

소음도·인공지능 기반 포장상태등급 평가시스템 개발

한대석, 김영록*

한국건설기술연구원 노후인프라센터, 복합재난대응연구센터

Development of Noise and AI-based Pavement Condition Rating Evaluation System

Dae-Seok Han, Young-Rok Kim*

Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology

요약 본 연구에서는 도로 포장 유지관리에 필요한 핵심정보를 생산해 낼 수 있는 저비용·고효율 포장상태 모니터링 기술을 개발하고자 하였다. 특히 시각정보와 고가 센서에 의존하는 기존 장비의 단점을 보완하기 위해 소음과 인공지능 기반의 포장상태등급 평가시스템을 고안하였다. 시스템 개발을 위한 아이디어 정립부터 기능 정의, 정보흐름 및 아키텍처 설계 과정을 거쳤으며, 생산된 프로토타입에 대한 성능 검증과 활용 전주기에 대한 실증 평가를 수행하였다. 그 결과, 높은 수준의 인공지능 평가 신뢰도가 확보되었으며, 하드웨어와 소프트웨어적 요소 외에도 시스템 활용에 관한 짜임새 있는 가이드라인이 개발되었다. 또한 현장평가 과정을 통해 비전문가도 쉽고 빠른 조사와 분석이 가능하고, 직관적인 시각적 정보 제공을 통해 관리자의 업무 지원이 가능함도 확인하였다. 반면에 학습에 고려되지 않은 외부 조건에 대한 선행 판별 기술, 시스템 간소화, 가변 주행속도 대응 기술 등 기술의 완성도 제고도 필요함을 알 수 있었다. 본 연구를 시작으로 1960년대 이후 반세기 이상 지속되어온 포장상태 모니터링 기술의 새로운 패러다임이 제시되길 기대한다.

Abstract This study developed low-cost and high-efficiency pavement condition monitoring technology to produce the key information required for pavement management. A noise and artificial intelligence-based monitoring system was devised to compensate for the shortcomings of existing high-end equipment that relies on visual information and high-end sensors. From idea establishment to system development, functional definition, information flow, architecture design, and finally, on-site field evaluations were carried out. As a result, confidence in the high level of artificial intelligence evaluation was secured. In addition, hardware and software elements and well-organized guidelines on system utilization were developed. The on-site evaluation process confirmed that non-experts could easily and quickly investigate and visualized the data. The evaluation results could support the management works of road managers. Furthermore, it could improve the completeness of the technologies, such as prior discriminating techniques for external conditions that are not considered in AI learning, system simplification, and variable speed response techniques. This paper presents a new paradigm for pavement monitoring technology that has lasted since the 1960s.

Keywords : Pavement, Monitoring, Condition Rating, Tire-surface Friction Noise, Artificial Intelligence

*Corresponding Author : Young-Rok Kim(Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology)

email: busbay@kict.re.kr

Received November 12, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised December 2, 2020

Published January 31, 2021

1. 서론

우리나라 전체 도로연장은 2019년 개통도 기준으로 103,192km이며, 고속국도·일반국도, 특별·광역시도, 지방도, 시·군·구도로 구분된다[1]. 이 중에서 중앙정부가 관리하는 고속·일반국도는 도로포장관리시스템(PMS: Pavement Management System)을 통해 체계적으로 관리되고 있으나, 그 외 상대적으로 관리환경이 열악한 지방자치단체 소관의 83% 도로는 특별한 상태조사 없이 주민의 민원이나 순찰을 통해 사후관리 및 응급보수가 시행되고 있다. Han 등에서 제시한 연구결과[2]를 참조하여 사후적 포장관리로 인한 사회경제적 손실을 추산해보면 연 6,170억 원에 이른다.

