

차종 분류 딥러닝 모델을 이용한 교량의 하중 이력 획득 기술



배숙경

서울시립대학교
토목공학과
학사과정



정우영

서울시립대학교
토목공학과
학사과정



최수현

서울시립대학교
토목공학과
학사과정



김병현

서울시립대학교
토목공학과
박사과정



조수진

서울시립대학교
토목공학과
부교수

연구 필요성 및 개요

❖ 차량 하중 이력 데이터의 중요성



- ✓ 차량 하중은 교량의 열화를 일으키는 가장 중요한 요인
- ✓ 기존 차량 검지 시스템
 - 루프 검지기: 통행하는 차량의 수를 계산
 - WiM: 통행하는 차량의 수와 하중을 계산
- ✓ 기존 차량 검지 시스템의 한계
 - 높은 설치 및 유지관리 비용
 - 차선 별로 설치: 다수차선 검지 시 다수의 시스템 설치



연구 필요성 및 개요

❖ 영상 기반 차량 검지 기술 및 딥러닝 기술의 발달

- CCTV와 같은 카메라는 비접촉식으로 차량을 탐지할 수 있는 최적의 기술
- 2000년대 들어서 영상처리 기술이 기하급수적으로 발전
- 현재 영상 기반 차량 검지기가 설치되어 다수 운용 중: 좁은 영역에서 탐지하는데 활용

❖ 딥러닝 기술의 발달

- 최근 들어 깊은(Deep) 인공신경망을 학습하여 활용하는 딥러닝 기술이 혁신적으로 발전됨
- Convolutional Neural Network(CNN)을 이용하여 영상 기반 딥러닝 모델 개발 가능
 - - 물체 분류 모델, 물체 탐지 모델, 물체 세분화 모델 등
- 딥러닝 기술을 활용함으로써, 영상 내 객체(Object)를 높은 정확도로 자동 탐지할 수 있음

