

저조도 이미지 개선을 통한 도로 표면의 위험 검출 기술

Detecting Hazards on Road Surfaces through Image Enhancement

김형규¹

Hyung-Kyu Kim¹

요 약

본 연구는 기존 도로 표면의 위험을 검출하기 위한 기술을 고도화하기 위하여 기술의 문제점을 분석하고 개선하고자 하였다. 이에 대한 주요 성과물로 도로 표면의 위험 검출 우선순위와 저조도 영상 화질 개선 알고리즘을 개발하였다. 저조도 영상에 대한 화질 개선 알고리즘은 성공률 95%를 나타내 조도, 선명도, 밝기 등의 문제로 오인식되는 영상의 식별율을 향상시킬 수 있다. 또한, 시작품 제작을 완료하여, Structural Similarity Index Map 검증결과에서도 91%의 정제 성공률을 나타내었다. 전문가 대상의 육안 검증에서도 모든 영상이 저조도 이미지 정제 후 식별 대상의 경계선이 뚜렷해 졌다고 판단되었으며, AI 모델에서 가장 중요한 부분 중 하나인 학습데이터셋 확보와 관련해서도 저조도 상황에서의 학습데이터셋 4만건을 생성하여 학습데이터셋으로 활용할 수 있도록 하였다. 그 외 교통사고 분석 및 문헌조사 결과 도로안전성에 영향을 미치는 7가지의 도로 상태이상 종류를 분류하였고, 교통사고 발생, 심각도 증가, 교통운영 효율성 저하 3가지 영향요인을 고려하여 전문가 계층분석을 진행하여 우선순위를 선정하도록 하여, 도로 표면 위험 검출시 프로세스를 최소화할 수 있도록 하였다.

핵심어 : 도로 표면, AHP, 영상 인식, 저조도, 고도화

Abstract

This study aimed to analyze and improve the problems of the technology in order to advance the technology for detecting risks on existing road surfaces. As a major achievement, the priority of road surface risk detection and the low-light image quality improvement algorithm were developed. The image quality improvement algorithm for low-light images showed a success rate of 95%, which can improve the identification rate of images that are misrecognized due to problems such as illuminance, clarity, and brightness. In addition, the production of a prototype was completed, and the Structural Similarity Index Map verification result showed a refinement success rate of 91%. In the visual verification targeting experts, it was determined that all images had clear boundaries of identification targets after low-light image refinement. In relation to securing a learning dataset, which is one of the most important parts of the AI model, 40,000 learning datasets in low-light situations were created so that they could be used as a learning dataset. In addition, based on the results of traffic accident analysis and literature review, seven types of road condition abnormalities affecting road safety were classified, and expert hierarchical analysis was conducted to select priorities by considering three influencing factors: traffic accident occurrence,

¹ Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Principal Researcher]
e-mail: hyoungkyukim@kict.re.kr

* 본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제 번호 20240171-001, 미래교통 스마트 인프라 핵심기술개발).

Received(October 16, 2024), Review Result(1st: November 5, 2024), Accepted(December 11, 2024), Published(December 31, 2024)



© 2024 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

increased severity, and decreased traffic operation efficiency, so as to minimize the process when detecting road surface hazards.

Keyword : Road surface, AHP, Image recognition, Low light, Advanced

1. 서론

도로 운행 중 도로 표면은 지나가는 차량의 압력, 충격 및 기상 변화로 인해 불가피하게 결함이나 손상을 입게 된다. 이러한 결함과 손상은 종종 비정상 도로 상태(Abnormal road conditions)라고 한다 [1]. 비정상 도로 상태는 차량 속도, 연료 소비, 기계적 마모, 승차감, 특히 교통 안전측면에서 부정적인 영향을 미친다.

도로 손상에 대한 감지 및 식별 방법에는 보행, 육안 관찰 방법, 자동차 영상장치를 활용한 비디오 화면 판독 방법 등이 있다 [2]. 이러한 방법은 주로 육안 관찰에 의해 완료되므로 오류가 크고 낮은 등의 문제가 있다. 특히 효율성이 낮고 비용이 높으며 관찰자의 안전을 확보 할 수 없다는 단점이 있다 [3]. 즉, 도로 손상의 자동 감지 및 식별을 달성하고 도로 유지 관리부서의 감지 효율성을 향상시키기 위해 첨단 기술 수단을 사용하는 것이 매우 중요하다.

