Import 형상 [4]

시뮬레이션을 위한 격자(Grid)는 민감도 분석을 수행하여 X, Y, Z 각축의 방향으로 균일한 입방형의 격자를 생성해야 한다. 본 연구를 위해서 가장 적절한 격자를 생성하기 위해 0.5 ~ 2m 간격으로 격자를 생성한 후 4차례에 걸쳐 민감도 분석을 실시하였다. 그 결과 X, Y, Z 축으로 500m, 400m, 200m로 설정하였으며 정밀한 해석이 요구되는 핵심영역은 1.5m 크기의 격자를 기본 격자로 적용하였다. 또한, 핵심영역 이외의 영역은 FLACS의 스트레치(Stretch) 기능을 통해 격자를 확장 생성하였다. <그림 7> 본 시뮬레이션에 대한 격자 정보는 <표 2>와 같다.



<그림 7> 격자 생성 화면(상: YZ, 중: XZ, 하: XY View) [4]

3) 사고피해 예측기법에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE P-102-2012)

〈표 2〉 시뮬레이션 격자(Grid) 정보 [1]

Grid Items	CFD Simulation Volume Sizes		
	X	Y	Z
Simulation Length(m)	500	400	200
No. of Control Volumes(ea)	180	150	51
Min. Control Volume, Sizes(m)	1.50	1.50	1.50
Max. Control Volume, Sizes(m)	25.53	25.64	25.41
No. of Control Volume	1,377,000		

〈표 3〉 시뮬레이션 정보 [4]

Case	시뮬레이션 조건			피해결과 기준
	누출 체적 (m3)	폭발질량 (kg)	밀도 (kg/m3)	
1	1,140m3(5×12×19)	2,762.2	2.423 @19.3℃	93m 이격된 복지교육관 유리파열 (그림 5)
2	2,280m3(10×12×19)	5,500.2		
3	3,420m3(15×12×19)	8,286.7		
4	4,560m3(20×12×19)	11,048.9		
5	5,700m3(25×12×19)	13,811.1		
6	6,840m3(30×12×19)	16,573.3		

누출량 분석을 위해서는 부탄가스의 당시 밀도에
서 누출체적 변화에 따른 폭발질량을 계산하였다.
누출체적은 가스감지기 작동 범위와 CCTV 그리고
피해결과 등을 종합적으로 분석하여 설정하였다.
〈표 3〉

FLACS CFD Code를 이용한 3차원 시뮬레이션
은 수치해석을 위해 필요한 입력정보가 정확히 입력
되어야 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 이에, 본 시뮬
레이션은 부탄의 증기운 폭발 해석을 위해 앞에서
결정된 각 조건을 대상으로 아래 〈표 4〉와 같이 입
력정보를 결정하였다.

FLACS CFD Code를 이용해 〈표 3〉의 6개 조건
에 대해 시뮬레이션을 수행하였으며 폭발사고로 실
제 피해가 발생한 관심지점의 폭발압력을 계산하였
다. 그리고 관심 지점에서 시뮬레이션으로 계산된

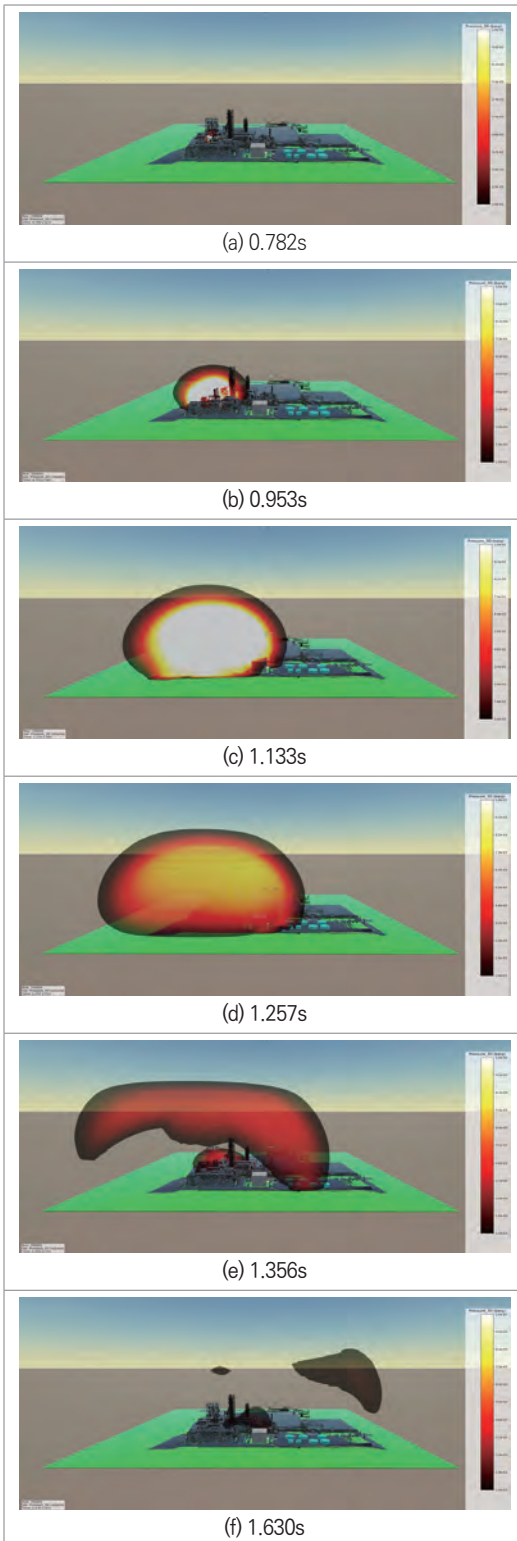
조건별 폭발압력을 폭발사고로 파손될 수 있는 물
리적 피해의 이론적 폭발압력 결과(건축물 유리창
의 파손 폭발압력: ≥ 0.01 barg) 값과 중첩 비교
하였다.

〈표 4〉 시뮬레이션 입력 조건 및 정보 [4]

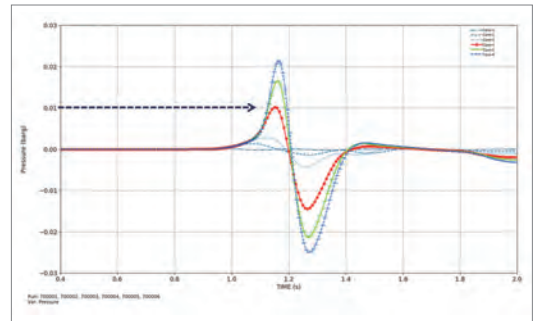
Simulation Input Items	Value
Single field 3D output	• Pressure(barg) • Pressure Impulse(Pa•sec)
Simulation and output control	• Solver Mode : TRANSIENT • Maximum Time : 3.0 sec • CFLC : 5 • CFLV : 0.5 • MODD : 1 • NPLOT : 30 • DTPLOT : 0.25
Boundary Conditions	• XHI : Euler • XLO : Euler • YHI : Euler • YLO : Euler • ZHI : Euler • ZLO : Euler
Initial conditions	• Ground roughness : 0.0002 • Pasquill class : F • Ground roughness condition : Urban
Initial conditions	• Pasquill class : F • Ground roughness condition : Urban

분석 결과, 시뮬레이션을 통해 계산된 조건별 관
심지점의 폭발압력 결과 및 폭발 전개 과정은 〈그림
7〉, 〈그림 8〉과 같다. 이를 기반으로 관심지점에서
유리창 파열의 피해가 발생할 수 있는 시뮬레이션
결과는 〈표 4〉와 같다.

시뮬레이션을 통해 본 사고와 유사한 피해를 발
생시킬 수 있는 조건은 Case-4, 5, 6으로 분석되
었으며 이는 결론적으로 본 사고의 경우, 누출량은
보수적으로 Case-4의 11,048.9 kg 이상이 누출
되었다고 추정할 수 있다. 이러한 결과를 통해 실제
사고조사 시 인적, 물적, 환경적 피해 결과에 대해
정밀하게 분석할 수 있다.



〈그림 8〉 폭발 전개 과정 [4]



〈그림 9〉 관심지점에서의 폭발 압력 분석결과 [4]

〈표 5〉 시뮬레이션 조건별 시뮬레이션 결과 [4]

Case	시뮬레이션 조건 누출량(kg)	조건별 피해발생 가능성
1	2,762.2	×
2	5,500.2	×
3	8,286.7	×
4	11048.9	○
5	13,811.1	○
6	16,573.3	○

V 결론

3D 시뮬레이션의 경우, 비교 기준인 수식계산 결과에 있어서 초기누출 유량 즉, 누출 시점의 압력조건이 반영되어 계산된 보수적 결과로써 실제 누출 사고 시 누출유량은 압력 감소로 시간에 따라 누출 유량이 감소하는 현상을 고려하면 최종적으로 유사한 결과가 도출되었을 것으로 생각된다. 만약, 사고조사 시 밸브와 연결된 배관의 전체 체적정보가 있었다면 시간에 따른 정밀한 누출유량 계산을 통해 비교하여 명확하게 분석이 되었을 것으로 판단된다.

이와 같은 정밀한 사고조사를 통해 도출된 결과는 동종 및 관련 재해의 화학사고 예방대책 수립에 활용될 수 있으며 근로자 및 주민의 비상조치 수립에 실질적이고 효율적인 방안을 제공할 수 있을 것이다. **PSI**

참고 문헌

- [1] “시뮬레이션을 적용한 누출사고 재현기법 개발”, 국립재난안전연구원, 2022. 12.
- [2] “포렌식 기반 과학조사 기술 개발”, 국립재난안전연구원, 2016. 12.
- [3] Gexcon AS, FLACS v10.9 User’s Manual (2019).
- [4] “시뮬레이션을 적용한 폭발사고 재현기법 개발”, 국립재난안전연구원, 2023. 12.

치안 현장 활용 로봇 현황 및 향후 전망

한국로봇융합연구원 오승섭 책임연구원

I 치안 현장 활용 로봇 개요

범죄를 예방하기 위하여 첨단기술이 치안 분야에 활용되는 대표적인 사례로 CCTV를 들 수 있다. 2023년 공개된 “CCTV 설치로 인한 도시공간 범죄 예방효과 분석”에 따르면 CCTV 설치로 인해 범죄 발생이 다른 장소로 전이되는 것보다, 도시공간적으로 범죄예방효과가 확산된 것으로 나타나는 등 효과를 보여줬다. 이처럼 첨단 기술은 범죄율을 낮추고 안전한 사회를 만드는데 큰 역할을 수행하고 있다. [1]

로봇기술은 CCTV보다 적극적으로 주변 상황을 인식할 수 있고 로봇 팔을 이용한 조작을 통해 원거리에서 위험한 작업을 대신할 수 있다는 장점이 있어 향후 치안 현장에서 보다 적극적으로 활용될 것으로 기대되고 있는 첨단기술이다. 본고에서는 현재까지 치안 현장에 활용된 로봇 혹은 향후 활용을

계획하여 개발되고 있는 로봇을 소개하고, 향후 어떠한 방향으로 로봇이 활용될지에 대하여 기술하고자 한다.