연구 목표

❖ CCTV 영상과 딥러닝을 이용한 교량 하중 이력 획득 기술 개발

(1) 하중에 따른 차종 분류 및 평균 하중 산출

- 하중이 유사한 차량을 단일 차종으로 분류하고, 각 차종의 평균하중을 교량 하중 이력 산출에 활용

(2) 딥러닝 모델을 이용한 차량 검지 기술 개발

- 기 설치된 CCTV 영상을 이용한 비접촉식 차량 탐지
- 딥러닝 모델을 이용한 자동화된 차량(차종) 탐지

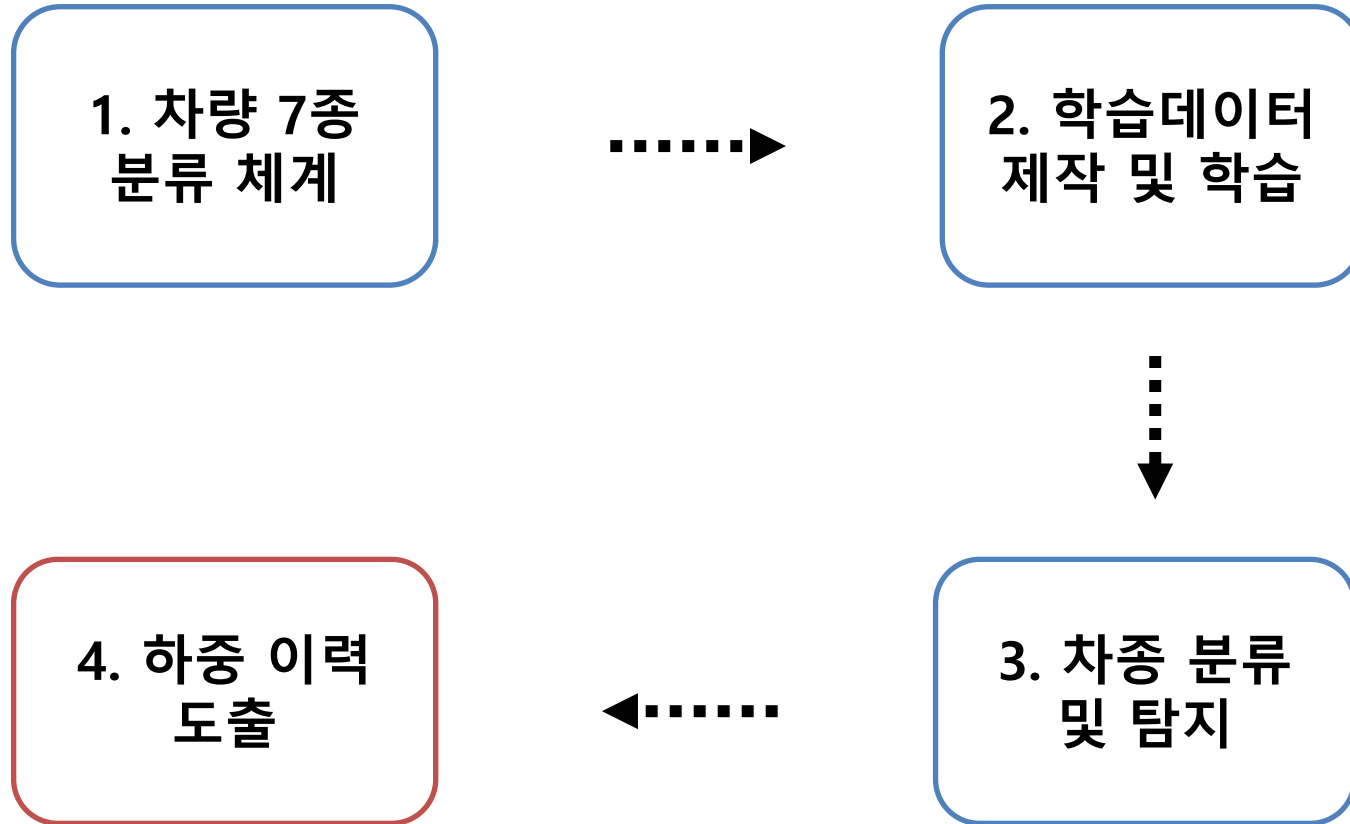
(3) 탐지된 차량에 평균하중을 적용한 교량 하중 이력 획득 기술 개발

- 영상에서 탐지된 차종에 평균하중을 적용하여 하중 이력 획득
- 실제 하중을 측정 불필요



딥러닝 기술이 적용된 1대의 카메라로
각종 차량 정보를 확보

연구 내용



차종에 따른 하중 통계 모델 구축: 7종 분류 체계

12종 차종분류 사진표



- 1~3종 일반적으로 가장 많이 보이는 차종
- 4~12종은 보기 드물고, 트럭의 최대 공차중량은 15톤을 넘어가지 않음
- 7~12종은 평균공차중량을 15톤으로 가정하여도 무방
- 교량 통행이 가능한 하중의 허용 범위 내에서 차종 분류

- 기존 국내 12차종 분류법은 종에 따른 하중 차이가 크지 않음
- 기존 12차종 분류 보다는 하중에 근거한 새로운 분류체계를 개발하여 활용하고자 함

7차종의 평균하중 산출

- ✓ 차종별 하중 분포도 '부록1' 참조
- ✓ 차종별 평균 공차중량 계산 '부록2' 참조

❖ 평균하중 = 공차중량 + 추가하중

차종	평균 공차중량	추가 하중	평균하중
경차	900 kg	130 kg	1,030 kg
승용차+다마스	1,450 kg	130 kg	1,580 kg
SUV+승합차	1,750 kg	130 kg	1,880 kg
버스	14,000 kg	1,300 kg	15,300 kg
트럭 소형	1,900 kg	750 kg	2,650 kg
트럭 중형	3,950 kg	8,500 kg	6,500 kg
트럭 대형	11,900 kg	7,200 kg	19,100 kg

❖ 추가 하중 계산시 가정사항

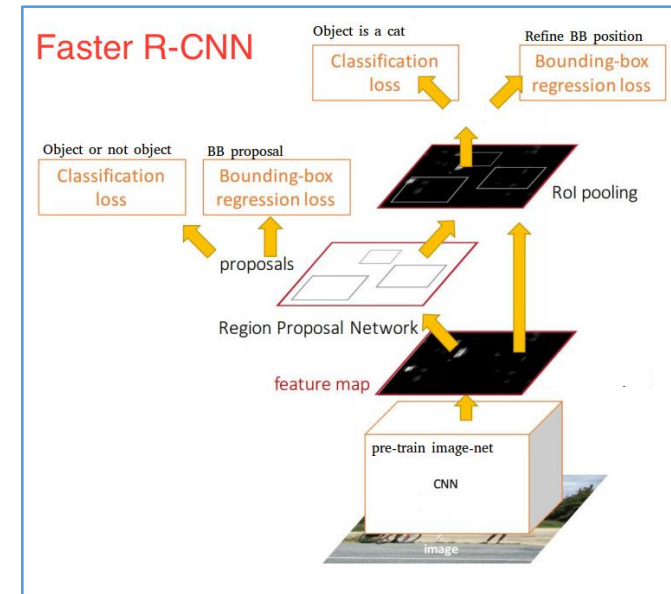
- 경차, 승용차+다마스, SUV+승합차 : 승차 인원 성인 2명(65kg*2)
- 버스 : 승차 인원 성인 20명 (65kg*20)
- 트럭 : 최대적재중량 1/2

- ✓ 2013년_제_09권_자동차_이용실태조사 참고
- ✓ 제작자동차 인증 및 검사 방법과 절차 등에 관한 규정 제 2조

하중 탐지용 딥러닝 모델

❖ Faster R-CNN

- 단 하나의 CNN을 사용하여 물체가 존재할 가능성이 있는 영역(ROI)을 찾고 객체 클래스 예측 및 객체의 위치를 탐지 ->R-CNN의 개선 모델
- 이미지 속 여러 사물을 한꺼번에 분류, 데이터 학습에 따라 겹친 사물도 정확하게 분류할 수 있음
- 차종 분류 및 위치 탐지를 위하여 Faster R-CNN 모델 선정
- Matlab 2019a Deep Learning Toolbox에 내장된 Faster R-CNN 모델 사용