지방자치단체의 도로포장관리시스템(이하, 포장관리시스템) 도입을 방해하는 가장 큰 요인은 관리체계의 근간인 모니터링 시스템 도입이 쉽지 않다는 데 있다. 네트워크 수준의 포장관리를 위해서는 전문 조사차량 도입이 필수이나, 해당 장비는 10억 원에 달할 정도로 고가이고, 지속적 운영을 위한 예산과 인력이 절대적으로 부족하기 때문이다. 또한 2020년부터 시행된 「지속가능한기반시설관리기본법」에 따라 수립된 제1차 기반시설 관리 기본 계획(국토교통부 고시 제2020-395호)에서는 대상 시설의 안전등급을 지정하고, 주기적 평가를 의무화[3]하고 있어 지자체의 고민은 깊어지고 있다. 이 같은 상황을 감안할 때, 사후 관리로 인한 사회적 손실의 최소화, 법의 시행력 확보를 위해서는 포장 모니터링 기술 개선이 시급하다.

이에 본 연구에서는 초기투자비와 운영비가 저렴하면서도 포장 유지관리에 필요한 핵심정보를 생산해 낼 수 있는 저비용·고효율 모니터링 기술을 개발하고자 하였다. 특히 시각정보 및 고가 센서에 의존해 오던 기존 장비의 단점을 보완하기 위해 청각 기반의 포장상태등급 평가시스템을 고안하였다. 아울러 도로관리 실무자의 의견과 정보수요를 적극 반영하여 기술의 실용성 확보에 주력하였다. 본 연구에서는 1960년대 이후 반세기 이상 지속되어 온 포장상태 모니터링 기술에 새로운 패러다임을 제시하고자 하였다.

2. 소음 기반 포장상태등급 평가시스템

2.1 아이디어 정립

도로 주행 시 새 포장 위를 달리면 매우 정숙한 반면,

노후화 되었거나 포트홀과 같이 파손된 부분을 주행하게 되면 비정상적인 소음이 발생한다. 본 연구에서는 이 같은 아이디어에 착안하여 소음기반의 포장상태 평가시스템을 개발하였다. 이 기술은 타이어와 노면 간에 발생하는 마찰음과 공진음을 정해진 조건에서 측정하고, 수집된 소음자료를 학습된 인공지능을 통해 상태 등급을 판단하게 된다. 분석된 결과를 통해 관리자는 담당 도로의 정량적인 서비스수준 파악과 보수업무가 필요한 지점을 손쉽게 찾아 관리할 수 있는 이른 바, 네트워크 수준의 도로 관리가 가능해진다.

2.2 기능 정의

소음 기반 포장상태등급 평가시스템(이하 상태등급 평가시스템)의 기능을 간단히 정의하면, ‘이용자가 정해 놓은 상태등급 기준에 따라 포장 상태를 분류하는 기술’로 표현할 수 있다. 기존 고가 장비의 주요 기능을 ‘균열, 소성변형, 종단평탄성 측정 기술’로 정의한다면 이와는 상당한 차이가 있다. 예상 기술수요자(지자체 도로관리자 등)들은 연구진과의 면담을 통해 “현행의 고가 장비가 도출하는 3가지 지표보다는, 자신이 판단하기에 보수가 필요하다 판단되는 구간의 위치와 이를 재확인하기 위한 현장 사진과 영상이면 충분하다”고 밝히고 있다. 이 같은 정보수요를 충족하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 기능을 시스템 설계에 반영하였다.

- 등가소음도 및 1/3옥타브밴드 측정 기능
- DMI(Distance Measurement Instrument)기반 주행속도·조사연장 측정 기능
- GPS 위치정보 수집 및 Web-mapping 기능
- 다체널 사진 및 동영상 촬영 기능
- 마이크로폰 및 DMI 보정 기능
- 소음 분석, 가공, 디스플레이, 저장·출력 기능
- 소음, 영상, 위치, 속도 정보 동기화 및 측정 빈도 조절 기능
- 인공지능 정보수요 대응 데이터 프로세싱 기능
- 패턴인식 인공지능 학습·판정 기능
- 판정 결과에 대한 리포팅 및 시각화 기능

2.3 시스템 정보흐름 설계

소음 기반 포장상태평가 시스템의 정보 흐름은 크게 소음측정, 정보가공, 인공지능 학습·판정의 3단계로 이어지며, 각 단계에서 사용자가 필요한 옵션을 선택하는 과정을 통해 결과물이 도출되는 형태로 설계하였다.

Input-System-Output의 개념에 따라 시스템 정보 흐름도를 도식하면 Fig. 1과 같다.