II 치안 현장 활용 로봇 현황

미국 내 로봇을 치안 분야, 보다 명확히 한다면 테러 대응 분야에 활용하는데 관심을 갖게 된 것은 1995년 미국 오클라호마에서 발생한 폭탄 테러 사건으로 보여진다. 이 사건은 1995년 4월 19일 미국 오클라호마주 오클라호마 시티의 앨프리드 P. 뮐러 연방정부청사(Alfred P. Murrah Federal Building)에 가해진 폭탄 테러 사건으로, 168명이 사망하고 680여 명이 부상을 입는 등 상당한 인명피해로 인해 미국인들에게 큰 충격을 준 사건으로, 설치된 폭탄의 탐색 및 제거, 사고 후

매몰자의 탐색 등에 로봇이 활용되었다면 사고의 방지 및 피해 저감이 가능할 것으로 여겨지고 있다.

미국이 테러 현장에 로봇을 투입한 첫 사례는 “Disaster robotics”에 따르면 2001년 발생한 911 테러 때로 보인다. [2] 이때 활용된 로봇 중 하나는 <그림 1>의 캐나다 회사인 inuktun의 VGTV로, 신발 상자 크기 정도로 기본적으로 바퀴가 달린 카메라이며 트레드가 덮여 있어 거친 지형을 오를 수 있는 것이 특징이다. 또한, 국방로봇으로 유명한 미국의 iRobot의 Packbot이 개발 중 급하게 투입되어 활용되었는데, 이것이 Packbot이 현장에 쓰인 첫 사례로 알려졌다. 로봇들은 11일간(9. 12. ~ 9. 23.) 탐색 임무를 수행하여 6명의 희생자의 유해를 수습할 수 있도록 도왔다.



<그림 1> 911 테러 현장에 투입된 로봇 [3]

911 테러는 국방로봇 분야에도 큰 변화를 준 사건으로 “Military Robots and the Laws of War”에 따르면 9/11 이후 연간 국가 방위 예산 중 연구개발과 조달에 대한 지출이 엄청나게 증가했으며, 이를 통해 국방 로봇의 제품화가 가속화되었다. 2001년 시작되어 2021년에 미국이 완전히 철수하여 막을 내린 미국-아프가니스칸 전쟁 및 2003년 시작되어 2011년 끝난 이라크 전쟁 등에서 폭발물 제거용 로봇이 현장에 활용되게 되었다. [4]



<그림 2> 전쟁에 투입된 iRobot의 Packbot [5]

이러한 국방 로봇의 발전은 역으로 치안 분야에 영향을 주게 된다. 미국은 주요 주(States)의 SWAT, 폭탄 처리반(bomb squad) 등 특수 기동단 내 로봇 전담 운영팀을 구성하는 등 로봇을 적극적으로 활용하기 시작했다. 이러한 결과 중 하나로, 2016년 7월 8일에 미국 텍사스주 댈러스에서 5명의 경찰을 저격하여 사망케 한 테러 용의자를 진압하는 과정에서 일명 ‘폭탄로봇’을 투입하여 사살하는 사건이 발생하게 된다. 이 사건은 무고한 희생이 더 발생할 수 있는 것을 미연에 방지했다는 시선과 미국 경찰의 군대화를 통해 불안감을 야기시켰다는 상반된 논쟁을 일으켰지만, 향후 더 많은 로봇이 사회 질서 유지를 위한 치안 분야에 활용될 수 있음을 시사하였다.

Packbot은 미국뿐만 아니라 브라질에서도 치안을 지키기 위해 활용되었다. 2014년 브라질 월드컵에서 Packbot 30대가 축구 경기가 열리는 동안 브라질의 12개 개최 도시 전역에 배치되어 보안을 강화하고 의심스러운 물체를 조사하는 데 사용됐다.



〈그림 3〉 브라질 월드컵에 사용된 로봇 [6]



〈그림 4〉 NIST의 로봇 실증 시설 내부 [7]

미국은 경찰, 소방 분야에서 활용되는 로봇의 성능을 평가하고 사용자에게 표준화된 훈련 방법을 제시하기 위하여 2016년 미국 국립표준기술연구소(NIST) 내 로봇 실증 시설(NIST's Robotics Test Facility)을 건립하였다. 해당 시설은 계단, 경사로, 험지 등 로봇이 만날 수 있는 다양한 환경을 구축하여 시험할 수 있으며, 해당 시설은 값싸고 손쉽게 구할 수 있는 나무판, 플라스틱 통 등으로 시설을 구성할 수 있도록 하여 많은 사람들이 표준화된 시설을 구축하여 활용할 수 있도록 관련 연구를 진행하고 있다. 이러한 표준은 단순히 로봇의 성능을

검증하는 용도도 포함되어 있지만, 사용자가 실전에서 만날 수 있는 다양한 상황을 구성하여 연습할 수 있도록 하여 실전 감각을 올리는 훈련 역할도 함께 하도록 고려되어 있다.



〈그림 5〉 뉴욕 경찰의 4족로봇 시연 사례 [8]

최근 미국은 4족 보행로봇을 치안 분야로 활용하려는 움직임이 활발하다. 2024년 3월 매사추세츠주 반스타블에서 보스턴다이나믹스의 4족 로봇 SPOT은 무장한 용의자를 찾기 위해 집안을 수색하던 중 총에 맞는 사고가 발생하였다. 해당 사고 이후 SWAT 요원은 용의자가 있는 곳에 최루탄을 투입하여 용의자의 항복을 받아 별다른 인명사고 없이 사건을 종결시켰다. 매사추세츠 경찰은 로봇을 투입한 치안 작전이 대원의 안전을 지키고 작전의 효율성을 높이는 등 상당한 이점이 있었다고 평가했다.



〈그림 6〉 작전 중 총에 맞은 4족 보행로봇 [9]

2024년 2월 미시간주의 테일러 시의회는 경찰이 “RADDog” 로봇견을 1년 임대하는 것을 승인하여 현장에 배치했으며, 휴스턴 경찰청의 전술 작전 부서는 최근 고위험 작전에서 안전성과 효율성을 강화하기 위한 두 가지 로봇인 SPOT과 Hal을 도입했다. 이 외 플로리다주, 하와이주에서도 4족 보행로봇을 도입하는 등 미국 내에서 위험한 경찰의 임무를 보조하는 로봇을 적극적으로 도입하고 있다.

국내에서도 치안 분야에 4족 보행로봇을 도입하려는 움직임이 활발하다. 2021년 7월부터 연구개발을 시작한 범죄예방 목적의 4족 보행형 순찰로봇은 경찰의 순찰업무를 지원, 보완하고, 보조할 수 있도록 개발되고 있다. 해당 로봇은 현재 구동부 모터 발열에 대응해 액티브 냉각 방식을 사용 중이나, 전천후 임무 수행을 위해 패시브 쿨링 방식을 적용하기 위해 연구개발을 진행하고 있다.



〈그림 7〉 국민대에서 개발 중인 순찰용 4족 보행로봇 [10]

또한 한국로봇융합연구원은 범죄 및 테러 현장의 가스를 포집하기 위한 로봇을 개발하고 있다. 해당 로봇은 유독가스가 발생한 사고 현장에 대응요원이 안전하게 접근할 수 있도록 사전에 현장을 모니터링하고 긴급조치를 수행할 수 있도록 돕는 목적을

갖는다. 해당 로봇은 기체를 측정하는 센서와 기체를 포집하는 포집 장치를 탑재하고 경찰 등 사용자가 이용할 수 있도록 승용차량 탑재 및 1인용 운반 가능한 총중량 20kg 이내 경량 이동 플랫폼과 표준 계단(높이 20cm 이하, 너비 25cm 이상) 기준의 16단 이상 계단 승강이 가능하도록 개발되었다. 해당 로봇은 유해 기체 정보, 현장 환경 지도, 로봇 상태 정보 등을 지속적으로 지휘관에게 전달하여 생생한 현장 정보를 바탕으로 작전을 수행할 수 있도록 돕는 기능을 갖는다.

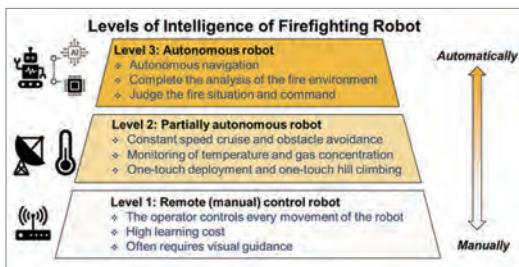


〈그림 8〉 기체포집로봇

III 치안 현장 활용 로봇 향후 전망

치안 분야의 로봇의 활용은 점차 그 범위를 넓혀가고 있다. 2000년대에는 테러를 예방하거나 대응하기 위한 목적으로 활용하기 시작하였으며, 2010년대에 들어서는 순찰의 목적으로 그 범위를 넓혔으며, 2020년에 들어서는 범죄 예방을 위한 순찰과 더불어 범죄 현장에서 직접 용의자와 대응하는 것에 더하여 범죄 이후의 증거 수집에 이르기까지 범위를 확장하고 있다.

미래 치안 로봇은 AI 기술을 접목하여 보다 지능화될 것으로 전망된다. <그림 9>는 소방로봇의 미래 발전 방향에 대한 것으로, 이를 치안 로봇에 도입하여도 큰 방향은 부합할 것이다. 치안 로봇의 현재는 Level 1의 원격 조종 기술을 사용하고 있어 모든 로봇의 세세한 움직임을 사람이 조정해야 한기 때문에 로봇 조종에 익숙해지기까지 많은 훈련이 필요하고, 이러한 이유로 로봇을 운영하는 미국에서는 전문 팀을 조직하여 활용하고 있다. 하지만, 가까운 미래에는 인공지능 기술의 도입으로 Level 2의 반자율 기술이 로봇에 적용되어 조종자는 세세한 조작을 하지 않고도 원하는 곳으로 로봇을 이동시킬 수 있고, 각종 센서로부터 위험 상황을 알람 받아 보다 빠르게 대응할 수 있게 될 것으로 전망된다. 먼 미래 Level 3의 완전 자율 기술이 적용되게 되면, 로봇은 모든 정보를 자율적으로 수집하고, 이를 스스로 분석하여 최적의 범죄 대응 방안을 마련하고 실행할 수 있게 될 것이다. 이 단계가 오면, 경찰은 위험한 작업을 직접 수행하지 않고 로봇을 운영하는 것만으로 대부분의 사고를 대응할 수 있을 것으로 기대된다. **PSI**



<그림 9> 첨단기술을 활용하는 미래 경찰 [11]

참고 문헌

- [1] 김혜림, 허선영, 문태현. "CCTV 설치로 인한 도시간 범죄예방효과 분석." 한국지리정보학회지 26.4 (2023): 188-199.
- [2] Murphy, Robin R. Disaster robotics. MIT press, 2017.
- [3] https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=77486&from=
- [4] Peter W. Singer. "Military Robots and the Laws of War", Brookings, 2009.
- [5] <https://www.popsci.com/military-aviation-amp-space/article/2009-04/robots-war/>
- [6] <https://robohub.org/packbot-serving-the-military-and-world-cup-football/>
- [7] <https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/standard-test-methods-response-robots/nists-robotics-test>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=jZ5MV36NxSA>
- [9] https://www.facebook.com/MassStatePolice/posts/741223664809378?ref=embed_post
- [10] <https://www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=101976>
- [11] Wang, Meng, Xinghao Chen, and Xinyan Huang. "Robotic Firefighting: A Review and Future Perspective." Intelligent Building Fire Safety and Smart Firefighting (2024): 475-499.
- [12] <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2875775/Robocops-Google-Glass-wearable-computers-exoskeletons-police-forces-wishlists-officers.html>

공중기반 능동형 불법드론 대응 시스템 기술 개발



한국항공우주연구원 무인기연구부 책임연구원 김승범



I 개요

고흥 나로우주센터에서 발사체 발사가 있을 예정이다. 한국항공우주연구원 및 개발에 참여한 각 기관 및 기업에서는 발사의 성공을 기원하며 준비에 매진하고 있다. 국가의 중요 기술이 유출되지 않도록 보안에도 힘쓰며 외부의 작은 요인으로 인해 발사 실패가 되지 않도록 안전에 만전을 기하고 있으며, 나로우주센터와 군·경을 포함한 국가에서는 발사체 발사를 위해 비행금지구역을 확대하여 공중 안전을 확보한다. 그런데 미상의 드론이 비행금지구역에서 비행하고 있음이 확인되었다. 나로우주센터로 향해 급속히 날아오지 않는 것으로 보아 테러용은 아닌 듯하나 영상 촬영으로 보안 사항이 노출되고 있는 것으로 확인되고 있으며, 어떤 종류의 어떤 특성의 드론인지 확인되지 않아 드론의 항로, 드

론의 전자파가 발사체에 어떤 영향을 줄지 모르는 상황이다. 지상기반 대응장비 역시 발사체 및 탑재체에 줄 수 있는 영향성의 이유로 사용할 수 없다. 기술 유출과 발사체의 안전이 위협되는 상황이다.