딥러닝은 많은 응용 분야, 특히 이미지 분류 및 인식 분야에서 큰 성공을 거두었으며, 이는 도로 손상 감지 및 인식에 대한 새로운 아이디어를 제공하므로 국내외 연구자들은 딥러닝을 감지에 적용하기 시작했다. 과거 연구에서는 도로 표면의 균열을 감지할 수 있는 영상 인식 기반의 지능형 도로 손상 감지 장치를 제안했다 [4]. 하지만 1개의 도로 표면의 위험만을 검출하였을 뿐, 다수의 위험을 검출할 수 없는 문제점이 존재하였다. 다수의 위험을 검출할 수 없는 주요 문제점은 데이터셋의 한계와 레이블링의 전문화가 부족하기 때문이며, 이를 개선하기 위해서는 다양한 환경에서의 데이터 수집과 전문인력 참여를 통한 레이블링이 요구된다.



[그림 1] 조도 및 직광으로 인한 인식 오류 현상

[Fig. 1] Phenomenon of recognition errors due to illuminance and direct light

위험 검출의 정확도 개선을 위해서는 도로표면 영상의 원천적인 문제를 개선하여야 한다. 표면에 위험 요소를 영상으로 검출시 외부환경으로부터 방해 받지 않은 고품질의 영상 데이터가 필요

하다. 하지만, [그림 1]과 같이 도로 주행을 통해 도로 표면의 영상을 수집할 시, 도로 조명 상태의 변경, 일출과 일몰시간에 태양광으로 인한 직광 문제 등이 발생한다.

따라서, 본 연구에서는 도로 표면의 위험을 검출하기 위하여 다양한 도로 표면의 위험을 일시에 검출할 수 있도록 도로 표면의 위험을 정의하고 우선순위가 높은 4개 위험을 선정하였다. 또한, 선정된 4개의 위험을 조도 및 직광 상황에서도 인식이 가능하도록 저조도 이미지를 개선할 수 있는 기술을 개발하고자 하였다.

2. 도로 표면의 위험 정의 및 검출 우선순위 선정

2.1 도로 위험 정의

도로에서 발생하는 파손의 경우 다양한 파손의 형태가 있지만 대부분의 파손이 포트홀과 차선 불량 등으로 확인되며, 도심 내 도로 뿐만 아니라 도로 외각 국지도, 지방도 등 다양한 곳에서 발견되고 있다. 특히 여름, 겨울에는 기후변화에 의한 폭우와 폭설로 인하여 최근 다수의 포트홀이 발생하고 있으며 이러한 도로 상태이상은 도시 미관을 해치고 주행 안전성을 저해하기 때문에 빠른 시일 내에 유지보수가 되어야 한다. 이러한 파손들은 교통사고 발생, 사고심각도 증가, 운용효율성 저하를 야기하기 때문에 이러한 도로 상태이상을 정의하고 식별에 반영할 필요가 있다.

이를 위하여 우선 다음 [표 1]과 같이 도로 위험의 종류를 정의하고 정의 이후 전문가 AHP(Analytic Hierarchy Process) 조사 및 분석을 통해 검출 우선순위를 선정한다.

[표 1] 도로 표면의 위험 정의

[Table 1] Risk definition of road surfaces

Factor 1 - 포트홀	- 침식 작용에 의해 아스팔트 포장에 구멍모양으로 탈락한 상황	
Factor 2 - 노면표시 손상	- 노면표시 노후화로 인해 인식이 불가능하게 지워진 상황	
Factor 3 - 배수 불량	- 배수구 막힘으로 인해 도로변 물고임 상황	
Factor 4 - 낙하물 발생	- 화물차 적재불량 등의 원인으로 적재물이 도로위로 떨어진 상황	
Factor 5 - 교통안전표지 손상	- 교통안전표지 노후로 표지가 손상되거나, 지주 자체가 파손된 상황	
Factor 6 - 충격흡수시설 손상	- 교통사고로 인하여 충격흡수시설이 손상되고 재설치가 되어 있지 않은 상황	
Factor 7 - 도로면 균열	- 침식작용으로 인해 도로면이 선모양으로 파손된 상황	

2.2 도로 표면의 위험 검출 우선순위 선정

교통사고 발생, 심각도 증가, 교통운영 효율성 저하 등 영향요인을 고려할 필요가 있다. 도로 표면의 위험 발생시 위험별로 단순 교통사고 건수를 증가시키거나 중대한 교통사고에 영향을 미치는 정도가 상이하기 때문에 [표 2]와 같이 1계층은 교통사고 건수, 교통사고 심각도, 교통운영 효율성 3가지 항목으로 구분하여 중요도를 분류하고, 2계층은 [표 1]에서 제시한 도로 표면의 위험으로 구분하여 각각의 위험별 중요도를 산출하도록 하였다.

