

융합연구리뷰

Convergence Research Review

안재홍(한국광기술원)

실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를
통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출

이경관(경희대학교 · 한국생명공학연구원)

홍합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

CONTENTS

- 01 편집자 주
- 03 실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출
- 39 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용



융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2020 November vol.6 no.11

발행일 2020년 11월 9일

발행인 김주선

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4977 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 주식회사 동진문화사 Tel. 02-2269-4783



한국과학기술연구원 융합연구정책센터에서는 매해 과학기술정보통신부 및 미래융합협의체와 공동으로 신진연구자 및 박사과정에 있는 학생들을 대상으로 융합연구 지원 프로그램인 '융합연구정책 Fellowship'을 개최한다. 이를 통해 연구자들이 융합연구 역량을 증진하고 새로운 아이디어를 제시할 수 있는 기회를 제공한다.

본 11월호에서는 '2020년 융합연구정책 Fellowship'에서 선정된 최우수작 및 우수작을 실어 신진연구자 및 박사과정의 예비연구자가 4개월 동안 수행한 융합연구 내용을 살펴본다.

실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출

교통사고분석시스템에 따르면 횡단보도 내 사망자는 21.7%로 적지 않은 비중을 차지하고 있으며 스쿨존 내의 어린이 교통사고는 2019년 589명으로 역대 최대치를 기록했다. 횡단보도 및 스쿨존에서의 인명사고는 매년 지속적으로 증가하고 있으며 더욱이 1인 운송수단이 발달하면서 향후 사고의 발생 횟수가 더욱 증가할 것으로 예상되어 이에 대한 예방 및 대책이 필요한 실정이다.

본 호 1부에는 개방형 데이터 및 공공기관에서 제공하는 데이터를 활용하여 인공지능 비전 카메라 영상 융합 연구에 대한 내용을 실었다. 객체를 정확하게 인식하기 위해 인공지능 기반의 객체 인식 기법인 YOLOv3, 카메라와 인식된 객체간의 거리 측정을 위해 인공지능 기반의 거리 측정 기법인 PSMNet, 그리고 주간 및 야간의 영상을 융합하여 주-야간 구분 없이 객체가 인식되고 거리가 측정되는 것을 확인한 연구 내용을 소개한다.

횡단보도 및 스쿨존에서의 인명사고를 줄이기 위하여 제시된 융합기술이 널리 활용되고 다른 응용 연구 개발에도 연계됨으로써 인명피해를 줄일 수 있기를 기대해 본다.

홍합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

디스플레이 및 발광 소재로서의 가치가 있는 금속 양자점은 전 세계적으로 개발 및 수요가 지속적으로 이루어져 금속 양자점 시장의 연평균 성장률은 68%로 증가 추세이다. 그러나 금속 양자점은 제조 시 합성되는 원료의 높은 단가, 인체의 유해성 및 환경오염 유발 등의 한계점이 있다.

본 호 2부에서는 기존의 금속 양자점이 지니고 있는 한계점을 극복하기 위하여 홍합의 접착 능력에 관여하는 구조적 작용기를 모방하여 개발한 홍합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점에 대한 연구를 소개한다. 새롭게 개발된 홍합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점은 친환경적 공정으로 제조되고, 반도체 기판 및 재료와의 흡착성 및 안정성이 우수하다. 또한 비 발광성 소재에 흡착을 하면 흡착된 소재에 발광 기능을 부여할 수 있으며 노랑, 초록, 파랑 등 다양한 형광 파장의 색 구현이 가능하다.

저자가 개발한 홍합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점이 향후 금속 양자점을 대신하여 많이 활용되고 주목받는 차세대 친환경 소재가 될 수 있기를 기대해본다.

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2020 November vol.6 no.11



01

실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상
융합 기술 연구를 통한 현재 및 미래 사회의
인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출

안재홍(한국광기술원)

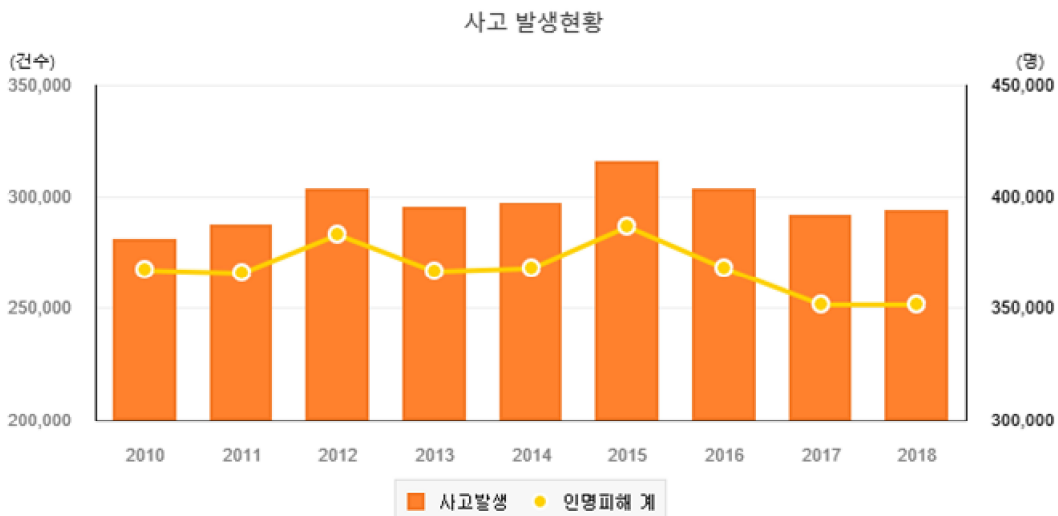
I 서론

1. 연구 주제

본 연구는 실생활 데이터를 기반으로 인공지능과 비전 카메라 영상 융합을 통해 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제를 예측하고, 해결방안을 도출하는 연구이다. 현재 많은 곳에서 다양한 원인으로 인명사고가 발생하고 있으며, 아래 <그림 1>은 도로교통, 화재, 철도, 폭발 등 사고발생과 인명피해에 대한 그래프 및 통계를 보여준다.

통계적으로 보면 사고발생 건수가 평균적으로 높으며, 인명피해는 약간 감소하였으나 수치는 매우 높다. 약 10년간 큰 변화가 없는 것으로 보아 사고발생 및 인명피해에 대한 평균적인 수치는 앞으로 줄어들지 않을 것으로 예상된다.

그림 1. 사고발생 및 인명피해 그래프



출처 : 행정안전부「재난연감」

출처 : 행정안전부

위 <그림 1>에서와 같이 많고 다양한 인명사고 중, 본 연구는 도로교통에서의 횡단보도 및 스쿨존 인명사고 문제를 다루며, 그에 대한 문제 예측과 해결방안을 도출한다. 횡단보도 및 스쿨존에서의 인명사고는 꾸준히 증가하고 있으며, 최근에는 민식이법(어린이 보호구역 내에서의 교통안전법), 무단횡단 교통사고와 1인용 운송수단(전동킥보드, 외발휠, 전동휠, 세그웨이(segway) 등) 등이 화두가 되고 있다. 그 외에도 무단횡단과 음주운전, 뺑소니 등 많은 추돌사고들이 횡단보도 및 스쿨존 환경에서 일어나고 있다.

이에 대한 문제 예측과 해결방안 도출을 위해 실생활 데이터(사람, 자전거, 차량, 이륜차량 등)와 인공지능(딥러닝), 그리고 카메라(RGB + Stereo + IR)와 컴퓨터 비전(객체 인식 + 거리 측정 + 주·야간 = 영상 융합) 기술을 제시하며, 적용 예시로 운전자나 보행자 등을 인지하지 못한 상황에서 횡단보도 및 스쿨존에 설치된 CCTV 카메라를 이용해 주·야간 구분 없이 객체를 인식하고, 객체 간의 거리를 통해 접촉 및 충돌 예상 시 알림(보행자 휴대폰 알림, 바닥 신호등, 운전자 핸들제어, 운전자 브레이크 제어 등)을 주는 것을 보여준다.

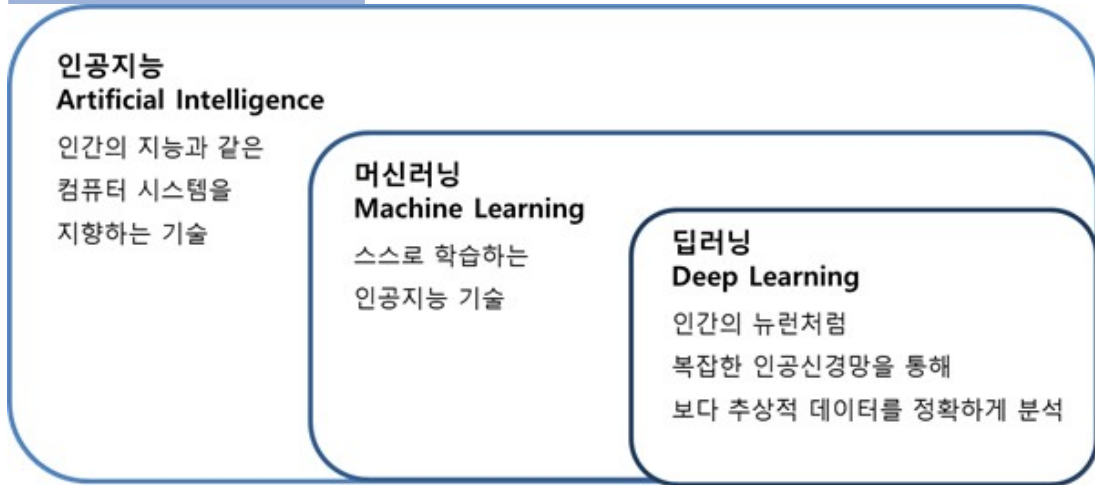
기술적인 연구 외의 실제 상용화 및 사업화 시 문제가 되는 규제사항(데이터 3법, 개인정보 등)과 연구의 수요자(활용처) 등을 또한 다루며, 다음은 본 연구에서 주된 기술인 인공지능과 컴퓨터 비전에 관한 내용을 설명한다.

1.1 인공지능(Artificial Intelligence, AI)

인공지능은 학습, 추론, 언어, 지각, 문제 해결, 패턴 인식 등과 같이 주로 인간 지능과 연결된 인지 문제를 해결하는 기술로, 이론은 1956년도에 처음 나왔다. 당시에는 하드웨어 및 소프트웨어가 뒷받침되지 않아 적용하지 못하였지만, 현재는 그래픽 처리 장치(Graphics Processing Unit, GPU) 연산, 소프트웨어 등으로 구현이 가능하게 되면서 다양한 분야에 적용되고 있다.

인공지능 안에는 다양한 이론이 있으며, 많은 이론 중에 본 연구에 적용한 기술은 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)으로 딥러닝(deep learning)에 속한다. 딥러닝은 인공지능과 머신러닝(Machine Learning, ML)안에 부분집합처럼 속해있으며, 아래 <그림 2>에서 이해도와 설명을 보여준다.

그림 2. 인공지능 이해도

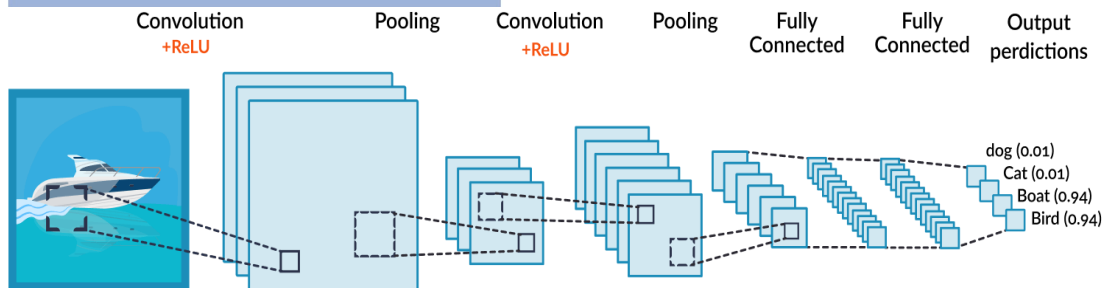


딥러닝 안에는 순환 신경망(Recurrent Neural Network, RNN), 심층 신경망(Deep Neural Network, DNN), 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 등이 있으며, 본 연구에서는 컴퓨터 비전 연구에 적합한 합성곱 신경망을 이용해 객체 인식과 거리 측정을 영상 융합에 활용한다.

1.1.1 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)

CNN(Convolutional Neural Network)이란 합성곱 신경망으로 데이터의 특징을 추출하여, 특징들의 패턴을 파악하는 구조로 되어있다. 아래 <그림 3>은 합성곱 신경망의 구조도를 보여주며, 크게 합성곱(convolution) 과정과 풀링(pooling) 과정의 반복을 통해 진행되는 구조로 되어 있다.

그림 3. 합성곱 신경망(CNN) 구조도

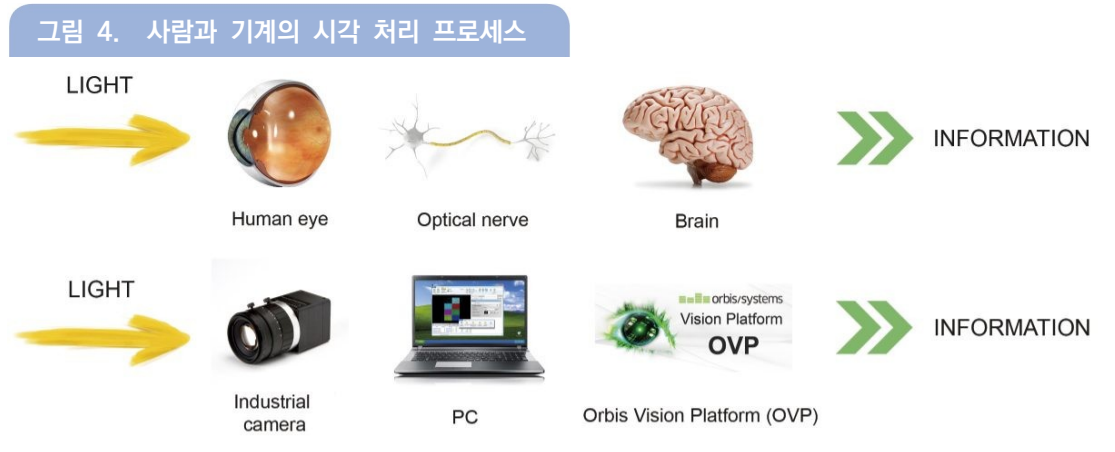


이러한 구조를 통해 데이터로부터 특징(feature)을 자동적으로 학습함으로써, 기존의 특징을 하나씩 지정해주는 방식보다 탁월하며, 특히 이미지에서의 인식과 분류에서 좋은 성능을 보이고 있다. 또한 합성곱 신경망 구조는 인간의 시각 정보 처리 방식을 따라한 것으로 기계의 시각이라고 불리는 컴퓨터 비전 연구에 매우 적합하다. 다음은 컴퓨터 비전에 대해 설명한다.

1.2 컴퓨터 비전(Computer Vision)

컴퓨터 비전은 컴퓨터를 이용하여 이미지 또는 영상으로부터 정보를 추출하는 연구이다. 사람의 눈이 사물을 보고 인식한 후, 뇌가 판단을 하는 것처럼 눈의 역할은 카메라가 대신하고, 뇌의 역할은 컴퓨터와 알고리즘이 대신한다. 이러한 이유로 기계의 시각이라고도 불린다.

아래 <그림 4>는 사람과 기계의 시각 처리 프로세스를 보여준다.

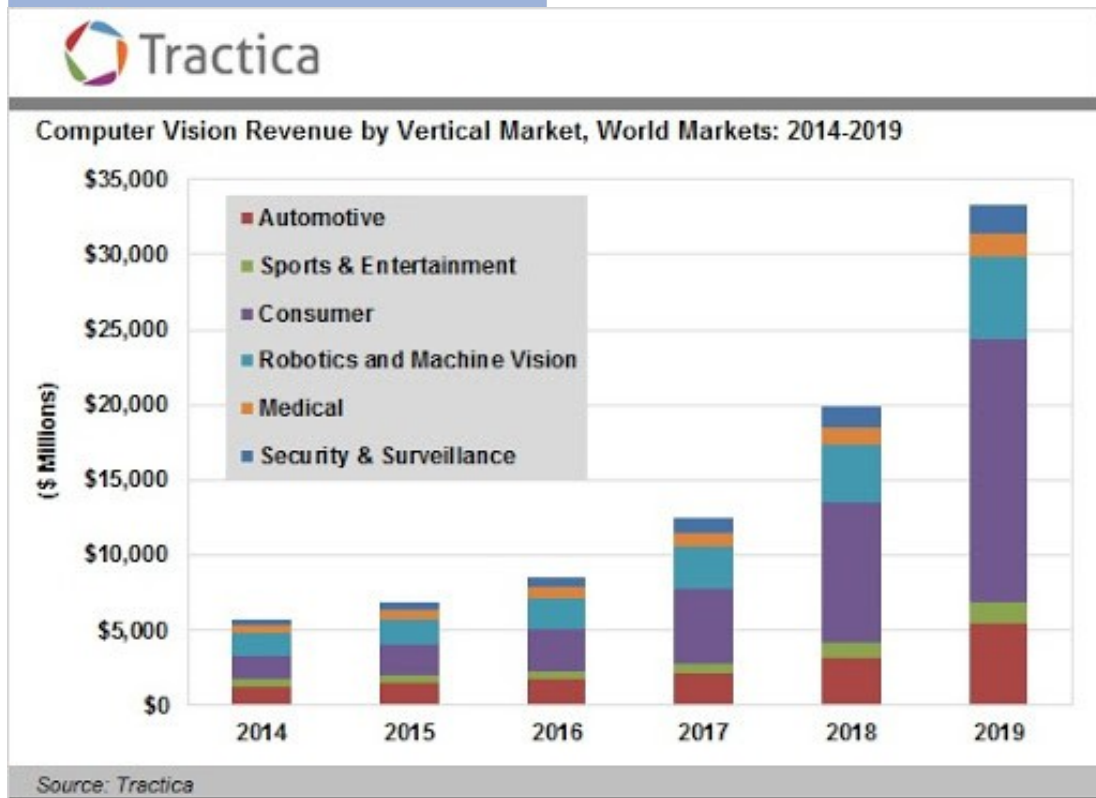


컴퓨터 비전 연구는 인공지능 기반의 기술이 접목되면서 다양한 분야에서 산업과 사회에 괄목할만한 성과를 나타내고 있다. 한국미래기술연구원에 따르면 비전은 4차 산업혁명을 견인할 핵심 키워드로 손꼽히는 핵심기술로써 반도체, 디스플레이, 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB), 자동차, 배터리, 섬유, 음료, 제과 공장 등에서 검사, 위치, 측정 등을 위하여 반드시 필요한 기술이며, 최근 들어 인공지능(딥러닝) 기반의 영상처리 및 컴퓨터 비전 기술은 산업용뿐만 아니라 로봇, 의료, 보안 및 감시, 스포츠, 게임용 시장 등 그 적용분야가 나날이 확대되고 있다.

