

Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences

RESEARCH ARTICLE

pISSN 2233-8322, eISSN 2508-870X
<https://doi.org/10.22698/jales.20230036>

강원도 포장관리시스템 구축 방안

이혜교¹, 임경재^{2*}

¹강원대학교 지역건설공학과 박사과정, ²강원대학교 지역건설공학과 교수

Development Strategies for Pavement Management Systems in Gangwon-do

Hey Kyo Lee¹, Kyoung Jae Lim^{2*}

¹Phd Student, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

²Professor, Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

*Corresponding author: Kyoung Jae Lim (E-mail: kjlim@kangwon.ac.kr)

A B S T R A C T

Received: 3 August 2023

Revised: 15 November 2023

Accepted: 21 November 2023

This study aimed proposes application methods that serve as technical alternatives for a Pavement Management System (PMS) that reflects road management characteristics in Gangwon-do to achieve provincial road PMS. After the rapid growth of Korean road facilities in the 1970s and 1980s, the need for a maintenance budget has been emphasized due to aging infrastructure. Consequently, a proactive approach for pavement preservation, the PMS, was introduced. However, local governments managing provincial roads are experiencing difficulties in constructing and operating the PMS. To resolve these issues, this study analyzed the composition and operation methods of the PMS in Seoul City and National roads. Using these results, we suggested proposed developed solutions to challenges such as database construction, professional manpower and organization, budget and manpower shortages, and the absence of decision support systems that fail to reflect local characteristics budget and manpower. These results can assist local autonomous entities, such as Gangwon-do, in performing efficient road maintenance with limited budget and manpower. Furthermore, if the proposed system construction method resolves the existing PMS problems and enhances accessibility by utilizing the latest ICT technology, aiming which will contribute to establishing a future-oriented local road management system.

Keywords: Future-oriented road management system, ICT technology, Local government challenges, Pavement management system, Road maintenance

서 론

SOC(Social Overhead Capital)산업은 국가의 균형발전과 산업의 발전에 있어 반드시 필요한 공공재로써 우리나라에서는 1970 – 80년대에 경제성장을 위해 대단위 국가계획의 한 부분으로 집중적인 투자가 이루어져 왔다(KRIHS, 2012). 특히 도로와 같은 교통 인프라시설은 선진국 도약을 위한 핵심시설로써 지속적인 SOC 예산을 투입하여 건설



© Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

위주의 양적 확장정책을 시행한 결과 2017년 기준 총 연장이 110,000 km를 넘었으며, 도로포장률은 94.1%에 달하고 있다(MOLIT, 2021). 하지만 1970년대 이후 집중적으로 건설된 도로시설이 서서히 노후화가 도래함에 따라 건설 중심에서 유지관리중심으로의 전환이 필요하다. 이는 도로건설에 필요한 예산보다 기존 도로를 유지관리하기 위한 예산증가 속도가 훨씬 커지고 있다는 것을 의미한다.

이미 여러 선진국에서는 도로시설 노후화에 대한 문제점을 인식하여 자산관리개념을 도입하여 도로의 성능기능을 상실하기 전에 예방적 유지관리가 가능한 포장관리시스템(Pavement Management System, PMS)을 개발 운영하고 있다(MOLIT, 2016). 즉 포장상태조사와 상태별 분류 및 등급화하여 적절한 보수공법 선정 및 예산 수립, 우선순위 산정 등 복잡하고 다양한 기능을 수행하기 위해 전산화된 시스템을 통해 효율적인 도로시설 관리가 이루어지고 있다. 그에 비해 우리나라는 고속도로, 일반국도 외에 극히 일부 지자체가 PMS를 도입하여 도로포장 유지관리를 시행하고 있으나, 2018년 기준 전체 도로연장의 88%를 차지하고 있는 지방자치단체 관리도로는 체계적인 도로유지 관리가 이루어지고 있지 않은 것이 현실이다(NARS, 2019). 특히 강원도의 경우 전국 16개 시도별 도로의 평균 총연장 길이보다 양적으로는 높은 수준이나, 질적인 측면은 전국 평균에 훨씬 미치지 못하는 수준이며, 산악 지형적 특성상 안전성 문제를 지니고 있을 뿐만 아니라 기후적 특성으로 폭설 빈도 및 강설량이 많아 안전한 주행환경을 위한 도로의 개선이 시급한 실정이다(GANGWON-DO, 2019).