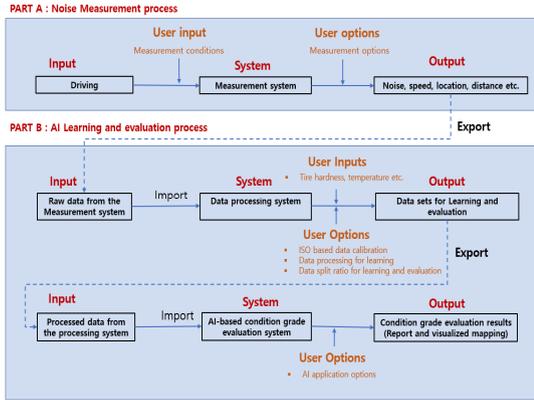


Fig. 1. Diagram of system information flow

2.4 시스템 구성 설계 및 프로토타입 생산

포장 상태 평가시스템은 크게 타이어와 노면 사이에서 발생하는 마찰소음의 측정 및 가공시스템, 포장상태등급 판정 인공지능 시스템으로 구분하였다. 전술한 부가기능을 구현하기 위한 시스템 구성 요소는 Table 1과 같이 차량부, 측정부, 정보수집 및 처리부, 정보분석 및 표출부로 구성하였다. 타이어와 노면 간 마찰소음 측정 시스템의 구성은 Fig. 2, 소음 자료 수집을 위한 마이크론의 설치위치는 Fig. 3과 같으며, Fig. 4는 시스템을 차량에 장착한 모습을 보여준다.



Fig. 2. System architecture of tire-surface noise measurement and processing system

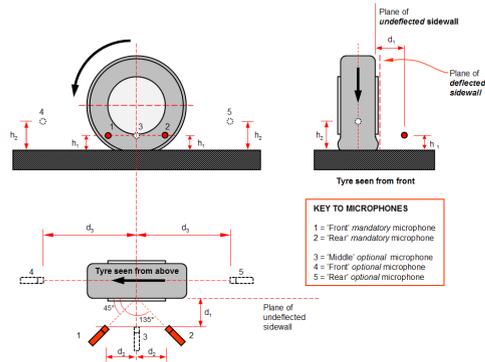


Fig. 3. Microphones position standard(source: ISO11819-2)

Table 1. System components

Components		Equipment	Quantity	Note
Tire-surface noise measurement and processing system	Vehicle unit	Passenger car	1	Gasoline
		Standard tire	2	Referred to ISO11819-3 [4]
	Measurement unit	Microphone mount	1	Referred to ISO11819-2 (see Fig. 3) [5]
		Microphone	2	Referred to ISO11819-2
		GPS receiver	1	Entry type
		Imaging cam	1~3	Mounted on front, side and back
		Distance/speed meter	1	Car wheel mounted type
	Data collection and processing unit	Sub modules	1	USB hub, power inverter, cables, system actuation trigger etc.
Data logger		1	Integrated data logger	
Pavement condition grade evaluation AI system	Data processing, analysis and visualization unit	Lab top	1	High performance GPU installed (For AI)
		Noise data processing S/W	1	Data processing for AI application
		Pattern recognition S/W	1	4 type of pattern recognition AI algorithms
		Result reporting and visualization S/W	1	Network service score, color-coded state on digital map(via Google Earth)



Fig. 4. Proto-type production (Case: On-board type microphone & DMI mount, and multi-channel cam)

2.5 인공지능 기반 상태등급 평가 시스템

차량에서 수집된 시계열 소음정보를 기반으로 포장체의 상태등급을 판정하는 것은 화자식별(Speaker Identification)문제로 구분할 수 있다. 화자식별은 소음 패턴 정보가 주어질 때 학습된 다수의 후보(즉 상태등급) 중 가장 유사한 하나를 선택하는 것으로 M-class classification problem으로 정의된다. 본 연구에서는 기계학습 계열로 M-class 분류에 주로 활용되는 4가지 인공지능 알고리즘(K-Nearest neighbors dynamic time warping, Support vector machine, Gaussian naive Bayes, Linear regression)을 탑재하여 동시에 분석을 수행하고 결과값을 표출하도록 설계하였다. 예비 조사를 통한 사전 평가 결과 예측성능(Precision, recall, F1-score)이 95% 수준을 만족하고, 조사 데이터의 시퀀스 길이(즉 시간, 연장)에 대한 제약조건이 없는 최근접동적시간왜곡 기법(K-Nearest neighbors dynamic time warping)을 기본 인공지능으로 선택하였다[7].

