

고성능 카메라를 이용한 철도차량 주행장치용 고속스캐닝시스템 알고리즘에 관한 연구

허성범* · 이희성**†

Study on Algorithm of High-Speed Scanning System for Railway Vehicle Running Units Using High Performance Camera

Sung Bum Huh* · Hi Sung Lee**†

†Corresponding Author

Hi Sung Lee

Tel : +82-970-6877

E-mail : hslee@seoultech.ac.kr

Received : August 4, 2020

Revised : August 13, 2020

Accepted : August 20, 2020

Copyright©2020 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : It is necessary to apply a non-contact high-speed scanning system that can measure in real time in order to prevent the dropping and deformation of the main parts of railway vehicles during high-speed running. Recently, research on a scanning system that detects the deformation state of main parts from a video image taken using a high-performance camera has been actively pursued. In this study, we researched an analysis algorithm of a high-speed scanning system that uses a high-performance camera to monitor the deformation and drop-out state of the main components of the running units equipment in real time.

Key Words : high-speed scanning system, high speed train maintenance, high-speed camera, vision algorithm

1. 서론

고속철도(KTX)를 안전하게 운용하기 위해서는 차량 유지보수가 중요한 역할을 차지하게 되었다. 특히 고속 주행시 차량 하부장치의 탈락은 중대사고 발생 원인이 될 수 있어 주요부품의 탈락 유·무 상태를 실시간 검지하여 차량 고장과 이상 발생 시 유지보수에 활용할 수 있는 검수장비 개발이 필요하게 되었다. 차량 하부장치의 주요부품은 전자부품의 사용 증가, 대형 모듈화로 컴퓨터를 활용한 고장 추적과 분석기술로 발전되고 있고, 육안검사, 외관상태 확인, 소모품 교환 업무와 같은 3D 업무 방법은 최근 도입된 전동차에 적용할 유지보수 방식에는 적합하지 않다¹⁾. 최근 철도차량 유지보수를 시행하기 위하여 고성능 카메라와 센서를 활용한 비접촉식 비전시스템이 도입되고 있다²⁾. 고속차량 주행 중 실시간 측정데이터, 고장데이터를 활용하여 빅데이터 기반으로 정확한 유지보수와 예방정비 기술개발이 되고 있다²⁾.

철도차량 주행 중 하부장치의 고장 유·무를 스캐닝 하는 시스템으로는 적외선카메라(Infrared Camera)를 활용하여 견인전동기(TM)의 실시간 이상 상태를 검지하는 “이상발열검사시스템³⁾”과 하이비전 고속카메라를 적용하여 차량의 형상을 검사하는 “차륜형상측정장치⁴⁾”, 적외선 온도계를 활용하여 주행중인 차량 하부장치의 이상발열 상태를 검지하는 “이상검지장치⁵⁾” 등이 연구, 개발되어 활용되고 있다. 차륜형상측정장치는 차량기지에 입고하는 차량을 대상으로 적용된 시스템으로 측정속도는 25 km/h이하에서 차륜직경, 플랜지 두께/높이, 선단치수, 내측거리 등을 자동 측정하는 시스템이 운영되고 있다. 고속스캐닝시스템은 고속차량 영업선에 설치되어 운영하는 시스템으로 주행하는 차량을 고속스캐닝하여 부품의 탈락 여·부를 실시간 검지하기 위해 대상 차량의 주행속도에 적합하도록 설계되었다.

본 연구에서는 고속철도 차량 고속 주행시 고성능

*서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과 박사과정 (Department of Rolling Stock System, Seoul National University of Science & Technology)

**서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과 교수 (Department of Rolling Stock System, Seoul National University of Science & Technology)

카메라를 이용하여 차량 하부장치, 대차, 제동장치, 견인장치 관련 부품과 측면부의 차축베어링, 댐퍼류 등을 대상으로 탈락 여·부를 자동으로 검지하기 위한 비접촉식 고속스캐닝시스템 알고리즘 연구를 하였다.

2. 고속스캐닝시스템 구성과 알고리즘 분석

2.1 시스템 구성

고속스캐닝시스템은 영업선에서 주행 중인 고속열차의 하부와 측면부 중요부품 탈락 여·부를 실시간 측정하는 비접촉식 시스템이다.