가상적인 상황을 예를 들어 설명하였지만 국가의 주요 시설 및 이벤트 시 위와 같은 상황이 빈번하게 발생하고 있다. 그런데 이러한 불법적인 드론에 어떻게 대응해야 할지 대응 방안과 대응 수단은 없으며, 있더라도 한계성과 주변 영향성이 있어 하늘이라는 광범위한 공간에 있는 불법 드론에 대한 대응이 어렵다. 아니 대응 자체가 불가능하다고 할 수 있다.

또 다른 국가주요시설인 원자력시설은 반경 18km는 비행제한구역으로, 반경 3.6 km는 위험구역으로 설정되어 있다. 위험구역 내의 지상에는 불법 드론을 감시 추적할 수 있는 레이더, EO/IR 카메라, RF 스캐너 등을 설치할 수 있으며, 무력화

를 위한 제머, 대공포 등을 설치하여 대응할 수 있다. 하지만 위험 구역이 3.6km의 짧은 거리로 의도적인 불법 드론을 막기에는 감시 및 대응 시간이 부족하다. 에너지원을 강하게 증폭시켜 비행제한 구역까지 발사하여 위험구역 밖의 영역까지 대응하면 좋겠지만 비행제한구역 18km 내에는 민가, 농지 등이 포함된 주거지 및 생활권으로 강한 전자파는 주변에 유해한 영향을 줄 수 있어 위험구역 내에 서만 설치 운용되고 있다. 이러한 운영적인 지상장비와 대응 수단의 한계성으로 다른 대안이 요구되고 있으며 기술 발전에 따른 다양한 연구가 진행되고 있다.



〈그림 1〉 원전시설 예시 [1]

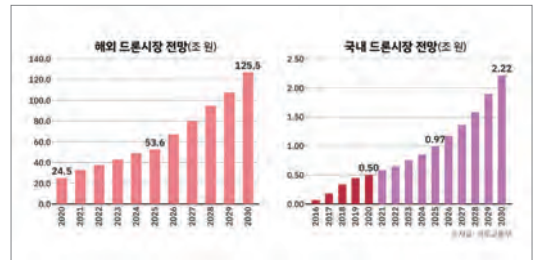
II 드론 산업과 불법 드론

과학기술의 발전으로 무인기는 소형화, 경량화되고 있으며 조종이 용이하도록 조종 편의성도 증대되어 전문가가 아니더라도 누구나 간단한 조작으로 사용할 수 있게 되어 많은 사람들이 취미, 레저용으로 드론을 구매하여 사용하고 있으며 농업용, 산업용으로도 많이 활용되고 있다.

국토부에서 발표한 ‘제2차 드론산업 발전 기본계획(2023-2032)(안)’에 따르면 2020년 약 24.5조 원의 세계 드론 시장은 2030년에는 약 125.5조 원의 규모로 17.7%의 연평균성장률로 성장할 것으로 전망하고 있으며, 국내 시장도 2020년 0.5

조 원의 시장에서 2030년 2.22조 원의 시장으로 성장할 것으로 전망하고 있다. 또한, 드론 활용 시장은 2032년 109조 원 규모의 시장 성장이 예상되어 2032년 37조 원 규모의 드론 제작 시장을 크게 넘어설 것으로 예상하고 있다.

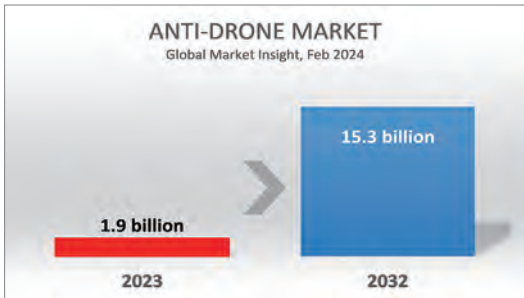
이러한 드론 기술 발전 트렌드와 시장 전망 지표들은 드론 활용 분야의 급속한 증가 및 많은 사람들의 사용 증가를 전망하고 있어 드론으로 인한 크고 작은 이슈들 또한 증가할 것으로 전망하고 있다.



〈그림 2〉 국내외 드론시장 전망 [2]

현재도 드론으로 인한 사건, 사고 소식을 뉴스를 통해 쉽게 접할 수 있다. 작은 취미레저용 드론의 무분별한 촬영으로 발생하는 사생활 침해부터 원전시설 등 국가주요시설에 드론이 충돌하는 사건, 인천공항, 제주공항 등에 불법 드론이 침입하여 공항이 폐쇄되는 사건 등 다양한 형태로 나타나고 있다. 의도적이지 않았더라도 국가주요시설에 침입한 드론으로 인한 물적 피해, 경제적 손실 피해는 점점 커지고 있는 실정이다.

이러한 불법드론에 대응하는 안티드론(또는 대드론) 시장은 드론 시장보다 급격한 성장이 예상되어 연평균 26%의 성장률을 전망하고 있다. 불법 드론은 규제와 법률만으로 막기 어렵다. 따라서 물리적인 대응 방안, 대응 기술, 대응 장비 등이 요구되고 있으며 이는 안티드론 시장의 확대를 가져오고 있는 것으로 판단된다.



〈그림 3〉 ANTI-DRONE MARKET
(출처: Global Market Insight, Feb 2024)

III 공중기반 능동형 불법드론 대응 시스템

불법드론에 대한 대응은 상황 발생 시 자율·신속 대응해 불법드론을 추적·무력화 할 수 있어야 한다. 현재는 지상기반 시스템이 개발되어 배치 운용되고 있으나 지상기반 시스템의 한계성 및 제약성으로 불법드론에 대한 방어의 효과성은 낮은 편이다.

이러한 한계성, 제약성을 극복하고자 지상장비 탐지 영역 외부 및 음영지역 그리고 더 광범위한 지역을 방어하고 대응할 수 있는 공중 기반의 능동형 불법드론 대응 시스템을 국가에서 개발하기로 하였으며 드론캡 시스템이라 칭하고 있다.



〈그림 4〉 순찰드론캡 형상(상세설계 결과)

공중기반 능동형 불법드론 대응 시스템은 ‘드론캡 기체·요소기술 및 운용시스템 개발’라는 과제로 2021년 착수되었으며 2025년까지 개발을 완료하는 것으로 계획되어 있다. 불법 드론들에 신속한 초

기 대응이 가능한 시스템을 개발하는 사업으로 현재 시제작을 완료하여 비행시험 중에 있다.

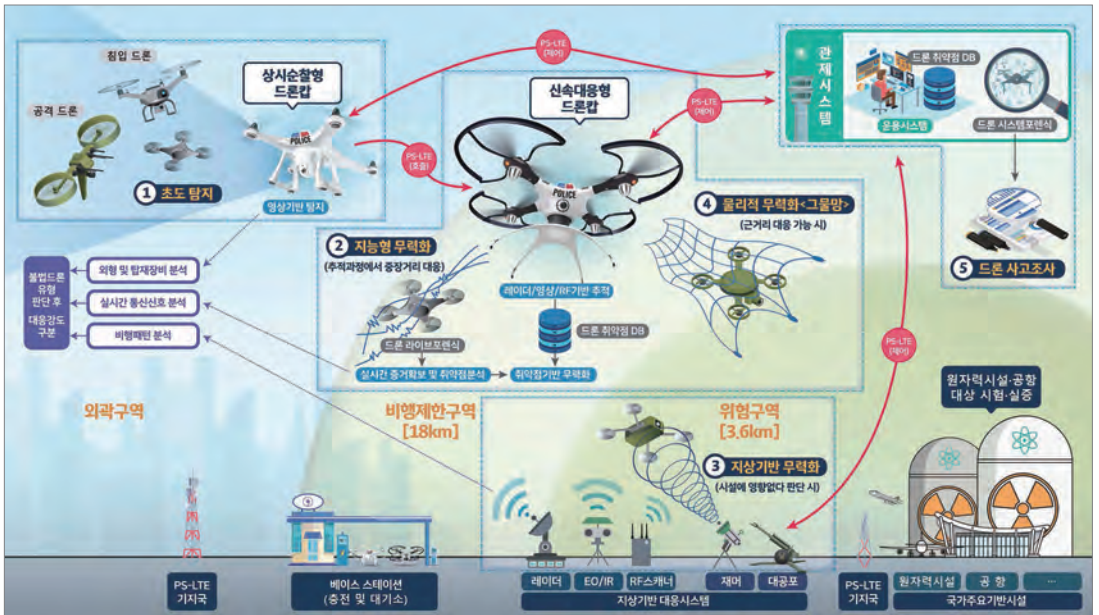
공중에서의 감시, 탐지, 식별이 가능하고 상황 발생시 자율·신속 대응해 불법드론을 추적하고 무력화 시킬 수 있는 드론캡 및 지능형 무력화 탑재장비, 운용시스템 개발 및 실증을 목표로 아래와 같은 상세 목표를 가지고 연구개발 중이다.

- 지상장비 탐지영역 외부 및 음영지역을 순찰하는 순찰형 드론캡 및 불법드론 발견시 대응하는 대응형 드론캡 2종 이상 기체 개발
- 통신신호·영상·레이더를 기반으로 불법드론을 탐지·식별·추적해 무력화가 가능한 드론탑재장비 개발, 실증

기획 초기 연구개발의 목표 중 공격 의도를 가진 빠른 속력의 공격형 고정익 형태의 드론에 대한 방어 기술 및 시스템은 제외하고 멀티콥터 형태의 소형 상용 드론으로 인한 불법 침입에 한정하였으며, 본 기술 및 시스템의 기술적 가능성을 확인 한 뒤 기술 고도화를 통해 공격형 고정익 형태의 드론에 대한 대응 기술을 개발하는 것으로 안티드론 개발 중장기 로드맵을 수립하였다.