[표 2] AHP 계층 1 분류

[Table 2] AHP Tier 1 classification

대분류	중분류	평가 방법
계층 1	교통사고 건수 증가	- 시설물 보수 지연에 따라 교통사고 발생 가능성 증가 (사고심각도 상관없이, 물피/경상/중상/사망 사고 증가)
	교통사고 심각도 증가	- 시설물 보수 지연에 따라 교통사고 발생에는 영향을 미치지 않지만, 사고발생시 심각한 사고로 이어질 가능성 증가
	교통운영 효율성 저하	- 교통사고와는 상관없이, 시설물 전/후 구간 지/정체 유발

해당 하여 도로 표면의 위험을 분류하여 [그림 2]와 같이 조사지를 활용하여 전문가 30명을 대상으로 AHP 분석을 수행하였다.

설문 2. 2계층 평가 - 교통사고 건수 증가

■ 제2계층의 항목간 **교통사고 건수 증가** 영향에 대한 중요도를 평가하기 위한 것입니다. 전문가의 관점에서 신중히 생각하시고, √표 해주시기 바랍니다.

평가항목	절대 중요	매우 중요	중요	약간 중요	같은	약간 중요	중요	매우 중요	절대 중요	평가항목
중요도	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5	4:6	3:7	2:8	1:9	중요도
포트홀	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	노면표시 손상
포트홀	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	배수 불량
포트홀	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	낙하물 발생
포트홀	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	교통안전표지 손상
포트홀	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	충격흡수시설 손상
포트홀	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	도로면 균열
노면표시 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	배수 불량
노면표시 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	낙하물 발생
노면표시 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	교통안전표지 손상
노면표시 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	충격흡수시설 손상
노면표시 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	도로면 균열
배수 불량	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	낙하물 발생
배수 불량	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	교통안전표지 손상
배수 불량	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	충격흡수시설 손상
배수 불량	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	도로면 균열
낙하물 발생	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	교통안전표지 손상
낙하물 발생	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	충격흡수시설 손상
낙하물 발생	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	도로면 균열
교통안전표지 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	충격흡수시설 손상
교통안전표지 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	도로면 균열
충격흡수시설 손상	(9)	(8)	(7)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	도로면 균열

[그림 2] AHP 조사지

[Fig. 2] AHP Survey Form

계층 1에 대한 분석결과, [표 3]가 같이교통사고 건수 증가에 대한 중요도가 가장 높게 나타났다. 도로 표면에 발생하는 위험의 경우 우선적으로 교통사고 발생을 예방할 수 있도록 조치가 취해져야 하며, 신속한 대처를 통해 교통운영 효율성 측면에서의 저하를 최소화 필요가 있다.

[표 3] 계층 1 중요도 분석 결과

[Table 3] Results of Tier 1 Importance Analysis

구분	Factor 01 (교통사고 건수 증가)	Factor 02 (교통사고 심각도 증가)	Factor 03 (교통운영 효율성 저하)
Factor 01	1.000	1.020	5.108
Factor 02	0.980	1.000	0.177
Factor 03	0.196	5.654	1.000
Weight	0.590	0.138	0.272

교통사고 건수 증가와 관련된 도로 표면 위험에 대한 중요도 분석 결과, [표 4]와 같이 포트홀에 대한 중요도가 0.285로 가장 높게 나타났다. 다음으로 노면표시 손상, 배수불량 순이었다.

포트홀의 경우, 순간적인 도로 표면의 단차를 발생시켜 차량이 주행시 주행차로를 벗어나게 할 수 있으며, 포트홀의 크기가 큰 경우 차량의 바퀴가 포트홀에 빠져서 주행이 불가능하게 한다.