한 예로 글로벌 시장조사업체 마켓앤마켓(Markets and Markets) 최신 보고서에 따르면 세계의 컴퓨터 비전 시장은 2018년 119억 4000만달러(약 13조 4000억원)에서 오는 2023년까지 173억 8000만달러(약 19조 5000억원)에 이를 것으로 전망하고 있으며, 컴퓨터 비전의 인공지능 시장은 2017년 23억 7000만달러(약 2조 7000억원)로 평가되었으나 2018년에서 2023년까지의 예측 기간 동안 연평균 47.54% 성장하여 오는 2023년에는 253억 2000만달러(약 28조 4000억원)에 달할 것으로 전망하고 있다.

아래 <그림 5>는 컴퓨터 비전 기술의 성장률을 보여준다.

그림 5. 컴퓨터 비전 기술 및 시장보고서



출처 : Tractica report, 2020

이처럼 컴퓨터 비전은 앞으로의 연구 분야(인식, 분류, 거리 측정, 안개 제거, 노이즈 제거, 빗방울 제거 등)와 적용 분야가 다양하고, 본 연구에서 향후 응용 연구 가능성과 적합도가 매우 높아 활용하였다.

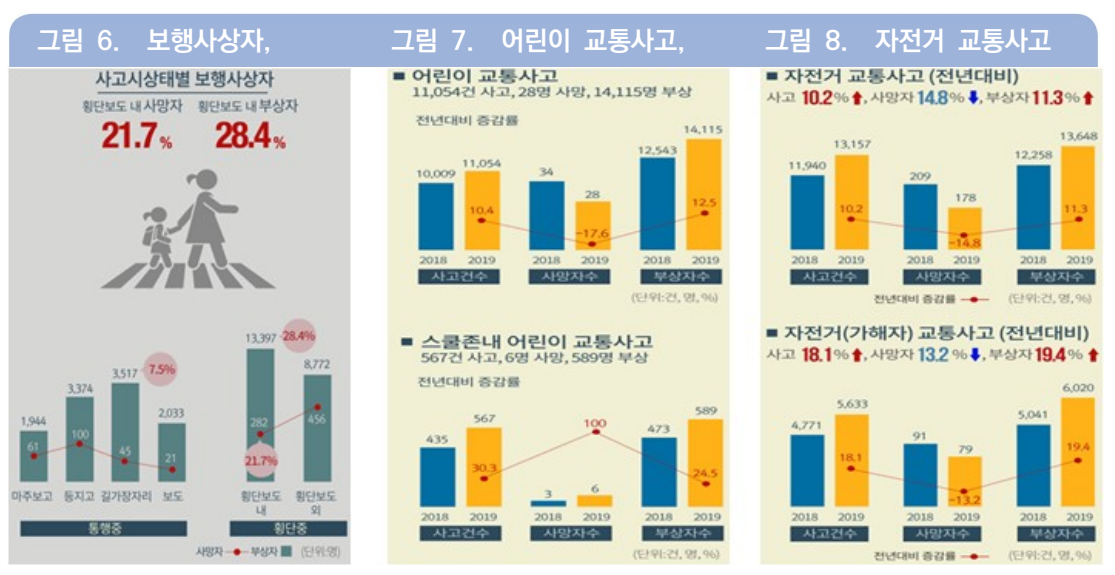
2. 연구의 필요성 및 목적

횡단보도 및 스쿨존에서의 인명사고는 현재에도 주변 환경(날씨, 시간 등)에 관계없이 다발적으로 발생하고 있으며, 앞으로도 줄어들지 않을 것으로 예상된다. 오히려 차량과 이륜차량, 자전거 이외의 전동킥보드, 외발휠, 세그웨이(segway), 1인용 운송수단 등이 발달하면서 사고의 발생과 종류가 늘어날 전망이다. 그러나 그로 발생한 인명사고 문제에 대한 예방과 대책(교통법규, 제도, 사고발생 유형 등)은 부족한 실정이다.

그러므로 연구를 통해 현재 및 미래사회의 횡단보도 및 스쿨존에서의 인명사고 문제를 예방하며, 대책 마련을 위한 정보를 제공한다. 다음은 이와 관련된 연구의 필요성 및 목적을 설명한다.

2.1 연구의 필요성

경찰청과 도로교통공단이 만든 교통사고분석시스템에 따르면 <그림 6>에서 횡단보도 내 사망자가 전체 보행사망자 중 21.7%로 그 비중이 매우 높으며, <그림 7>은 스쿨존 내의 어린이 교통사고를 보여주며, <그림 8>을 통해 자전거 교통사고가 전년대비 사고 건수, 사망자 수, 부상자 수 모두 증가한 것을 확인할 수 있다. 최근 5년간 스쿨존 내 어린이 교통사고는 2019년도 589명으로 역대 최대치이며, 2016년도 이후부터 꾸준히 늘어나고 있다.



출처 : 교통사고분석시스템

또한 아래 <표 1>에서 보행자, 자전거 이외에 전동킥보드 교통사고와 피해 금액 또한 급증하는 것을 볼 수 있으며, 이에 대한 대책 마련이 시급하다.

표 1. 연도별 전동킥보드 교통사고 발생 건수 (단위: 건, 백만원)

구분	2016년	2017년	2018년	합계	2018년 1~5월	2019년 1~5월
발생건수	49	181	258	488	72	123
피해금액	183.5	817.8	888.8	2094.6	약71%증가	

이처럼 본 연구는 현재 및 미래에 해당 상황에서의 국민안전과 직접적인 연관이 있으며, 충분한 활용 가능성이 있어 필요성이 매우 높다고 판단된다.

2.1 연구의 목적

연구의 목적은 국민안전과 밀접한 상황에서의 인명사고 문제 예방 및 해결방안 도출이며, 크게 두 가지로 나뉜다. 응용 연구 개발에서는 연구개발 결과를 토대로 더 나아가 추가적인 연구개발을 제시하며, 다양한 분야 적용에서는 횡단보도 및 스쿨존 상황에서 인명사고 문제 이외의 다양한 상황에서 연구 적용 분야를 보여준다.

2.2.1 응용 연구 개발

본 연구(데이터, 인공지능, 비전)를 기반으로 다방면의 응용 연구(사물인터넷(IoT) 융합, 모빌리티(mobility) 융합 등)를 진행하여 인명사고 위험 인식을 향상시킬 수 있으며, 상황에 따른 구현이 가능하다.

연구 적용 상황인 횡단보도 및 스쿨존은 실내가 아닌 실외의 상황이며, 실외에서는 날씨에 따라 다양한 변수가 있을 수 있고, 그로 인해 인명사고 인식이 제대로 진행되지 않을 가능성도 다분하다. 몇 가지 예로 인개가 많은 상황과 우천 시 CCTV 카메라 렌즈에 빗방울이 맺힌 상황 등을 들 수 있으며, 이러한 응용 연구 개발로 변수가 많은 다양한 상황에서 인명사고 인식을 향상시킬 수 있다. 아래 <그림 9>, <그림 10>은 그에 따른 응용 연구 예시를 보여준다.

그림 9. 안개 시 안개 제거 예



그림 10. 우천 시 빗방울 제거 예



2.2.2 다양한 분야 적용

횡단보도 및 스쿨존 상황에서의 인명사고 뿐만 아니라, 드론을 이용한 객체(실종자 등) 인식 및 정보 제공과 자율주행 차량에서의 추돌 사고 방지 등 다양한 분야에 적용할 수 있으며, 이외에도 조선업, 보안, 스마트 시티, 산업용 등에 적용이 가능하다. 아래 <그림 11>은 본 연구를 통한 다양한 분야 적용 예시를 보여준다.

그림 11. 다양한 분야 적용 예



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결 방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

II 연구방법론 및 연구모형

1. 연구방법론

1.1. 인명사고 문제 예측 및 해결 연구방법론 프로세스

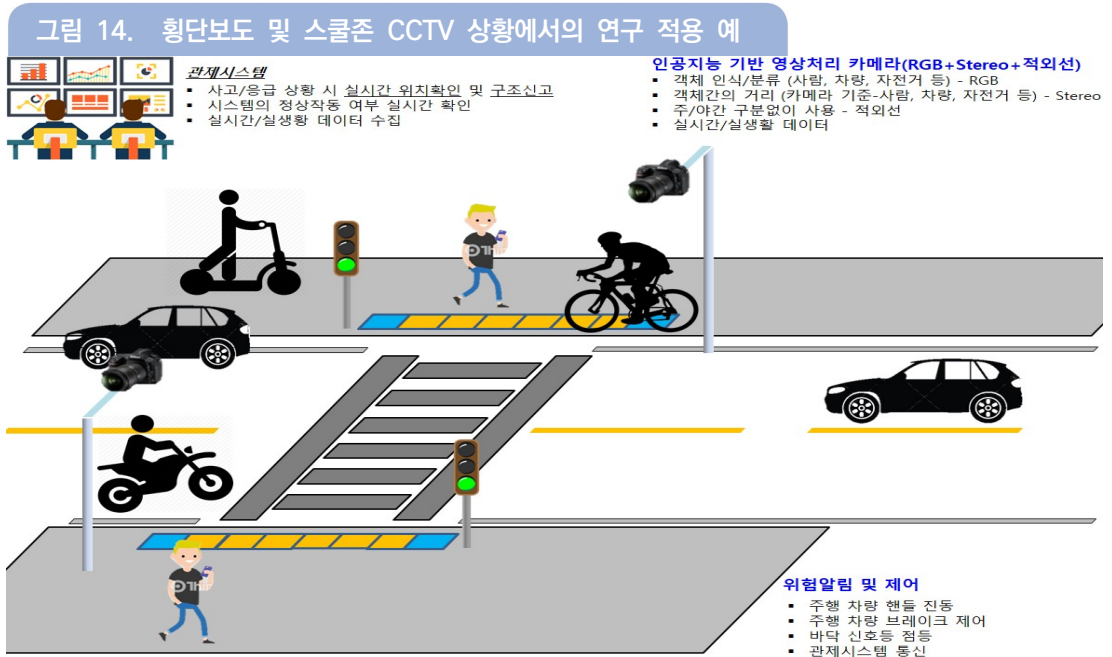


1.2 인명사고 문제 예측 및 해결 연구 구현 타임라인



2. 연구모형

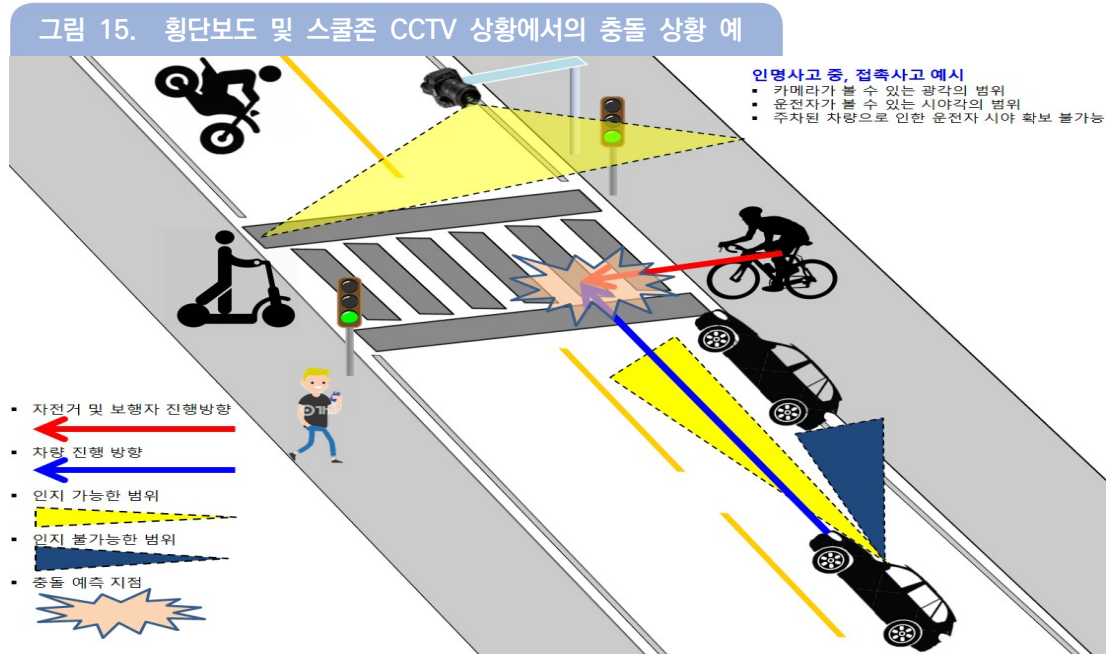
2.1 주·야간 객체의 거리·위치정보를 통한 인명사고 예측 및 방지



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결 방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 기반 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

2.2 주차된 차량이 운전자 시야 방해로 인한 자전거와 차량 충돌 상황 예시



III 연구 내용

1. 실생활 데이터셋(Dataset)

연구 및 구현 상황에 적합한 실생활 이미지 및 영상 데이터로 현재 많이 쓰이는 개방형 데이터셋(open dataset)과 공공기관에 요청하여 제공받을 수 있는 공공기관 제공 데이터셋을 이용하였으며, 이와 같은 실생활 데이터셋은 인공지능(딥러닝)을 학습(training) 및 평가(test)하는데 활용된다.

1.1 개방형 데이터셋(Open Dataset)

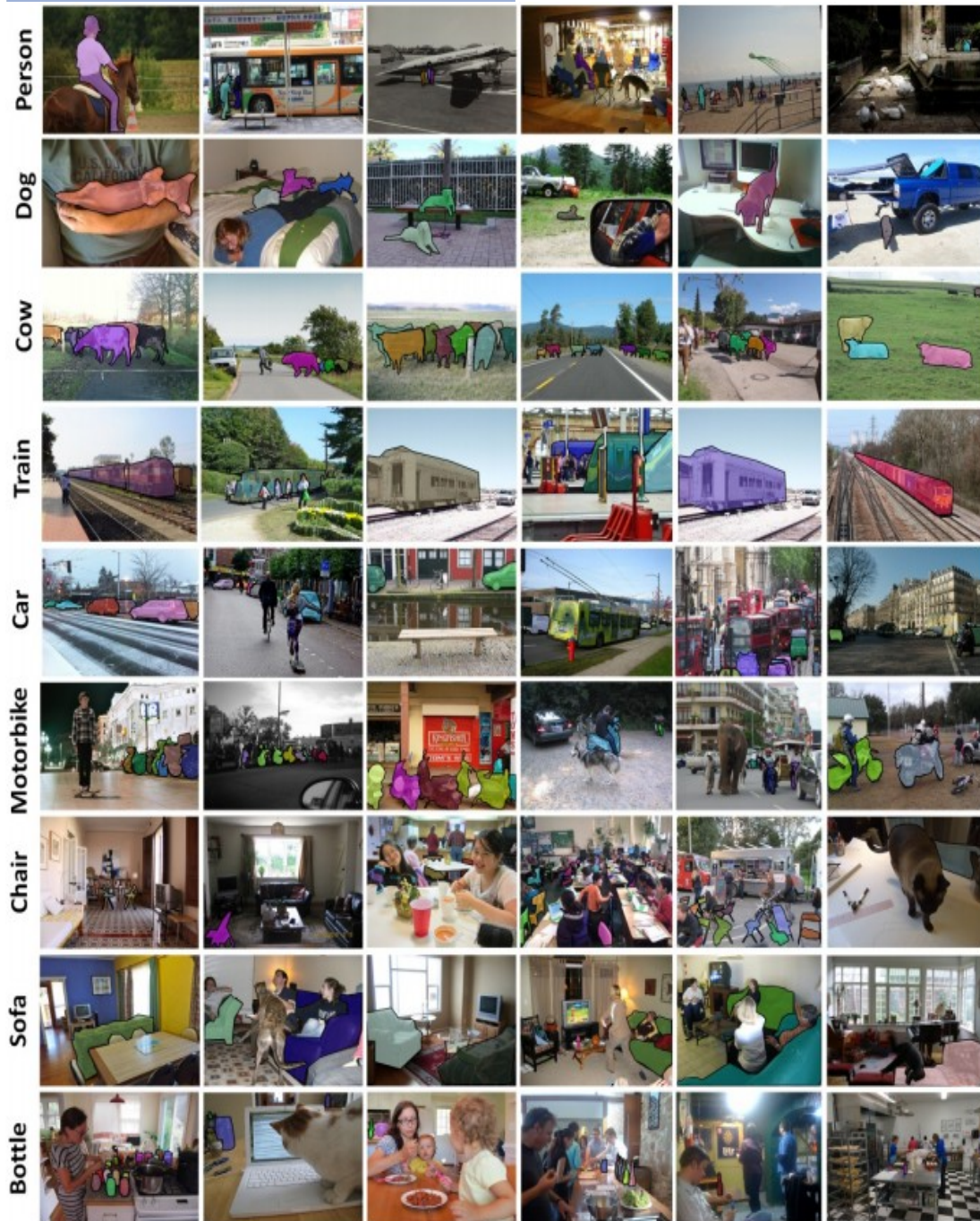
개방형 데이터셋(Open Dataset)은 전 세계적으로 무료로 개방되어 있는 데이터셋을 의미하며, 인공지능 및 컴퓨터 비전 학습 및 평가에 많이 사용되고 있다. 영상 및 이미지로 이루어져 있고, 실제로 촬영된 다양한 객체(차량, 이륜차량, 자전거, 사람, 교통표지판, 신호등 등)와 라벨링(labeling) 처리 등으로 이루어진 데이터만을 활용함으로써, 본 연구 및 구현 상황에 매우 적합하다. 다음은 개방형 데이터셋에 대한 설명과 예시를 보여준다.

1.1.1 코코 데이터셋(Coco Dataset)

코코 데이터셋(Coco Dataset)은 총 328,000장의 이미지와, 250만개의 라벨(label)로 이루어져 있으며, 용도에 맞는 주석(annotation)으로 객체 감지(object detection), 특징점 감지(key point detection), 물건 분할(stuff segmentation), 파노라마적 분할(panoptic segmentation), 이미지 캡션(image captioning)의 종류로 나누어져 있다.

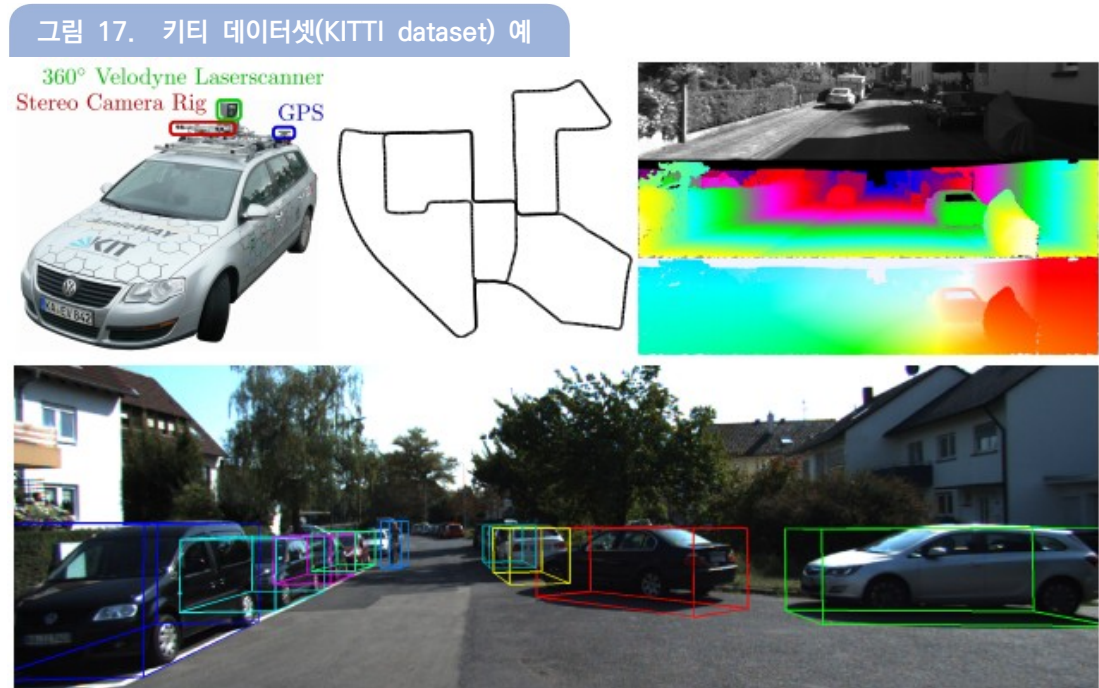
본 연구에서는 주로 객체 감지 즉, 객체 인식을 위해 활용되었다.