공중에서의 불법 드론 대응이라는 것은 매우 어렵고 처음 시도하는 기술이어서 다양한 가능성의 다양한 장비를 활용한 불법드론 추적·무력화의 효율성 효용성을 확인하게 되며, 하나의 장비, 하나의 방법론을 통한 불법드론 추적·무력화가 아닌 복합적인 대응 방안 및 기술을 개발하고 있다.

불법드론의 감시, 무력화는 지상과 공중의 가능한 모든 장비가 연동되고 통합되어야만 대응의 성공률을 높일 수 있다. 앞서 말한 바와 같이 지상기반 대응장비가 선 개발되었고 배치되고 있으므로 공중기반 대응장비는 지상기반 장비의 한계성에 대안이 되어야 하며, 좀 더 능동적으로 대응할 수 있어야 한다.



〈그림 5〉 불법드론 지능형 대응시스템 시나리오 예시 [3]

전체적인 불법드론 대응을 위한 연동체계 <그림 5>의 예시와 같이 ①초도탐지 - ②지능무력화 - ③공중무력화 - ④지상무력화 - ⑤긴급무력화 - ⑥드론사고조사의 대응 단계로 구현될 예정이다. [3]

국가주요시설의 넓은 비행제한구역은 공중에서의 순찰드론탑으로 감시, 탐지, 식별을 수행하게 되며 불법드론 발견 확인 시 대응드론탑으로 추적, 무력화를 수행하여 보다 유연하고 효과적으로 대응할 수 있도록 한다.

순찰드론탑에는 레이더, EO/IR, RF스캐너를 장착, 탑재하여 불법드론을 탐지하며 확인된 이상 물체가 드론인지 새인지 식별하고 보다 정확히 어떤 드론인지까지도 식별하여 대응 방법을 선택할 수 있게 한다.

대응드론탑에는 EO/IR, GNSS 스푸퍼, RF 스푸퍼, 재머, 넷건 등을 장착할 수 있게 개발하여 효과적인 대응 방안에 따른 무력화를 수행할 수 있도록 개발하고 있다.

긴 항속시간, 강력한 대응 장비를 탑재하기 위해

서 큰 기체가 필요하나 운용자 입장에서는 이동성, 용이성 등을 고려한 효율적인 운용을 위해 작은 기체를 요구하고 있어 탑재 장비의 소형화, 경량화가 요구되므로 성능의 제약이 불가피하다.

순찰드론탑	대응드론탑#1	대응드론탑#2
무인 비행체	무인 비행체	무인 비행체
통신 계층 - [주] PS-LTE, [부] 상용 LTE - Back-Up Link [시월용]	통신 계층 - [주] PS-LTE, [부] 상용 LTE - Back-Up Link [시월용]	통신 계층 - [주] PS-LTE, [부] 상용 LTE - Back-Up Link [시월용]
기본 임무 장비 - 일부 장비용 짐벌 - EO / IR 카메라 - 영상 처리 보드 - Radar	기본 임무 장비 - EO / IR 카메라 - 영상 처리 보드	기본 임무 장비 - EO / IR 카메라 - 영상 처리 보드
특화 임무 장비 - RF Sniffer	특화 임무 장비 - 특화 임무 장비용 짐벌 - RF Spoofer - GNSS Spoofer - Net Gun - Spoofing 방지 암호화 모듈	특화 임무 장비 - 특화 임무 장비용 짐벌 - Jammer - Net Gun - Spoofing 방지 암호화 모듈

〈그림 6〉 공중기반 시스템(드론탑)의 구성 [4]

개발 과정 중 지상연동시험, 비행시험, 임무시나리오 시험 과정을 통해 공중기반 대응장비의 운용 효과를 극대화하여 국가주요시설에서 불법드론의 위협상황에 대한 실증을 수행할 예정이다.

IV 능동형 탐지·식별·분석·무력화

순찰드론캡은 1시간에서 3시간 가량 임무를 수행할 수 있도록 엔진이 장착된 Life & Cruise 형태의 고정익형 수직이착륙 형상으로 설계, 제작되었으며 국가주요시설물 안전성을 고려하여 비행체의 고장시 활공을 통한 안전한 착륙이 가능한 고정익형 수직이착륙기로 설계되었다. 순찰드론캡은 광역 선회 비행을 수행하면서 탐지·식별·추적으로 상대 운동 및 비행궤적을 통한 추정 및 예측하여 지상관제 시스템에 전송하고 이 정보를 바탕으로 대응 방법을 선택하여 대응드론캡의 출동을 명령한다.



〈그림 7〉 순찰드론캡 임무장비 운용도(예시)

대응드론캡은 신속한 접근 비행 및 운용자가 다루기 용이하게 배터리를 장착한 멀티콥터로 설계되었으며 불법드론을 탐지, 인식, 추적, 무력화 기능을 갖고 있어 지상관제 시스템에서 명령한 대응 방법에 따른 장비로 불법드론에 고속으로 접근하여 자동 또는 운용자의 명령으로 무력화를 수행한다.



〈그림 8〉 대응드론캡 임무장비 운용도(예시)

드론캡 시스템에서의 탐지는 레이더, RF 스캐너, EO/IR 카메라를 통해 수행되는데 레이더는 전자파를 방사하는 전자식 방식으로 탐지 범위가 넓으며 목표물의 거리, 방향 및 속도를 측정할 수 있으며, RF스캐너는 동일한 전자적인 방식이나 프로토콜 해독, 데이터 수집이 가능하여 불법드론의 식별이 가능하다. EO/IR 카메라는 광학센서 기반의 탐지 및 식별이 가능한 장비로 기술 고도화가 급격히 진행되어 줌 기능 및 기체 자세 변화에 따른 능동적 안정화 기능을 탑재한 센서를 적용하여 물체에 대한 분류와 식별이 가능하나 탐지 식별 유효 거리가 짧은 단점이 있다. 실제 운용에서는 레이더 및 RF 스캐너로 이상 물체를 탐지한 후 EO/IR 카메라를 통해 보다 정확히 식별하고 추적할 수 있도록 영상기반의 머신러닝, 딥러닝 기술을 접목하여 개발하고 있다. [5]

불법드론을 제압하는 방법 소프트킬 방식과 하드킬 방식으로 분류되며 소프트킬 방식은 물리적 힘을 활용하지 않고, 전자·사이버적 방법으로 불법드론을 무력화 시키는 방법을 말한다. 하드킬 방식은 목표 드론에 전자적·물리적인 힘을 가해 손상을 입혀 무력화하는 방법으로 공중 무력화의 다양한 효용성을 확인하고자 드론캡에는 소프트킬 방식과 하

드킬 방식의 무력화 장비를 모두 적용하였다.

전자파 도달 유효거리 내에서 상대운동을 추정하고 목표물에 위성 기반 신호를 전송하여 다른 위치로 유도하거나 식별된 통신 프로토콜 등을 기반으로 제어권을 장악하는 스푸핑의 소프트킬 방식, 조종 주파수 대역을 교란하여 조종 불능 상태로 만드는 재밍과 최대한 기동을 억제하여 제자리비행만 가능하도록 제압한 후 그물을 발사(넛건)하여 추락시키는 하드킬 방식 모두를 구현하였으며 무력화를 위해 EO/IR 카메라를 이용하여 영상기반의 탐지, 식별뿐만 아니라 자동 추적을 수행하게 된다. [6]

드론캡 시스템의 탐지-식별-분석-무력화 기술에 사고조사 기술과 지상기반장비가 연동된다면 보다 더 능동적이고 효과적인 불법드론 대응 시스템으로 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

V 결론 및 시사점

과학기술의 발전은 드론 개발의 고도화를 가져오며 이는 드론 활용의 확대와 드론 시장의 성장으로 이어진다. 드론 시장의 성장 속에는 드론의 불법적 활용 증가도 가져오며 불법드론은 규제와 법률만으로는 막기 어렵기 때문에 물리적인 대응 방안과 대응 기술 및 장비가 요구된다. 하늘이라는 광범위한 영역에 대한 방어는 매우 어려우므로 지상에서, 공중에서 다각적이고도 다양한 방법론이 필요하다.

불법드론의 위협에 대비한 국가주요기반시설의 안전 확보를 위해 탐지, 식별, 추적, 무력화 기능을 갖춘 공중기반의 능동형 불법드론 대응 시스템 기술이 개발되고 있으며, 수요자의 요구와 주요시설에 적합한 시스템의 성능 확인 및 개선을 통해 국가주요시설 방호에 필요한 맞춤형 솔루션으로 고도화하여 시스템 상용화까지 목표하고 있다.

드론캡 시스템의 개발은 시급한 사회현안으로 부각되고 있는 기반시설 대상으로 발생할 수 있는 불법드론 범죄와 사고를 예방하고 대응하는 또 다른 하나의 선택적 수단이 될 수 있을 것이며, 향후 국가주요시설(원전, 공항 등) 안티드론 시스템 구축 및 수출모델을 제시하고 드론캡을 활용한 불법드론 대응을 통해 대국민 치안 업무 강화로 이어질 것으로 기대한다.

본 기술 개발의 소개가 치안정책연구소의 불법드론 대응에 관한 연구활동 및 경찰의 미래 과학치안 기반 마련에 도움이 되기를 희망한다. **PSI**

■ 본 연구는 다부처사업으로 수행중인 불법드론 지능형 대응기술개발사업(과제번호: 2021 M3C4039579) 연구결과 중 일부로 우주항공청의 지원으로 수행 중임.

참고 문헌

- [1] “불법드론 지능형 대응기술개발사업 연구개발계획서”, 한국원자력연구원, 2021. 02.
- [2] “제2차 드론산업 발전 기본계획(2023-2032)(안)”, 국토교통부, 2023. 03.
- [3] 김승범, “불법드론 지능형 대응기술 개발 사업 소개”, 한국항공우주학회 2022 추계학술대회 논문집, 2022. 11.
- [4] 최석 외 “불법드론 대응 기술동향”, 항공우주산업기술동향, 2023. 06.
- [5] 조성욱 외 “비행-능동형 안티드론 시스템 기술 연구개발 동향”, 제어/로봇/시스템학회지, 2023. 09.
- [6] 신희민 외 “국가 주요 시설물 보안을 위한 안티드론 시스템 및 운용 프레임워크비행-능동형 안티드론 시스템 기술 연구개발 동향”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 2023. 08.

3D 프린팅을 통한 경찰장비 제작품 사용 후기 - 변사자 지문채취 新 키트 -

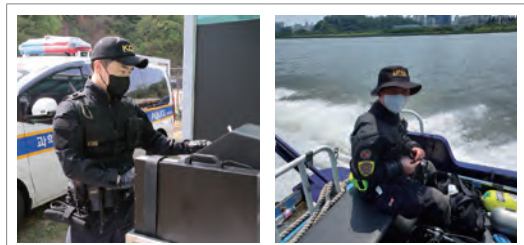


서울청 서울마포서 형사1과 경위 이준희

치안정책연구소에서는 지난 2019년 7월 『3D프린팅 실험실』을 구축하여 산업용 프린터/스캐너를 이용한 경찰 장비 부품 등의 시제품 제작 연구를 시작하였습니다. 현장 경찰들을 대상으로 한 수요조사를 통해 시제품 제안으로 선정된 변사자 지문채취 新 키트의 자체 설계 및 개발을 진행하였습니다. 제안자와 3D프린팅 연구실은 상호 긴밀한 협업을 수행하여, 현장에서 적용 시 고려해야 할 여러 부분에 대한 설계 반영과 실사용 테스트 및 개선사항 논의 등 수차례의 협력을 제공하여, 과학수사 업무를 보다 더 효율적으로 수행할 수 있게 하는 장비 제작에 대한 가능성과 3D 기술은 치안과학 적용에 기여한 점이 높다고 할 수 있습니다. 이러한 3D프린팅 제작 과정과 실사용에 대한 후기 등 짧은 인터뷰를 게시하고자 합니다.