<Faster R-CNN 개념도>

CCTV 데이터 획득

- 서울지방경찰청 종합교통정보센터에서 제공하는 CCTV 영상 이용
- 모든 CCTV 마다 화각이 다름
-> 모델의 상용화를 위해서
최대한 다양한 화각의 CCTV 영상 확보
- 영동대교 남단, 가양대교 남단, 세검정, 우면교, 구리시계, 월릉교, 연희램프, 한강대교 북단, 성신여대 입구, 예일여고 총 10가지의 CCTV 영상 확보
- 딥러닝 모델의 성능 검증을 위해 새로운 화각의 CCTV 영상으로 Test 진행
- CCTV 선정시 고려사항
 - 고화질
 - 지속적으로 데이터를 획득할 수 있는 교량



예일여고 CCTV 영상

학습용 CCTV 데이터 획득

학습데이터에 사용된 CCTV 영상



영동대교 남단



가양대교 남단



세검정



우면교



구리시계



월릉교



연희램프



한강대교 북단



성신여대 입구

Test bed CCTV 데이터 획득



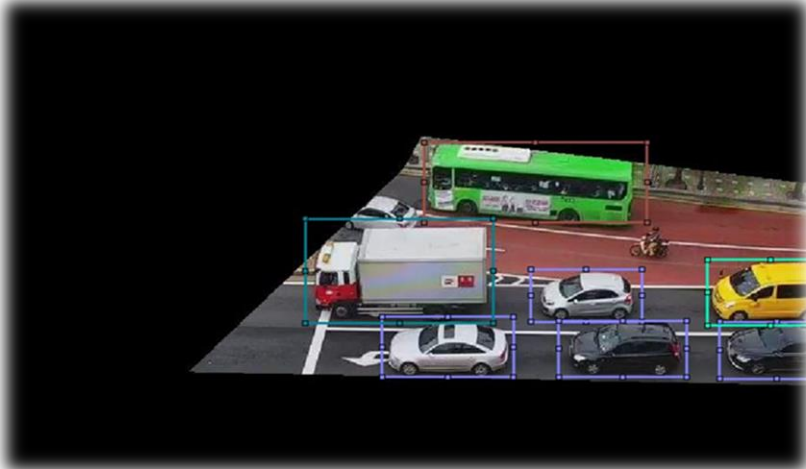
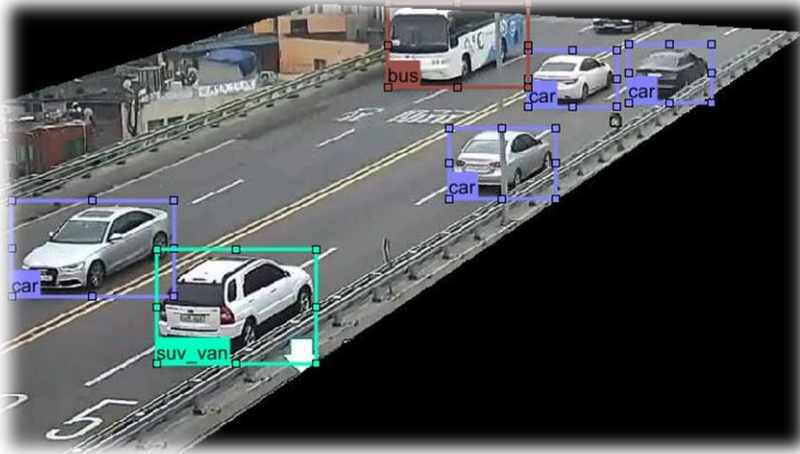
서울시 양천구 목동교
공개 CCTV 영상 선정

❖ 대상 CCTV 선정 이유

- 고화질: 1,280X720 (pixel)
- 교량 통행 차량을 쉽게 식별 가능
- 교량 통행 차종의 다양성 확보

차량 학습데이터 제작

❖ 학습 이미지 Labelling 예시 (MATLAB image labeler 사용)



차종	Labelling 개수
경차	282
승용차+다마스	2,712
SUV+승합차	1,355
버스	203
트럭 소형	1,976
트럭 중형	628
트럭 대형	536
총 합	7,692

<학습 이미지 2,455장에 대한 차종 별 Labelling 개수>

차량 학습데이터 제작

❖ '트럭' 학습데이터의 불균형 문제 해소(Data Imbalance)

- 트럭의 수가 상대적으로 부족
 - > 추가적인 학습데이터 구축을 위해 CCTV 영상에서 트럭만 아래의 2번째 사진과 같이 수집함
 - > 한국상용트럭 DB에서도 트럭 사진 수집
- 빈 도로에 트럭 사진을 합성하는 코딩 사용