이처럼 취약한 도로여건은 도로시설 본연의 기능적 역할과 성능을 유지하기가 어려우며, 도로의 생애주기를 단축 시킴으로써 발생하는 사회비용이 매우 크다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 도로유지관리는 단순히 기능을 유지하기 위한 것이 아닌 도로의 안전성 확보와 쾌적함을 제공하는 궁극적인 목표와 함께 생애주기비용을 최소화할 수 있다는 점에서 필수적인 요소다. 그럼에도 불구하고 기존의 PMS가 많은 예산과 장비, 기술을 갖춘 전문인력을 필요로 하기 때문에 지방도에 대한 체계적인 유지관리가 이루어지지 않고 있다(Lee, 2017). 특히 강원도와 같이 재정자립도가 낮은 지자체에서 PMS를 구축하고 운영하는 것은 많은 어려움이 있다. 따라서 강원도의 한층 발전된 PMS를 구축하기 위해서는 기존 PMS에 대한 구체적인 내용 파악과 함께 국내 지자체의 운영 사례를 살펴봄으로써 강원도에서 적용 가능한 운영방안을 모색하는 것이 필요하다. 이와 같이 기존 사례를 통한 문제점 및 개선안을 도출하여 미래지향적이며 접근 가능한 PMS를 구축·운용한다는 것은 강원도와 같이 관리노선 및 노후화된 포장구간의 증가와 같은 양적 팽창과 함께 시대적 변화와 요구에 대응하기 위한 질적관리를 위해 소요되는 많은 노력과 예산을 절감할뿐만 아니라 자산관리 개념에서의 도로 공용성을 향상시키고 사회기반시설로써의 경쟁력을 제고할 수 있다는데 그 의의가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 1) 기존의 PMS의 정의, 구성, 운영방법, 도로포장 조사, 유지관리 의사결정, 운영효과 등을 분석하고, 지방도 포장관리 시스템의 운영 특성을 분석하여 강원도 도로 관리 특성을 반영한 포장관리 시스템 적용 방안을 제시하고 2) 지방도 PMS의 현실화를 위한 기술적 대안을 제시하는데 있다.

연구 방법

포장관리시스템

포장관리시스템 정의

PMS란 방대하며 복잡한 도로노선에 대하여 포장상태 조사 및 객관적인 평가를 통하여 적절한 포장서비스 수준 유지와 관련 예산의 효율적 집행이 가능하며, 최적 보수공법 및 우선순위 선정 등과 같이 합리적인 의사결정을 지원하여 효율적 포장유지관리 체계를 확립하기 위한 시스템이라고 정의할 수 있다(MOLIT, 2011). 포장유지관리를 위해서는

포장에 대한 조사와 평가를 통해 보수여부와 방법을 결정하는 과정으로 요약할 수 있는데, 각 단계별로 다양한 문제점을 내포하고 있다. 예를 들면, 강원도에서 관할하는 포장구간은 총 54개 노선 2,123.7 km에 달하는데(GANGWON-DO, 2022) 이와 같이 방대한 양을 매년 조사하는 것이 쉬운 일은 아니다. 또한 포장상태에 대하여 객관적인 판단에 의해 보수여부 및 공법선정과 예산범위 내에서 우선순위를 정하는 일은 상당한 고충이 따른다. 따라서 과거와 같이 도로관리 주체의 주관적인 판단과 상황에 따라 포장관리를 하는 것의 한계를 극복하기 위해 PMS가 개발되어진 것이라 할 수 있다. 이러한 도로포장관리에 대해 미연방도로국에서는 공용 가능한 조건 하에서 포장의 평가 및 유지와 관련된 효과적 전략을 의사결정자에게 지원하기 위한 수단이나 방법으로 정의하고 있으며, PMS는 포장과 관련된 계획, 설계, 시공, 유지보수, 평가, 지원, 편익, 연구 등 복잡하고 방대한 프로젝트를 종합적이고 체계적으로 이용하여 공용기간 중의 도로를 관리하는 것이라 정의하고 있다(Lee et al., 2007).