대상 차량은 고속차량 KTX, KTX-산천, SRT 차량으로 시스템 성능은 주행속도 110 Km/h이하에서 100 mm² 이상의 물체 인식이 가능한 시스템으로 설계하였다. 고성능 카메라 기술을 적용하여 고속차량 하부와 측면부에 취부된 주요부품의 스캐닝 영상데이터를 활용하여 부품 탈락 여·부 검지하기 위하여 영상 비전처리 알고리즘과 기계학습(Deep Learning) 알고리즘을 적용하였다⁶⁻¹¹⁾.

고속스캐닝시스템은 고속카메라(Line scan camera, Resolution 2048 pixels, Line Rate 51 kHz), 고성능 LED 조명(1000 W, 발기 조절 가능), 센서 기술을 적용한 시스템으로 Fig. 1 같이 설치된다.

고속스캐닝시스템은 KORAIL 하행선 고속철도 영업선으로 대전역 플랫폼 400 m이전 설치하였다. 고속스캐닝시스템이 설치된 구간에서 대전역 플랫폼에 진입하는 차량속도는 110 km/h이하로 차량의 하부와 측면

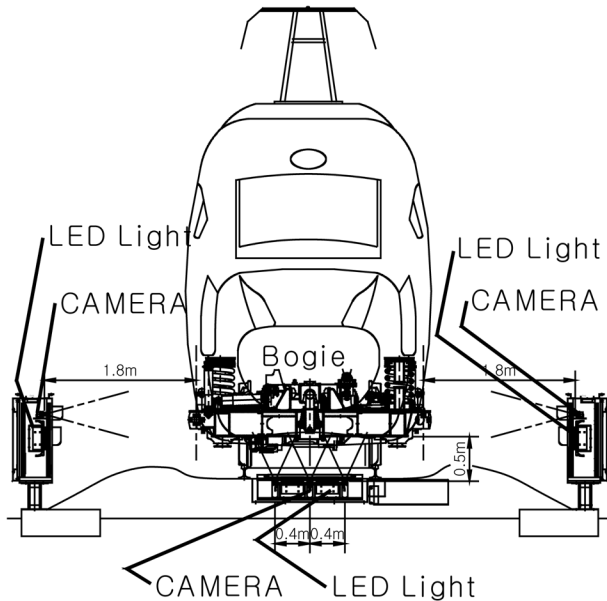


Fig. 1. Installation of high-speed scanning system.

부의 주요장치를 측정하기 위하여 카메라 측정 모듈을 설치하였다. 궤도 좌/우측 측면에 설치된 카메라 측정 모듈은 고성능 카메라와 LED 조명을 각각 1대씩 설치하였고, 레일 안쪽에 설치된 카메라 측정 모듈은 고성능 고속카메라 3대와 LED 조명 2대를 설치하였다.

고속스캐닝시스템은 Fig. 1과 같이 차량의 고속 주행에 영향 주지 않도록 설치되어야 하며, 시스템 설치 시 차량한계, 건축한계 및 차량의 주행속도, 선로의 조건, 환경적 조건등을 고려하여야 한다.

2.2 프로그램 구성

고속스캐닝시스템은 Fig. 2와 같이 프로그램으로 동작된다. 고속스캐닝시스템이 설치된 구간에서 차량 진입과 진출의 입출력 정보를 이용하여 통과 중인 차량의 하부와 측면부를 고성능 카메라를 이용하여 촬영한다. 촬영된 영상은 차량 원형 이미지와 동일한 형태로 만들기 위하여 영상 병합 후 차량 통과속도에 따른 이미지 보정작업을 진행하고 차량 단위로 분할 저장한다. 차량 단위의 기준 이미지와 촬영 영상을 비교하여 차량 이상을 검출한다. 병합된 이미지는 대차 단위로 분할 저장하고, 대차 단위 기준 영상과 비교 후 대차 이상을 검출한다. 차량별 대차의 영상으로 차량 하부와 측면부의 부품 탈락 여·부를 검지하기 위하여 딥러닝 알고리즘을 적용하였다.

처리된 영상 정보와 XRIOS(eXtender Railroad Operation Information System, KORAIL 차세대철도운영정보시스템)와 연계(차량 운용정보, 열번, 차량번호)하여 데이터베이스에 저장되고, 관리하는 관리프로그램으로 구성된다.