■ 간단히 자기소개를 부탁드립니다.

안녕하십니까, 서울마포경찰서 형사1과 형사2팀에 근무하는 이준희 경위입니다. 저는 생명공학, 과학수사학을 전공하고 국방부조사본부 과학수사연구소에서 일하다가 2015년도에 과학수사(생체증거) 특채로 임용되어 서울경찰청 과학수사과에서 현장감식, DNA분석, 수중과학수사 업무를 담당하다가 올해부터 서울마포경찰서 형사팀에서 근무하고 있습니다.



■ 경위님의 아이디어가 3D 프린팅 제작 대상으로 선정되어 함께 진행하였는데, 소감을 부탁드립니다.

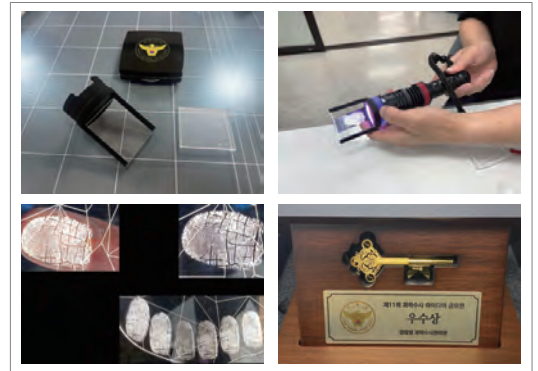
먼저 3D 프린팅 제작 대상으로 선정되어 너무 감사하고 기분이 좋았습니다. 3D 스케치 정도로 막연하게 구상하던 아이디어를 치안정책연구소 3D프린팅 실험실의 전문가의 도움을 통해 실제로 만들어서 활용해 볼 수 있다는 점이 가장 유용하고 좋았습니다. 구상하던 제품이 시중에는 없는 제품이라 어떻게 구현해야 하나 막막했었는데 실물을 전달받아 실제로 활용해 보면서 생각지도 못했던 오류들을 발견하고 또 그 오류를 수정해 가며 제가 원하던 제품으로 만들어가는 과정이 너무 재밌고 신기했습니다.

치안정책연구소 연구관분들이 오류를 하나하나 잡아주며 다양한 해결책을 제시해 주는 전문성과 열정이 없었다면 그저 제 머릿속에만 존재하는 허상으로 남아있었을 겁니다. 상상만 하던 저의 생각을 실현시켜 주셔서 너무 감사드립니다.

■ 3D 프린팅/스캐닝 기술에 대해 접해보셨습니까?

예전부터 제품 개발에 관심이 많아 그것을 표현하기 위해 3D 스케치, 3D 프린팅에 대해 관심이 많았고 과학수사에서 다양하게 활용되는 분야이기에 관심이 많았습니다. 다만 전문성이 필요한 분야이고 개인적으로 장비를 구매하거나 활용하기에는 제한이 있었습니다. 그래서 이전에는 대학이나 산업체에서 지원해 주는 3D 프린팅 지원 사업 등을 통해 제작하기도 하고 돈을 주고 만들어보기도 했는데 을의 입장에서 부탁하여 제작하거나 사비로 제작하다 보니 의견 수렴에 한계가 있었고 재질 선정이나 세부표현 등에 아쉬운 점이 많았습니다.

경찰 조직 내에 3D 프린팅 및 스캐닝 기술과 전문 인력을 확보하고 있다는 것이 자랑스럽고 또 그 기술을 우리 경찰을 위해 지원해 준다는 것이 너무 좋은 것 같습니다. 많은 경찰가족분들이 이것을 잘 활용해서 더 좋은 장비들이 많이 개발되면 좋겠습니다.



■ 특히, 이번 시제품인 변사자 지문채취 新 키트에 대하여 말씀해주시면 좋겠습니다.

변사현장에서 신원확인是最 중요하고 필수적인 사안입니다. 신원을 확인하는 가장 빠르고 정확한 방법은 지문을 이용하는 방법인데 현장에서 변사자의 지문을 채취하는 데는 여러 제한점이 많았습니다.

굴곡진 손가락으로 채취와 사진 채증이 불편하거나 다른 한 명이 손을 잡아줘야 사진 채증이 가능하거나 하는 문제점들을 해결하여 좀 더 쉽고 간편하면서도 효율적으로 지문을 채취할 수 있는 장비입니다. 변사자들의 신원을 빠르게 확인하여 가족들의 품으로 돌려주는 그들을 위한 지문 채취키트라는 의미로 '포템키트'라고 이름을 지었습니다.

일회용 아크릴판을 교체하며 활용함으로써 오염을 예방하였고 과학수사관이 보급받은 광원 F-100에 장착하여 활용할 수 있는 버전을 따로 제작하여 현장에서 쉽고 간편하게 응용하여 사용할 수 있도

록 하였습니다. 작은 크기의 고데기 형태로 제작하여 손가락을 쉽게 고정할 수 있고 휴대성을 높였습니다. 손가락에 형광 시약을 바르고 광원을 켜 후 아크릴판으로 손가락을 평평하게 누른 채로 광원을 켜서 아크릴판 반대쪽에서 사진을 채증하는 방식으로 혼자서도 간편하게 지문을 채취할 수 있습니다. 또한 연화시약이 내장된 마이크로니들 패치를 장착하고 열을 가해주면 부패나 건조로 굳은 손가락을 빠르게 연화시켜 지문을 효율적으로 채취할 수 있습니다.

■ 3D프린팅 실험실과의 업무 협업은 원하시는 방향으로 잘 진행되었는지요?

제 머릿속에서도 정리가 잘 되지 않아서 서투른 스케치로 표현했는데도 역시 전문가분들이라서 그런지 제가 원하는 바를 단번에 알아채어 표현해 주셨습니다. 단순히 제가 말한 대로만 제작해 주는 것이 아니라 현장에서 어떤 목적으로 어떻게 활용하기 위한 장비인지를 이해하기 위해 노력하였고 적용 가능한 다양한 아이디어도 제공해 주었습니다. 다양한 크기별로 여러 개를 제작해 주어 기존 장비와 결합하기 위한 최적의 크기와 모양을 찾을 수 있었고 시제품만으로도 바로 활용이 가능하도록 제작해 주었습니다.

모든 과정에서 저의 까다롭고 귀찮을 법한 저의 요구사항을 최대한 반영해 주려고 노력하고 편안한 분위기에서 진행해 주어 완성도가 높은 시제품이 만들어질 수 있었습니다. 제품이 완성되고 나서는 직접 제품을 들고 서울까지 오셔서 실제로 활용하는 모습을 확인하고 AS도 해주는 꼼꼼함까지 정말 본연의 업무에 최선을 다하시는 모습이 멋지고 감동적이었습니다.

■ 시제품은 어떻게 활용하고 계시는지요?

시제품은 과학수사 업무를 할 때 실제로 활용하였고 다른 직원들과 의견도 교류하며 개선사항 등을 정리하고 있습니다. 또한 시제품으로 ‘과학수사 아이디어공모전’에 출품하여 우수상을 수상하기도 하였습니다. 추후에 잘 정제된 제품을 만들어 현장에서 활용되는 모습을 보고 싶습니다.

■ 발명 관련 수상 이력은 어떤 것이 있을까요?

경찰 내 다양한 공모전에 참가하고 있는데 운이 좋은 건지 여러 번 상을 받게 되었습니다. 작년까지 총 8번 상을 받았고 3건의 특허를 등록했습니다. 또 장비개발 및 다른 업무 유공으로 작년에 대한민국공무원상 대통령표창을 받았습니다.

■ 계속해서 발명을 하시는 이유는 무엇인가요?

두 가지 이유가 있습니다. 첫 번째는 어릴 적 꿈이 발명가였습니다. 그래서 그런지 이런 것들이 너무 재미있습니다. 하나하나 아이디어가 떠오르고 또 그것을 표현하여 좋은 결과를 얻게 될 때 얻는 성취감은 이제 저에게는 하나의 취미생활이자 스트레스를 해소하는 방법이 된 것 같습니다.

두 번째는 이를 통해 받게 되는 상금을 좋은 곳에 쓸 수 있다는 것인데요. 경찰관으로 일하면서 현장의 최일선에서 범죄 피해를 당한 국민들을 마주하게 됩니다. 그럴 때마다 피해자들, 특히 그들의 어린 자녀들이 자꾸 눈에 밟히더라고요. 그래서 매달 범죄피해아동 지원 사업에 기부를 조금씩 하고 있는데 공무원 월급이 넉넉하진 않아 많은 금액을 할 수는 없었으나 이런 공모전들에서 받게 되는 상금을 기부하여 도움을 줄 수 있다는 것이 너무 보람이 있습니다. ‘올해도 꼭 상금을 받아서 도움을 주고

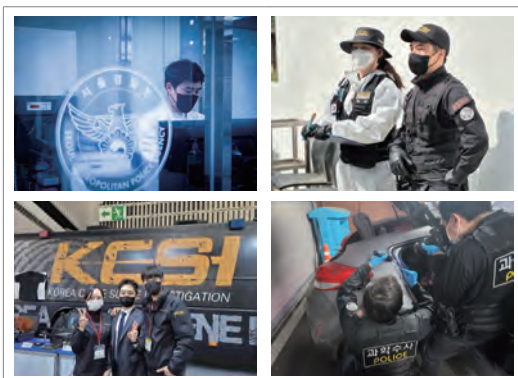
싶다’, ‘이번에는 누구를 도울 수 있을까’ 행복한 고민을 하는 마음이 매년 도전하게 하는 원동력이 되는 것 같습니다. 작년에는 국민을 위해 일하시다 순직하신 경찰관의 가족을 위해 기부했었구요. 다행히 올해도 최종 심사를 앞두고 있는 공모전이 있는데 상금을 받게 된다면 나라를 위해 애쓰신 6.25 참전 유공자분을 위해 기부를 하고 싶습니다.

■ 마지막으로 앞으로의 경찰 생활의 포부를 부탁드립니다.

지금 현재에 안주하지 말고 많은 것을 경험하고 배워서 더 나은 방향으로 나아가자는 것이 저의 가치관입니다. 세상에는 아직까지 경험하지 못한 것과 알지 못하는 것들이 많습니다. 현실에 안주하지 않고 더 배우고 경험하며 더 나은 방향으로 나아가기 위해 노력할 것입니다.

그 모든 과정은 가족과 동료들이 있기에 가능했다고 생각합니다. 앞으로도 가족, 동료들과 즐겁게 생활하고 또 열심히 일하면서 나아가고 싶습니다.