CCTV 영상 속 빈 도로 사진



트럭 소형, 중형, 대형 사진 수집

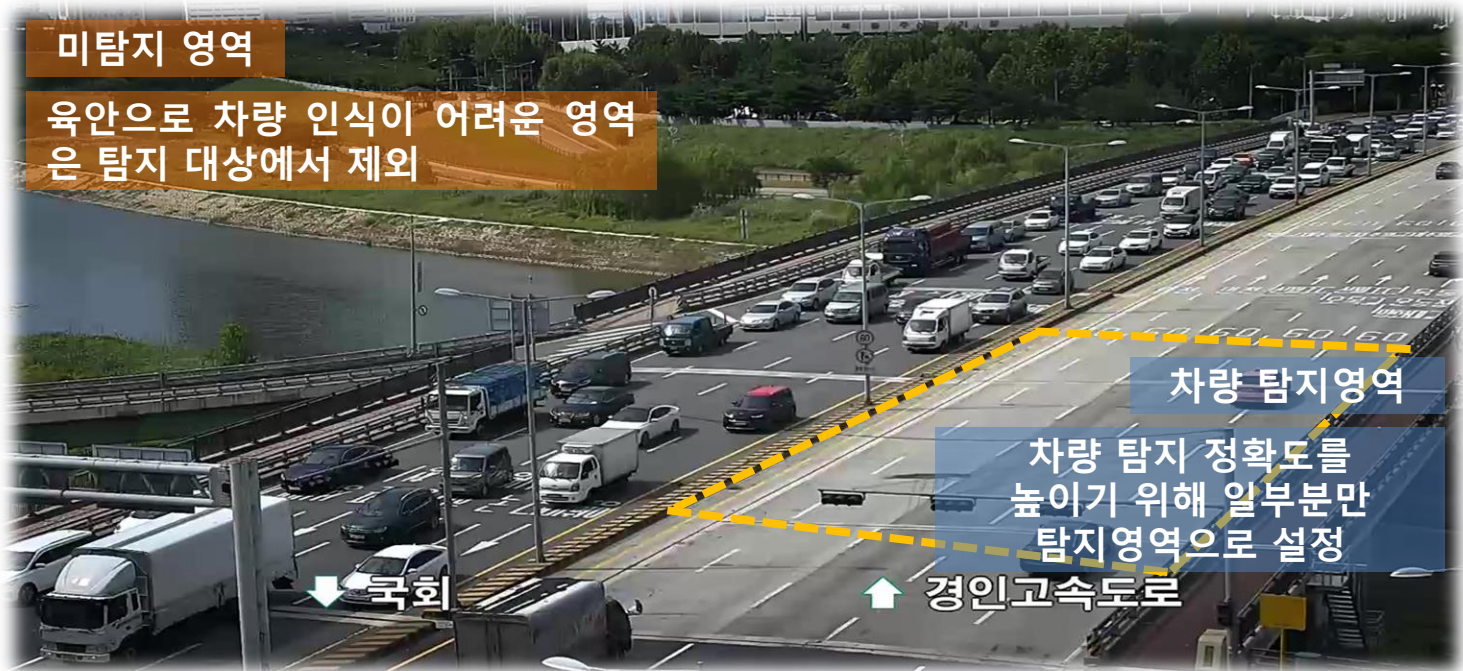


새로운 '트럭' 학습데이터

차량 탐지 Test

❖ 딥러닝 모델을 이용한 차량 탐지

- 매크로를 이용한 목동교 CCTV 영상 수집
- 딥러닝 학습에 사용되지 않은 새로운 CCTV 영상으로 차량 탐지 Test 진행



목동교 교통 CCTV 영상
<서울지방경찰청 종합교통정보센터 제공>

차종 분류 딥러닝 모델 학습

❖ 딥러닝 학습 옵션 (Training Options)