그림 16. 코코 데이터셋(Coco dataset) 예



1.1.2 키티 데이터셋(KITTI Dataset)

키티 데이터셋(KITTI Dataset)은 RGB 카메라와 벨로다인 라이다(Velodyne Lidar) 등의 센서가 장착된 차량으로 도시 지역에서 추출되었으며, 7,481개의 시퀀스(sequence)의 학습 데이터로 구성되어 있다. 학습 데이터는 9가지 객체의 종류와 51,867개의 라벨을 포함하고 있으며, 본 연구에서는 거리 측정을 위해 활용되었다.



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결 방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 기반 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

1.1.3 오픈 이미지 데이터셋(OpenImages Dataset)

오픈 이미지 데이터셋(OpenImage Dataset)은 구글에서 공개한 데이터로 객체의 인스턴스(instance)를 위해 350가지 카테고리에 걸쳐 280만개 세분화 마스크(segmentation mask)를 하였으며, 바운딩 박스(bounding box)와는 달리 이 세분화 마스크는 개체가 존재하는 곳만 인식하여 객체 윤곽을 판단할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 여러 카테고리 중 사람, 차량, 자전거 등 객체 인식을 위해 활용되었다.

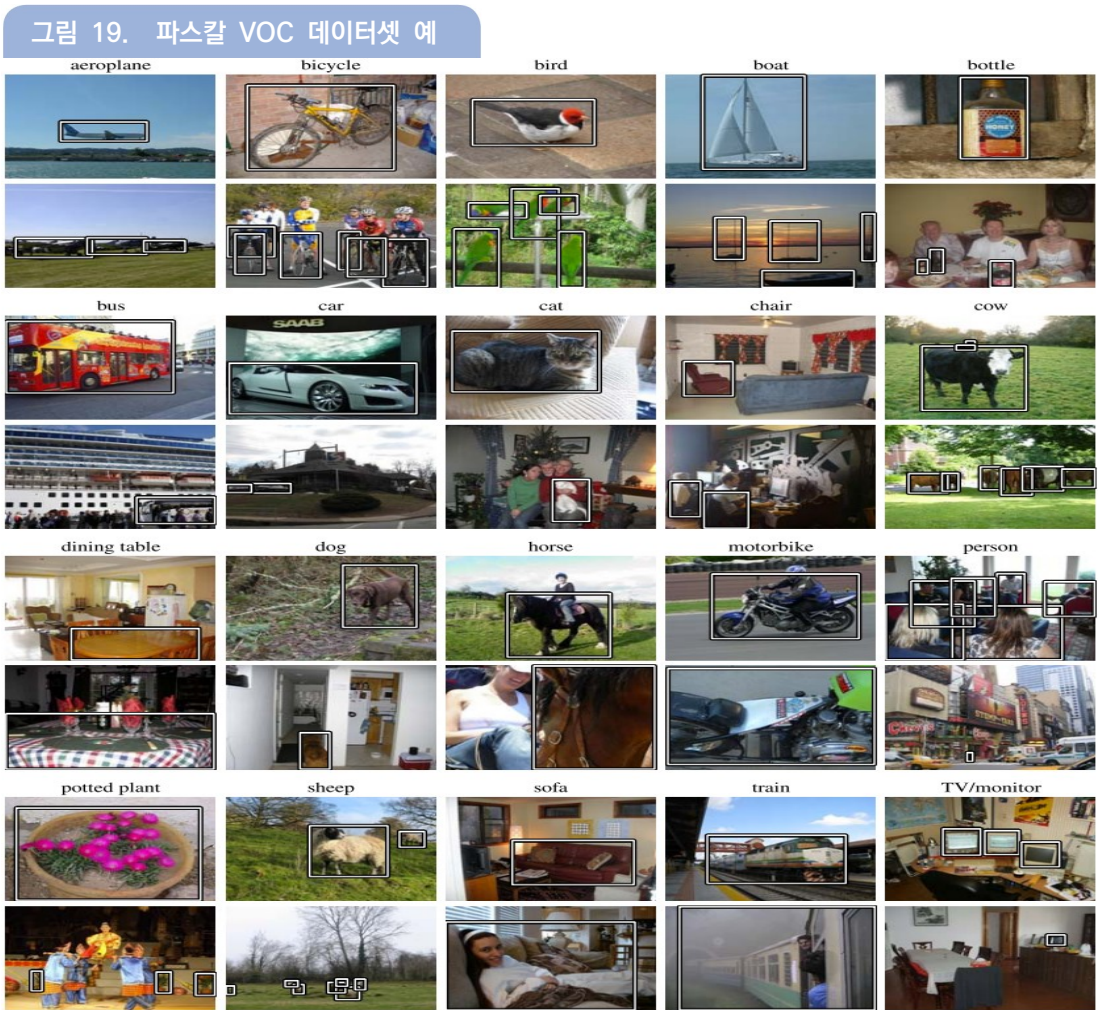
그림 18. 오픈 이미지 데이터셋(OpenImages dataset) 예



1.1.4 파스칼 VOC 데이터셋(PASCAL Visual Object Classes Dataset)

파스칼 VOC 데이터셋(PASCAL Visual Object Classes Dataset)은 Pattern Analysis, Statistical modeling and Computational Learning Visual Object Classes의 약자로 컴퓨터 비전 분야 중, 객체 인식 기법을 다루는 국제 대회에서 성능을 비교하는 데이터셋 중 하나이며, 사람, 동물(새, 고양이, 소, 개, 말, 양), 운송체(비행기, 자전거, 보트, 버스, 승용차, 오토바이, 기차), 사물(병, 의자, 식탁, 화초, 소파, 모니터)로 나누어져 있다.

본 연구에서는 객체 인식을 위해 활용되었다.



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

1.2 공공기관 제공 데이터셋

공공기관 제공 데이터셋은 말 그대로 공공기관에서 제공하는 데이터로 음성, 영상, 이미지, 글자 등 직접 구축하기 힘든 데이터들을 제공한다. 대부분 응용 프로그램 프로그래밍 인터페이스(Application Programming Interface, API) 형태로 받을 수 있으며, 파일 형태는 텍스트, 영상, 이미지, URL 등 다양하다.

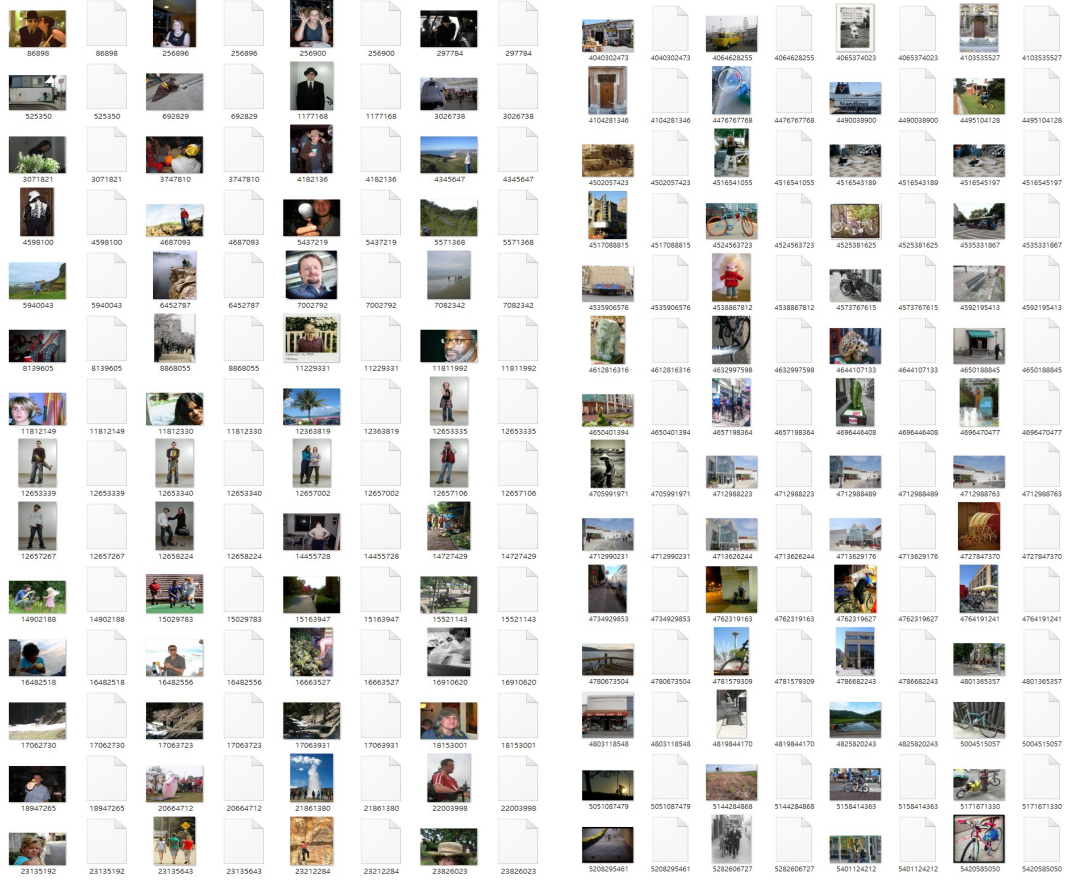
본 연구에서는 구현 상황에 적합한 데이터를 총 2곳의 공공기관에 신청 후, 결과에 따라 영상 및 이미지 데이터를 제공받았다. 실시간 도로교통 CCTV 데이터와 객체(차량, 흑인, 백인, 유아, 자전거 등) 학습 및 평가 파일 데이터를 제공받을 수 있었으며, 해당 데이터는 시뮬레이션이 아닌 실제 실시간으로 한국에서 사용되고 있는 CCTV와 사용규제 범위 내에서 활용하는 경우 개인정보, 규제 등에 문제가 되지 않는다는 장점을 가지고 있다. 다음은 공공기관 제공 데이터셋에 대한 설명과 예시를 보여준다.

1.2.1 공공 인공지능 오픈 API-Data 서비스 포털

공공 인공지능 오픈 API-Data 서비스 포털이란 한국전자통신연구원(ETRI)에서 과학기술정보통신부 R&D 과제를 통해 공개된 데이터로 객체검출, 언어, 음성, 한국어 BERT(Bidirectional Encoder Representations from Transformers, 구글에서 배포한 오픈 소스)로 나누어져있다. 협약서 작성 후, 부여받은 보안키를 URL 입력으로 다운로드 할 수 있다.

본 연구에서는 객체검출, 언어, 음성, 한국어 총 4가지의 카테고리 중, 객체검출 학습데이터만을 이용하였으며, 그 중에서도 사람 데이터 18,646장과 자동차류 12,375장만을 활용하였다.

그림 20. 오픈 API-Data 예



1.2.2 경찰청 도시교통정보센터

경찰청 도시교통정보센터는 정부에서 시행하는 국가공공데이터개방 사업의 일환으로 도시교통정보센터가 보유하고 있는 교통관련 데이터(소통정보, 돌발정보, 교통안전정보, CCTV 영상정보)를 민간에 개방한 데이터이다. 개방 데이터 신청 시 입력한 IP(Internet Protocol)에서만 사용가능하며, 부여받은 보안키 URL입력으로 이용할 수 있다. 민간에서 직접 교통정보를 활용한 다양한 콘텐츠를 개발할 수 있도록 지원하고 있으나, 신청 목적 외 사용이나, 별도 가공, 제 3자 제공 등이 금지되며, 특히 수익성 사업 추진에 대한 것은 동의를 구해야 한다.

본 연구에서는 소통, 돌발, 교통안전, CCTV 영상 총 4가지의 카테고리 중, CCTV 영상정보만을 이용하였으며, 객체 인식과 거리 측정에 대한 정보수집 및 평가 여부 실험을 위해 활용되었다.

2. 객체 인식(YOLOv3)

RGB 카메라 영상에서 객체를 정확하게 인식하기 위해 인공지능(딥러닝) 기반의 객체 인식 연구 중 유명 기법인 YOLOv3을 활용하였다. 인공지능(딥러닝) 기반의 다른 객체 인식 기법들은 일반적으로 다양한 객체를 인식하기 위해 이미지를 여러 번 호출 즉, 분류(classification) 문제를 2단계로 검출(two-shot-detection)하는 방식으로 인식 성능을 높인다. 이러한 접근 방식은 인식 성능을 높일 수는 있지만, 여러 번 호출한 만큼 처리 속도가 매우 느려 실시간으로 구현해야하는 환경에서 적합하지 않다.

본 연구에서는 바운딩 박스 좌표(bounding box coordinate)와 분류(classification)를 동일한 신경망 구조와 동시에 실행하는 통합인식(unified detection) 즉, 1단계로 검출(one-stage-detection)함으로써 실시간으로 처리가 가능하고, darknet이라는 딥러닝 아키텍처 자체를 개발하여 인식 성능을 높인 YOLOv3을 활용하였다. 아래 <그림 22>는 YOLOv3의 인식 과정을 요약하여 보여주며, <그림 23>은 다른 인식 기법과 차별화된 결과를 시각적으로 보여준다.

그림 22. YOLOv3 인식 과정

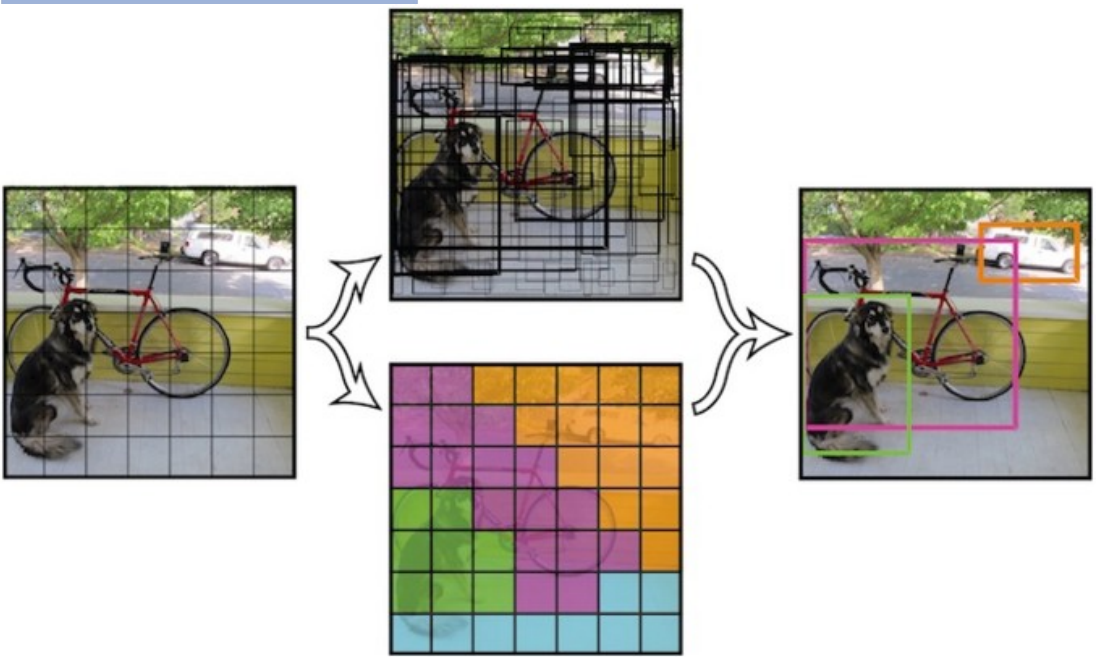
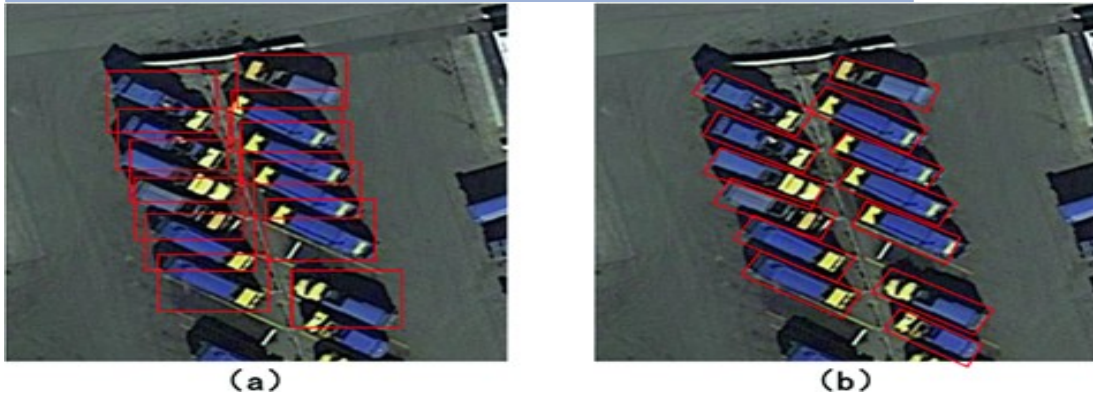


그림 23. 다른 기법으로의 인식(other detect) vs YOLOv3 인식(detect)



YOLOv3을 구현 목적인 횡단보도 및 스쿨존 상황에 맞게 학습 및 수정하였으며, 이를 위해 보행자, 차량, 자전거, 이륜차량 등 구현 환경과 적합한 데이터셋을 활용하였다. 활용된 데이터셋은 위에서 설명한 개방형 데이터셋에서의 코코 데이터셋, 오픈 이미지 데이터셋, 파스칼 VOC 데이터셋과 공공기관 제공 데이터셋에서의 공공 인공지능 오픈 API-Data 서비스 포털 총 5가지의 영상 및 이미지 데이터셋을 활용하였다.

이 기법은 현재 자율주행, 드론, CCTV, 조선소 등 카메라 영상을 이용하여 객체 인식을 필요로 하는 곳에 많이 쓰이고 있으며, 아래 <그림 24>는 CCTV 상황에서의 차량, 보행자 인식 결과의 예, <그림 25>는 대전 한국과학기술원 근처 CCTV에서의 차량 인식 결과 예를 보여준다.