노면표시의 경우 차량의 주행 경로 인지에 가장 필요한 시설로, 손상 발생시 운전자들의 주행경로 및 차선의 위치를 파악할 수 없어 차량간의 충돌 사고를 야기하는 문제가 있다. 상기 이유로 인하여 포트홀과 노면표시의 중요도가 높기 나타난 것으로 파악된다.

[표 4] 계층 2 - 교통사고 건수 증가관련 중요도 분석 결과

[Table 4] Tier 2 - Results of importance analysis related to increase in number of traffic accidents

구분	Factor 01 (포트홀)	Factor 02 (노면표시 손상)	Factor 03 (배수불량)	Factor 04 (도로면 균열)	Factor 05 (낙하물 발생)	Factor 06 (충격흡수 시설 손상)	Factor 07 (교통안전 표지 손상)
Factor 01	1.000	4.088	3.563	4.139	1.202	1.641	3.159
Factor 02	0.245	1.000	1.523	6.556	0.495	0.554	5.038
Factor 03	0.281	0.657	1.000	5.286	1.323	1.413	4.497
Factor 04	0.242	0.153	0.189	1.000	2.502	3.418	2.189
Factor 05	0.832	2.022	0.756	0.400	1.000	2.545	1.282
Factor 06	0.610	1.803	0.708	0.293	0.393	1.000	0.557
Factor 07	0.317	0.199	0.222	0.457	0.780	1.795	1.000
Weight	0.285	0.188	0.167	0.096	0.124	0.088	0.052

교통사고 심각도와 관련된 도로 표면 위험에 대한 중요도 분석 결과, [표 5]와 같이 포트홀에 대한 중요도가 0.294로 가장 높게 나타났다. 다음으로 도로면 균열, 충격흡수시설 손상 순이었다.

[표 5] 계층 2 - 교통사고 심각도 증가관련 중요도 분석 결과

[Table 5] Tier 2 - Results of importance analysis related to increased traffic accident severity

구분	Factor 01 (포트홀)	Factor 02 (노면표시 손상)	Factor 03 (배수불량)	Factor 04 (도로면 균열)	Factor 05 (낙하물 발생)	Factor 06 (충격흡수 시설 손상)	Factor 07 (교통안전 표지 손상)
Factor 01	1.000	4.683	2.646	1.126	4.783	1.629	4.734
Factor 02	0.214	1.000	0.564	0.307	1.239	0.578	1.198
Factor 03	0.378	1.773	1.000	0.662	2.778	0.856	2.425
Factor 04	0.888	3.259	1.510	1.000	4.258	1.816	3.463
Factor 05	0.209	0.807	0.360	0.235	1.000	0.487	0.997
Factor 06	0.614	1.731	1.168	0.551	2.055	1.000	2.301
Factor 07	0.211	0.835	0.412	0.289	1.003	0.435	1.000
Weight	0.294	0.073	0.137	0.235	0.059	0.142	0.061

교통운영 효율성과 관련된 도로 표면 위험에 대한 중요도 분석 결과, [표 6]과 같이 포트홀에 대한 중요도가 0.218로 가장 높게 나타났다. 다음으로 노면표시, 배수불량 순이었다. 2계층 분석에서는 모든 항목에서 포트홀이 가장 중요하게 나타났다.

[표 6] 계층 2 - 교통운영 효율성 저하 관련 중요도 분석 결과

[Table 6] Tier 2 - Results of importance analysis related to reduced efficiency of transportation operation

구분	Factor 01 (포트홀)	Factor 02 (노면표시 손상)	Factor 03 (배수불량)	Factor 04 (도로면 균열)	Factor 05 (낙하물 발생)	Factor 06 (충격흡수 시설 손상)	Factor 07 (교통안전 표지 손상)
Factor 01	1.0000	2.3231	1.8337	3.3532	0.7849	1.8897	3.6236
Factor 02	0.4305	1	1.1317	5.6083	0.4517	0.6537	5.2131
Factor 03	0.5453	0.8836	1	4.5842	1.6482	2.0164	4.0112
Factor 04	0.2982	0.17831	0.2181	1	3.5626	4.1717	2.0533
Factor 05	1.274	2.21398	0.6067	0.2807	1	2.56	1.2030
Factor 06	0.5292	1.52977	0.4959	0.2397	0.3903	1	0.5053
Factor 07	0.27597	0.191824	0.2493	0.48703	0.83124	1.97911	1.0000
Weight	0.218	0.199	0.196	0.124	0.133	0.075	0.056