- SGDM
- MiniBatchSize: 4
- MaxEpochs: 20
- Learning Rate: 0.001

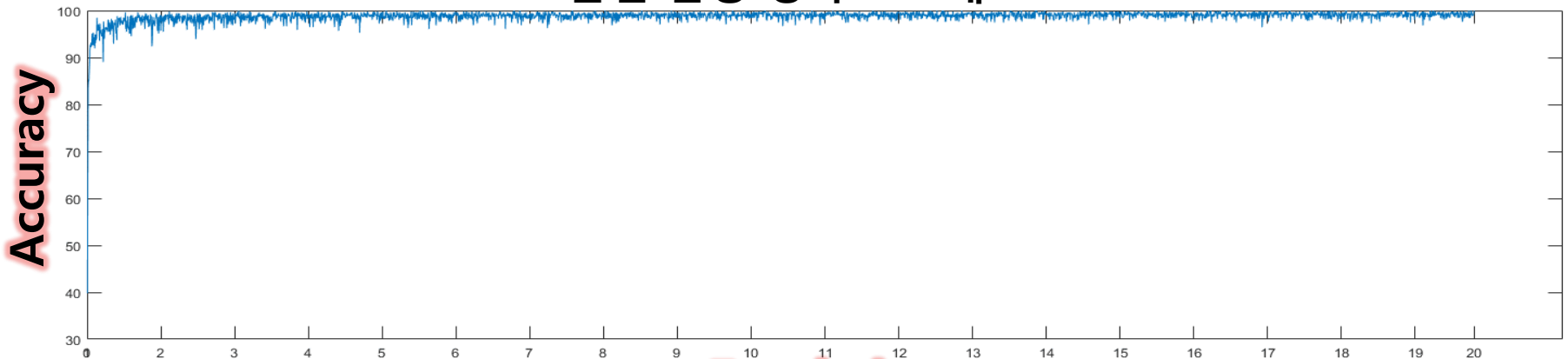
❖ 학습용 컴퓨터 기본 사양

- Intel i5-7400 CPU
- RAM 16GB
- 그래픽카드 RTX 2080Ti 11GB

❖ 학습시간

- 4시간 소요

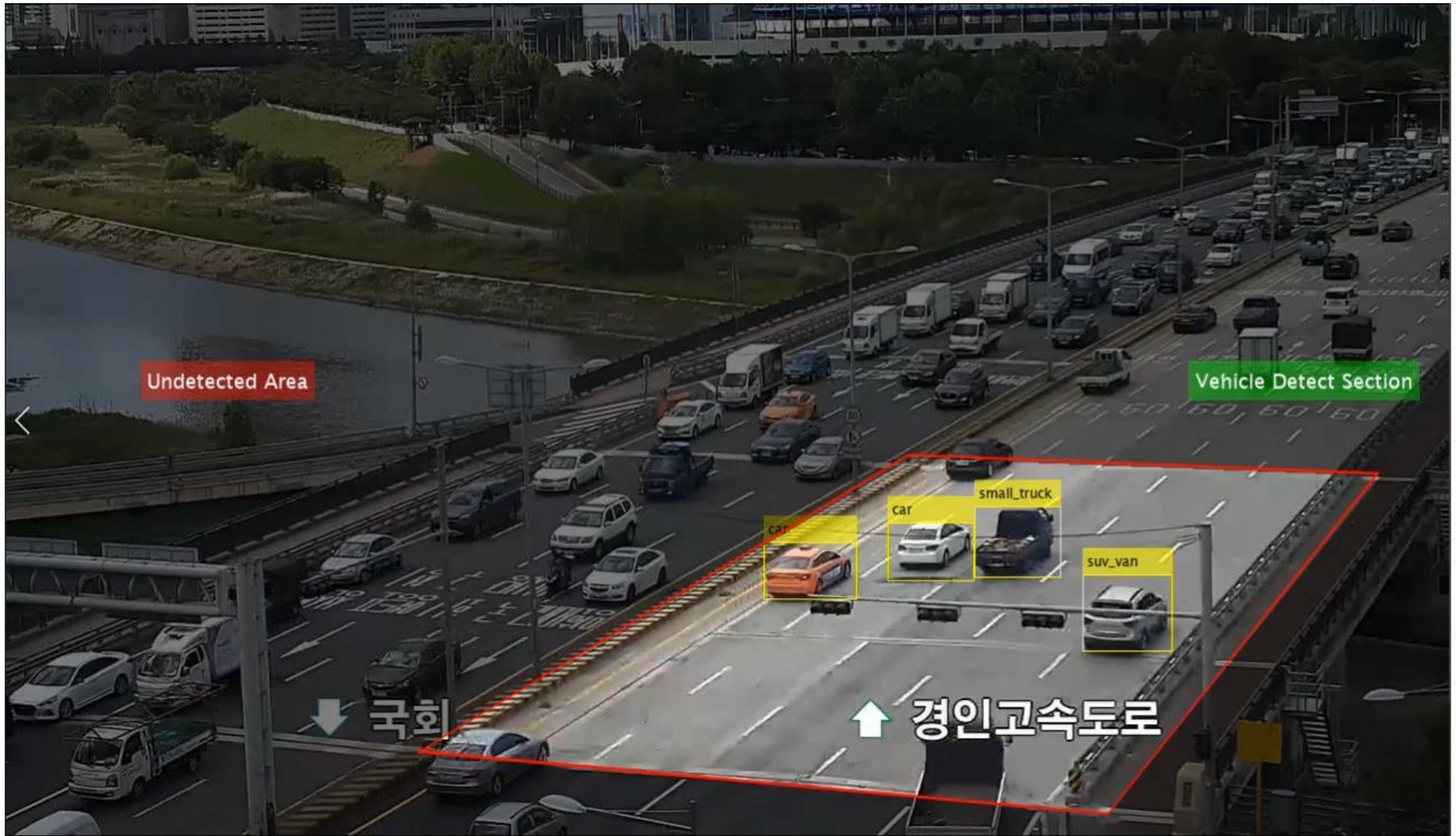
<훈련 진행 정확도 그래프>



Epoch 수

※epoch: 전체 데이터에 대해 한 번 학습을 완료한 상태

차종 분류 딥러닝 모델 차량 탐지 예시 1



차종 분류 딥러닝 모델 차량 탐지 예시 2



차종 분류 딥러닝 모델 차량 탐지 예시 3



차종 분류 딥러닝 모델 차량 탐지 오류 예시

다마스를 탐지 못하는 경우



하나의 차량을 다중 탐지한 경우



승용차를 SUV로 오탐지한 경우



트럭소형을 SUV+승합차로 오탐지한 경우



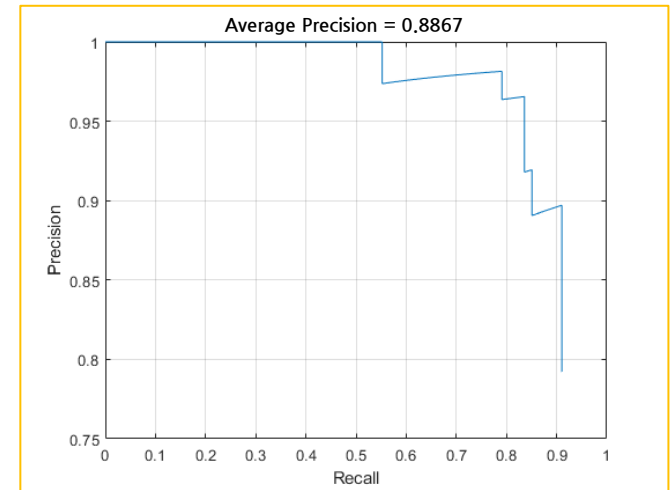
차종 분류 딥러닝 모델 정확도 검증

❖ mAP(Mean Average Precision): object detection 성능평가 지표
 의 한 방법으로 각 객체의 클래스 별 AP값을 산출한 후 평균한 값