또한 내가 하는 모든 업무가 국민에게 도움이 되는 일이라는 확신을 갖고 주어지는 업무를 충실히 수행해 나가겠습니다. **PSI**



3D 프린팅을 통한 경찰장비 제작품 사용 후기 - 발화부 추정 번호판 -



대구경찰청 과학수사계 경위 김성동

치안정책연구소에서는 지난 2019년 7월 『3D프린팅 실험실』을 구축하여 산업용 프린터/스캐너를 이용한 경찰 장비 부품 등의 시제품 제작 연구를 시작하였습니다. 현장 경찰들을 대상으로 한 수요조사를 통해 시제품 제안으로 선정된 ‘발화부 추정 번호판’을 자체 설계 및 제작하였습니다. 대구경찰청 과학수사대의 적극적인 협조를 통해 현장 활용 시 필요로 했던 기능을 모두 추가하여 활용도 높은 제품을 제작하였습니다. 3D프린팅 연구실과 상호 긴밀한 협업을 수행하여, 현장에서 적용 시 고려해야 할 여러 부분에 대한 설계 반영과 작전 투입 전 실사용 테스트 및 개선 사항 논의 등 수 차례의 협력을 제공하여, 경찰 장비 자체 제작에 대한 가능성과 3D 기술이 치안과학 적용에 기여한 점이 높다고 할 수 있습니다. 이러한 3D 프린팅 제작 과정과 실사용에 대한 후기 등에 관한 인터뷰를 게시하고자 합니다.

■ 간단히 자기소개를 부탁드립니다.

안녕하십니까? 대구경찰청 형사과 과학수사계 김성동 경위입니다. 저는 형사업무를 제외한 약 14년간 과학수사 업무를 맡고 있습니다.

저희 부서는 현장감식, 화재감식, 폭발물감식, 수중감식, 채취증거견 등 다양한 업무를 담당하고 있습니다.



■ 경위님의 아이디어가 3D 프린팅 제작 대상으로 선정되어 함께 진행하였는데, 소감을 부탁드립니다.

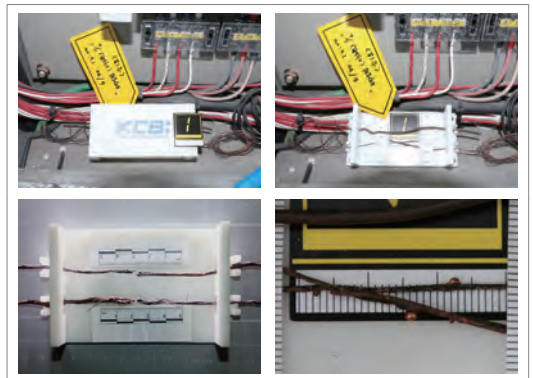
과학수사 장비는 적외선촬영기, 법광원, 영상증폭 지문개선장비, 현장 재구성 3D 스캐너 등 대부분이 고가의 장비이자 특수한 장비입니다. 대부분 외국에서 검증이 된 장비만을 수입하여 사용하고 있습니다. 그렇기 때문에 도입하는 데에 있어서 예산적인 측면 등 많은 어려움이 있습니다.

또한, 사건현장에서 중요한 증거물을 매번 찾을 수 있는 것은 아닙니다. 특히 화재현장은 더욱더 많은 노력을 해야 합니다. 용의자가 남긴 모든 단서는 화염에 의해 모두 사라지기 마련입니다. 실제 화재현장은 많은 전기배선들이 서로 겹쳐져 있거나 마치 거미줄처럼 복잡한 배선들로 이루어져 있어서 이를 해결하기 위해서는 발화부를 찾는 것이 무엇보다 중요합니다. 그러나 건물 내 거미줄처럼 설치되어 있는 많은 전기배선을 구분하거나, 현장증거물 촬영, 아르곤 식별 등 많은 불편함이 있었는데 이번 치안정책연구소와 협력하여 화재현장에서 “아크 매핑 추정”을 위한 증거물 번호판을 제작하게 되어 현장에서 복잡한 전기배선에 거치가 용이하여 발화부위 판단에 쉽게 접근 가능하며, 사진촬영 시 반사판 역할을 하여 정밀한 증거사진 확보에 도움이 되었습니다. 동시에 상단 커버가 있어 번호판으로 사용 가능하고, 특히 발화부 판단에 근거가 되는 아르곤 보호도 가능하게 되었습니다. 이로써 신속하게 감식 업무가 진행되어 국민의 가계에 많은 도움이 된 것 같습니다. 치안정책연구소 연구관분들의 열정과 추진력이 없었다면 아마도 불가능한 일이 아니었을까라고 생각합니다. 다시 한번 감사의 말씀을 드리고 싶습니다.

■ 3D 프린팅/스캐닝 기술에 대해 접해보셨습니까?

예전부터 고가의 과학수사 장비를 사용하면서, ‘이런 점은 개선하면 더 효율적이겠다’라는 생각을 가끔씩 하였습니다. 그래서 외부업체에 제작하는 방안도 생각해 보았으나, 근무여건상 쉽지 않았고, 보안적인 부분도 있어, 실행하기는 어려웠습니다.

그런데, 3D 프린팅 수요조사를 알게 되어 장비를 사용하면서 아쉬운 부분에 대해 생각해 두었던 것을 제안하게 되었습니다. 이번 발화부 추정 번호판 제작을 계기로 다른 장비도 개선할 부분을 보완할 수 있도록 치안정책연구소와 지속적으로 협력하고 싶고, 연구관분들의 3D 프린팅 실험과 연구를 통해 다양한 장비가 개발되어 좋은 일에 쓰였으면 하는 바람입니다.



〈실제 사건현장 활용 사례〉

■ 특히, 이번 시제품인 발화부 추정 번호판에 대하여 말씀해주시면 좋겠습니다.

최근 책임수사와 관련하여 적법절차의 준수와 철저한 증거위주의 과학수사가 절실히 요구되고 있는 치안현실에 부응하기 위하여 본 시제품은 화재현장 감식에 특히 필요하다고 생각합니다. 화재현장에서 발화부를 보다 명확하게 채증 할 수 있고, 기존의 방법에 비해 불편함과 곤란함을 해소하여 보다 신속

하게 화재원인을 규명할 수 있다고 생각합니다.

발화부를 찾기 위한 방법 중 가장 객관적인 방법이 아크매핑을 이용하는 것입니다. 그러나 기존의 방법으로는 건물 내 거미줄처럼 설치되어 있는 전기 배선을 쉽게 구분하거나, 현장증거물, 아크흔 등을 채증 하기란 어려움이 많았습니다. 이를 위해 “화재 현장 발화부 추정을 위한 증거물 번호판”을 이용함으로써 보다 쉽게 아크매핑이 가능하게 되었습니다.

밝은 색상으로 제작되어 현장에서의 가시성이 높고, 복잡한 전기배선에 거치가 용이하여 발화부위 판단에 쉽게 접근가능하며, 사진 촬영 시에 반사판 역할을 하여 정밀한 증거사진 확보에 도움이 될 수 있습니다. 동시에 상단 커버가 있어 번호판으로 사용 가능하며, 특히 발화부 판단에 근거가 되는 아크흔 보호에 도움이 되어 신속하게 감식 업무를 진행하게 되어 모든 면에서 장점이 부각되었다고 생각하였습니다.

연구관분들이 개인적인 시간을 많이 투자하시면서 공부를 하셨고 이후에는 저희 장비를 잘 이해하시고 저희의 사소한 의견까지 잘 들어주면서 수련해 주었습니다. 그리고 초기에는 시행착오가 많았지만 연구관분들의 열정과 노력으로 지금은 시제품 수준까지 근접했습니다.

■ 3D프린팅 실험실과의 업무 협업은 원하시는 방향으로 잘 진행되었는지요?

사실 현장의 의견에 대한 반영은 3D프린팅 실험실 연구관분들과의 긴밀한 의견 교환이 매우 중요하다는 것을 느꼈습니다. 충남 아산과의 물리적 거리 문제도 무시할 수 없었습니다. 실제로 완성품으로 가기 위한 중간 제품에 대한 의견 교류를 위해, 현장에서 제품을 보면서 상호 논의하는 절차가 중요했습니다.

이러한 제약 사항에도 제안 내용에 맞춰, 3D프

린팅 실험실에서 디자인 과정을 거쳐 상호 협의를 통해 계속 수정·보완하여 완성되었습니다. 저희 과학수사 현장팀 동료들도 아낌없는 조언을 함께 하여, 완성도가 높은 제품으로 완성된 것 같습니다.

■ 시제품은 어떻게 활용하고 계시는지요?

샘플을 통해 여러 직원들이 써보고 의견을 교류하면서 수정할 부분은 상호 상의하고 있는 중입니다.

현재까지 진행된 사항을 살펴볼 때, 외형은 조금 더 작게 제작되었으면 하며, 자체 형광색을 가진다면 더 좋은 효과가 있다는 의견이 있었으며, 성능면에서는 야간 화재현장 감식 시 외부충격, 흔들림 없는 고정성 등 관련 데이터를 수집하고 있는 중입니다. 그리고 연구관분들과 끊임없는 접촉을 통해 지속적인 보완 작업을 하고 있습니다.

■ 일선 동료(선후배)들에게 해주고 싶은 말이 있을까요?

오늘도 수많은 사건 현장을 오가며, 수거한 증거물과 고군분투하고 계실 과학수사 동료 선후배 여러분의 노고가 있기에 우리나라 과학수사의 역량 한층 더 높아졌다고 생각합니다. 앞으로 범의수사에 대한 국민의 신뢰를 향상하는 데에 기여하는 과학수사인이 되었으면 합니다.

■ 마지막으로 앞으로의 과학수사대 생활의 포부를 부탁드립니다.

최선을 다하다 보면 어느 순간 최고가 된다는 말이 있듯이 아무런 보상 없이 그저 좋아서 하는 과학수사입니다. 전문가답게 잘 해내려면 신뢰감을 주는 과학수사관으로 거듭날 수 있도록 늘 열정과 사명감을 가지고 최선을 다하겠습니다. **PSI**

3D 프린팅을 통한 경찰장비 제작품 사용 후기 - 스마트지문 채취장비 -

부산경찰청 과학수사대 경사 정재봉



치안정책연구소에서는 지난 2019년 7월 『3D프린팅 실험실』을 구축하여 산업용 프린터/스캐너를 이용한 경찰 장비 부품 등의 시제품 제작 연구를 시작하였습니다. 현장 경찰들을 대상으로 한 수요조사를 통해 시제품 제안으로 선정된 스마트지문 채취장비를 자체 설계 및 제작하였습니다. 부산경찰청 과학수사대의 제안자와 상호 긴밀한 협업을 수행하여, 현장에서 적용 시 고려해야 할 여러 부분에 대한 설계 반영과 개선 사항 논의 등 수차례의 협력을 제공하여, 경찰 장비 자체 제작에 대한 가능성과 3D 기술 치안과학 적용에 기여한 점이 높다고 할 수 있습니다. 이러한 3D 프린팅 제작 과정과 실사용에 대한 후기 등 짧은 인터뷰를 게시하고자 합니다.

■ 간단히 자기소개를 부탁드립니다.

부산경찰청 과학수사과 정재봉 경사입니다. 저는 법곤충학을 전공하고, 생물학 박사를 취득 후

2016년도에 과학수사 특채로 임용되어 현재까지 약 8년간 과학수사부서에서 근무 중입니다.