[표 7] 검출 우선순위 선정 결과

[Table 7] Results of selecting detection priorities

구분	포트홀	노면표시 손상	배수불량	도로면 균열	낙하물 발생	충격흡수 시설 손상	교통안전 표지 손상
가중치	0.268	0.175	0.171	0.123	0.117	0.092	0.054
우선순위	1	2	3	4	5	6	7

분석 결과를 종합해보면, [표 7]과 같이 포트홀, 노면표시 손상, 배수불량, 도로면 균열 5가지 도로 위험의 가중치가 0.1 이상으로 우선순위가 높았으며, 해당 위험상황을 대상으로 도로 표면의 위험 검출을 위한 연구를 수행하였다.

3. 영상정보 기반 저조도 이미지 정제 기술

3.1 저조도 이미지 정제 방법론

도로 위험상황(포트홀, 크랙, 차선불량, 낙하물 등)에 대한 검지기술은 RGB(Red, Green, Blue) 카메라로 촬영된 영상 또는 이미지를 사용한다. 원본 이미지의 채도, 명도 등의 변화에 따라 인식 불가 사항이 빈번하게 발생하여 실효성 향상을 위해서는 이미지 수집장치의 한계를 극복하기 위한 전처리 작업이 요구되며, 이를 위해 채도, 명도 등을 자동으로 변화시키는 이미지 정제 기술을 개발하였다.

도로 표면 위험 검지를 위하여 영상이미지 증강기법에 따라 도로 영상이미지를 10만개 이상 제작하여 인공지능 딥러닝 모델의 학습에 활용하였다. 기 제작된 도로상태이상 데이터셋에 대한 Contrast Value, Brightness Value, Exposure Value 값을 조정하여 새로운 이미지를 생성하고 이를 정해진 규칙에 따라 파일명을 정하여 데이터셋을 제작하였다.

즉 일정한 규칙에 따라 조도, 채도, 명도를 변환시킨 이미지를 생성하여 규칙에 따라 데이터명을 생성하여 저장시킬 수 있으며, 상황에 따라 규칙을 변화하여 생성하였다.

기 제작된 이미지 데이터를 증강시키기 위해 이미지가 도로 표면 위험을 정확하게 포함하고 있는지 파악하기 위해서 수작업으로 확인하고, 자동으로 이미지를 증강시키는 방법으로 진행하였다.

데이터 증강에 따른 인식률을 검증하기 위해서 각 이미지에 대한 원본데이터에서 조도, 채도, 명도를 어떤 값으로 변경시켜 생성하였는지 추적할 수 있도록 해당 값을 엑셀로 작성하여 제공함으로써 어떤 이미지 데이터의 인식율이 높은지 검증이 가능하도록 하였다. 영상이미지 데이터 증강이 된 영상이미지는 10만개 이상을 제작하였고, 증강된 이미지 데이터의 속성값(화일명과 조정된 조도, 채도, 명도)을 포함한 엑셀파일을 별도로 제작하였다.

White Balance Retinex 알고리즘을 이용하여 시작품을 제작하였으며, White Balance Retinex 알고리즘은 비현실적인 색조를 제거하여 사람이 흰색으로 보이는 물체가 사진에서는 흰색으로 렌더링 되도록 하는 기술이다 [5].

3.2 저조도 이미지 생성 및 프로그래밍

원본이미지 데이터에 각각 조도, 채도, 명도만 변화를 준 이미지 데이터 각각 42,993개씩 생성하

여 제작하였으며, 다음 [그림 3]은 이미지 작업내역은 엑셀파일의 일부이며, 전체 목록은 서버에 저장 활용하도록 하였다.