포장관리시스템의 구성단계

PMS의 구성요소는 포장상태 조사 및 DB 구축을 위한 조사단계, 조사자료 DB 분석 및 평가를 통한 보수구간 선정 및 보수공법을 결정하기 위한 의사결정지원 단계, 결과에 대한 정보조회 및 통계분석이 가능한 리포팅 단계로 구분할 수 있으며, 주요 구성요소로써 크게 조사단계와 분석단계로 구분하기도 한다(MOLIT, 2011). PMS에 대한 이해를 위해서 국내에서 가장 일반적으로 운영되고 있는 국토교통부의 PMS의 구성요소별 단계를 살펴보면 다음과 같다(Fig. 1).

① 조사단계

PMS의 구성요소에 있어 조사단계는 아주 중요한 의미를 가지고 있다. 포장상태에 대한 정확한 정보와 이를 기반으로 한 DB 구축자료는 포장기능의 평가와 포장보수를 결정하게 되고 그 효과를 피드백 함으로써 다음 단계의 자료로 활용하는 순환구조로 이루어져 조사와 분석의 상관관계가 형성되어 있다. 따라서 정확한 평가와 분석을 위한 선행 조건이 정확한 조사와 DB구축이라 할 수 있다. PMS의 포장상태 조사는 균열, 종단 평탄성, 소성변형 등과 같은 1차 노면조사와 포장의 구조적 지지력과 미끄럼저항을 측정하는 2차 상세조사로 구분할 수 있다. 포장상태 조사는 조사 범위가 방대한 만큼 자동화 장비를 운영하여 빠르고 정확한 조사가 가능할 뿐만 아니라 객관적인 자료로 사용될 수 있다는 장점이 있다. PMS의 기본 장비로써 1차 노면조사는 KRISS, ARAN, PES 등을 이용하여 포장의 균열정도와 분포면적, 소성변형 및 종단평탄성과 같은 노면상태를 조사한다. 2차 상세조사는 포장단면 조사를 위해 레이더 투과 검

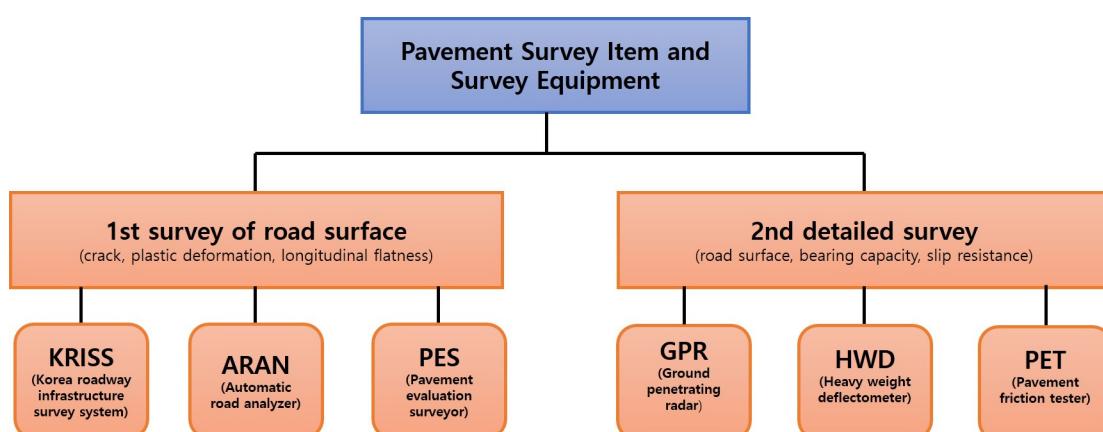


Fig. 1. PMS pavement survey items and survey equipment.