과학수사과에서는 살인, 강도 및 절도 등의 다양한 범죄 현장에서 신원을 확인하거나 증거물을 채취하는 일을 하고 있습니다. 특히 변사사건에 대한 관심이 많은 편으로, 사체에서 출현하는 곤충을 이용하여 사후경과시간을 추정하거나, 변사사건에 관한 연구를 진행하여 논문을 투고하는 등의 연구를 진행하고 있습니다.



■ 경사님의 아이디어가 3D 프린팅 제작 대상으로 선정되어 함께 진행하였는데, 소감을 부탁드립니다.

먼저 저의 아이디어를 3D 프린팅 제작 대상으로 선정해 준 치안정책연구소 연구원분들께 감사의 인사를 드리고 싶습니다. 전국에서 다양한 아이디어와 장비들이 올라오는 중에 저의 아이디어가 선정되어 실제 장비로 나온 것에 뿌듯함을 느끼고 있습니다. 만들어진 장비를 볼 때 단순한 지문채취장비가 아니라 그 안에 들어 있는 시간들과 노력들이 보이는 것 같아 현장에서 사용할 때마다 매우 기쁩니다.

■ 3D 프린팅/스캐닝 기술에 대해 접해보셨습니까?

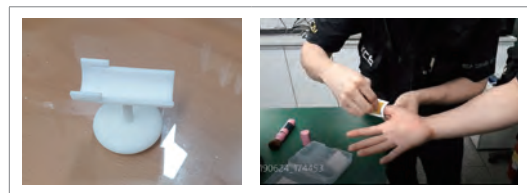
과학수사의 경우 다른 부서에 비해 다양한 현장에서 다수의 장비들을 사용하고 있습니다. 따라서 이러한 장비들이 모두 현장요원들에게 편리하게 사용될 수 있으면 좋겠지만, 기성품에서는 편리성이 부족한 게 사실입니다. 장비들을 완전히 바꾸는 것은 어렵지만, 일부분만 개선할 수 있다면 더 편리하고 좋은 장비가 될 것이라고 많은 현장요원들은 생각하고 있을 것입니다. 그러나 기술적 한계, 각 분야에 대한 한계 등으로 이러한 개선작업을 하지 못하는 경우가 다수 있습니다. 그런데, 3D 프린팅 수요조사를 알게 되어, 필요한 장비나 일부 수정 등을 할 수 있어 현장에서 필요한 요구에 대해 여러 번 이야기를 거치면서 이 장비를 제안하게 되었습니다. 이를 계기로 다른 분들도 개선할 장비들이 있거나 머릿속에서 만들어지는 아이디어에 대해 적극적으로 3D 프린팅에 참여할 수 있기를 바랍니다.

■ 특히, 이번 시제품인 지문채취틀에 대하여 말씀해주시면 좋겠습니다.

변사현장에서 가장 중요한 것 중 하나가 신원을 확인하는 것인데, 일반적으로 지문을 이용하여 신원확인을 하고 있습니다. 지문 채취 시 흑색분말과 지문스티커를 사용하는 게 일반적이며, 붓을 이용하여 흑색분말을 대상자의 손가락에 바르고 스티커에 전사시켜 신원을 확인합니다. 이때 손가락이 곡선이기 때문에 직사각형의 지문스티커에 지문이 명확하게 전사되지 않는 경우가 있습니다.

이러한 단점은 지문 채취의 경험이 적거나 대상자가 노인이나 어린이 일 경우와 같이 협조가 어려울 때 더욱 심해집니다. 따라서 이러한 단점을 보완하고 정확한 지문을 채취하기 위해 치안정책연구소와 협력하여 지문 채취 지지대를 만들게 되었습니다.

이 지지대는 손가락 모양으로 굴곡이 있어 지문 채취가 유리하며, 지문을 단단하게 받쳐주어 사용자의 편리성을 많이 높여 줍니다. 이러한 지지대를 사용함으로써 지문 채취 경험이 부족하거나 대상자와의 협력이 원활하지 못할 때도 명확한 지문을 채취하여 신원확인에 도움을 받을 수 있습니다.



이러한 기회를 빌려 치안정책연구소 연구관분들에게 감사드리며, 저뿐만이 아니라 다른 분들도 작은 불편함을 그냥 넘기지 않고, 치안정책연구소의 연구관분들과 협력하여 장비를 개발하고 제작하여 현장에서 안전하고, 편리하게 임무를 수행할 수 있으면 좋겠습니다.

■ 3D프린팅 실험실과의 업무 협업은 원하시는 방향으로 잘 진행되었는지요?

처음 머릿속에 있던 아이디어를 밖으로 내어 물건을 만드는 것이 쉽지만은 않았습니다. 도면도 다수 그려보고, 그려진 도면을 연구관분들과 회의를 하면서 수정할 부위나 만드는 규격 등을 같이 생각해 보고 제품들을 만들어 보면서 조금씩 수정하여 완제품을 만들 수 있었습니다. 다른 제품도 이처럼 여러 차례의 회의가 필요하지만 실제 아산이라는 지역이 가깝지 않아 더 많이 만나 이야기하고 회의를 진행하지 못한 것이 아쉽습니다.

■ 시제품은 어떻게 활용하고 계시는지요?

만들어진 제품은 저뿐만 아니라 다른 직원들이나 팀에 배포하여 현장에서 써보고 장점과 단점 등 의견을 계속적으로 받고 있습니다. 시제품의 일부는 과학수사팀에서 사용하고 있으며, 변사자 지문 채취 시에 사용하는데, 지문이 정확하게 나온다는 평가가 나오고 있습니다. 또한 지구대에도 시제품이 일부 보급되는데, 지문지지대를 사용함으로써 지문 채취의 경험이 적더라도 찍은 지문의 품질이 좋다고 하는 평가가 있습니다. 따라서 계속적으로 지문지지대에 대한 제작과 함께 지문 채취에 대한 교육이 함께 이루어지면 좋을 듯합니다.

■ 일선 동료(선후배)들에게 해주고 싶은 말이 있을까요?

과학수사라는 분야가 전면에 나와 사건을 해결하고 이끌어가는 위치는 아니라고 합니다. 하지만 사건의 방향을 이끄는 방향타 역할을 하고 있기 때문에 중요성이 증가하고 있습니다. 현장에서는 성과를 잠시 내려두고 사건에 집중하여 사건 해결에 도

움을 주는 분야로, 현장에서 최선을 다하고 꾸준히 정진한다면 좋은 결과가 있을 것으로 생각합니다.

■ 마지막으로 앞으로의 과학수사대 생활의 포부를 부탁드립니다.

경찰 내에서 훌륭한 경찰분들이 많이 있습니다. 저는 다른 분들보다 감식을 잘하거나 지문으로 신원확인을 잘한다는 말은 하지 못합니다. 각자가 자신의 특기가 있다고 생각합니다. 저는 저만의 특기를 살리는 방향으로 과학수사 발전에 도움을 주고 싶습니다. 과학수사 분야에서 연구를 수행하고, 연구에 대해 관심을 가지고 있는 직원이 있다면 언제든지 같이 협업하여 좋은 성과를 내고 싶습니다. **PSI**

현장경찰을 위한 3D융합기술의 미래

치안정책연구소 3D프린팅팀



I 치안 3D 프린팅의 현재

3D 프린팅 기술이 2000년 초에 국내에 도입되어 기술의 확산이 시작되고 있었고, 당시 민간 상업용 응용 기술은 적용범위를 넓혀가고 있었다. 이러한 발 빠른 민간시장과는 달리 국내 공공부문에는 구조의 특성상 해당 첨단 기술을 검토하고 도입하는데 속도 있는 진행이 어려웠던 것이 사실이다.

3D 프린팅의 주요 활용분야는 크게 우주·항공, 의료, 자동차 등 여러 분야에서 적용 중이며, 소재 다양화, 디지털 컨버전스 기술을 활용해 영역이 확대되고 있는 추세이다. 이러한 활발한 영역 확장에 힘입어 세계 시장 규모는 계속하여 증가추세를 이어가고 있다.

세계 3D 프린팅 시장 규모에서도 국내 산업의 총 규모는 글로벌 시장 대비 2% 수준이라는 것을 감

안할 때 국내 산업이 기술향상뿐만 아니라 규모면에서 향후 더욱 확대해야 하는 과제가 남아 있다.

〈표 1〉 글로벌 3D 프린팅 시장 규모

(출처: Market and Market) [1]

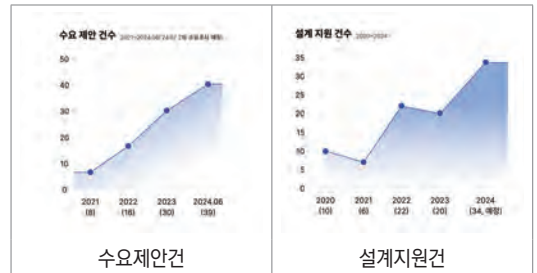
(단위: 백만 달러)

연도		2021	2022	2023e	2024e	2025e
국외 시장	규모(a)	12,620	15,775	14,986	16,785	19,302
	성장률	18.0%	25.0%	-5.0%	12.0%	15.0%
국내 시장	규모(b)	273	349	338	386	452
	성장률	20.8%	27.8%	-3.2%	14.2%	17.1%
	점유율(b/a)	2.2%	2.2%	2.3%	2.3%	2.3%

경찰청 내에서는 치안정책연구소에 최초로 2019년 7월 연구 및 시제품 제작용 산업용 정밀 3D 프린터를 도입하였다. 이후 꾸준한 성장을 통해 3D 프린터 라인업을 구축하여 다양한 현장경찰의 수요에

맞춤형 제품을 지원하고 있다. 초창기에는 3D 프린팅에 대하여 직접 현장을 찾아가서 기술을 알리고 시제품 제작을 지원하는 사업 홍보에 중점을 두었으며, 매년 3D 프린팅 수요조사를 정례화하여 보다 많은 현장의 요구를 충족시키는 과도기를 지나왔다. 이제는 경찰청 내에서 유일한 정밀 3D 프린터 장비들을 구축하고 전문인력을 보강하여 자체적인 3D 설계·제작 기술로 전국 현업부서와 협업을 진행하고 있다.

창기에 비하여 현장에서 필요로 하는 수요조사 건수가 상당히 늘어나고 있음을 알 수 있다.



〈그림 2〉 3D프린팅팀 수요조사 현황



〈그림 1〉 연구소 내 3D프린팅실 전경

II 경찰 3D 기술의 확산

[경찰 활동에 필요한 부품 제작 지원의 선택과 집중]

치안장비연구센터 3D프린팅팀에서는 치안과학 선도를 위한 3D 시스템 기반 기술 응용 연구를 통해 경찰장비 및 과학수사 장비의 활용에 있어 필요 부품을 자체 설계하여 지원을 하고 있다. 이러한 현장에서의 수요를 기반으로 설계 시제품을 개발하고, 경찰 업무의 효율성과 대응 능력을 강화할 수 있는 연구를 추진하고 있으며 현재까지 많은 현장 부서와의 협업을 통해 지원을 하였다. 이를 통해 초

이제는 다품종 지원 방향에서 탈피하여 선택과 집중을 통해 경찰에 필요한 효율성 높은 부분을 검토하여 범용성 있게 지원하는 체계로의 전환을 추진하고 있다, 현재 경찰에서 운영 중인 항공장비(헬기)의 정비용 부품 등의 지원이 좋은 사례라고 하겠다. 항공장비에 3D 프린팅 기술을 활용하면 비용 절감은 물론이고 맞춤형 부품 제작, 신속한 제작과 수리가 가능해져 재고 관리와 납기 시간을 크게 줄일 수 있다. 수리 기간 동안 필연적으로 발생하는 인력 공백을 줄일 수 있는 것이다.