고속스캐닝시스템이 설치된 구간에서 차량 진입하여 탈출시까지 동작 시퀀스는 Fig. 3과 같이 이루어진다.

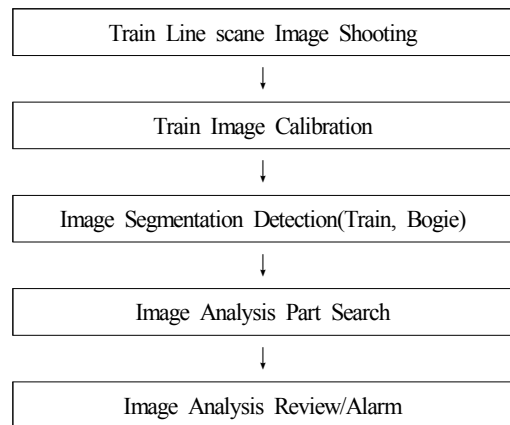


Fig. 2. Structure of high-speed scanning system.

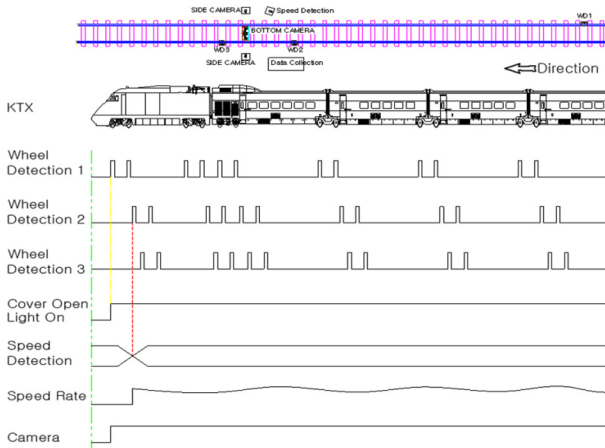


Fig. 3. High-speed scanning system data processing sequence.

(1) 열차진입 대기(WD1, Wheel Detection 1)

차량이 진입하여 차륜검지 센서 WD1을 통과하면 차량 진입을 인지하고 차량 탈출시까지 차륜 검지 신호를 검지하여 고속스캐닝시스템에 정보를 전달한다. 차량 탈출이 완료되면 다음 차량 진입시까지 대기 상태로 동작한다.

(2) 영상데이터 촬영 / 수록(WD2, Wheel Detection 2)

차량이 진입하여 차륜검지 센서 WD1 신호를 검지하면 고속카메라, LED조명, 차량속도 인식장치는 촬영 준비 설정을 진행한다. 차륜검지 센서 WD2가 동작되면 속도센서(Speed Detection)에서 차량 통과속도를 측정한다. 측정된 통과속도는 고속카메라의 트리거 신호로 이용하여 차량 측면과 하부의 측정 영상을 취득한다. 차륜검지 센서 WD2, WD3의 통과시간을 계산하여 차량의 위치에 대한 영상정보를 저장한다. 차량 탈출시까지 영상 촬영을 진행한다.

(3) 영상데이터 촬영 종료(WD3 : Wheel Detection 3)

차륜검지 센서 WD2, WD3의 차륜 검지수가 고속열차 차종별 차륜 검지수(KTX 46개, KTX-TK산천/호남 23개, KTX-산천/호남(중련) 46개)와 비교하여 차량 탈출이 확인되면 영상데이터 촬영을 종료한다.

(4) 편성번호 인식

차륜검지 센서 WD1에 차륜이 검지되면 차량 측면의 번호를 고속으로 촬영하고 영상 이미지 비전처리하여 차량의 편성번호를 데이터베이스로 전송한다.

(5) 영상데이터 처리

차량이 통과하여 탈출 시까지 촬영한 측정 영상은 차량의 원형과 동일한 형태의 영상 이미지 처리를 진행하고 편성별 이미지를 데이터베이스에 저장한다.

(6) 데이터 해석

차륜검지 센서 WD2, WD3의 신호를 이용하여, 영상 데이터를 차차 단위별로 분할한다. 측정된 영상과 이전 영상을 비교하여 차량 하부와 측면부 주요부품의 탈락 유·무 측정결과를 데이터베이스에 저장하고 관리용 서버에 전송한다. 고속스캐닝 측정결과를 관리장치와 차량사업소 관리장치에 표시하고, 차량 하부와 측면부 검사 대상장치가 탈락 검지된 경우 경보를 출력한다.