사기(GPR)과 포장의 구조적 지지력을 측정하는 포장구조진단기(HWD), 도로의 미끄럼을 측정하는 포장 미끄럼저항측정기(PET)로 구성되어 있다. 이와 같은 자동조사장비에 의해 노면상태 및 포장구조를 측정하고 이를 기반으로 포장상태를 평가하기 위한 포장상태평가 지수를 산정하여 조사구간에 대한 정량적 분석을 통해 포장보수구간 및 공법을 결정하게 된다. 포장상태평가지수는 각 관리기관별로 차이가 있으며, 일반국도의 경우 포장평가지수(NHPCI)라고 하는 산출방식을 통해 포장상태를 평가하고 있다. 이와 같은 조사자료에 대하여 DB를 구축하고 포장기능의 평가 및 유지관리 공법 선정 및 효과를 평가하여 이를 각 보조시스템에 피드백하는 순환구조를 통하여 다음 단계의 자료로 활용 가능한 관계를 가지고 있다. 지속적으로 구축된 방대한 양의 DB는 다양한 분석자료로 활용됨으로써 지식기반의 정보제공자 역할을 수행하는 초석이 될 수 있다.

② 의사결정지원 단계

PMS의 의사결정지원 단계에서는 정량적, 정성적 조사자료를 바탕으로 보수구간 및 보수방법을 선정하고 그에 따른 우선순위의 결정함으로써 합리적인 예산수립과 집행을 한다. 의사결정지원 단계는 유지보수의 시기와 방법을 결정하는데 있어 경제성분석 과정이 포함되어 생애주기비용분석(LCC)이 가능하며 일반국도의 PMS에서는 HDM-4 모델을 활용하고 있다(MOLIT, 2012).

한편 PMS는 운영수준에 따라 Network Level(도로망 수준), Project Level(개별사업수준)으로 구분하고 있으며, 일반적으로 Network Level(도로망 수준)은 전체 도로망차원에서 어느 구간을 먼저 보수할 것인가 결정하는 단계로 조사 정밀도 보다는 신속한 방법으로 조사하여 단기 공용성 분석에 적용되며, Project Level(개별사업수준)은 구체적인 공법을 판단 적용을 위한 단계로써 보수구간으로 선정된 구간에 대하여 상세조사 및 현장실사를 통해 구체적인 보수 세부계획을 수립하게 되며 장기 공용성 분석을 수행하게 된다.

이러한 의사결정시스템은 유지관리비 산정 및 예측, 유지보수 대상구간의 우선순위결정, 유지보수 시기에 따른 변화추세 예측, 경제성 지표 도출이 주요 기능 등으로 구성되어 있으며, 목적에 따라 결과물의 조합분석을 통해 다양한 활용이 가능하다. 의사결정지원 단계는 예산규모와 단기 장기적인 도로관리 목표, 서비스 수준 등과 같은 관리주체의 전략적인 도로계획에 부합할 수 있도록 하는 핵심적인 역할을 수행하는 단계라 할 수 있다(Choi, 2012).

③ 결과조회 및 리포팅 단계

PMS의 최종적인 내용에 대하여 결과를 조회하고 전반적인 현황을 한눈에 파악할 수 있도록 함으로써 도로관리자의 업무를 지원하며, 사업 수행 및 계획을 위한 최종 결과보고서를 리포팅 할 수 있도록 하는 단계이다. 관리자의 업무 지원을 위함과 동시에 통계적 기법을 활용하여 각종 결과에 대한 분류 및 집계를 함으로써 결과 내에서 또 다른 결과값 도출이 가능하여 활용성을 확대할 수 있다.

포장관리시스템의 운영방법

① 포장관리시스템 업무 흐름

도로유지관리를 위한 PMS의 운영의 업무흐름은 계획 수립을 기점으로 노면조사와 상세구간 조사를 통하여 포장의 상태를 분석, 품질등급을 결정하고 그에 따른 보수보강공법을 결정하게 된다. 이때 특수한 공법을 필요로 하게 되는 특이구간과 일반구간으로 구분하여 각각의 결정요소에 적합하도록 최종보수공법 및 구간을 결정하는 과정으로 이루어져 있다(Fig. 2).