인공지능 상태등급 평가 시스템은 타이어와 노면 간 소음 측정시스템(즉 차량)에서 수집·가공된 데이터를 입수하여 학습데이터로 재가공하는 '정보가공부', 상태등급 판단을 실행하는 '인공지능 학습평가부', 결과를 요약하고 시각화 하여 표출하는 '평가결과 활용부'로 구성된다. 각 서브모듈은 다음과 같다.

1) 정보가공부 : 타이어와 노면 간 소음측정 시스템에서 측정된 원시데이터를 국제 소음측정 규격인 ISO11819-2[5]에 따라 보정(포장체 종류, 타이어 경도, 측정온도, 측정속도)하는 기능과 AI 학습형태(20m 1set)로 구성하고 학습-테스트 비율에 따라 별도의 파일로 분할 출력하는 기능을 수행하도록 설계하였다.

2) 인공지능 학습평가부 : 학습과 테스트 데이터로 분할된 데이터를 불러들여 패턴인식 인공지능을 적용한다. 데이터의 속성정보와 상태판정 정확도 정보를 제시하도록 설계하였으며, 앞서 제시된 4가지 유형의 인공지능에

동시에 적용하도록 설계되어 최적 인공지능 선정이 가능하도록 설계하였다.

3) 평가결과 활용부 : 학습평가부에서 도출된 결과를 분석·시각화하는 기능을 수행한다. 등급별 연장과 비율, 종합 도로서비스 점수를 제시하는 리포팅 기능과 상태등급 판정결과를 GPS정보와 연동하여 Fig. 5와 같이 구글 지도에 색상으로 표현하게 된다.



Fig. 5. Visualization of pavement condition rating

2.6 시스템 기본 기능 검증

본 연구에서는 개발한 프로토타입 시스템의 검증은 한국건설기술연구원 연천SOC실증연구센터에서 이루어졌으며, 소음진동 전문가 입회하에 시스템 자체 안정성과 ISO11819-2를 반영한 소음수집 과정을 대상으로 하였다. 주요 평가 항목은 다음과 같다.

- 소음측정 주행 안정성 : 40~100km/h
- 소음측정 민감도 및 Calibration : 94dB(A)표준 소음도 보정 정확도
- 초정밀 거리측정계의 측정 정확도 : 30m기준 오차 ±3cm 이내
- 측정 환경조건 정확도 : 측정온도, 타이어경도 측정계 규격 검증
- 측정정보의 가공 및 표출 : 등가소음도, 1/3옥타브 밴드 정보 검증

3. 시스템 현장평가

3.1 현장평가 개요 및 절차

본 연구에서는 시스템 활용성 검증을 위해 활용 전주기를 대상으로 현장평가를 수행하였다. 본 절에서는 시스템 활용을 위한 세부기준 설정, 포장상태 등급별 학습평가데이터 수집, 인공지능을 활용한 상태등급 실증평가 결과에 대해 순차적으로 기술하였다.

3.2 시스템 활용 세부기준 설정

3.2.1 평가대상 포장 종류 설정

포장은 재료에 따라 크게 아스팔트-콘크리트 포장으로 구분되며, 아스팔트는 일반과 특수(배수성·저소음 등) 포장으로 구분된다. 포장유형별 소음 특성이 상이하기 때문에 독립적인 인공지능 구축을 요구한다. 본 연구에서는 포장의 대부분을 차지하는 일반포장(HMA: Hot-Mix Asphalt)으로 한정하였다.