<차종별 AP(average precision)값 확인>	
경차	0.6555
승용차+다마스	0.8278
SUV+승합차	0.8510
버스	1.0000
트럭 소형	0.9665
트럭 중형	0.9500
트럭 대형	0.9565
mAP	0.8867

✓ 일반적으로, mAP 값이 0.75이상일 때 정확도가 높다. 따라서, 차종 분류 딥러닝 모델의 정확도가 높다고 얘기할 수 있다.

Precision-Recall 곡선의 면적
 =클래스 별 AP



➤ $Precision = \frac{true\ positive}{all\ detections}$

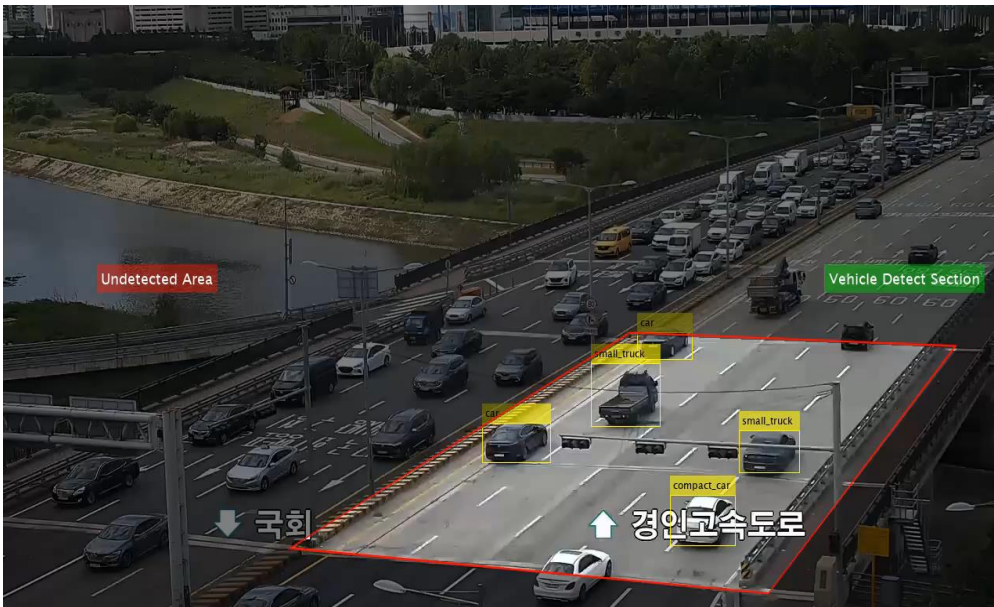
➤ $Recall = \frac{true\ positive}{all\ ground\ truths}$

교량 통행 차량 하중 이력 획득

❖ 하중 이력 획득 대상

- 목동교 CCTV에서 촬영된 15분 동안의 영상 이용
 - ✓ 4초당 1프레임 획득 (동일차량 하중 중복 계산 방지)
- 총 247장 사진 데이터 구축
 - ✓ 925 개의 차량 탐지

< 15분 동안 목동교를 통행한 차종당 차량 탐지 대수 >



차종	탐지 대수(대)
경차	81
승용차+다마스	330
SUV+승합차	327
버스	7
트럭 소형	162
트럭 중형	5
트럭 대형	13
총 합	925