② 도로포장상태 조사

도로포장상태에 대한 조사를 함에 있어 전수조사를 하기에는 그 양이 너무 많아 효율성 및 경제성이 떨어지므로 과거 조사구간 중 양호한 구간이나, 교통량, 유지보수 실적 등을 감안하여 조사대상구간을 선정하게 된다. 선정된 구간에 대하여 자동노면조사장비를 이용하여 균열, 소성변형, 종단평탄성의 항목에 대하여 노면상태 조사가 이루어지고 포장결합상태 등급을 결정하게 된다.

포장의 노면상태에 있어 기본적으로 균열이 발생한다는 것은 그 종류와 양에 따라 포장체 파손의 정도와 진행여부를 파악할 수 있는 요소이다. 일반국도 PMS에서 운용하는 자동조사 장비로는 ARAN과 PES를 이용하고 있다. ARAN이라는 장비의 WiseCrax라는 이미지 프로세싱 프로그램을 통해 이루어지며, 균열 조사 결과는 이미지파일로 출력 가능하고 상세자료는 텍스트 파일로 출력 가능하며, 분석을 통해 균열률(%)과 균열도(m/km)로 표현이 가능하다(MOLIT, 2010). PES 장비는 PES 장비의 균열 검지방법은 후방에 설치된 고해상도 라인스캔 카메라를 이용하여 실제 1 mm 이하 균열 분해능을 갖는 노면 이미지를 획득하여 미세한 균열 및 명확한 포장의 표면 결함 검출이 가능한 특징이 있다(MOLIT, 2010). 자동조사장비를 이용하여 획득한 균열조사 결과에 대한 분석방법은 이미지 프로세싱 기법과 인력에 의한 분석 후 수치화 하는 두 가지 방법이 있으나, 이미지 프로세싱 기법은 아직까지 정확도가 낮아 인력에 의한 분석 방법이 주를 이루고 있는 실정이다. 물론 최근에는 이미지 프로세싱 기법이 발전하여 이를 적용하는 비