3.2.2 포장상태 등급체계 정의

본 시스템의 가장 큰 특징이자 장점은 도로관리자가 스스로 설정한 상태 등급에 따라 도로의 상태를 판별하는 것이다. 전통적으로 포장의 서비스 수준이나 상태 등급은 5단계로 구분하고 있으며[2,6], 유지보수 필요여부만 구분하고 싶다면 2등급 체계, 서비스수준 관리 차원에서 보다 상세하게 평가하고 싶다면 그 이상의 등급을 조사의 목적에 맞추어 자유롭게 적용할 수 있다.

본 연구에서는 기존 연구와의 정합성[2,6], 인공지능 예측성능의 확보[7], 그리고 상태등급에 따라 관리자가 취해야 하는 대응을 종합적으로 고려하여 4등급 체계를 적용하였다. 등급별 구체적인 정의는 Table 2와 같다.

3.2.3 소음측정 기준 설정

데이터 수집·가공의 핵심변수는 주행속도, 데이터 스캔율(Hz, 분석/저장 빈도), 평가연장이다. 3가지 항목의 조합에 따라 측정 및 평가 단위가 결정되는데, 주행속도가 높을수록 빠른 데이터 수집이 가능하나 정속 유지가 어렵고 도심 내 제한속도(최근 50km/h 하향 추세)도 제약조건으로 작용한다. 본 연구에서는 안정적인 현장 조사와 ISO11819-2에서 제시하는 최소 주행속도인 40km/h를 기준속도로 채택하였다[5]. 데이터 저장빈도는 10Hz로 설정하였다. 저장빈도는 주행속도와 맞물려 하나의 취득 샘플이 대표하는 연장기준을 만들어 낸다.

포트홀 등 포장의 국부적 파손을 반영하기 위해서는 최소 1m 수준으로 세분화 되어야 할 필요가 있다. 앞서 설정된 기준 주행속도 40km/h(11.1m/s)에 저장빈도 10Hz를 적용하면 1.1m당 하나의 샘플이 추출된다. 이 기준은 ISO11819-2 국제표준에서 제시하는 8Hz이상에도 부합한다[5].

데이터의 가공 연장(즉 상태등급 평가 단위)은 20m로 설정하였다. 가공 연장 기준이 너무 길면 하나의 평가 단위 구간 내에 다양한 포장상태가 존재하게 되어 평가결과가 왜곡(A등급과 C등급이 혼재하는 경우 B등급으로 판정) 될 수 있다. 이러한 문제 때문에 일반적인 포장관리시스템에서의 최소 정보 가공 단위를 10m~20m 수준으로 지정하고 있으며, ISO11819-2에서도 소음도 평가 기준을 20m단위로 규격화 하고 있다. 제시된 소음측정 기준에 관한 사항은 시스템 내에서 기술 수요자의 목적에 따라 모두 조절이 가능하도록 이용자 입력변수로 설계하였다.

Table 2. Definition of pavement condition rating-4 grade

Ratings	Descriptions
A(Good) : Tolerable level	Best or good conditions without any deterioration on surface course. Action : Maintenance is not required
B(Fair) : Repair level	No problem in road service, but minor linear cracks and surface wear initiated. Action : Routine maintenance such as crack seal can be applied as necessary
C(Bad) : Repair or Rehabilitation level - Review	Deteriorated conditions with major cracks in area level (but without potholes). Action : Partial patching or overall overlay across section needs to be applied or considered.
F(Fail) Rehabilitation level - Urgent	Severely deteriorated with potholes and alligator cracks across section Action : Overall overlay or reconstruction required in urgent. If impossible, potholes must be repaired first.

Note : Han and Kim (2020)[7] - reorganized

3.2.4 소음도 보정 기준 설정

소음측정을 위한 마이크로폰은 ISO11819-2규격에 따라 타이어 측면에 근접하여 설치되도록 설계되었지만, 여전히 다양한 요소에 영향을 받기 때문에 보정이 필요하다. 이에 대한 보정기준은 전적으로 ISO규격에 따랐다. ISO11819-2에서는 포장체의 종류, 주행속도, 타이어

어 정도, 측정온도 등에 대한 보정함수를 제시하고 있다. 그 외 풍속 5m/s, 기준 온도영역 10~30℃, 최대-최소 주행속도 오차 15%, 마른 노면상태(우천 후 최대 2일 경과 시간)에 대한 측정 제약조건을 제시하고 있다[5]. 본 연구에서는 ISO규격에서 제시하고 있는 보정 규격·과정을 인공지능 소프트웨어의 부가기능으로 탑재하여 기술 수요자가 쉽게 적용할 수 있도록 설계하였다.