그림 24. CCTV 상황에서의 YOLOv3 적용 예

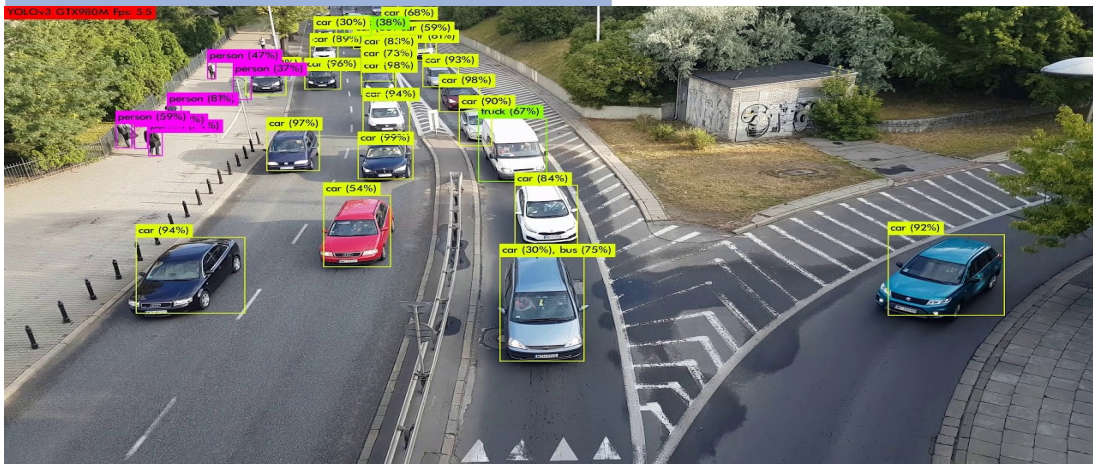
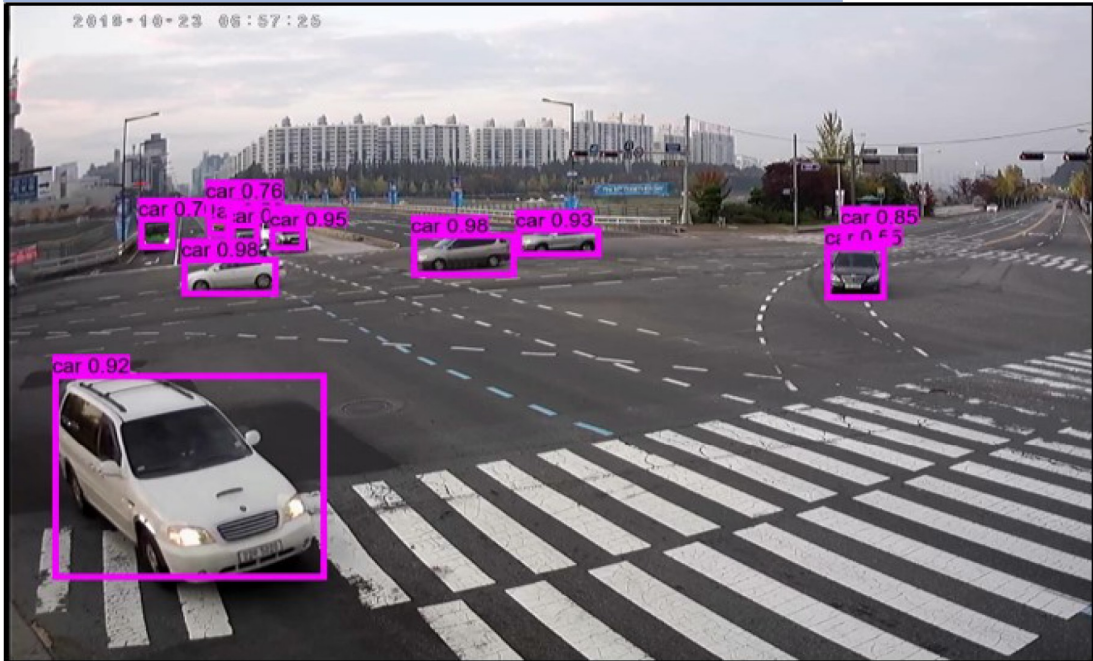


그림 25. 대전 한국과학기술원 근처 CCTV에서의 YOLOv3 적용 예



3. 거리 측정(Pyramid Stereo Matching Network, PSMNet)

Stereo(입체사진을 찍는 카메라로 두 대의 카메라를 좌우로 붙여 놓은 것, 사람의 눈과 비슷하게 작동) 카메라 영상에서 카메라와 인식된 객체간의 거리를 정확하게 측정하기 위해 인공지능(딥러닝) 기반의 거리 측정 기법 중, 성능이 뛰어난 PSMNet(Pyramid Stereo Matching Network)을 활용하였다. 딥러닝 기반 거리 측정 기술은 사용되는 입력 영상의 수에 따라 양안 영상기반 방법과 단안 영상기반 방법으로 나뉘고, 지상 실측 정보(ground truth)를 사용하는지의 여부에 따라 지도학습방법(supervised method)과 비지도학습 방법(unsupervised method) 등으로 구분할 수 있다.

PSMNet은 본 연구에 사용되는 카메라 환경(stereo)에 적합한 입력 영상의 수에 따른 양안 기반 거리 측정 기술이며, 공간 피라미드 풀링(Spatial Pyramid Pooling, SPP) 방법을 거리 측정 기술에 최초로 적용하였다. 공간 피라미드 풀링 방법은 분할에 적용되어 성과와 속도 향상에 기여하는 방법으로 PSMNet을 통해 거리 측정에도 효과적인 것을 증명하였다. 또한 공간 피라미드 풀링 방법 이전에 64×64 , 32×32 , 16×16 , 8×8 의 풀링을 적용하고 합성곱(convolution) 후에 업샘플링(upsampling)하는 즉, 레이어 값과 함께 모두 순차

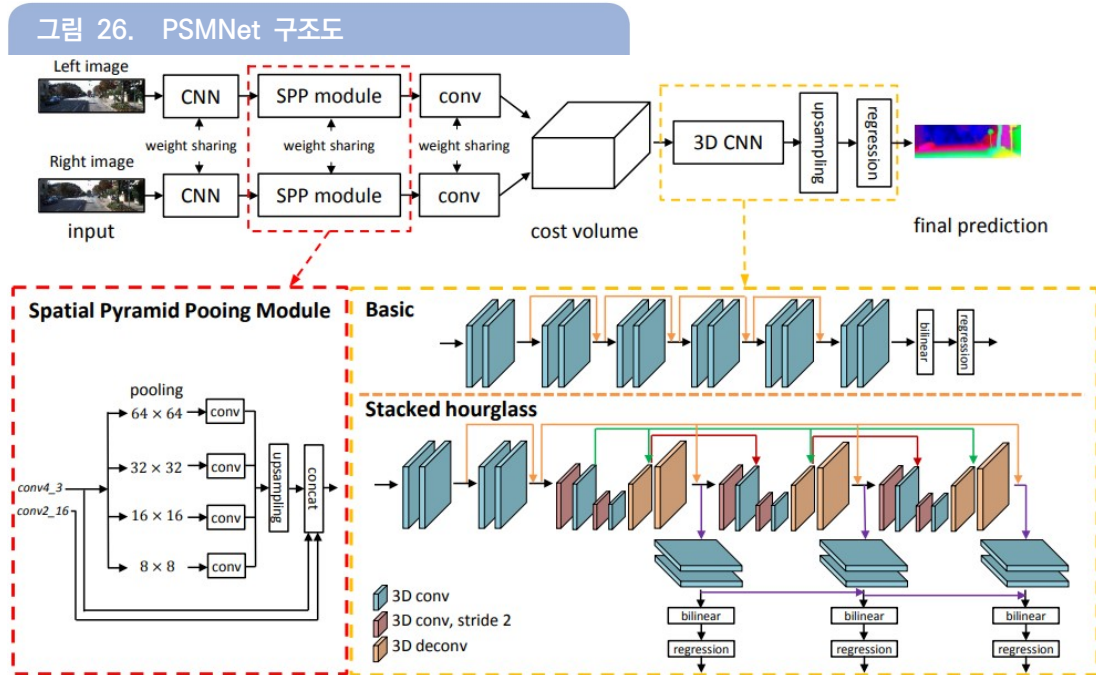
①
1
통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결 방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 기반 안전 카메라 영상 융합 기술 연구를

②
2
융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

(concatenation)를 하는 방법으로 다양한 풀링을 병렬적인 진행으로 다양한 수용영역(receptive field)을 갖는 특징벡터(feature vector)를 구성하였다. 이러한 구성과 3D 코스트 볼륨(cost volume)과 모래시계 (stacked hourglass) 모듈, 그리고 3개의 시그모이드 레이어(sigmoid layer)로부터 손실(loss)을 계산함으로써 거리 측정에 필요한 모든 성능을 높였다.

위와 같이 차별화 된 방법으로 거리 측정 성능을 높이고, 실시간으로 구현이 가능하며, 사용되는 카메라 환경에 적합하므로 PSMNet을 활용하였다.

아래 <그림 26>은 위에서 설명한 PSMNet의 구조도를 보여준다.



PSMNet을 구현 목적인 횡단보도 및 스쿨존 상황에 맞게 학습 및 수정하였으며, 이를 위해 실제 거리 상황에서 다양한 장비로 정보를 수집한 키티 데이터셋을 활용하였다. 키티 데이터셋은 차량에 다양한 센서를 부착하여 데이터를 추출하여, 자율주행 시 많이 쓰이지만, 본 연구에서는 CCTV 상황에서의 구현으로 연관성이 높은 데이터만을 활용하였다. 아래 <그림 27>은 PSMNet과 키티 데이터셋을 이용하여 실제 거리에 테스트 했을 때, 잘 보이지 않는 곳까지 거리 측정이 가능한 결과의 예를 보여주며, <그림 28>은 실제 자율주행 시 적용하여 나타난 결과를 보여준다. 적용 시 나타나는 색은 카메라와의 거리 정보를 보여준다.

이 기법은 현재 실시간으로 거리 측정 구현과 다양한 센서와 융합하여 활용되는 곳에 많이 활용되고 있으며, 대표적인 예로 자율주행, CCTV, 로봇 등이 있다.

그림 27. PSMNet 결과 예

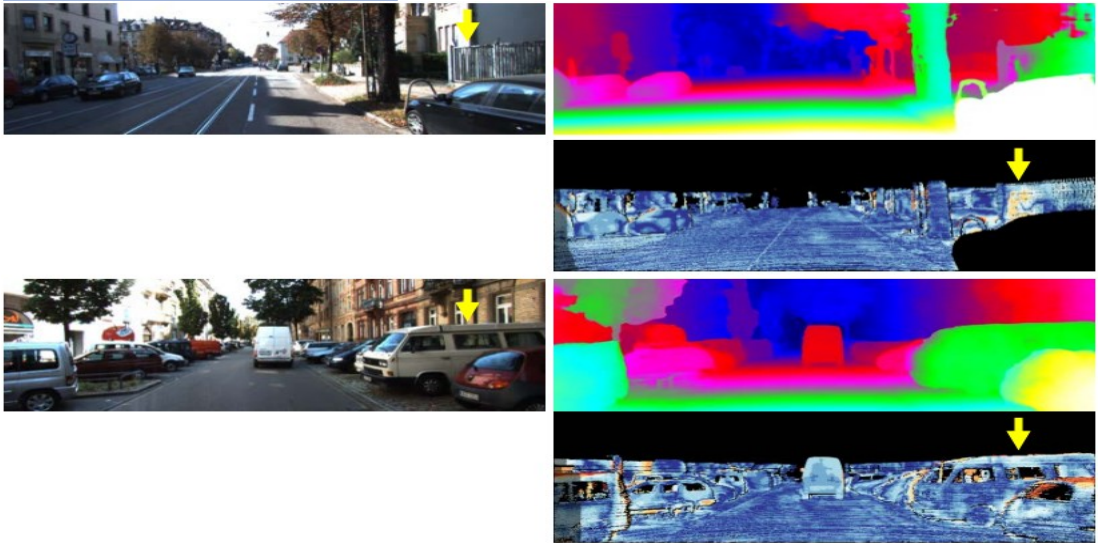
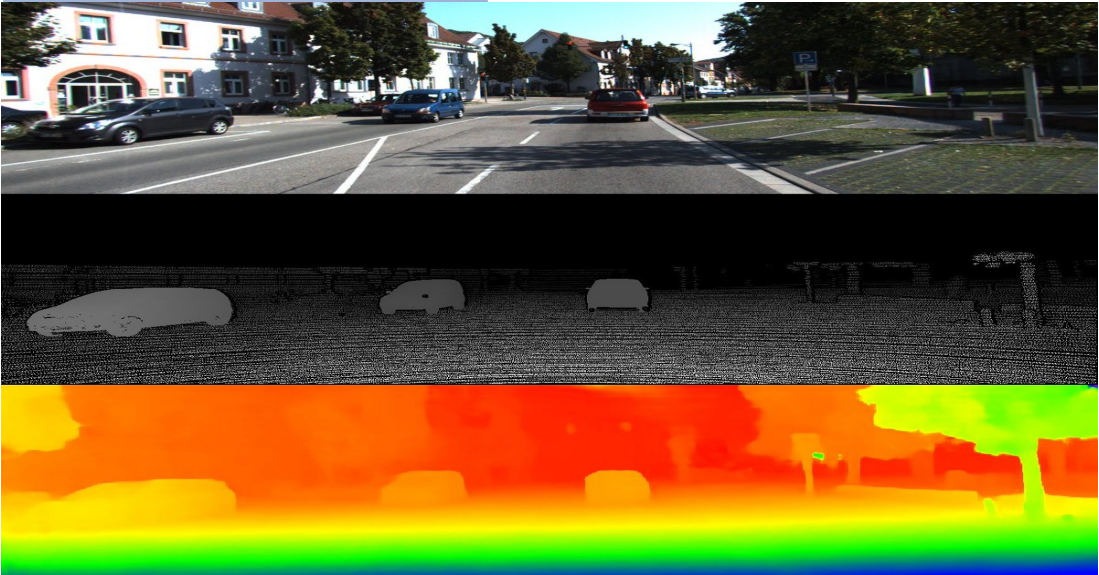


그림 28. 실제 자율주행 시 적용 예



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결 방안 도출
 실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

4. 영상 융합(YOLOv3 + PSMNet + IR)

영상 융합을 위해 로봇 운영 체제(Robot Operating System, ROS) 기반으로 RGB(객체 인식)·Stereo(거리 측정)·IR(주·야간) 세 가지의 영상을 융합하였다. ROS(Robot Operating System)는 로봇 운영 체제로 노드(node)들 간의 데이터 통신 인프라가 뛰어나고, 여러 운영체제에서 사용이 가능하며 레이저, 카메라 등의 센서 시각화 등 다양한 개발도구들을 제공하여 본 연구의 목적 중 한 가지인 영상 융합 연구에 적합하다.

아래 <그림 29>는 로봇 운영 체제의 활용도이며, <그림 30>은 본 연구에서 로봇 운영 체제를 활용한 영상 융합 연구를 보여준다.

그림 29. 로봇 운영 체제(ROS) 활용도

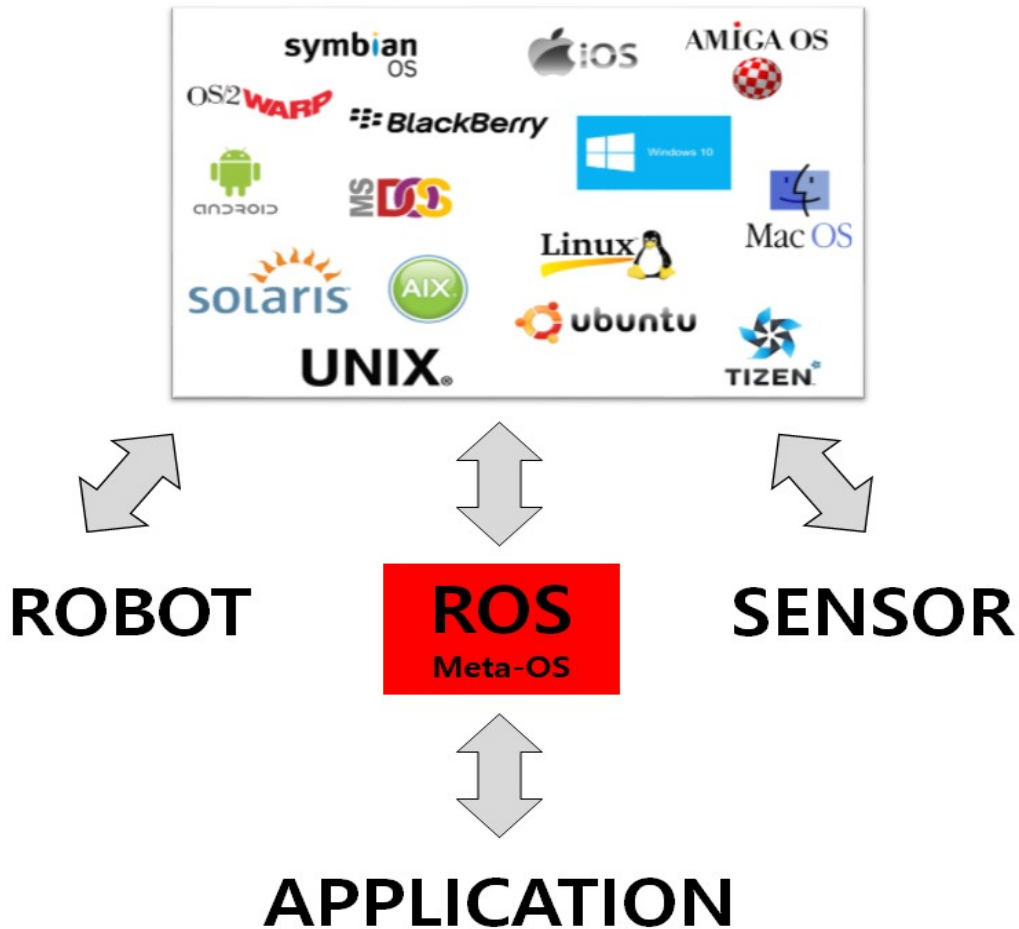
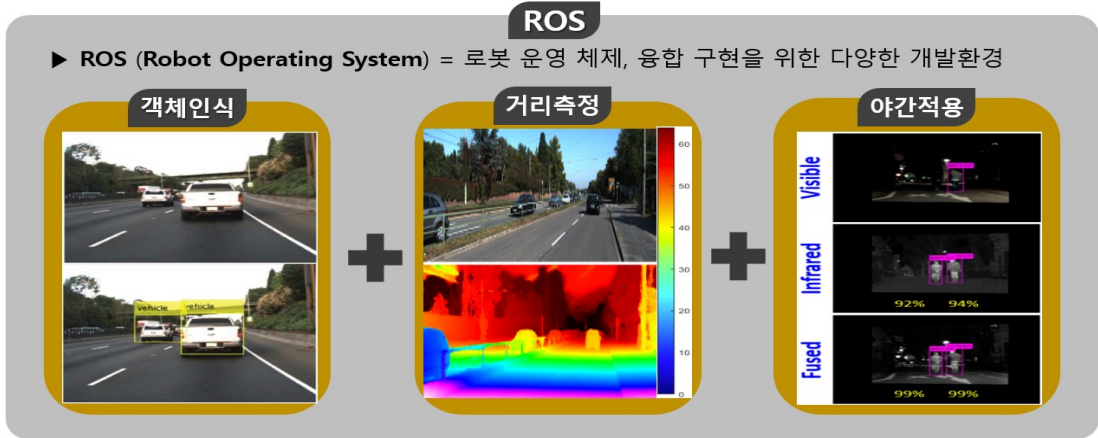


그림 30. 로봇 운영 체제(ROS) 기반 영상 융합



각 영상을 융합하기 위해 Intel realsense D435 카메라에 내장된 RGB, stereo, IR 카메라 중 stereo 카메라 좌측과 우측에서 좌측 이미지를 subscribe하고, RGB 이미지에서의 객체 인식 결과와 IR 카메라 이미지에서의 객체 인식 결과인 바운딩 박스들의 정보를 합친 후 넘겨준다. 그 후, 거리 측정을 위해 stereo 카메라 좌측 및 우측 이미지 토폱을 subscribe하고, 네트워크를 통해 차이(disparity) 거리 추정, 깊이 정보를 얻는다.