이처럼 경찰 활동에 3D 기술을 효과적으로 활용하는 방안으로, 1)치안현장 과학수사 지원, 2)현장 재현과 조사의 보조, 3)교육 및 훈련 지원 등 다양한 분야에서의 큰 효과를 발휘할 수 있다.

① 치안현장 과학수사 지원

3D 프린팅 기술은 초기에는 제한된 재료와 느린 속도로 제한적 용도로만 사용되었으나, 현재는 기술이 고도화되어 고해상도 출력, 금속 및 세라믹 등 다양한 재료의 개발, 그리고 빠른 제작 속도를 갖춰 의료, 항공우주, 건축 등 다양한 분야에서 혁신적인 해결책을 제공하고 있다. 치안현장도 상황에 따라 필요로 하는 장비의 종류가 다르기 때문에 3D 프린팅을 활용한 현장 수요가 다양하다. 그중, 현

장 의견을 듣고 효과적인 경찰 활동을 지원하기 위해 매년 실시하는 3D프린팅팀의 3D 제작 대상 수요조사에서 과학수사 분야에서의 수요가 증가하는 추세인데, 과학수사는 경찰 활동에 있어 근간이 되는 기반 프로세스이다. 여기서 각종 첨단기술의 융합 적용을 통해 수사에 필요한 과학적인 지원을 함으로써 최종적으로 치안 과학에서의 신뢰를 뒷받침하게 된다.

3D 응용기술은 과학수사 현장에서 다양하게 활용될 수 있는 부문이 많다. 증거물 복원이라는 기본적인 목적을 충족하는 데 있어, 단순한 사건현장의 증거 물품이나, 고도화된 기술을 기반한 3D 형태의 신원미상자 얼굴 복원 등이 좋은 사례라 하겠다. 특히, 현재 국내 기술 기반으로 활용 중인 3D 영상 기술 및 프린팅 기술을 이용한 과학수사 장비의 활용을 통해, 실종자 및 신원미상자 정보 취득에 있어 비용과 절차에 상당한 효율성을 나타내고 있다. 향후 보다 진보된 국내 기술과 해외 선진기술과의 접목을 통해 수사 보조 수단으로 자체연구개발 및 해외우수기술 시스템을 도입하여, 시범적으로 운용을 하는 것이 국내 선진 과학수사 체계 확립에도 기여할 것이다.

과학수사용으로서의 3D 스캐닝의 정확도를 높이기 위해서는 적절한 영상 취득 전략을 수립하고 여러 적합한 기술을 조합하여 디지털 정보를 획득하여야 한다. 최근 3D 기술과 딥러닝(Deep learning)을 통한 AI(인공지능) 기술의 접목을 통해 실제 수사 현장에서 일부 훼손된 신체 부위나 소실된 증거물을 최대한 복원하는 이미지 향상 기술 구현도 개발이 가능할 것이라 판단되며, 이는 결과적으로 수사 과정에 있어 효용성이 증대할 것이다. 이와 병행하여 수사과정에서의 증거능력 인정 및 적용 가능성 여부 등을 공유하는 과정에서 각 분야의 전문가 자문도 필요할 것이다. 또한 3D 데이터를 프로그래밍하고 제어하는 방법 및 설계자의 주관에

따라 많은 부분에서 결과의 차이가 발생할 수 있으므로, 중요한 범죄사항의 보조 증거물로써 사용될 경우, 많은 기반자료와 분야별 지식이 필요하리라 판단된다.

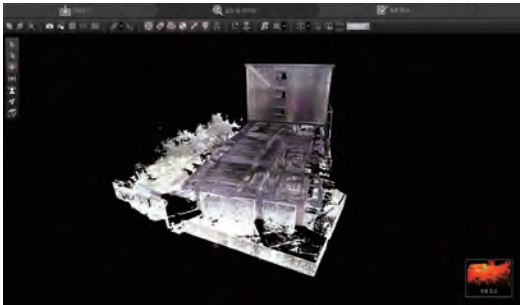
② 현장 재현과 조사의 보조

3D 스캐닝과 모델링 기술을 활용한다면 범죄 현장의 정밀한 디지털 재현을 가능하게 한다. 사건 발생 후 현장을 스캔하여 얻은 3D 데이터는 범죄 현장을 정확히 기록하고, 사건을 분석하는 데 필수적인 정보를 제공한다. 예를 들어, 범죄 현장에서 발견된 혈흔 패턴을 정밀하게 스캔하고 혈흔 위치, 모양, 크기, 각도 등을 정확하게 기록하여 현장 상태를 보다 명확히 재현할 수 있다. 스캔데이터를 기반으로 사건을 재구성해 범죄자의 행동 경로를 추적할 수 있고 사건의 전개 과정을 시뮬레이션할 수 있다. 3D 스캔 데이터는 디지털 형식으로 저장되므로, 현장 데이터를 안전하게 보존하고 필요시 언제든지 현장을 확인할 수 있으므로 현장 보존의 시간적 제약을 해소할 수 있다. 추가적으로 재발 방지 대책 수립 시 도움을 줄 수 있고 법원에서 사건의 실제 상황을 시각적으로 전달함으로써 증거로 활용할 수 있다. 이렇듯 범죄 현장 조사 및 증거 수집에서 중요한 역할을 하는 혁신적 기술인 광대역 스캐너를 경찰에서 효과적으로 사용하기 위해서는 지속적인 교육이 필수적이다.

광대역 스캐너의 기능과 사용법을 이해하고 이를 최대한 활용하기 위해서 스캐너의 기능, 데이터 처리 방법, 전용 소프트웨어 사용법을 숙지해야 한다.

정기적인 교육 프로그램 운영을 통해 지속적인 기술 업데이트와 새로운 기술 동향을 반영한 교육이 필요하며 실습 중심의 훈련을 통해 경찰관들이 실제 상황에서 스캐너를 효과적으로 사용할 수 있는 능력을 배양해야 한다. 최신 기술 동향과 활용

사례를 공유하기 위해 전문가를 초청한 세미나를 개최해 최신 정보를 제공하고, 기술적 통찰력을 높이는 데 도움을 줄 수도 있다. 기술적 이해, 현장 적용 능력 함양, 문제 해결 및 유지보수를 위한 체계적인 교육은 스캐너의 잠재력을 최대한 발휘할 수 있는 기반이 된다. 따라서, 장비를 운용하는 현장 담당자는 정기적이고 실습 중심의 교육 프로그램을 운영해 광대역 스캐너의 활용도를 높여 현장 조사와 사건 분석의 보조도구로서 적극적으로 이용한다면 과학수사에 도움이 될 것이다.



〈그림 3〉 치안정책연구소 광대역스캐너 사용 모습

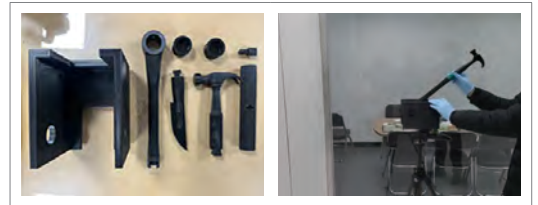
③ 교육 및 훈련 지원

범죄가 발생하기 전 미연에 방지하고 수사 기법, 범죄 분석, 증거 수집 및 보존 방법을 익힘으로써 해결 능력을 강화하기 위해 교육 및 훈련은 매우 중요하다. 전국 시도청에서도 상황별 맞춤형 훈련을 위해 새로 보급받은 장비를 교육하기 위한 여러 교보재 제작을 의뢰하고 있다.

3D 기술을 활용하면 전술 훈련용 장비나 시뮬레이션용 도구를 제작하여 훈련 환경을 현실감 있게 재현할 수 있다. 3D프린팅팀에서는 강원청 직원의 제안으로 혈흔분석장치를 제작, 지원한 바 있다.

해당 장치는 삼각대에 고정 후 모형흉기를 조립해 모의혈흔을 묻혀 뒤로 당겼다 놓으면 스프링의 힘을 이용해 모의혈흔이 벽으로 날아가 휘두름이탈

혈흔을 관찰할 수 있게 하는 연구용 시제품이었다. 삼각대의 높이와 각도를 조절해 실제 사람의 키와 어깨 각도 등으로 대입해 실험해 볼 수 있으며, 모형흉기를 당겼다 놓는 정도를 조정해 힘의 크기를 조절할 수 있었다. 해당 장치를 이용해 여러 번 실험하여 데이터를 쌓아 혈흔분석에 활용할 수 있게 하는 실험적인 제작이었다.



〈그림 4〉 제작한 휘두름이탈혈흔 분석장치

외에도 2024년 하반기에 경기남부청과 협업하여 제작할 예정인 경찰용 ‘도상훈련키트’는 도상·지휘소훈련 시 단순히 시나리오를 읽어 설명하는 수준이 아니라 실제 인력과 장비를 축소 모형으로 제작하여 배치해 봄으로써 현장지휘관들의 지휘 역량을 강화하고 대응의 적시성을 확보할 수 있다는 기대가 있다. 도상훈련키트 개발에만 그치지 않고 개발한 키트와 3D 스캐닝 기술을 융합 활용할 수도 있는데, 다중 이용시설 등을 3D 스캐닝 후 시각화하여 실제 현장을 확인하며 도상훈련키트에 표시하면 보다 더 효과적인 훈련과 현장 대응을 수립할 수 있다.

III 치안과학을 위한 종합 3D 솔루션 연구

현재 경찰 활동을 위한 3D 프린팅 시스템 구축 및 연구 활동은 과도기를 거쳐 보안성을 기반으로 높은 품질의 시제품을 선택과 집중을 통해 지원하는 체계를 확립하고 있다. 해외 선진기술과 장비 및

운영 노하우를 검토하고 도입함으로써, 치안 과학에 필요한 기술적인 이해와 운영 능력을 수용하는 방안을 모색할 수 있다. 과학수사의 보조물을 제작하고, 필요부품을 제작하여 지원하는 체계에서 더 진보하여, 치안 AI 기술을 활용한 3D 설계, 사건 모의실험용 3D 시뮬레이션, 3D 홀로그램 등 치안용 3D 종합 솔루션을 연구하고 선행기술을 검토하여 활용하는 방안을 추진해야 하겠다.

이러한 다양한 신기술 검토와 실증을 통해 중요한 첨병역할을 하는 3D프린팅팀으로서의 역할을 다 할 것이다. **PSI**

참고 문헌

[1] Markets and Markets 자료, 2023.





치안정책연구소
POLICE SCIENCE INSTITUTE

[31539] 충청남도 아산시 신창면 황산길 100-50 경찰대학 치안정책연구소
치안장비연구센터 3D프린팅팀 T. 041.968.2398 <https://www.psi.go.kr/>