3.3 포장상태 등급별 학습·평가 데이터 수집

시스템 적용을 위해서는 사용자가 설정한 포장상태 등급별 소음특성 학습데이터를 미리 구축하여야 한다. 사전 조사를 통해 고양시, 파주시, 김포시내 도로 구간에 대한 상태파악을 실시하고, 등급별로 균일한 상태를 보여주는 다음의 구간을 선정하여 학습데이터를 구축하였다.

- A등급 : 가좌마을 진입로(순방향), 농협마트 뒷길(순방향), 한류월드-E마트(순/역방향)
- B등급 : 가좌마을 진입로(역방향)
- C등급 : 고양생태공원 둘레길(순/역방향)
- F등급 : 김포한강대로(순방향), 농협마트 뒷길(역방향), 삼학산 접근로(양방향)

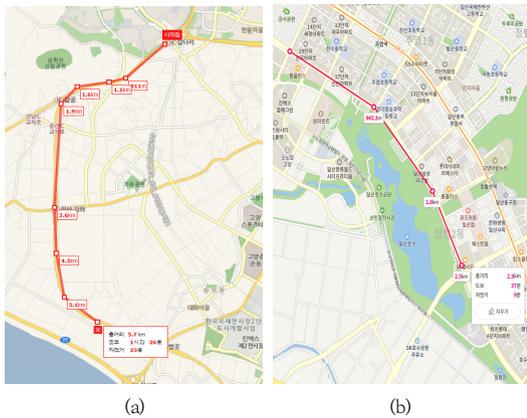


Fig. 6. Pilot sections for pavement condition evaluation
(a) 2nd Jayu-ro : Bubgot IC ~ Sapdari IC (b) Hosu-ro : Homeplus intersection ~ M-city intersection

포장상태 등급평가 실증평가 구간은 연속류 도로인 제2자유로(법곳IC~삼다리IC, 약 5.5km, 양방향)와 단속류 도로인 고양시 호수로(홈플러스~M시티, 약 2.0km)를 선정하였다. 이 2개의 구간은 포장상태가 다양하고, 조사 환경이 상이하기 때문이며, 해당 구간의 위치와 평가조건은 Fig. 6과 Table 3에 요약하였다.

Table 3. Summary of field survey conditions

Contents	For learning data	For testing data	ISO tolerance[5]
Date	July 9, 2019	Oct. 4, 2019.	
Weather	Sunny	Cloudy	Impossible in case of rain
Surface condition	Dry	Dry	Dry condition only
Temp.	27℃	23℃	10~30℃, (Standard 20℃)
Wind speed	1m/s	2m/s	Less than 5m/s
Tire hardness	Shore 66	Shore 66	Shore 62~73 (standard 66)
Tire pressure	30PSI	30PSI	27.56~30.49PSI
Vehicle speed	40km/h	40km/h	Within 15% deviation

수집된 소음자료는 ISO11819-2에서 제시하는 보정, 가공 과정을 거쳤으며, 소음 자료의 신뢰도 향상을 위해 이상치 제거 과정을 거쳤다. 이상치는 소음자료 수집 시 함께 촬영한 동영상 자료를 육안으로 확인하여 포장상태와 무관한 장애물(맨홀, 잡물, 조인트 등)로 발생하는 이벤트를 제거하였다. 또한 수집된 소음 프로파일을 분석하여 대형트럭이나 오토바이 등의 외부 소음을 재확인하는 과정을 통해 이상치를 제거하였다.