(7) 차량 진입부터 탈출까지 동작 시퀀스가 종료되면 다음 차량 진입을 대기한다.

촬영 시 차량의 속도가 일정하지 않을 경우 일정한 영상을 얻을 수 없어 정확한 차량 통과속도 측정이 필요하다. Fig. 3과 같이 고속스캐닝시스템은 차량 진입/진출 신호와 속도센서(Speed Detection)를 이용하여 차량의 통과속도를 산출한다. 통과속도는 고속카메라의 측정 타이밍을 제어하여 차량 하부와 측면부 부품의 영상 촬영 데이터를 취득한다. 촬영된 영상은 Fig. 4와 같이 고속카메라로 촬영된 이미지를 차량 원형과 동일한 영상을 만들기 위하여 영상의 크기와 밝기 정보를 고려하여 기하학적으로 변환하고, 영상의 노이즈 제거를 위하여 노이즈 필터링 알고리즘 적용과 부품의 윤곽선을 검출하기 위하여 에지검출 알고리즘을 적용하여 Fig. 4와 같이 차량 원형 영상과 동일 형태가 되도록 영상처리를 하였다^{4,12}.

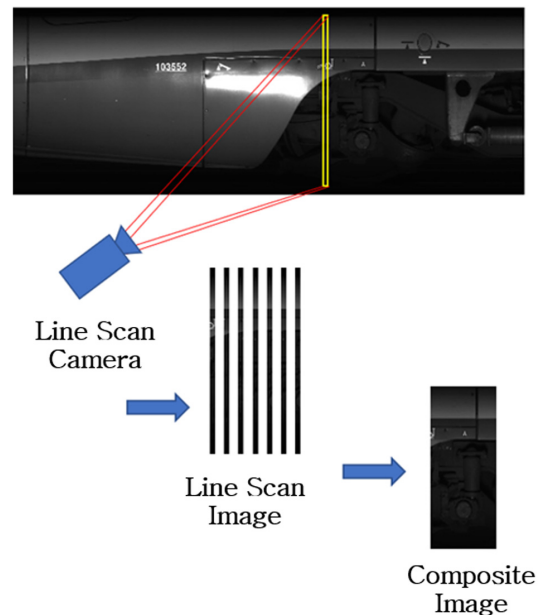


Fig. 4. Corrected image of high-speed railway.

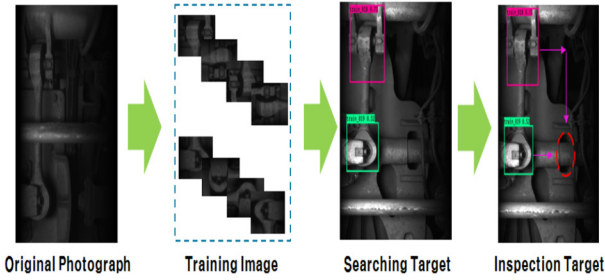


Fig. 5. Searching for parts of the KTX vehicle using deep learning.

차량 하부와 측면부 주요부품 탈락을 검지하기 위하여 차종별 검사 대상장치를 선정하여 데이터베이스에 등록, 관리하고 기계학습(Deep Learning)으로 장치를 인식하고 판단할 수 있는 YOLO v2(You Only Look Once) 알고리즘을 적용하였다⁷⁻¹⁰⁾.

Fig. 5는 주요부품을 탈락 여·부를 검출하는 과정이다. 장치를 인식하고 판단하는 과정은 고성능 카메라를 이용하여 측정한 영상 이미지(2048 X 256 Pixel)를 병합하여 합성 이미지(2048 X 2048 Pixel)를 만든다. 합성된 이미지에서 부품의 검출과 인식을 위하여 트레이닝 된 이미지를 검출하여 설정된 위치에서 부품의 탈락 유·무를 판단한다.

검출한 결과는 관리프로그램에 표시되며 차종별, 차량 위수별로 데이터베이스에 저장, 관리한다. 차량 하부와 측면부에 부품 탈락이 검지된 경우 관리프로그램에 표시되어 사용자가 쉽게 운영할 수 있는 소프트웨어를 구축하였다.