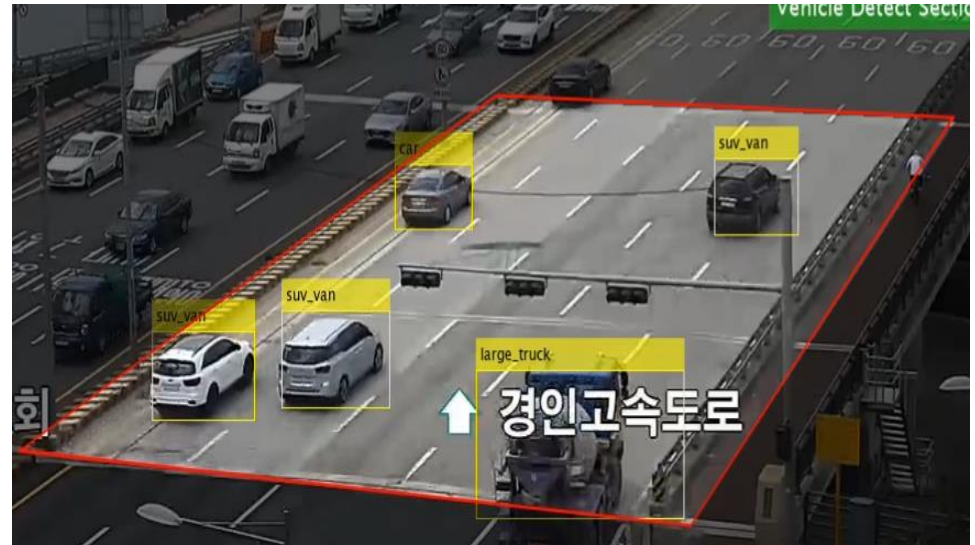
교량 통행 차량 하중 이력 획득

❖ 차종별 평균하중 참조

<차종별 평균하중 계산법>

차종	평균 공차중량	추가 하중	평균 하중
경차	900 kg	130 kg	1,030 kg
승용차+다마스	1,450 kg	130 kg	1,580 kg
SUV+승합차	1,750 kg	130 kg	1,880 kg
버스	14,000 kg	1,300 kg	15,300 kg
트럭 소형	1,900 kg	750 kg	2,650 kg
트럭 중형	3,950 kg	8,500 kg	6,500 kg
트럭 대형	11,900 kg	7,200 kg	19,100 kg