최종적으로 주·야간 객체 인식 및 거리 측정 네트워크에서 획득한 정보를 결합하여, 인식된 객체가 주·야간에 관계없이 카메라로부터 몇 미터 떨어져 있으며, 객체는 어떤 것인지에 대한 정보가 표시된다.

아래 <그림 31>은 주·야간에서의 보행자 인식 결과의 예를 보여주며, <그림 32>는 객체 인식 및 거리 측정 예를 보여준다.

그림 31. 야간 자율주행 영상에서의 RGB + IR 보행자 인식 예



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결 방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

그림 32. 도로 영상에서의 로봇 운영 체제와 Stereo 카메라(RGB·Stereo) 객체 인식 예



5. 실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 횡단보도 및 스쿨존 적용

본 연구를 실제 횡단보도 및 스쿨존에 설치된 CCTV 환경에 적용 시 예상되는 문제점 및 문제점에 대한 해결방안과 개발기술의 수요자 및 활용처를 제시한다.

5.1. 법·제도·규제사항 정책적인 예상 문제 및 해결방안(개인·공간정보, 데이터 3법 등)

본 연구를 실제 적용 시 카메라에 찍힌 영상을 데이터로 활용 시에 여러 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어 카메라에 개인의 얼굴 또는 차량번호가 노출되는 문제 등을 들 수 있으며, 실제로 데이터 3법 중, 개인정보 보호법에 위반될 수 있다. 이러한 개인정보 및 공간정보, 데이터 3법 등 법제상의 문제를 해결하기 위해 현재에도 사용되는 블러링(blurring) 기법을 적용한다.

블러링 기법은 다음 카카오, 네이버, 구글 등 누구나 확인 가능한 로드뷰에서 개인정보와 공간정보를 보호하기 위해 사용되고 있으며, 사람의 안면과 차량의 번호판 등 법제상 문제가 될 수 있는 부분에 블러링 즉, 영상에서 안보이게 하여 문제를 해결하고 상용화 중이다. 이 기법은 또한 컴퓨터 비전 연구의 한 부분인

안면 인식 모듈과 차량번호판 인식 모듈 등이며, 다양한 기업에서 외주를 주는 방식으로 관련 사업이 진행되고 있어, 본 연구에서 매우 적합한 해결방안이다. 아래 <그림 33>은 다음 카카오 로드뷰에서 블러링 된 예를 보여준다.



5.2. 수요자 및 활용처

본 연구의 수요자 및 활용처는 횡단보도 및 스쿨존과 관련이 있는 정부 기관과 CCTV를 활용하는 기업으로 예상된다. 정부 기관으로는 국토교통부, 도로교통공단, 경찰청, 중소벤처기업부 등이 있으며, 기업으로는 CCTV 모듈을 사용하는 다양한 대기업, 중견기업 및 중소기업을 들 수 있다.

현재 국토교통부에서 R&D 사업으로 국토교통연구 기획사업, 스마트시티 등 다양한 사업에 본 연구를 적용할 수 있으며, 이를 토대로 더 나아가 추가적인 연구개발이 가능하다.

① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 기반 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사점합 고분자 기반 차세대 탄소양자점의 개발 및 응용

IV 결론

1. 기대효과

기대효과는 크게 인명사고 예방 및 감소 효과와 향후 높은 응용 연구 개발 및 적용 효과로 나뉘며, 자세한 내용은 다음과 같다.

1.1 인명사고 예방 및 감소 효과

표 2. 인명사고 예방 및 감소효과

인명사고 예방 및 감소 효과		
주·야간 구분 없는 객체간의 분류·거리·위치 영상 정보		
적용 분야	목적	내용
횡단보도 및 스쿨존 CCTV	접촉사고 예방	횡단보도 및 스쿨존 CCTV 상황에서의 접촉사고 위험 시 운전자 알림을 통한 보행자·자전거·차량 간의 접촉사고 예방
드론	실종자 인식	접근하기 힘든 곳에서의 드론을 통한 실종자 인식 (산, 절벽, 평야, 바다 등)
자율주행	접촉사고 예방	차량에 부착된 카메라를 이용한 자율주행 중, 접촉사고 위험 시 운전자 알림, 제어권 등을 이용한 다양한 객체간의 접촉사고 예방
이 외	영상 정보 활용	저장된 영상 정보를 이용한 사고발생률 조사, 제도가 미약한 상황에서의 과실 여부(민식이법, 무단횡단 사고 등)

1.2 향후 응용 연구 개발 및 적용 예시

카메라를 이용한 인공지능 및 데이터 연구는 현재 국가연구개발사업, 대기업, 중견·중소기업 등 많은 곳에서 활용되고 있으며, 카메라가 기계의 시각을 담당하고 있기 때문에 앞으로도 규모가 무궁무진하게 커질 것으로 판단된다. 다음은 본 연구의 향후 응용 연구 개발과 적용 예시를 보여준다.

표 3. 향후 응용 연구 및 적용 예시

구분	향후 응용 연구	적용 예시
목적	다양한 환경에 노출된 영상에서의 객체 인식/거리 측정 성능을 높이기 위한 전처리 연구(안개제거, 노이즈제거, 빗방울제거 등)	현재/미래 사회에서의 카메라 영상을 적용한 예시(자율주행, 스마트 시티, 드론, 지능형 CCTV, 5G 연동 등)
예시	 <p>〈노이즈 제거〉</p>  <p>〈안개 제거〉</p>	 <p>〈자율주행〉</p>  <p>〈스마트 시티〉</p>

① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

2. 연구 진행일정

본 연구의 진행일정은 2020년 5월 25일 ~ 2020년 9월 25일로 총 16주(4개월) 동안 연구를 진행하였다. 제시한 연구 진행일정 모두 달성 완료하였으며, 1~8주까지는 실생활 데이터 수집과 객체 인식 구현, 거리 측정 구현, 객체 인식과 거리 측정 융합구현을 완료하였다. 중간 점검 후, 평가위원들의 자문의견을 반영하여 최종적으로 객체 인식 + 거리 측정 + IR 융합 구현과 테스트 및 최적화까지 달성 완료하였다. 아래 <표 4>는 제시한 연구 진행일정을 보여준다.

표 4. 연구 진행일정

		5/25~9/25(4개월)																
일련 번호	개발내용	추진 일정																기간 (주)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	실생활 데이터 수집	■	■	■	■	■	■											5
2	스테레오 카메라 YOLOv3 구현	■	■	■	■	■	■	■	■									7
3	3D depth 카메라 PSMNet 구현	■	■	■	■	■	■	■	■									7
4	스테레오/3D depth 카메라 영상 융합구현					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		10
5	스테레오/3D depth/IR 카메라 영상 융합구현					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		10
6	테스트 및 최적화														■	■	■	4

3 연구 결과

연구 결과 도출은 실시간으로 구현하였으며, 다음은 사용된 하드웨어·소프트웨어와 실시간 구현 결과 이미지를 보여준다.

3.1 하드웨어 및 소프트웨어

표 5. 하드웨어·소프트웨어

하드웨어 및 소프트웨어(Hardware & Software)			
구분	종류	제품명	사양
하드웨어 (Hardware)	Camera	Intel realsense D435	RGB + Stereo + IR 내장
	Server	GPU Server	NVIDIA RTX2080TI D6 11G, Intel E5 CPU, 96G memory ...
소프트웨어 (Software)	Ubuntu 18.04LTS, Python3, Pytorch, CUDA, OpenCV, ROS melodic, Caffe, Realsense_SDK ...		



<Camera>

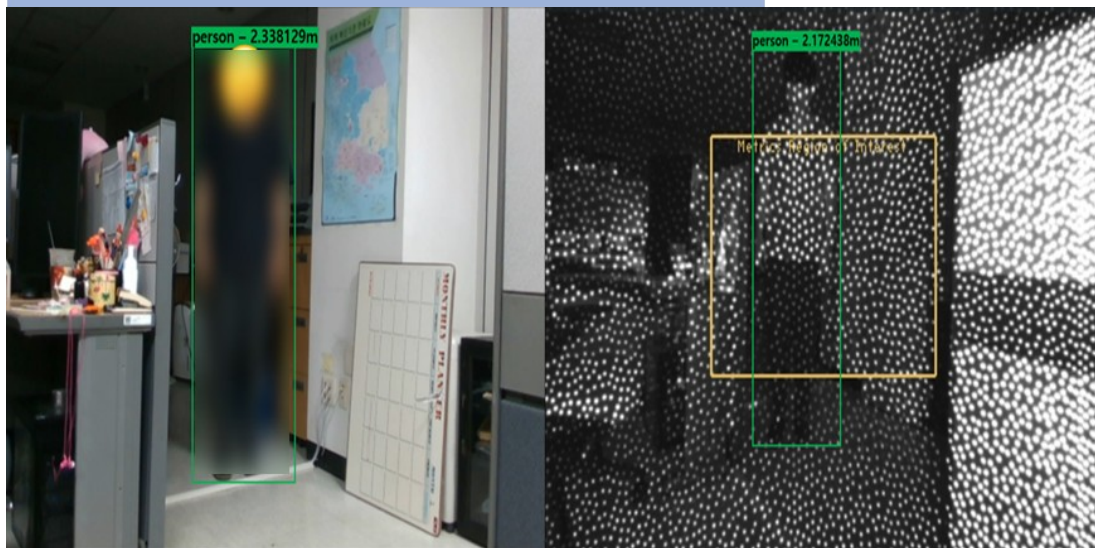


<Server>

3.2 실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 결과

아래 <그림 34>는 실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 연구의 실시간 적용 결과를 보여준다. 장소는 소속 기관 내의 연구실이며, 야간 적용 평가를 위해 저녁시간을 활용하였다. 본 연구에서 구현하고자 하는 바대로 주·야간 구분 없이 객체 인식과 거리 측정 모두 동작하는 것을 확인할 수 있다.

그림 34. 실시간 주·야간 객체 인식 및 거리 측정 연구 결과



위와 같은 연구 결과를 토대로 횡단보도 및 스크린 CCTV에 적용하여, 현재 및 미래사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안을 도출할 수 있다.

① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결 방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소양자점의 개발 및 응용

저자_ 안재홍(Je Hong An)

• 학력

한양대학교 전자공학 석사

• 경력

現) 한국광기술원 재직 중

참고문헌

〈국외문헌〉

- 1) Andreas Geiger, Philip Lenz, Christoph Stiller and Raquel Urtasun 'Vision meets Robotics: The KITTI Dataset' CVPR(IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition) 2012
- 2) Alina Kuznetsova, Hassan Rom, Neil Alldrin, Jasper Uijlings, Ivan Krasin, Jordi Pont-Tuset, Shahab Kamali, Stefan Popov, Matteo Mallocci, Alexander Kolesnikov, Tom Duerig, Vittorio Ferrari 'The Open Images Dataset V4' arXiv:1811.00982v2 [cs.CV] 21 Feb 2020
- 3) Hui Li, Xiao-Jun Wu, Josef Kittler 'Infrared and Visible Image Fusion using a Deep Learning Framework' arXiv:1804.06992v4 [cs.CV] 18 Dec 2018
- 4) Joseph Redmon Ali Farhadi. YOLOv3: An Incremental Improvement. arXiv preprint arXiv: 1804.02767v1, 2018.
- 5) Jia-Ren Chang Yong-Sheng Chen. Pyramid Stereo Matching Network. arXiv preprint arXiv: 1803.08669v1, 2018.
- 6) Jingchun Piao, Yunfan Chen, Hyunchul Shin 'A New Deep Learning Based Multi-Spectral Image Fusion Method' Entropy 2019,21, 570; doi:10.3390/e21060570
- 7) Mark Everingham · Luc Van Gool · Christopher K. I. Williams · John Winn · Andrew Zisserman 'The PASCAL Visual Object Classes (VOC) Challenge' Int J Comput Vis (2010) 88: 303-338, DOI 10.1007/s11263-009-0275-4
- 8) Omdia, 'Computer Vision Technologies and Markets', 22 Apr 2020
- 9) Tsung-Yi Lin Michael Maire Serge Belongie Lubomir Bourdev Ross Girshick, James Hays Pietro Perona Deva Ramanan C. Lawrence Zitnick Piotr Dollar. Microsoft COCO: Common Objects in Context. arXiv preprint arXiv:1405.0312v3, 2015.
- 10) Khac-Hoai Nam Bui, Hongsuk Yi *and Jiho Cho 'A Multi-Class Multi-Movement Vehicle Counting Framework for Traffic Analysis in Complex Areas Using CCTV Systems' Energies 2020, 13, 2036; doi:10.3390/en13082036

〈기타문헌〉

- 1) 공공 인공지능 오픈 API-Data 서비스 포털 (<http://aiopen.etri.re.kr/index.php>)
- 2) 경찰청 도시교통정보센터 (<https://www.utic.go.kr:449/main/main.do>)
- 3) e-나라지표(<http://www.index.go.kr/main.do?cate=1>)
- 4) 교통사고분석시스템(<http://taas.koroad.or.kr/>)
- 5) 컴퓨터 비전 시장보고서(<https://omdia.tech.informa.com/>)
- 6) AI Hub(<https://www.aihub.or.kr>)



02

융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소 양자점의 개발 및 응용

이경관(경희대학교 · 한국생명공학연구원)

I 금속 양자점의 제조, 응용 및 한계점

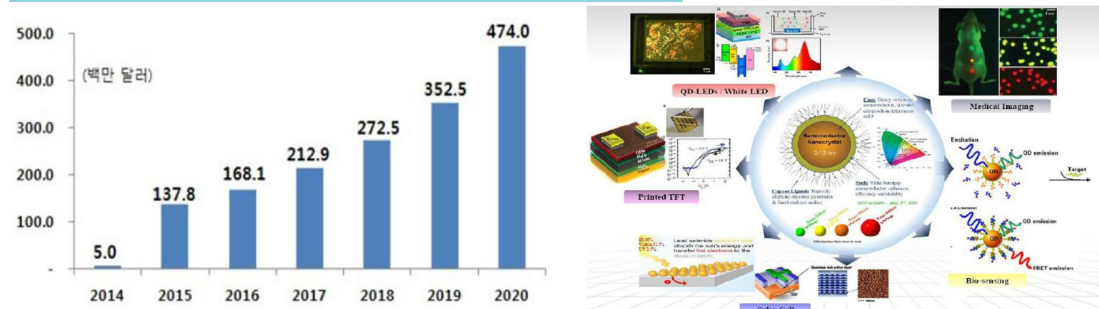
1. 나노기술 속 금속 양자점

21세기, IT(Information Technology), BT(Bio Technology), NT(Nano Technology)의 급진적인 성장을 통한 과학기술의 급부상은 전 세계적으로 혁신적인 변화를 불러일으켰다. 특히, 최근 나노기술의 눈부신 발전은 스마트폰, 디스플레이, 반도체 등 우리의 삶 모든 영역에서 빛을 내고 있으며, 이로 인해 우리의 삶 역시 더불어 윤택해졌다.

‘나노’는 아주 작다는 뜻의 그리스어의 어원에서 유래되었으며, 10억 분의 1미터인 1나노미터(= 1 nm)는 육안으로는 보이지 않는 아주 작은 미시세계에 속한다. 나노 미시세계 속의 모든 물질은 거시세계 속 물질과 화학적, 광학적, 물리적 및 전자적 성질이 달라지며 이러한 물질의 성질을 조립 제어하며 측정하고 규명하는 기술을 나노기술이라 일컫는다. 나노기술은 나노입자들이 가지고 있는 나노 세계 속의 독특하고 다양한 특성 때문에 현재 많은 관심과 주목을 받고 있으며, 특히 ‘퀀텀 닷’이라 불리는 금속/반도체 양자점(Quantum Dots, QDs)은 다양한 분야에 적용이 되면서 주목받고 있는 나노소재 중 하나이다. 금속 양자점이란 1~100 나노미터의 크기를 갖는 금속 원소로 이루어진 입자 결정체(crystalloid)를 일컫는 말로, 1980년대 초 루이스 브루스(Louis Brus) 박사에 의해 처음 보고가 된 이후 현재까지 활발한 연구가 진행되고 있다. 나노세계 속, 나노미터 단위의 물질은 크기가 작아짐에 의해서 양자 구속 효과(quantum confinement effect) 또는 양자제한효과를 가지게 되며 금속 양자점은 전도 띠 끝(conduction-band edge)과 원자가 전자 띠 끝(valence-band edge) 사이에서 전자의 에너지 준위가 불연속적인 성질을 가지며, 입자의 크기가 작아질수록 전자 에너지 준위의 불연속성이 커져 밴드 갭 에너지(band-gap energy)가 증가하는 성질을 갖는다. 이러한 양자 구속 효과를 통한 물리적, 전자적 특성의 변화를 바탕으로, 금속 양자점은 입자 크기 조절을 통하여 다양한 반도체 및 광학적 특성을 갖게 할 수 있다. 또한 좁은 흡광(absorbance) 영역 및 우수한 흡광계수(extinction coefficient)를 갖는 금속 양자점은 발광 시 높은 색 순도 및 양자 수율(quantum yield)을 가지므로 디스플레이 및 발광 소재로써 가치가 높게 평가된다. 따라서 금속 양자점을 이용한 LCD(Liquid Crystal Display) 및 4K, 8K

QLED(Quantum dot Light-Emitting Diode) 등의 상품이 제품화 되어있으며 방대한 규모의 소비시장이 형성되어 있다. 금속 양자점은 디스플레이 및 발광 소자 이외에도 의료(medical), 바이오센서(biosensor), 광센서(optical sensor), 배터리(battery) 및 태양전지(solar cell) 등의 다양한 분야에서 응용되고 있으며 주목받는 나노기술의 소재 중 하나이다[1-2].