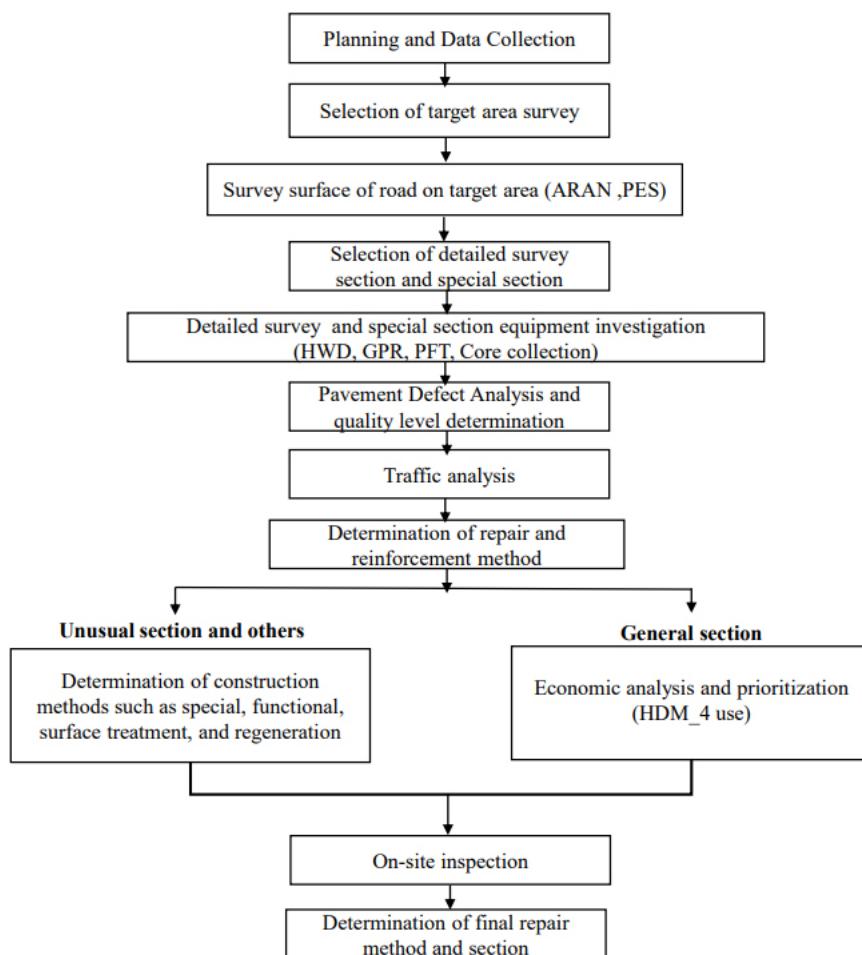


Fig. 2. General national road PMS work flow chart (KICT, 2015).

율이 점차 확대되고 있다. 이러한 분석과정을 통해 노면에 대하여 500 m 단위로 균열율을 산출하여 포장등급을 결정하는 요소로 이용되고 있다(MOLIT, 2010).

아스팔트 포장은 연성포장으로 반복하중에 의한 종, 횡방향으로 변위가 발생하게 되는데 이를 소성변형이라고 하고 재료적 원인과 구조적, 외부영향요인과 같은 다양한 원인에 의해 발생하게 된다. 이러한 소성변형을 측정하기 위해 ARAN은 초음파를 이용하여 측정하며, PES는 라인레이저 방식으로 소성변형 깊이를 측정하여 빠르고 안정적으로 자료를 수집한다. 소성변형에 대한 분석은 10 m 단위로 좌우측 소성변형량을 비교하여 큰 값을 500 m에 대한 소성변형량(mm/km)을 구하게 된다(MOLIT, 2010).

도로포장의 종단 평탄성은 차량운행의 승차감에 영향을 끼치는 요소로 종단방향으로의 굴곡을 측정하여 수치화하는 방법으로 종단 평탄성 정도를 지수화하여 나타낼 수 있다. 종단 평탄성 지수는 IRI, QI, RN, PRI, PSI 등 다양한 방법이 있으나, 일반국도에서는 비교적 일반적인 방법인 IRI(International Roughness Index)를 기준으로 하고 있다 (MOLIT, 2010). 종단 평탄성 측정은 정밀도 0.01 mm 이하의 고정밀 고속레이저를 차량의 주행궤적 방향으로 양측 바퀴에 장착하여 차량 주행방향에 대해 포장의 평탄성 정도를 정량화 시키는 방법을 이용하며, 10 m 단위로 좌우측 종단 평탄성을 비교하여 큰 값을 취하여 500 m에 대한 종단평탄성(m/km)을 구한다(MOLIT, 2010). 도로노면에 대하여 균열, 소성변형, 종단 평탄성과 같은 3가지 조사항목을 독립변수로 하여 다중회귀분석을 실시하여 일반국도 포장평가지수(NHPCI)를 0 ~ 10점의 평가지수 점수로 표현하여 5점을 기준으로 보수대상구간을 선정하는 방식이다.

한편 노면의 포장 결함에 해당하는 균열 및 소성변형 조사자료를 바탕으로 각각 파손수준에 따라 3등급으로 분류하고, 상호 교차하여 포장파손 등급을 결정하게 되는데 이러한 등급이 VI등급이며 VI값은 1 ~ 7의 범위를 갖는다(Fig. 3).

상세조사구간은 노면상태와 교통량, 보수이력 등을 고려하여 노면에 대하여 양호한 구간과 불량한 구간을 구분하고 불량하다고 판단되는 구간을 상세조사구간이라고 하며, 선정방법은 1 ~ 7등급으로 분류한 포장결함상태(VI)을 기준으로 포장상태가 양호하다고 판단되는 1등급을 제외한 2 ~ 7등급을 대상으로 한다(MOLIT, 2010). 이러한 상세포장구간에 대하여 포장구조에 대한 진단 및 평가가 이루지며, 포장구조체의 처짐량을 조사하기 위한 장비로 포장구조진단기(HWD)와 포장단면 두께 측정기로 레이더투과 검사기(GPR)가 사용되며 측정방법은 다음과 같다.