3.4 실증평가 구간 포장상태 등급 판정

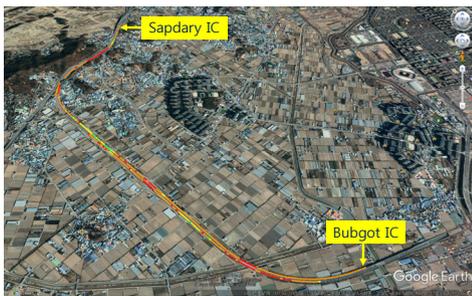
포장 상태등급 판정에 앞서 구축된 인공지능의 신뢰도를 검토하고 고도화하는 과정을 진행하였다. 해당 연구에서는 원시 데이터를 통계형 데이터로 전처리하는 과정과 5등급 체계를 4등급 체계로 전환하는 과정, 복수의 인공지능에 동시 적용하여 가장 우수한 인공지능 유형을 선별하는 과정을 진행하였다. 선행연구를 통해 최종적으로 인공지능 시스템 통합 신뢰도 95%이상, 특히 긴급 유지보수가 필요한 F등급의 신뢰도는 99%이상을 달성하였다.

Table 4. Results of pavement condition grade evaluation

Cond. grade (score)	2nd Jayu-ro			Hosu-ro		
	Bubgot IC ↔ Sapdari IC			Homeplus intersection → M-city intersection		
	Length (m)	Ratio (%)	Service score	Length (m)	Ratio (%)	Service score
A(95)	300	16.1	60.3	320	16.0	81.2
B(85)	940	12.6		1260	63.0	
C(75)	4700	61.5		320	16.0	
F(00)	1700	22.3		100	5.0	

구축된 인공지능 네트워크에 제2자유로와 고양 시내 호수로 소음 측정 자료를 대입하여 상태등급 평가를 실시하고 그 결과를 Table 4에 제시하였다.

제2자유로의 포장 서비스점수는 통합 60.3점(법곶IC 방면 62.8점, 삽다리IC 방면 55.5점)으로 분석되었고, 응급보수가 필요한 F등급의 비율은 전체 7,640m 대비 22.3%에 달하고 있다. 반면 고양시 자유로의 서비스 점수는 81.2점, F등급 5%(100m)로 상대적으로 양호한 상태를 보여주고 있다. Fig. 7과 같이 시스템 서버 기능으로 탑재된 디지털 맵핑 기능을 활용하면 보다 직관적으로 결과를 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 7. Pavement condition grade - visualization
(a) 2nd Jayu-ro (b) Hosu-ro

3.5 포장 상태등급 평가 결과 상세 분석

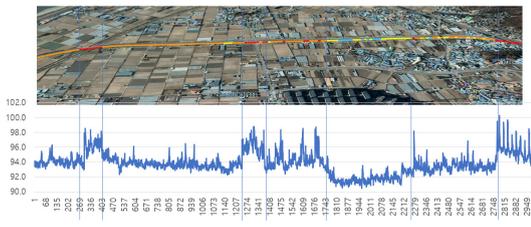


Fig. 8. Matching between noise profile and condition grade evaluation results

포장 상태등급 평가의 유의성 판단을 위해 소음도 시계열 정보와 비교하였다. Fig. 8을 살펴보면 시계열 프로파일과 포장상태 등급 판정 결과가 민감하게 반영되고 있음을 확인할 수 있다.

F등급(연속적 거북등 균열, 포트홀 등을 포함한 심각한 파손)으로 판정된 구간의 영상자료를 확인한 결과, 파손 상태를 감지하는 기능은 탁월하였으나 Fig. 9에서 보는 바와 같이 그루빙 구간, 콘크리트 포장구간, 터널 및 교량 조인트 등 당초 학습에 포함되지 않은 외부조건을 고려하지 못하는 취약점이 있었다.

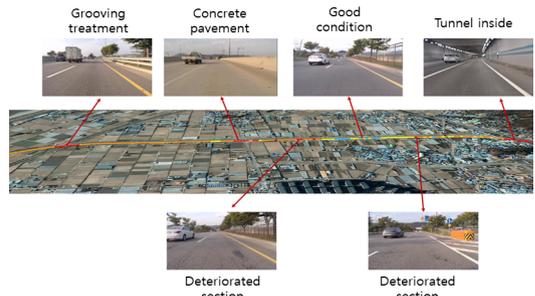


Fig. 9. Verification of evaluation results with video images

기술의 고도화를 위해서는 복수의 인공지능이 상호 지원하는 위계형·하이브리드 형태의 인공지능 구축이 필요하다. 이는 진동 정보의 보조와 최근 고도화되고 있는 영상판독 AI를 접목하면 해결이 가능할 것으로 판단된다. 이에 대한 연구는 향후 연구과제로 남겨두기로 한다.