그림 1. 금속 양자점 소재 시장의 현황 및 활용 분야



출처 : S&T Market Research, 34, 2015

2. 금속 양자점의 제조 및 한계점

나노미터 크기의 물질을 제작하기 위한 대표적인 제조 방식은 큰 물질을 레이저 박리(laser ablation), 아크 방전(arc discharge) 등의 방법을 통해 크기가 작은 물질로 제조하는 하향식(top-down) 방법과 분자 단위의 작은 물질을 크게 성장시키며 물질을 합성하는 상향식(bottom-up) 방법으로 분류할 수 있다. 하향식 방법은 수십 나노미터 단위의 물질을 제작하는 것이 까다롭고 한계가 있으므로 상향식 방법이 금속 양자점의 합성에 주로 사용된다. 금속 양자점을 제조하는 여러 방법들 중 콜로이드 합성(colloidal synthesis)법은 1980년대 초 컬럼비아 대학교의 루이스 브루스(Louis Brus) 교수팀에 의해 개발된 이성분 또는 삼성분 금속 양자점을 제조하는 방식으로, 유기용매 상에 용해된 금속 입자들의 평균 크기를 임계 크기보다 크도록 유지하며 원하는 크기를 가지도록 합성할 수 있는 방법이다. 콜로이드 합성법을 통해 제조 및 상용화되는 대표적인 이성분 금속 양자점은 황화 납(lead sulfide, PbS), 셀레늄화 납(lead selenide, PbSe), 셀레늄화 카드뮴(cadmium selenide, CdSe), 황화 카드뮴(cadmium sulfide, CdS), 비소화 인듐(indium arsenide, InAs) 및 텔루륨화 카드뮴(cadmium telluride, CdTe) 등이 있으며, 셀레늄화 황화 카드뮴(cadmium selenide sulfide, CdSSe)과 같은 삼성분 금속 양자점도 있다. 하지만 이를 통해 생산 및 제조되는 금속 양자점은,

제조 시 원료의 단가가 높으며 공정이 복잡하고, 합성에 사용되는 원료인 카드뮴(Cd) 및 셀레늄(Se)과 같은 중금속 원소는 특정한 조건 하에서 인체에 심각한 위험을 초래할 수 있으며, 환경오염을 유발한다는 치명적인 단점이 있다[3-5]. 그럼에도 불구하고 현재 미국(QD vision), 영국(Nanoco) 등 전 세계적으로 금속 양자점의 개발과 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 금속 양자점 시장은 연평균 68%의 높은 성장률로 크게 급등하고 있는 추세이다. 따라서 현재 중금속을 이용한 금속 양자점의 규제가 전 세계적으로 이루어지고 있으며 비 카드뮴 계를 이용한 인화 인듐(indium phosphide, InP) 또는 황화 아연(zinc sulfide, ZnS)과 같은 금속 양자점 및 금속 양자점을 대체 할 수 있는 차세대 소재 개발의 연구가 활발히 진행되고 있다.

그림 2. 독성을 갖는 중금속 물질



출처: Dr. JAY DAVIDSON

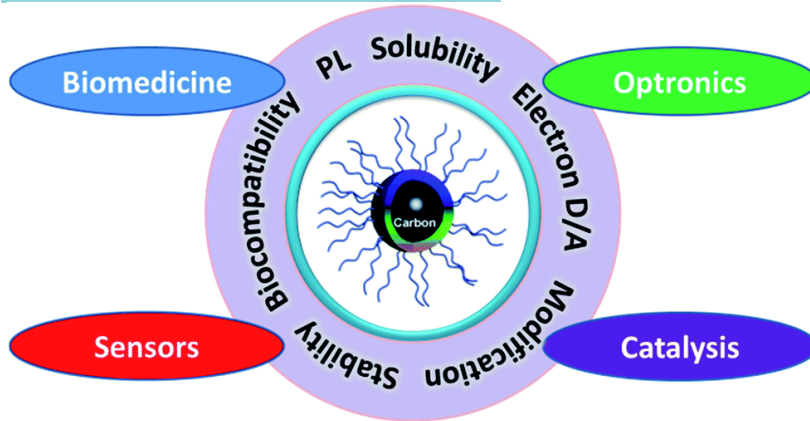
II 차세대 탄소 양자점의 개발

1. 친환경 소재의 탄소 양자점

최근 자연과 공존하는 인류의 삶에 대한 관심이 더욱 증가하면서 친환경 및 무독성 등을 강조한 수많은 소재들이 등장하고 있다. 탄소 양자점(Carbon Dots, CDs)은 광학적, 전자적 성질이 금속 양자점과 유사한 나노소재로, 과일, 음식, 음료, 채소 등 주로 자연에서 손쉽게 구할 수 있는 원료로부터 영감을 얻어 합성 및 제작이 가능하여 낮은 단가, 친환경성, 생체적합성과 안정성을 두루 갖추고 있어 기존 금속 양자점의 한계를 극복할 수 있는 후보물질로 각광 받고 있다. 2004년 사우스캐롤라이나 대학의 월터 스크리벤스(Walter Scrivens) 교수팀에 의해 우연히 처음 발견된 탄소 양자점은 주 원소가 탄소로 구성되어 있으며 입자의 중심(core)이 결정(crystal)과 비결정(amorphous) 형태로 이루어져 있는 구형의(spherical) 나노입자로[6], 주로 열분해(thermal pyrolysis), 수열(hydrothermal) 및 마이크로웨이브(microwave) 반응을 통한 상향식 방법으로 제조 및 합성된다. 차세대 친환경 소재로써 탄소 양자점은 세포내 20,000ppm 수준의 농도에서도 낮은 세포 독성을 보이며 용매 안정성과 높은 발광 및 형광 효율 특성을 가지며, 산소, 황과 같은 이종 원자(heteroatom)의 도핑 및 합성 시 전처리 과정을 통해 광학적, 물리적 성질을 쉽게 변환시킬 수 있어 바이오이미징, 환경 센서, 광촉매, 유기 태양전지 및 발광다이오드 등 많은 분야에서 관심을 받고 있다 [7-11].

탄소 양자점의 수많은 장점에도 불구하고, 대량생산을 통한 산업화 및 제품화에 있어 탄소 양자점이 금속 양자점보다 절대적인 우위에 있는 것은 아니다. 금속 양자점 대비 낮은 양자 수율(quantum yield) 및 짧은 형광수명(fluorescence lifetime), 크기의 불균일성과 같은 단점은 탄소 양자점이 가지고 있는 큰 숙제임이 분명하다.

그림 3. 탄소 양자점의 특징 및 응용



출처: Small 2015, 1620-1636

2. 융합 모사 접합 고분자를 이용한 탄소 양자점의 개발

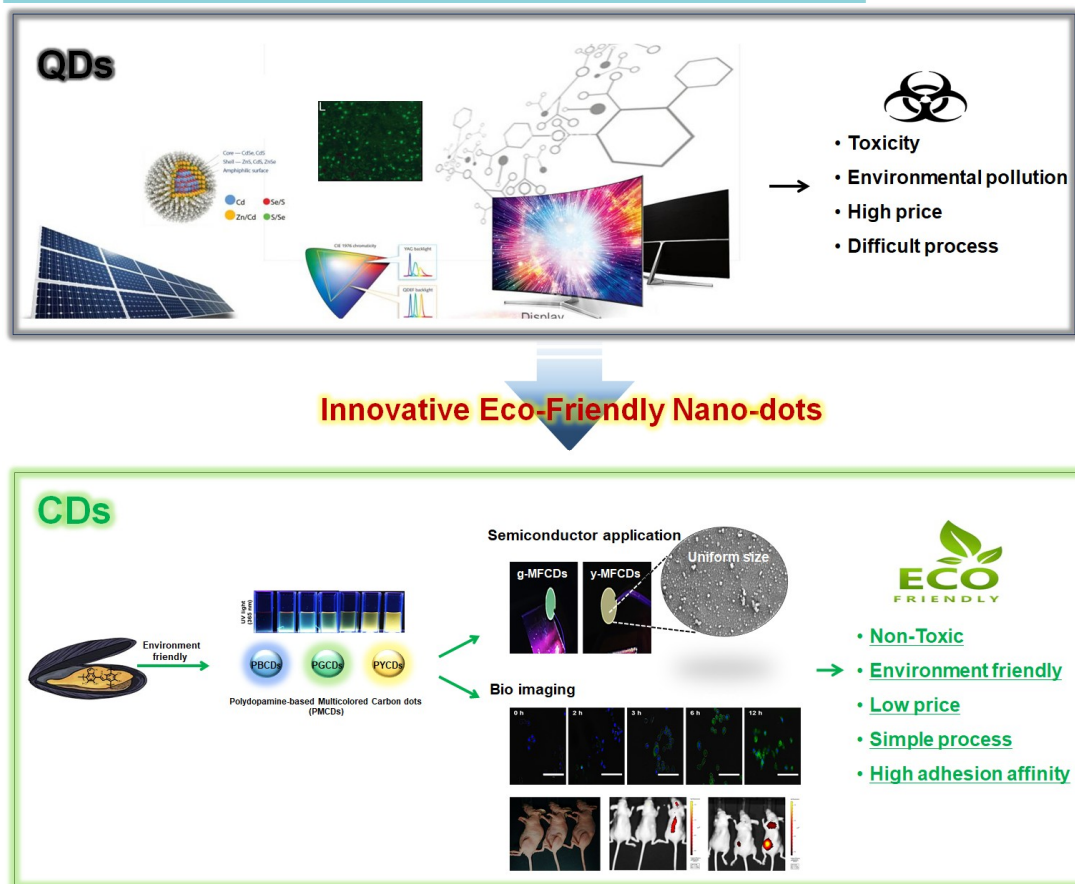
최근, 융합의 접착 단백질과 인체 조직에서 추출된 치유성분이 결합된 혁신적인 의료용 접착제가 개발되어 연구자들의 이목을 끌었다. 해양 생명체인 홍합은 수중 환경에서 기질의 표면에 상관없이 강하게 붙어 자랄 수 있는 흡착성 생물로, 수중 접착 단백질을 생산 및 분비함으로써 바위와 같은 표면에 부착하여 파도나 부력에 대응한다. 또한 홍합 접착 단백질은 강한 인장강도 및 유연성을 가지고 있으며, 생체 내에서 면역반응을 일으키지 않아 생체친화적인 소재로 널리 알려져 있다. 하지만, 홍합으로부터 추출되어 사용되는 홍합 접착 단백질을 1그램 얻기 위하여 1만 마리의 홍합이 필요하기 때문에 단가가 높으며 대량생산에 어려움이 있다. 따라서 홍합의 접착 능력에 직접 관여하는 작용기를 모방하여 만들어진 폴리도파민(polydopamine, PDA) 및 폴리노르에피네프린(poly norepinephrine)은 홍합 접착 모사 고분자로서, 홍합 접합제와 유사한 구조를 가지고 있어 의료 및 생체소재 분야에서 응용이 되고 있다. 홍합 모사 접합 고분자로서 폴리도파민은 분자구조에 카테콜(catechol) 작용기를 가지고 있어 홍합 접합제와 마찬가지로 모든 기질의 표면에 대한 강한 접착 능력을 가지며, 이러한 성질을 이용하여 주로 생체소재 및 재료의 표면을 개질하는 연구에 응용되고 있다. 이러한 폴리도파민의 능력에 착안하여, 본 연구에서는 홍합 모사 접합 고분자 기반의 탄소 양자점(Mussel-Facsimile Carbon Dots, MFCDs, 이하 MFCDs)을 개발하고 이를 응용하는 것에 목표를 둔다. MFCDs는 상온의 약 알칼리성 수용액에서 자가 중합(self-polymerization)을 통한 친환경적인 제조 방법으로 손쉽게 합성되었으며, 친핵성(nucleophile) 단량체(monomer)의 첨가를 통하여 다양한 광학적 특성을 갖게 할 수 있다. 또한 홍합

접합제와 유사한 구조를 가지는 MFCDs는 기질 표면에 상관없이 흡착이 가능하다. 특히, 반도체 소재인 인듐-틴 옥사이드(Indium Tin Oxide, ITO), 유리(glass) 및 실리콘 기판에 대하여 강한 흡착이 가능하며 흡착 후 비 발광성 반도체 소재에 발광 기능을 부여할 수 있다.

결론적으로 MFCDs는 탄소 양자점의 독특한 형광 성질과 흡합의 높은 흡착 기능을 동시에 갖는 친환경 유기물 기반의 탄소 나노 발광 소재로써 바이오이미징, 생체소재, 센서, 발광 소자 및 반도체 소자 등에 응용 가능한 차세대 나노소재로 다양한 분야에서 응용이 가능할 것이라 전망된다.

III 연구 내용

그림 4. 융합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점의 연구 내용 모식도

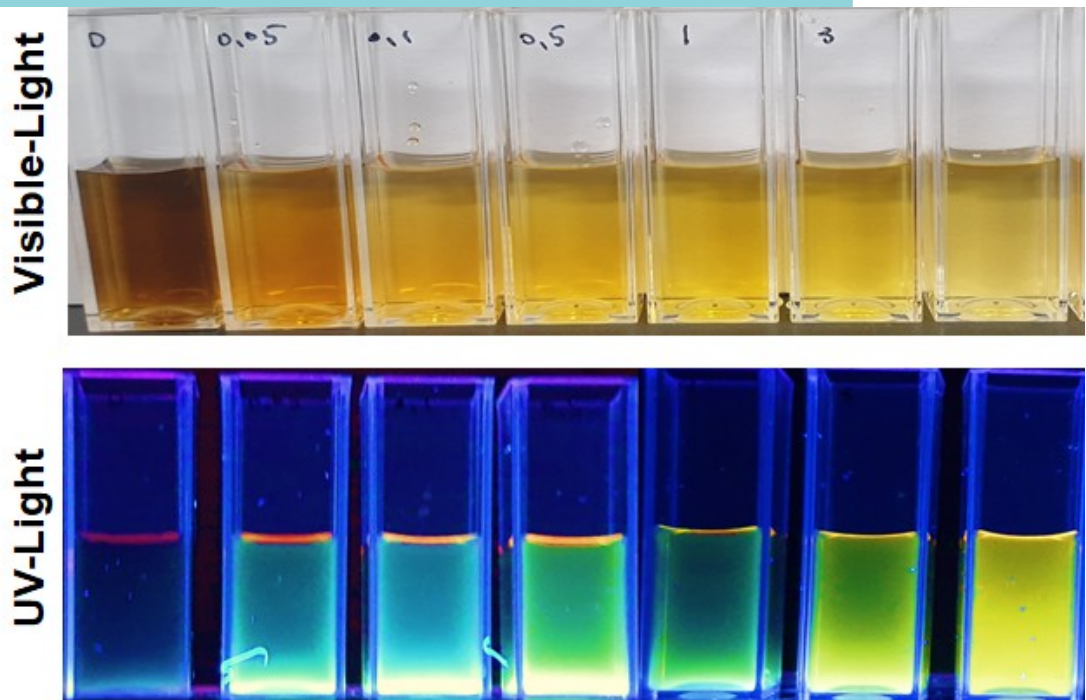


1. 혼합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점의 합성

본 연구에서 개발된 MFCDs는 도파민(dopamine, DA) 전구체를 이용하여 약 알칼리 용액에서 상향식 합성 방식을 통해 제조되었다. MFCDs의 제조방법으로, 증류수(Distilled Water, DW), 암모니아수(ammonia solution, w/w 28%), 에탄올로 혼합된 약 알칼리성 수용액에 도파민과 친핵성 단량체를 첨가하여 24시간 동안 상온에서 300 RPM의 속도로 교반시켰다. 24시간 반응 후, 합성이 된 밝은 노란색의 용액을 0.25 μm 실린지(syringe) 필터 및 원심 분리를 이용하여 불순물과 부가 반응물을 제거한 후 동결 건조(freezing & drying)를 통해 MFCDs를 파우더 상태로 얻었다. 또한 친핵성 단량체의 첨가 농도 조절을 통해 노랑, 초록 및 파랑색의 형광을 띄는 γ -MFCDs(yellow emissive-MFCDs), g -MFCDs(green emissive-MFCDs), b -MFCDs(blue emissive-MFCDs)를 위와 동일한 방법으로 제조하였다.

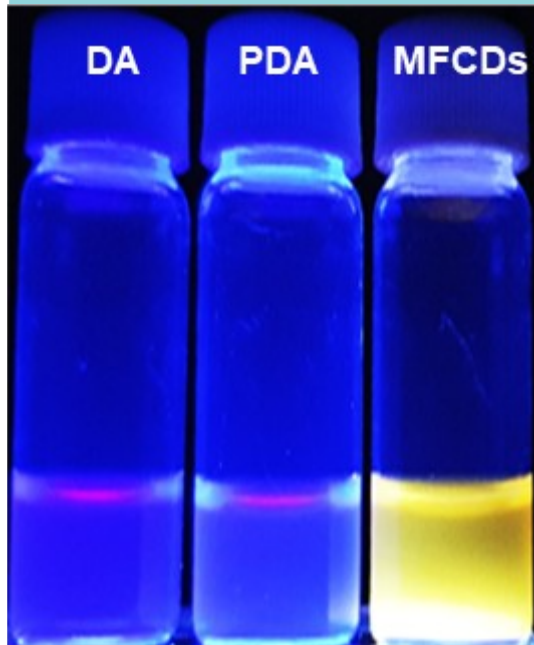
2. 혼합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점의 메커니즘

그림 5. 친핵성 단량체의 첨가 농도 조절에 따른 MFCDs의 형광 변화



비 공유 결합을 통한 자가 조립, 카테콜 아민(catechol amine), 퀴논(quinone) 또는 멜라닌(melanin)구조를 거치는 폴리도파민의 합성 메커니즘은 현재 많은 연구들이 보고되어 있다 [12-15]. 앞서 제시된 폴리도파민의 메커니즘을 바탕으로 MFCDs의 합성 메커니즘을 예상하였다. MFCDs는 도파민 분자 내 일차 아민의 분자 내 고리 화 반응(cyclic reaction)을 시작으로 자가 조립을 통한 고분자화가 진행되며, 이때 첨가된 친핵성 단량체가 친핵체로 작용하여 자가 조립된 고분자 수산기(hydroxyl, R-OH)의 탄소 또는 페놀(phenol) 작용기의 오쏘(ortho) 혹은 메타(meta) 위치에 첨가 및 치환반응(nucleophile substitution reaction)을 통해 합성된다. 제시한 메커니즘을 통해 기존의 폴리도파민 구조에 결함(defect), 감소(degradation) 및 친핵체의 첨가로 인한 입자 표면의 전자 부유화가 MFCDs에 발광 특성을 부여하며 도파민과 폴리도파민에서 나타나지 않던 형광 특성이 발생하게 된다(그림 6).

그림 6. 도파민, 폴리도파민, MFCDs의 발광 특성



3. 융합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점의 구조

입자의 크기와 모양, 원소 조성 및 결합 에너지 분석을 통한 MFCDs의 구조를 확인하기 위하여, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM), 에너지 분산 X선 분광법(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS), 푸리에 변환 적외선 분광기(Fourier Transform-Infrared Pectroscopy, FT-IR), 제타 전위(zeta potential) 및 X-선 광전자 분광법(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)을 사용하였다. <그림 7>의 주사전자현미경 분석에서, MFCDs는 폴리도파민과 유사한 약 200 nm의 크기를 갖는 구형 모양의 균일한 입자임이 확인되었으며, 에너지 분산 X선 분광법 분석을 통해 탄소(carbon, C), 질소(nitrogen, N), 산소(oxygen, O)의 원소로 구성되어 있음을 분석하였다(표 1). 또한 MFCDs의 작용기 및 표면 전위 분석을 위하여 푸리에 변환 적외선 분광기 및 제타 전위를 통해 MFCDs와 폴리도파민의 구조를 비교 분석하였다. 결과적으로, MFCDs는 폴리도파민과 동일한 하이드록시(hydroxyl, -OH), 메틸(methyl, -CH₃) 및 C-N의 작용기를 입자 구조에 가지고 있으며 각각 3300 cm⁻¹, 2900 cm⁻¹ 및 1750 cm⁻¹ 내지 1550 cm⁻¹ 영역에서 관측되었다(그림 8a). 반면에, 제타 전위의 경우는 MFCDs의 친핵성 단량체 첨가로 인해 -17.88 mV의 음의 전위 값을 갖는 폴리도파민과는 달리 +2.84 mV의 양의 전위 값을 나타내었다(그림 8b). 추가적인 MFCDs의 결합에너지 분석을 위하여 X-선 광전자 분광법의 narrow scan을 통한 폴리도파민과 MFCDs의 결합 에너지를 분석하였다. <그림 9>의 narrow scan에서 보이는 것처럼, C1s 및 O1s 영역에서 폴리도파민과 MFCDs는 케톤(ketone) 및 카테콜 작용기에 기인하는 결합 에너지가 285.6 eV, 288.1 eV 및 532 eV 영역에서 나타났으며, 이는 MFCDs가 융합 모사 고분자와 같은 결합 에너지를 가지고 있음을 증명하는 결과이다. 하지만 N1s 영역에서, 폴리도파민은 도파민의 분자 내 고리 화 반응으로 인해 일차 아민의 피크가 398.1 eV 영역에서 현저히 낮게 나타나지만, MFCDs는 중합 과정에서 첨가된 친핵성 단량체의 첨가로 인하여 약 398 eV 영역에의 일차 아민 피크가 높게 나타남을 확인하였다.