2.3 검증결과

주행 중인 고속열차 KTX 3편성 대상으로 측면부의 주요부품 탈락을 검증하였다.

측면부 주요부품으로 23개로 선정하였고, KTX차량 1편성의 측면부 측정 대상 부품은 227개 선정하였다. 대상 부품의 탈락 여·부를 검지하기 위하여 차량별 부품 위치와 정보를 설정하였고, 딥러닝 알고리즘을 적용하여 검증하였다^{7,10)}.

Fig. 6은 KTX 차량 측면 첫 번째 대차(Bogie)의 검사 대상 선정 부품과 위치 정보를 표시하였고, Table 1은 대차별 측면부 선정 부품의 위치 정보를 나타내었다.

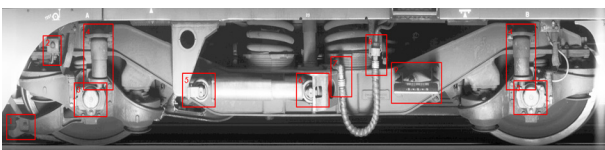


Fig. 6. Inspection results for main components.

Table 1. KTX vehicle inspection parts location

Bogie No.	Part number	Quantity
1	1 ~ 9, 3, 4	11
2	3 ~ 4, 10, 8, 7, 6, 5, 4, 3	9
3	3 ~ 4, 11, 8, 7, 6, 5, 4, 3	9
4	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
5	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
6	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
7	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
8	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
9	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
10	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
11	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
12	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
13	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
14	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
15	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
16	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
17	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
18	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
19	12 ~ 16, 6, 17 ~ 19, 19, 3	10
20	12 ~ 14, 20, 17, 6, 16, 15, 18, 19, 3	11
21	3 ~ 4, 21, 5 ~ 8, 11, 4, 3	10
22	22 ~ 23, 5 ~ 8, 4, 3	8
23	22 ~ 23, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3	9
Total		227

Fig. 7은 KTX차량 2번째 대차의 측면부 카메라(0번) 측정 영상으로 장치를 인식한 결과로 cam00_003은 차축 베어링을 인식하였고 cam00_004는 댐퍼를 정상 인식한 결과로 부품의 탈락 유·무를 검출한 결과를 표시하였다.

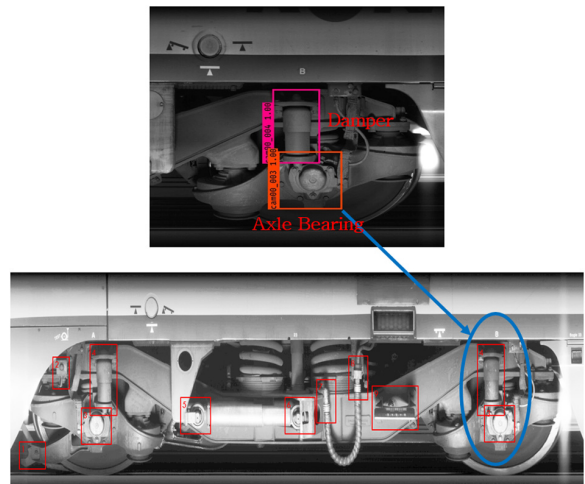


Fig. 7. Inspection result of KTX.

Table 2. Verification results

Bogie NO	Part NO	Quantity of detect	Ratio of detect	Bogie NO	Part NO	Quantity of detect	Ratio of detect
1	11	10	90.9	13	10	9	90.0
2	9	8	88.9	14	10	9	90.0
3	9	6	66.7	15	10	10	100.0
4	10	10	100.0	16	10	9	90.0
5	10	9	90.0	17	10	10	100.0
6	10	10	100.0	18	10	8	80.0
7	10	10	100.0	19	10	9	90.0
8	10	10	100.0	20	11	10	90.9
9	10	9	90.0	21	10	9	90.0
10	10	9	90.0	22	8	7	87.5
11	10	9	90.0	23	9	9	100.0
12	10	8	80.0				
Total				227		207	91.18

Table 2은 KTX 3편성 차량의 측면부 대차의 주요부품 탈락 유·무에 대한 인식 결과이다.