순번	원본 파일명	변환 파일명	Contrast Value	Brightness Value	Exposure Value
1	9/20180204_091658_pothole_00339.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00339_-50_-50_-50.png	-50	-50	-50
2	9/20180204_091658_pothole_00339.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00339_-25_-25_-25.png	-25	-25	-25
3	9/20180204_091658_pothole_00339.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00339_25_25_25.png	25	25	25
4	9/20180204_091658_pothole_00339.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00339_50_50_50.png	50	50	50
5	9/20180204_091658_pothole_00305.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00305_-50_-50_-50.png	-50	-50	-50
6	9/20180204_091658_pothole_00305.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00305_-25_-25_-25.png	-25	-25	-25
7	9/20180204_091658_pothole_00305.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00305_25_25_25.png	25	25	25
8	9/20180204_091658_pothole_00305.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00305_50_50_50.png	50	50	50
9	9/20180204_091658_pothole_00311.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00311_-50_-50_-50.png	-50	-50	-50
10	9/20180204_091658_pothole_00311.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00311_-25_-25_-25.png	-25	-25	-25
11	9/20180204_091658_pothole_00311.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00311_25_25_25.png	25	25	25
12	9/20180204_091658_pothole_00311.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00311_50_50_50.png	50	50	50
13	9/20180204_091658_pothole_00107.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00107_-50_-50_-50.png	-50	-50	-50
14	9/20180204_091658_pothole_00107.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00107_-25_-25_-25.png	-25	-25	-25
15	9/20180204_091658_pothole_00107.png	conversionData/9/multi/20180204_091658_pothole_00107_25_25_25.png	25	25	25

[그림 3] 저조도 이미지 생성 방식

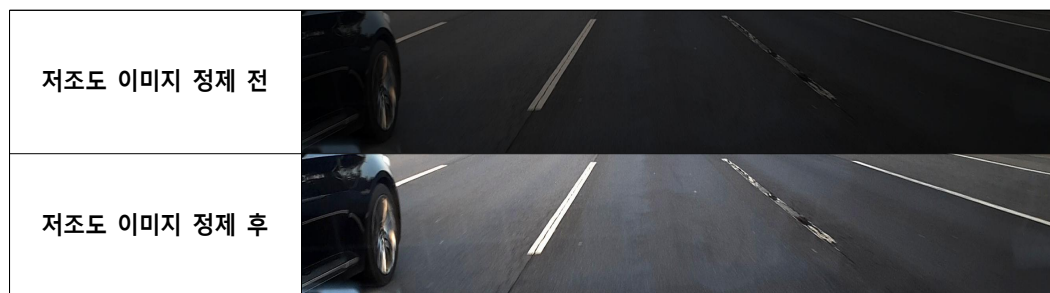
[Fig. 3] Example of low light image generation

본 연구 방법론에 따른 저조도 이미지 정제 프로그램밍은 1단계로 기 제작된 이미지 데이터를 증강시키기 위해 이미지가 도로상태이상을 정확하게 포함하고 있는지 파악하기 위해서 수작업으로 확인하였고, 2단계로 프로그래밍에 의해 자동으로 이미지를 증강시키는 방법으로 진행하였다.

데이터 증강에 따른 인식률을 검증하기 위해서 각 이미지에 대한 원본데이터에서 조도, 채도, 명도를 어떤값으로 변경시켜 생성하였는지 추적할 수 있도록 해당값을 엑셀로 작성하여 생성하였다. 이를 통해 정제성공율을 확인할 수 있도록 제시하였으며, 증강된 데이터 이미지를 통해 학습용 데이터 셋을 수배로 늘림으로써 인공지능 딥러닝 모델의 학습에 활용하고자 하였다.

3.3 저조도 이미지 정제 기술 검증

저조도 이미지 정제 결과, [그림 4]와 같이 이미지 정제 이후 육안으로도 이미지 내에서의 도로 표면 위험을 검출 가능한 수준으로 이미지 성능이 향상되었다. 하지만 육안으로 검출하는 방법과 알고리즘을 통해 위험을 검출하는 방법은 차이가 존재한다.



[그림 4] 저조도 이미지 정제 결과

[Fig. 4] Results of low-light image refinement

따라서, 별도의 이미지 정제 성능에 대한 검증이 별도로 필요하며, 저조도 이미지 정제 기술에 대한 성능을 검증하기 위하여 검증 방법론으로는 학습데이터와 검증 데이터를 구분하여 정량적 성능 검증을 진행하는 방식을 채택하였다. 저조도 이미지 정제 모델의 평가 지표는 PSNR(Peak Signal-to-noise ratio) 방식과 SSIM(Structural Similarity Index Map)을 적용하였다.

PSNR은 영상 화질 손실량을 평가하기 위해 사용되는 지표이며, 이미지 저장, 전송, 압축, 영상 처리 등에서 영상 화질이 바뀌었을 때 주로 사용되며, MSE(Mean Square Error)는 작을수록 좋고, PSNR은 클수록 좋다고 판단된다.