그림 7. 주사전자현미경(SEM)을 이용한 폴리도파민 및 MFCDs 구조 분석

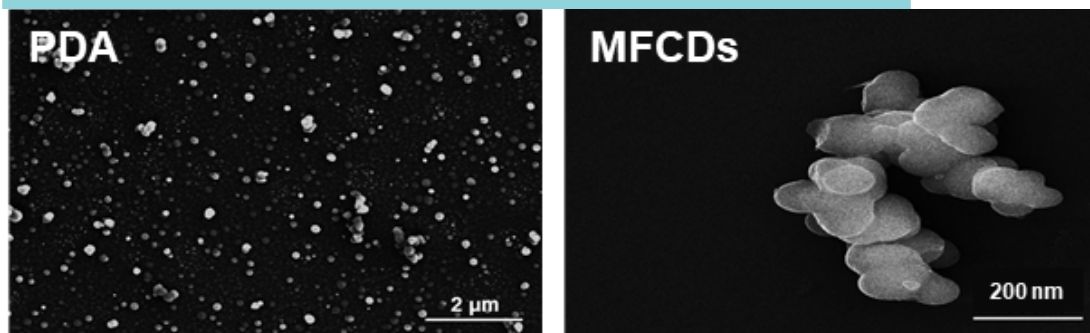


표 1. 에너지 분산 X선 분광법(EDS)을 이용한 (a) 폴리도파민, (b) MFCDs의 원소 조성 분석

(a)	Element	Line Type	Wt %	Atomic %	(b)	Element	Line Type	Wt %	Atomic %
	C	K series	72.9	77.23		C	K series	59.56	64.29
	N	K series	9.63	8.79		N	K series	25.52	23.62
	O	K series	17.47	13.97		O	K series	14.92	12.09
	Total:		100.00	100.00		Total:		100.00	100.00

그림 8. (a) 도파민, 폴리도파민, MFCDs의 푸리에 변환 적외선 분광기(FT-IR) 분석 및 (b) 폴리도파민과 MFCDs의 제타 전위

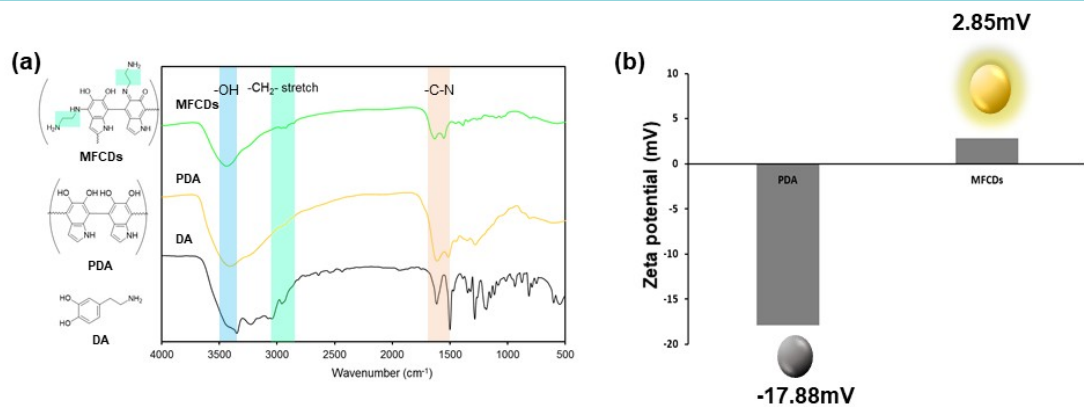
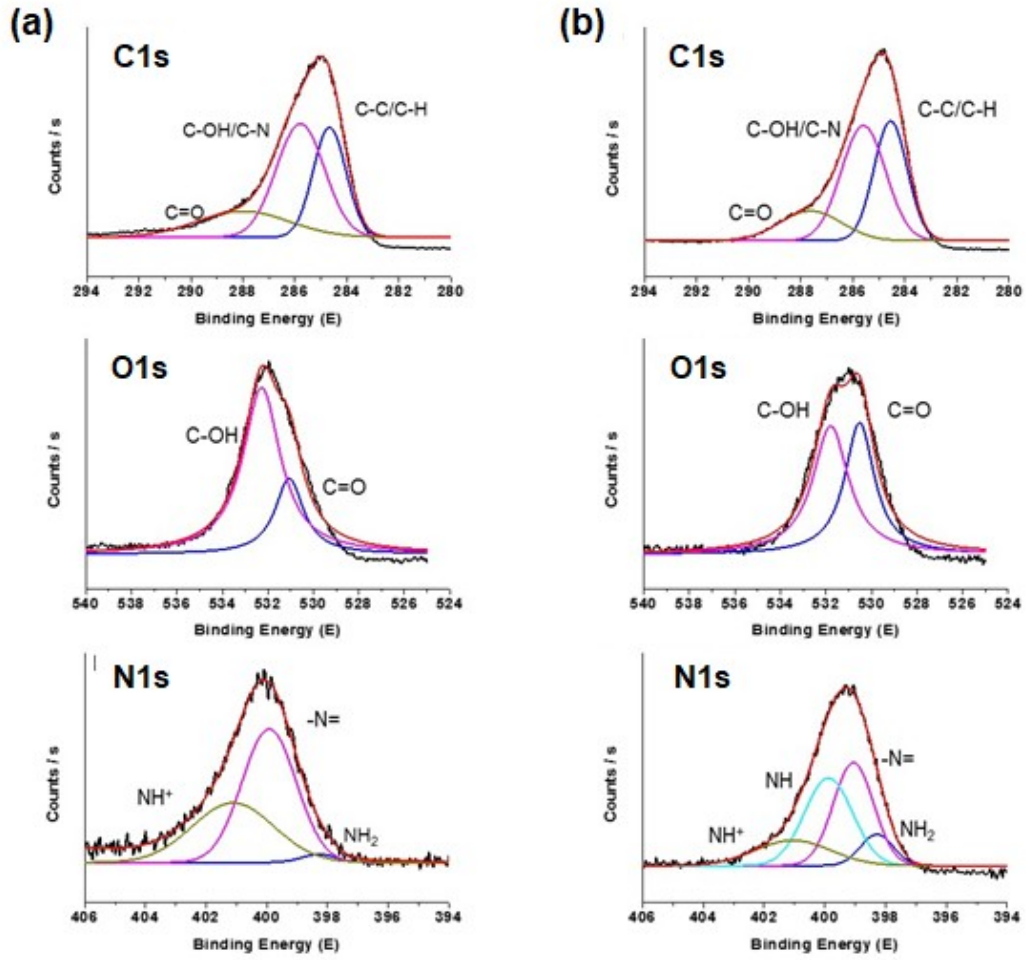


그림 9. (a) 폴리도파민, (b) MFCDs의 X-선 광전자 분광법(XPS) narrow scan



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출
실생활 데이터 기반 인공지능 기반 비전 카메라 영상 융합 기술 연구를

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소양자점의 개발 및 응용

4. 융합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점의 광학적 특징

합성초기 단계에서 첨가되는 친핵성 단량체의 양에 비례하여 MFCDs의 형광 특성이 적색이동(red-shift)되는 경향을 확인하였다. 구체적으로, 합성 시 첨가되는 단량체의 양이 0.1 mL 에서 5 mL 까지 늘어남에 따라, 형광의 적색이동 역시 푸른색 파장(약 460 nm), 초록색 파장(약 510 nm)을 거쳐 노란색 파장(약 560 nm)까지 증가한다(그림 10). 또한 이러한 적색이동 및 스톡스 이동(stokes-shift)과 형광 세기는 첨가되는 단량체의 양이 늘어날수록 증가되며, 10 mL 이상부터 형광 세기가 포화된다(그림 11). MFCDs의 이러한 광학적 특성은 첨가되는 친핵성 단량체의 양이 높아질수록 중심 구조에 결함이 많아지며, MFCDs의 표면에 친핵성 단량체의 고립 전자쌍(lone pair)이 증가하기 때문이다[16,17].

그림 10. 첨가된 단량체의 양에 따른 MFCDs의 형광 스펙트럼

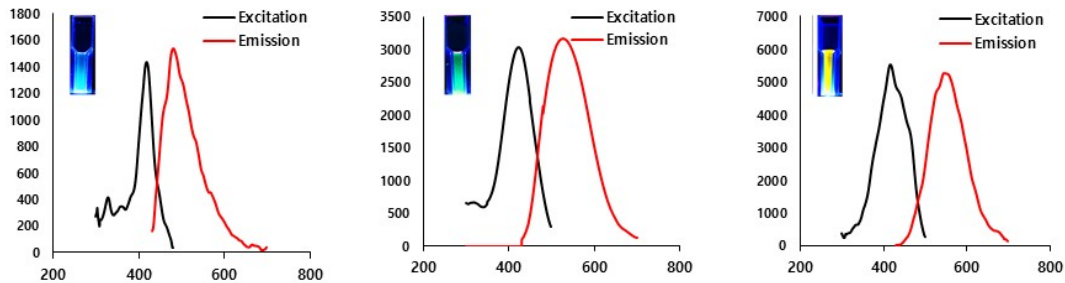
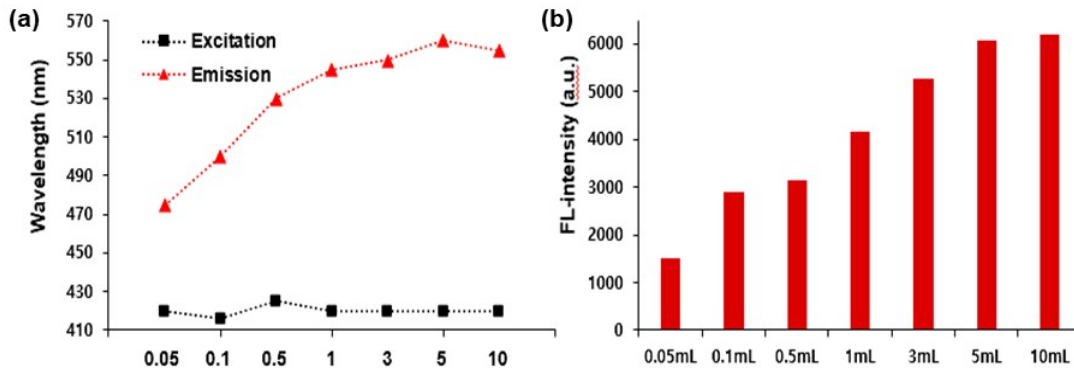
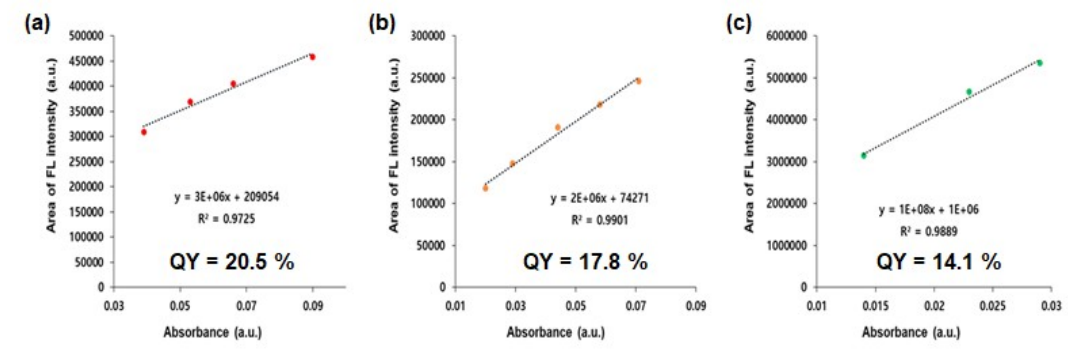


그림 11. 첨가된 단량체의 농도에 따른 MFCDs의 (a) 스톡스 이동(stokes-shift) 및 (b) 형광 세기



다음으로 추가적인 광학 성능을 평가하기 위하여, b-MFCDs, g-MFCD, y-MFCDs의 양자 수율 및 형광수명을 측정하였다. 파란색, 초록색, 노란색 형광을 방출하는 b-MFCDs, g-MFCDs, y-MFCDs의 양자 수율은 각각 20.5%, 17.8% 및 14.1%로 계산되었으며(그림 12), 측정된 양자 수율은 로다민 6G(rhodamine 6G), 플루오르세인(fluorescein) 및 안트라센(anthracene) 표준 발색단을 이용하여 <식 1>의 상대적 양자 수율 공식을 통해 계산되었다.

그림 12. (a) b-MFCDs, (b) g-MFCDs, (c) y-MFCDs의 양자 수율



$$Q = \left[\frac{m}{m_R} \right] \left[\frac{n^2}{n_R^2} \right] \dots\dots\dots \langle \text{식 1} \rangle$$

m = 형광 세기 vs 흡광도, n = 용매 굴절률(refractive index), R = 표준 발색단(reference fluorophore of well-known quantum yield)

또한 시 분해 형광 광도계를 이용하여 측정된 b-MFCDs, g-MFCDs 및 y-MFCDs의 형광 수명은 각각 3.9 ns, 3.2 ns 및 3.1 ns로 분석되었으며, MFCDs는 장파장(y-MFCDs) 보다 단파장(b-MFCDs)의 형광체에서 높은 양자 수율 및 긴 형광 수명을 보여주었다(그림 13). MFCDs의 이러한 광학적 특성은 일반적인 탄소 양자점 및 발색 광단(fluorophore)과 유사하지만, 낮은 광 안정성을 가지는 발색 광단과는 달리, b-MFCDs, g-MFCDs 및 y-MFCDs 모두 우수한 광 안정성을 보여주었다(그림 14).

그림 13. (a) b-MFCDs, (b) g-MFCDs, (c) γ -MFCDs의 형광 수명

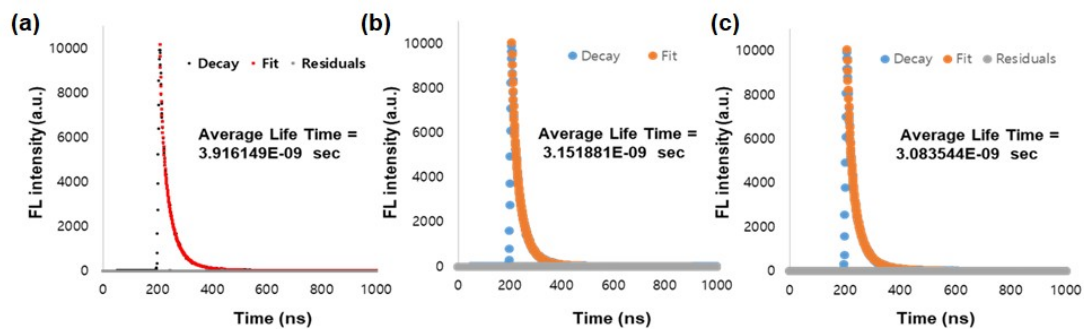
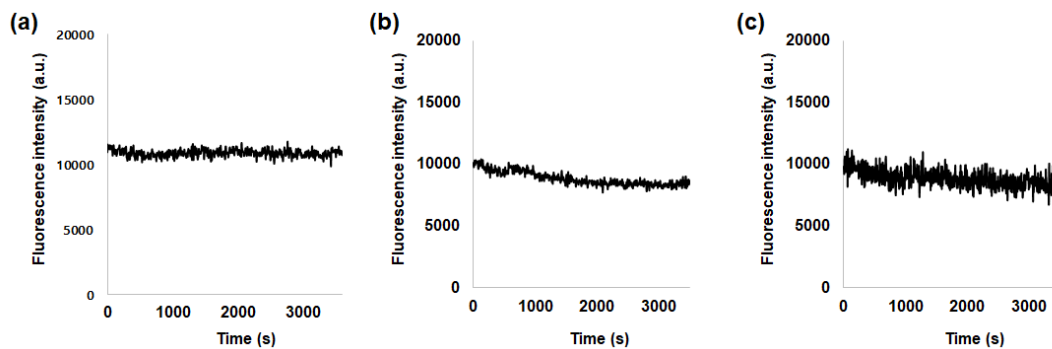


그림 14. (a) b-MFCDs, (b) g-MFCDs 및 (c) γ -MFCDs의 광 안정성



5. 반도체 소자에 대한 융합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점의 흡착 능력

융합 모사 접합 고분자와 유사한 구조를 갖는 MFCDs는 입자 표면에 노출되어 있는 카테콜 작용기로 인하여 대부분의 소재에 높은 흡착 능력을 갖는다. 특히 MFCDs는 담지(dipping) 및 스핀 코팅(spin-coating) 과정을 통해 반도체 소재인 유리 및 인듐 틴 옥사이드(Indium Thin Oxide, ITO) 기판과의 강한 흡착 능력을 확인하였다. <그림 15>에서, MFCDs가 흡착된 투명한 반도체 소재들은 반투명한 모습으로 착색되었으며, 이러한 착색 현상이 MFCDs의 흡착에 의한 것인지 정확히 입증하기 위하여 MFCDs가 흡착된 인듐 틴 옥사이드 기판을 주사전자현미경을 이용하여 표면 분석하였다(그림 16). 분석 결과, 100 nm 내지 200 nm 크기의 MFCDs가 인듐 틴 옥사이드의 표면에 균일한 밀도로 코팅되어 있었으며 또한 이를 통해 비 발광성 반도체 소재에 발광 기능이 추가됨을 확인하였다(그림 17).