❖ 차량 하중 산출 방식 예시



✓ 승용차 1대 + SUV, 승합차 3대 + 트럭 대형 1대

$$= 1,580\text{kg} + 1,880\text{kg} \times 3 + 19,100\text{ kg}$$

$$= \underline{26,320\text{ kg}} \text{ 으로 산출}$$

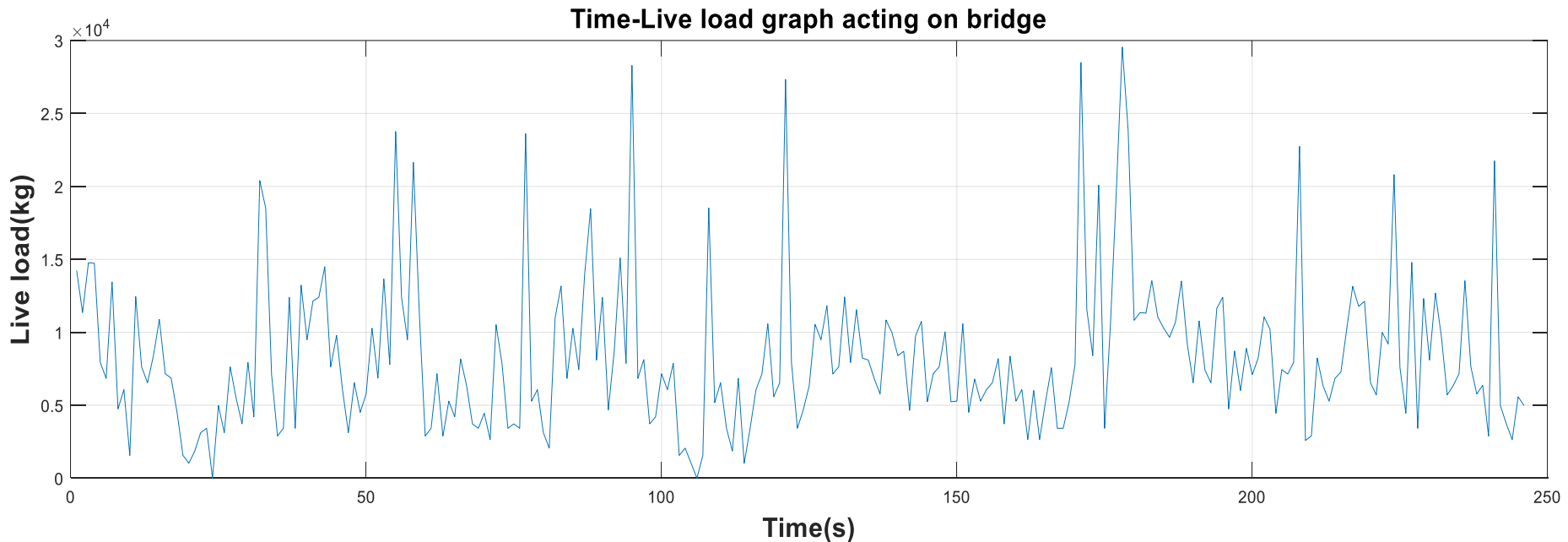
차종 분류 딥러닝 모델 정확도 검증

< 247장 검증 데이터에 대한 차량 탐지 결과 >

		실제 차종의 수						총합	
		경차	승용차+ 다마스	SUV+ 승합차	버스	트럭 소형	트럭 중형		트럭 대형
탐 지 된 결 과	경차	44	20	15		1	1	81	
	승용차+ 다마스	3	303	18		6		330	
	SUV+ 승합차	8	51	255		11	1	1	327
	버스				3		3	1	7
	트럭 소형	3	9	7		130	11	2	162
	트럭 중형						5		5
	트럭 대형					1	3	9	13
	차량 미탐지		5	2		3			10
실제 차량의 수		58	388	297	3	152	24	13	935

교량 통행 차량 하중 이력 획득

< 15분 동안 목동교를 통행한 차량의 하중 이력 그래프 >



- 시간에 따른 교량 통행 차량 하중 이력 구체적 획득
- 교량에 가해지는 복잡한 하중 패턴을 분석할 수 있는 시작점



결론 및 제언

- 본 연구에서는 교량 상부에 기설치된 CCTV의 영상과 딥러닝 모델을 이용하여 교량을 통행하는 하중 이력을 획득하기 위한 방법을 제시하였음
- 국내 60개 차종에 대한 하중 분석을 통해 하중에 따른 7차종 모델을 제시하고, 가정을 통해 각 차종별 평균하중을 제시함
- 2,455장 이미지(7,692개 객체)를 이용하여 학습한 Faster R-CNN 모델을 247장의 이미지에 적용한 결과, 높은 mAP를 얻음
 - ✓ Data Imbalance로 인해, 경차와 대형 트럭의 경우 탐지 정확도가 다소 낮게 나타남
- 목동교 CCTV에서 15분 동안의 영상을 이용하여 하중 이력 곡선을 획득하였음
- 추후 다음과 같은 내용에 대한 추가적 연구를 수행할 예정임
 - ✓ 정차 또는 저속주행하는 차량을 배제하여 정확한 하중 이력 도출
 - ✓ 교량 하중 이력의 빅데이터화: 교량 유지관리에 접목하기 위한 방안 연구

부록1: 하중에 따른 7차종 분류 체계

❖60여 가지 차종 중 일부 발취

	차량	최소중량	최대중량
경차	레이	1,030 kg	1,045 kg
	모닝	890 kg	960 kg
	스파크	900 kg	910 kg
승용차 + 다마스	다마스	865 kg	905 kg
	K3	1,235 kg	1,260 kg
	쏘나타	1,405 kg	1,475 kg
	SM6	1,405 kg	1,470 kg
	그랜저	1,575 kg	1,670 kg
SUV + 승합차	QM6	1,575 kg	1,610 kg
	팰리세이드	1,880 kg	2,030 kg
	카니발	2,125 kg	2,195 kg
	스타렉스	2,250 kg	2,435 kg
트럭 소형	포터2	1,795 kg	1,955 kg
	봉고3	1,690 kg	1,845 kg
트럭 중형	카고트럭(현대)	7,550kg	8,500kg
	메가트럭(현대)	7,200kg	8,450kg
트럭 대형	덤프트럭(대우)	11,020 kg	11,020 kg
	덤프트럭(쌍용)	11,930 kg	11,930 kg
	레미콘(대우)	11,340 kg	11,340 kg
	레미콘(삼성)	11,390 kg	11,390 kg
	녹색 시내버스	9,600 kg	11,500 kg
버스	청색 저상버스	12,000 kg	15,300 kg
	우등고속, 관광버스	13,200 kg	15,100 kg

부록2: 차종별 평균 공차중량 계산

❖ 7가지 차종 분류체계 개발

차종	최소중량	최대중량	평균 공차중량
경차	735 kg	1,045 kg	900 kg
승용차 + 다마스	1,150 kg	1,930 kg	1,450 kg
SUV + 승합차	1,155 kg	2,435 kg	1,750 kg
버스	9,600 kg	15,300 kg	14,000 kg
트럭 소형	1,795 kg	1,955 kg	1,900 kg
트럭 중형	3,950 kg	8,500 kg	6,500 kg
트럭 대형	11,340 kg	12,570 kg	11,900 kg

100TH
ANNIVERSARY
1918-2018

Thank you for your attention