SSIM은 PSNR과 다르게 수치적인 에러가 아닌 인간의 시각적 화질 차이를 평가하기 위해 고안된 방법으로, SSIM은 Luminance, Contrast, Structural 이 3가지 측면에서 품질을 평가한다.

저조도 이미지 정제 알고리즘에 대한 다양한 알고리즘에 대해 본 과업에서 잡은 정량 지표를 통한 평가를 진행하였으며 결과는 [표 8] 과 같이 본 연구에서 개발한 저조도 이미지 정제 알고리즘의 PSNR 31.79로 기존 개발된 알고리즘 대비 약 10%의 성능 개선을 보였으며, SSIM 결과에서도 0.9473으로 가장 높은 성능을 나타내었다.

[표 8] 저조도 이미지 정제 알고리즘 성능 검증 결과

[Table 8] Results of performance verification of low-light image refinement algorithm

모델	PSNR	SSIM
Low-light image refinement algorithm	31.79	0.9473
Retinex enhancement	28.13	0.9153
White Balance Retinex	29.75	0.8873
Gray World Algorithm	27.31	0.7931

4. 결론

본 연구는 기존 도로 표면의 위험을 검출하기 위한 기술을 고도화 하기 위하여 기술의 문제점을 분석하고 개선하고자 하였다. 이에 대한 주요 성과물로 도로 표면의 위험 검출 우선순위와 저조도 영상 화질 개선 알고리즘을 개발하였다.

저조도 영상에 대한 화질 개선 알고리즘은 성공률 95%를 나타내 조도, 선명도, 밝기 등의 문제로 오인식되는 영상의 식별율을 향상시킬 수 있다. 또한, 시작품 제작을 완료하여, Structural Similarity Index Map 검증결과에서도 91%의 정제 성공률을 나타내었다.

육안 검증에서도 모든 영상이 저조도 이미지 정제 후 식별 대상의 경계선이 뚜렷해 졌다고 판단되었으며, AI 모델에서 가장 중요한 부분 중 하나인 학습데이터셋 확보와 관련해서도 저조도 상황에서의 학습데이터셋 4만건을 생성하여 학습데이터셋으로 활용할 수 있도록 하였다.

그 외 교통사고 분석 및 문헌조사 결과 도로안전성에 영향을 미치는 7가지의 도로 상태이상 중

류를 분류하였고, 교통사고 발생, 심각도 증가, 교통운영 효율성 저하 3가지 영향요인을 고려하여 전문가 계층분석을 진행하여 우선순위를 선정하도록 하여, 도로 표면 위험 검출시 프로세스를 최소화할 수 있도록 하였다. 향후 본 연구를 통해 개발된 알고리즘을 통해 도로관리기관의 효율적인 유지관리를 지원할 수 있을 것이며, 도로 상태 정보의 지속적인 수집을 통해 도로관리에 필요한 양질의 데이터셋을 지속적으로 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] S. B. Shim, C. J. Chun, S. K. Ryu, "Road surface damage detection based on object recognition using fast R-CNN", *Journal of korean society of intelligent transport systems*, vol. 18 no. 2, March 2019, pp. 104-113, doi: 10.12815/kits.2019.18.2.104.
- [2] C. Han, T. Ma, G. Xu, S. Chen, R. Huang, "Intelligent decision model of road maintenance based on improved weight random forest algorithm", *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 23 no. 4, Jun 2020, pp. 985-997, doi: 10.1080/10298436.2020.1784418.
- [3] S. A. Hosseini, O. Smadi, "How prediction accuracy can affect the decision-making process in pavement management system", *Infrastructures*, vol. 6 no. 2, February 2021, pp. 1-17, doi: 10.3390/infrastructures6020028.
- [4] X. Xu, M. Zhao, P. Shi, R. Ren, X. He, X. Wei, H. Yang, "Crack detection and comparison study based on faster R-CNN and mask R-CNN", *Sensors*, vol. 22 no. 3, February 2022, pp. 1-17, doi: 10.3390/s22031215.
- [5] M. Buzzelli, S. Zini, S. Bianco, G. Ciocca, R. Schettini, M. K. Tchobanou, "Analysis of biases in automatic white balance datasets and methods", *Color Research & Application*, vol. 48 no. 1, September 2022, pp. 40-62, doi: 10.1002/col.22822.