Table 2의 결과는 고속차량의 주행속도에 대응하는 고속 카메라 제어와 영상 촬영/획득으로 차량 형상과 동일한 수준으로 영상 비전처리가 수행되었고, 장치의 탈락 유·무 확인하기 위한 기계학습(Deep Learning) 알고리즘을 적용한 결과 91.18% 인식을 확인하였다. 인식을 KTX차량 1편성의 측면부 측정 대상 부품 총 227개 중 기계학습(Deep Learning) 알고리즘을 적용하여 검출한 부품 개수의 백분율로 계산하였다.

3. 결론

본 연구 결과에서는 고속 철도차량 주행시 하부와 측면부의 주요장치 탈락 유·무를 검지하고, 실시간 스캐닝 가능한 비접촉식 고속스캐닝시스템 알고리즘을 개발하여 고속 철도차량 영업선에서 주행중인 차량으로 검증을 수행하였다. 고속스캐닝시스템 알고리즘 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고속철도 차량의 속도 변화에 대응하는 고속카메라 제어와 비전처리 알고리즘을 적용하여 분석 가능한 영상 이미지를 확보하였고, 주요부품의 탈락 유·무 상태를 자동으로 검지하는 알고리즘 적용하여 성능을 확인하였다.

2) 고속차량 하부의 제동장치, 견인장치 관련 부품과 측면부의 차축베어링, 댐퍼류 등 탈락 유·무 상태를 비접촉식 고속스캐닝시스템으로 검지하여 유지보수에 활용 가능성을 확인하였다.

3) 본 연구의 고속스캐닝시스템의 시험결과 최적화된 알고리즘을 적용하여 91.18% 인식을 확인하였다.

4) 고속스캐닝시스템 알고리즘은 90%이상 인식률로 차량의 실시간 상태정비 활용과 빅데이터를 이용한 예지정비 활용 가능성을 확인하였다.

References

- 1) K. J. Kim and K. O. Lee, "A Study on the Improvement for EMU Maintenance System of Urban Transit", J. Korean Soc. Saf., Vol. 25, No. 1, pp. 87-92, 2010.
- 2) 2020 Railway Vehicle Smart maintenance Technology Development Project (Development of Smart Maintenance Device for Automatic Detection of Railway Vehicle Abnormal Conditions, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement R&D Project), 2020.
- 3) J. W. Seo, S. J. Kwon, H. J. Kim, C. W. Lee, M. S. Kim and Y. S. Ham, "Development of Thermal Monitoring System for Inspection of Railway Components", J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 30, No. 7, pp. 687-693, 2013.
- 4) S. T. Won, S. J. Kwon and S. B. Huh, "A Study on Profile Measurement for Railway Wheel using High speed Camera and Vision Technology", J. Korean Soc. Railway, Vol. 18, No.1, pp. 1-7, 2015.
- 5) Y. K. Kim, S. B. Huh, S. J. Won and H. S. Lee, "A Study on the High Speed Response Infrared Detection Sensor Module and Measurement Test Equipment," J. Korean Soc. Urban Railway, Vol. 6, No. 4, pp. 243-248, 2018.
- 6) S. B. Huh and S. H. Lee, "Development of High-speed Scanning System for Railway Running Units using High-performance Camera," Journal of Korean Society for Urban Railway, Vol. 7, No. 3, pp. 391-396, 2019.
- 7) Y. H. Lee and Y. S. Kim, "Comparison of CNN and YOLO for Object Detection", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 19, No. 1, pp. 85-92, 2020.
- 8) M. G. Park, H. S. Kim, H. D. Choi and S. K. Park, "A Study on Vehicle Detection and Distance Classification Using Mono Camera Based on Deep Learning", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 29, No. 2, pp. 90-96, 2019.
- 9) M. K. Lee and K. S. Seo, "Using Deep Learning Based Machine Vision for Defects Detection", Information and Control Symposium, pp. 54-55, 2017.
- 10) J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You Only Look Once : nified, Real-time Object Detection", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern

- Recognition, pp. 779-788, 2015.
- 11) M. H. Kim, S. W. Shin and Y. Y. Suh, “Application of Deep Learning Algorithm for Detecting Construction Workers Wearing Safety Helmet Using Computer Vision”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 34, No. 6, pp. 29-37, 2019.
 - 12) D. H. Ryu, S. H. Nahm, Y. I. Kim and S. C. Kim, “Development of Measurement System for Crack Growth Using Image Processing Technology”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 17, No. 4, pp. 11-18, 2002.