그림 15. MFCDs가 흡착된 유리(위) 및 인듐 틴 옥사이드(아래) 기판

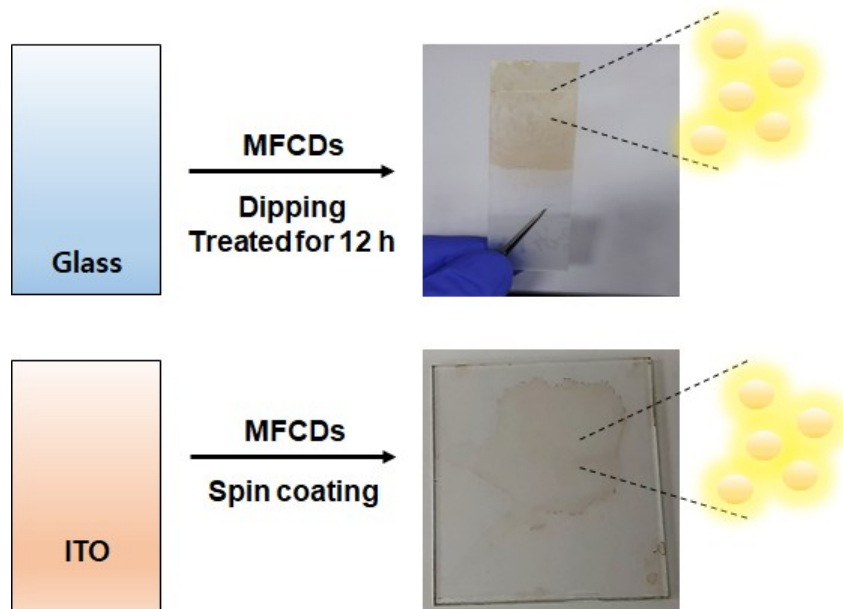


그림 16. MFCDs가 흡착된 인듐 틴 옥사이드(ITO) 기판의 주사전자현미경(SEM) 사진

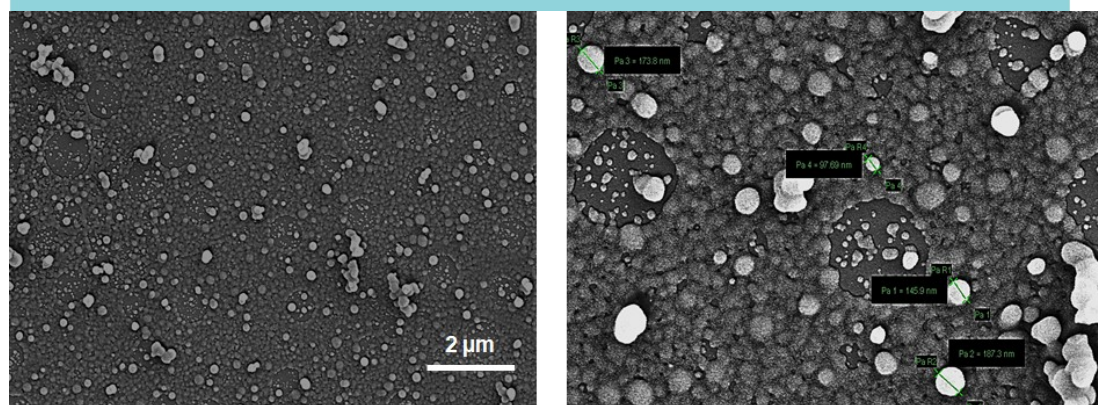
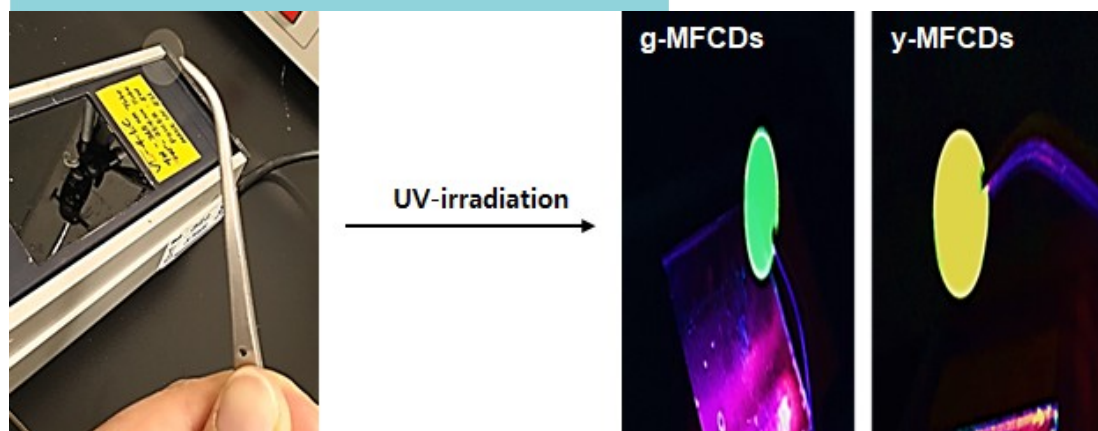


그림 17. MFCDs가 흡착된 유리 기판의 발광 사진



6. 융합 모사 접합 고분자 기반 탄소 양자점의 생체 내외 형광 이미징

바이오 소재로써 MFCDs의 생체적합성 및 응용 가능성을 확인하기 위하여, 유방암 암세포(4T1)에 MFCDs를 처리하여 세포 형광 이미지 및 세포 독성을 평가하였다(그림 18). 공 초점 현미경(confocal microscope)을 통한 세포 형광 이미징 결과, MFCDs가 처리된 유방암 세포는 MFCDs 처리 후 2시간부터 형광 신호가 암세포의 막(membrane)에서 보이기 시작하였으며, 처리 후 6시간부터 암 세포 내 세포질(cytoplasm) 형광 신호가 강하게 발생하였다(그림 18a). 이후 MFCDs의 세포 독성을 평가하기 위하여 MFCDs가 24시간 처리된 유방암 세포를 세포 계수기 키트(Cell Counting Kit-8, CCK-8)를 이용해 세포 생존율을 450 nm 영역의 파장에서 광 밀도(optical density)를 통해 확인한 결과, 아무것도 처리되지 않은 대조군과 대비하여 90%의 높은 세포 생존율을 보였다(그림 18b). 또한 γ -MFCDs, g-MFCDs 및 b-MFCDs의 세포 형광 이미징 능력을 추가적으로 확인하기 위하여, 각각 암세포를 12시간 처리 후 형광 현미경의 파랑색(Dapi, 4', 6-diamidino-2-phenylindole), 녹색(green fluorescent protein, GFP), 빨강색(red fluorescent protein, RFP) 영역의 필터를 사용하여 관측하였다(그림 19). 마지막으로 생체 형광 이미징 소재로써 MFCDs의 성능을 평가하기 위하여 생후 5주 된 balb/c nude 쥐에 인산완충생리식염수(Phosphate Buffer Saline, PBS)로 희석된 γ -MFCDs 용액을 꼬리에 정맥주사(intravenous injection, i.v injection)를 놓아 생체이미지분석기(In Vivo Imaging System, IVIS Lumina II)를 통해 생체 형광신호를 촬영 후 부검하였다. γ -MFCDs 및 인산완충생리식염수의 정맥 주입 3시간 후 생체이미지분석기를 이용하여 쥐의 형광 신호를 측정된 결과, 자발형광이(autofluorescence) 발생하는 인산완충생리식염수가 주사된 쥐와 비교하여 γ -MFCDs가 주사된 쥐에서 생체 내 형광 신호가 전신에서 강하게 발생하는 것을 확인하였다(그림 20 a). 이후 촬영된 쥐의 부검을 통한 형광 신호를 정밀하게 재 측정하였다. 부검 결과, 인산완충생리식염수가 주사된 쥐의 주요 장기에서는 형광 신호가 나타나지 않는 반면 γ -MFCDs가 주입된 쥐는 간(liver), 지라(spleen), 신장(kidney)에서 강한 형광 신호가 나타났으며, 이는 γ -MFCDs가 주사된 쥐의 생체 형광신호가 자발형광이 아닌 γ -MFCDs에 의하여 발생한 것임을 증명한다(그림 20 b).

그림 18. MFCDs의 (a) 시간에 따른 세포 형광 및 (b) 세포 독성 실험 결과

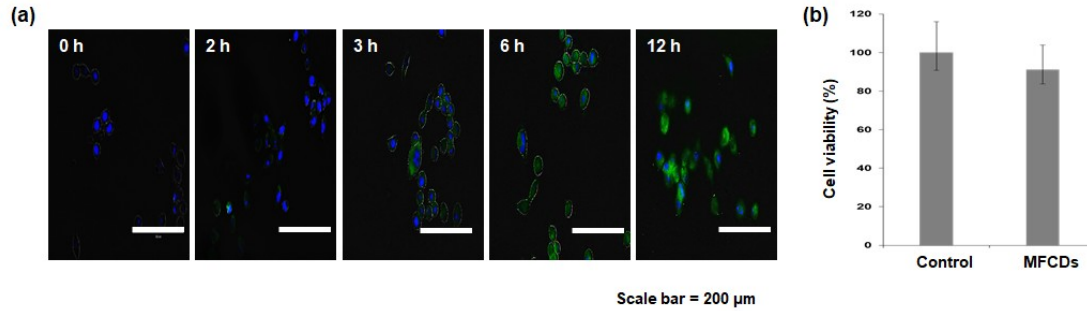


그림 19. γ -MFCDs, g-MFCDs 및 b-MFCDs를 통한 세포 형광 이미징

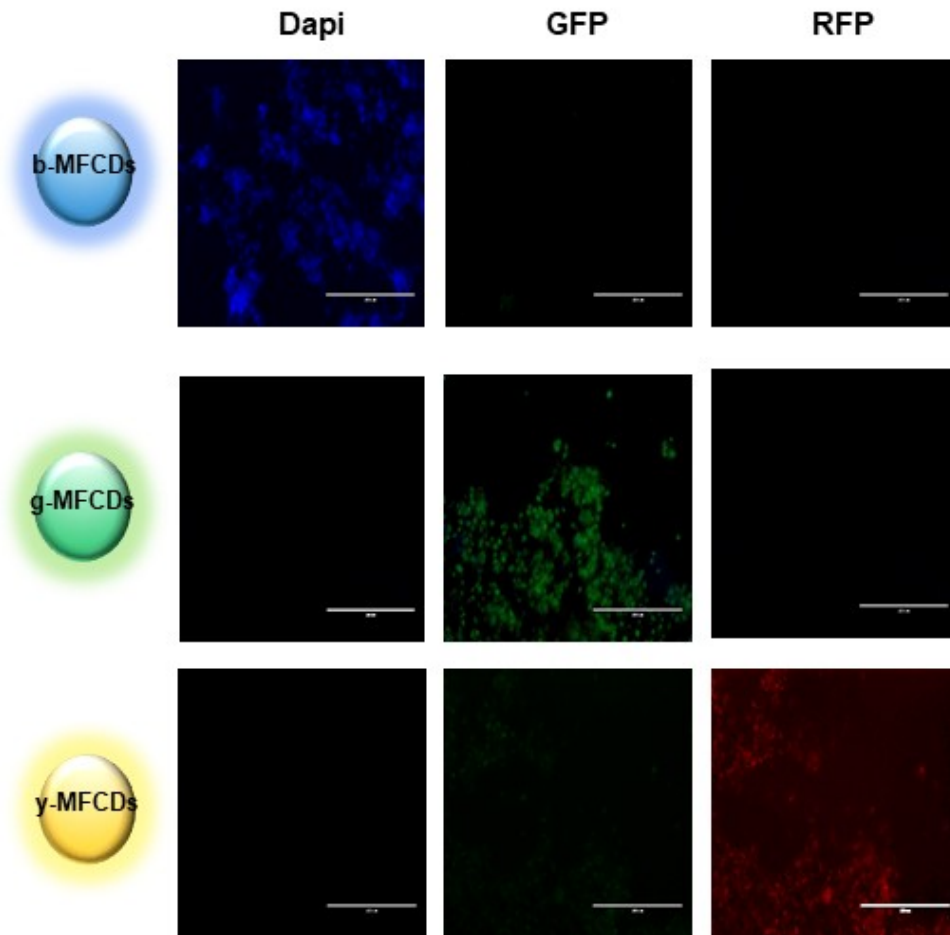
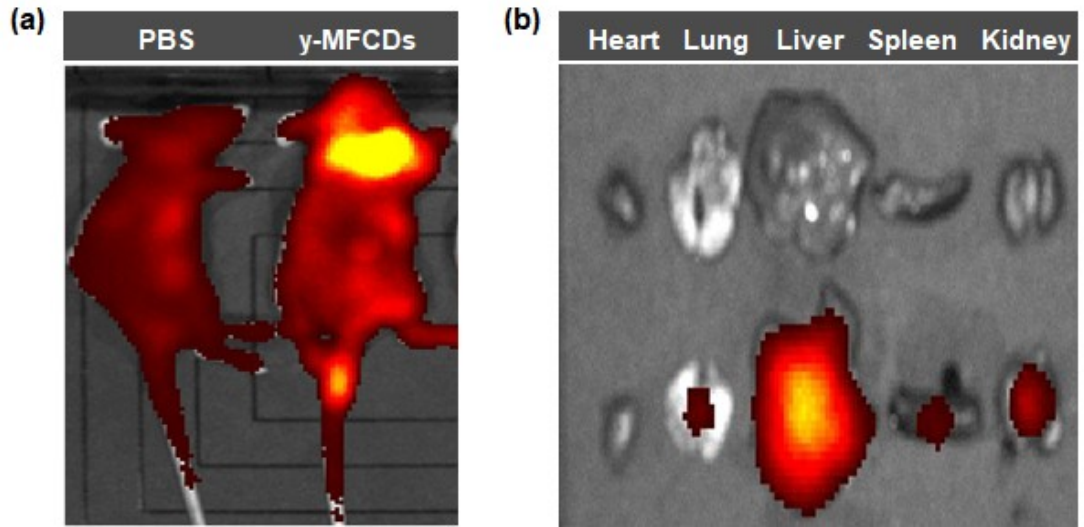


그림 20. (a) 인산완충생리식염수(PBS) 및 γ -MFCDs가 정맥 주사된 balb/c nude 쥐의 형광 사진 및 (b) 부검 후 형광 사진



① 통한 현재 및 미래 사회의 인명사고 문제 예측 및 해결방안 도출
 실생활 데이터 기반 인공지능 기반 비전 카메라 영상 융합 기술 연구

② 융합 모사 접합 고분자 기반 차세대 탄소양자점의 개발 및 응용

IV 결론

MFCDs는 융합 모사 접합 고분자 기반 다기능 차세대 탄소 양자점으로, 친환경 제조 공정, 우수한 광 안정성 및 높은 양자 수율과 형광수명을 가질 뿐만 아니라 기존의 탄소 양자점과 비교하여 균일한 입자 크기와 형태를 가지며 친핵성 단량체의 농도 조절을 통한 다양한 형광 파장의 색 구현이 가능하다. 또한 MFCDs는 반도체 기판 및 소재에 높은 흡착·코팅 능력을 보이며 흡착 후 비 발광성 반도체 소재에 발광 기능을 부여할 수 있고, 높은 생체적합성 및 발광 특성으로 인해 세포 및 생체 내 형광을 통한 바이오이미징 기능을 수행할 수 있다. 결론적으로 MFCDs는 탄소 양자점의 고유의 형광 특성과 융합의 높은 흡착 기능을 동시에 갖는 친환경 유기물 기반의 탄소 나노 발광 소재로써 반도체, 바이오이미징, 생체 재료, 센서 등 다양한 분야에서 활용이 가능할 것으로 기대되며, 더 나아가 첨단 하이브리드 소재로써 금속 양자점을 보완할 수 있는 차세대 첨단 소재로 전망된다.

저자_ 이경관(Kyung Kwan Lee)

• 학력

경희대학교 나노의약생명과학과 박사과정 재학 중

• 경력

現) 한국생명공학연구원 학연학생

참고문헌

〈국외문헌〉

- 1) T.-H. Kim, D.-Y. Chung, J. Ku, I. Song, S. Sul, D.-H. Kim, K.-S. Cho, et al., (2013). Heterogeneous stacking of nanodot monolayers by dry pick-and-place transfer and its applications in quantum dot light-emitting diodes. *Nat. Commun.*, 4, 2637.
- 2) T.-H. Kim, K. -S. Cho, E. K. Lee, S. J. Lee, J. Chae, J. W. Kim, D. H. Kim, et al., (2011). Full-colour quantum dot displays fabricated by transfer printing *Nat. Photon.* 5, 176-182.
- 3) Tanya S. Hauck, Robin E. Anderson, Hans C. Fischer, Susan Newbigging, Warren C. W. Chan. (2010). In vivo Quantum-Dot Toxicity Assessment *Small*, 6(1), 138-144.
- 4) Sandra J. Rosenthal, Jerry C. Chang, Oleg Kovtun, James R. McBride and Ian D. Tomlinson. (2013) Biocompatible Quantum Dots for Biological Applications. *Chem Biol*, 18(1) 10-24.
- 5) Elizabeth Q Contreras, Minjung Cho, Huiguang Zhu, Hema L Puppala, Gabriela Escalera, Weivwei Zhong, Vicki L Colvin. (2012). Toxicity of Quantum Dots and Cadmium Salt to *Caenorhabditis elegans* after Multigenerational Exposure. *Environ Sci Technol*, 47(2), 1148-54.
- 6) X. Xu, R. Ray, Y. Gu, J. Ploehn, L. Geaheart, K. Raker and W. Scrivens. (2004). Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments. *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 12736.
- 7) R. Wang, K. Q. Lu, Z. R. Tang, and Y. J. Xu. (2017). Recent progress in carbon quantum dots: synthesis, properties and applications in photocatalysis. *J. Mater. Chem. A.*, 5, 3717.
- 8) J. Zhang and S. H. Yu. (2016). Carbon dots: large-scale synthesis, sensing and bioimaging. *Material Today*, 19, 382.
- 9) S. Y. Lim, W. Shen, and Z. Gao. (2015). Carbon quantum dots and their applications. *Chem. Soc. Rev.*, 44, 362.
- 10) Y. Wang and A. Hu, *J. Mater.* (2014). Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications *Chem. C.*, 2, 6921.
- 11) O. S. Wolfbeis. (2015). An overview of nanoparticles commonly used in fluorescent bioimaging. *Soc. Rev.*, 44, 4743.
- 12) Hongcai Gao, Yimin Sun, Jiajing Zhou, Rong Xu and Hongwei Duan. (2013). Mussel-Inspired Synthesis of Polydopamine-Functionalized Graphene Hydrogel as Reusable Adsorbents for Water Purification. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5(2), 425-432.
- 13) Yanlan Liu, Kelong A, and Lehui Lu. (2014). Polydopamine and Its Derivative Materials: Synthesis and Promising Applications in Energy, Environmental, and Biomedical Fields. *Chem. Rev.*, 114(9), 5057-5115.

- 14) Islam Zmerli, Jean-Philippe and Ali Makky. (2020). Bioinspired polydopamine nanoparticles: synthesis, nanomechanical properties, and efficient PEGylation strategy. *J. Mater. Chem.*, 2020(8), 4489–4504.
- 15) Fuyao Liu, Xiuxia He, Junping Zhang, Hongda Chen, Huimao Zhang and Zhenxin Wang. (2015). Controllable synthesis of polydopamine nanoparticles in microemulsions with pH-activatable properties for cancer detection and treatment. *J. Mater. Chem. B*, 3, 6731–6739.
- 16) Monoj Kumar, Barman and Amitava Patra. (2018). Current status and prospects on chemical structure driven photoluminescence behaviour of carbon dots. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 37, 1–22.
- 17) Xiaoming Li, Shengli Zhang, Sergei A. Kulinich, Yanli Liu and Haibo Zeng. (2014). Engineering surface states of carbon dots to achieve controllable luminescence for solid-luminescent composites and sensitive Be²⁺ detection. *Scientific Reports*, 4, 4976.

〈기타문헌〉

- 1) S&T Market Research, 34, 2015
- 2) <https://drjaydavidson.com/heavy-metals-shield-lyme/>
- 3) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/small.201402648>