4. 결론 및 논의사항

본 연구에서는 초기투자비와 운영비가 저렴하면서도 포장 유지관리에 필요한 핵심정보를 생산해 낼 수 있는 저비용·고효율 포장상태 모니터링 기술을 개발하고자 하였다. 특히 시각정보·고가센서에 의존해 오던 기존 고가 장비의 단점을 보완하기 위해 청각 기반의 포장상태등급 평가시스템을 고안하였으며, 시스템 활용 전주기에 대한 실증 평가를 수행하였다.

그 결과 소음 기반 포장상태등급 평가시스템의 가능성은 충분히 확인할 수 있었다. 높은 수준의 인공지능 평가에 대한 신뢰도가 확보되었으며, 하드웨어와 소프트웨어적 요소 외에도 시스템 활용에 관한 짜임새 있는 가이드라인이 확보되었다. 특히 현장평가 과정을 통해 비전문가

도 쉽고 빠른 조사와 분석이 가능하며, 프로토타입 입에도 불구하고 오류 없는 안정성 있는 운영을 보여주었다.

단, 초기 프로토타입인 만큼 상용화까지는 아직 상당한 기술적 보완이 필요함도 알 수 있었다. 먼저 학습에 고려되지 않은 외부 요인에 대한 선행 판별 기술 개발이 급선무이며, 시스템 간소화, 가변 주행속도 대응 기술 개발, 예산수요 추정 기능 등 기술의 완성도와 운용성, 기능 확장에 대한 후속 연구가 추진될 필요가 있다. 아울러 본 연구에서는 소음을 이용한 포장상태 평가 가능성을 중심으로 다루었으나, 향후에는 시스템의 신뢰성·활용성 제고를 위해 다양한 포장 종류·조건·상태에서의 소음특성 연구, 그리고 상태등급 표준화에 대한 연구과제를 제안한다.

우리나라의 현실상 기존 고가장비에 의존한 포장관리 시스템의 확장이 어려운 것은 이미 확인되었다. 본 연구를 시작으로 1960년대 이후 반세기 이상 지속되어온 포장상태 모니터링 기술의 새로운 패러다임이 제시되길 기대한다.

[7] D. Han and Y. R. Kim, "Improvement of Artificial Intelligence for Acoustic-based Pavement Condition Grade Evaluation", *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 22, No. 6, pp.9-15, 2020.
DOI:<http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2020.22.6.009>

한 대 석(Dae-Seok Han)

[정회원]



- 2006년 2월 : 국립한밭대학교 대학원 도시공학과(공학석사)
- 2011년 9월 : 교토대학교 공학대학원 도시사회공학과(공학박사)
- 2015년 10월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

자산관리, 포장관리시스템, 기능성 포장

References

- [1] MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport), Manual of Road Works, Report Number 11-1500000-001480-10, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, pp.65, 2020.
- [2] D. Han and M. Do, "Evaluation of Socio-Environmental Effects considering Road Service Levels for Transportation Asset Management", *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 44, No. 1, pp. 679-691, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1520/JTE20140484>
- [3] MOLIT, The 1st Infrastructure Management Basic Plan(Government Notice MLOIT-2020-560), Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, p.41, 2020.
- [4] ISO(International Organization for Standardization), Acoustics-Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise - Part 3: References tyres, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017.
- [5] ISO, Acoustics-Measurement of the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise-Part 2: The Close-proximity Method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017.
- [6] K. Kobayashi, M. Do and D. Han, "Estimation of Markovian Transition Probabilities for Pavement Deterioration Forecasting", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp.343-351, 2010.
DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s12205-010-0343-x>

김 영 록(Young-Rok Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 서울시립대학교 대학원 교통공학과(공학석사)
- 2013년 2월 : 서울시립대학교 대학원 교통공학과(공학박사)
- 2000년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

교통공학, 교통안전, 도로설계