포장의 구조적 능력을 포장체의 처짐량을 조사하여 불량여부를 판단하게 되는데 이는 포장의 구조적인 지지력을

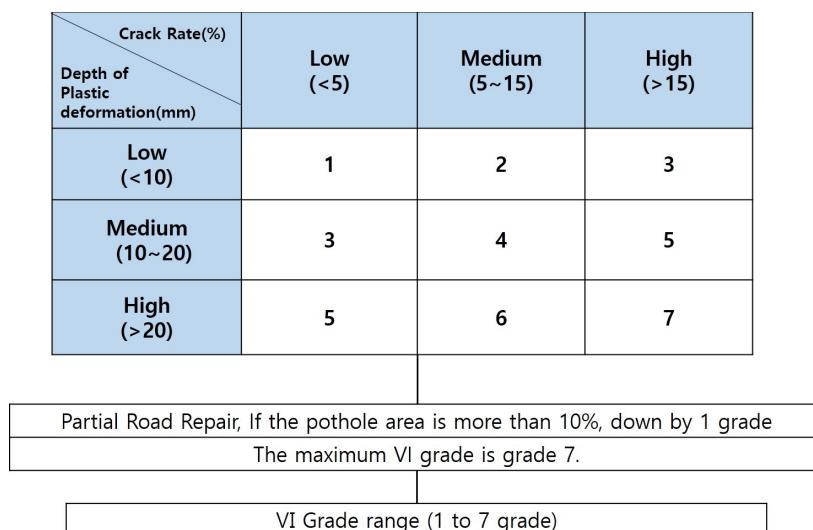


Fig. 3. Pavement defect status rating determination flow chart (MOLIT, 2010).

측정하는 것이다. 포장구조진단기(HWD)는 하중을 자유낙하시켜 충격하중에 의한 포장체의 처짐량을 측정하는 장비로 실제 교통하중과 유사하여 포장체의 지지력 측정하는데 아주 유용한 장비로 평가 받고 있다.

처짐량은 조사간격 별 조사치를 전 구간의 대표 처짐량으로 계산한 설계처짐량 DC(Deflection Characteristic)을 결정하고 처짐량의 하한선 0.5, 상한선 0.85를 기준으로 3개의 그룹으로 구분하여 VI등급과 연계하여 포장 결함 품질 등급을 결정하는 요소로 이용된다(MOLIT, 2010).

포장단면은 교통량 및 교통하중, 기온과 같은 지역적 특성과 포장재료 등의 다양한 요소를 고려하여 결정하게 되며 포장단면 각 층의 두께는 포장의 구조적 특성에 있어 중요한 의미를 가진다. 따라서 포장 각 층의 두께나 공동의 유무 등을 검사함으로써 포장체 파손이나 구조적 문제를 판단할 수 있다. 이러한 포장단면을 측정하는 장비로 레이더 투과 검사기은 직접 시굴이나 코어채취로 인한 포장 손상 없이 전자파에 의해 측정하는 방식으로 포장단면을 분석하여 HDM-4 모델의 입력자료로 활용함으로써 의사결정지원을 위한 판단 요소 중의 하나이다.

특이구간은 균열과 소성변형의 정도가 심한 구간으로 균열율이 50% 이상 또는 소성변형 최대 깊이가 50 mm 이상 (평균 깊이 20 mm 이상) 발생된 구간을 대상으로 한다(MOLIT, 2010). 이와 같은 구간에 대하여 코아채취 및 미끄럼 저항을 측정하게 된다. 코아채취는 차량하중에 의한 유동발생지점과 영향이 없는 지점에서 채취하여 포장두께를 파악하여 보수공법을 결정하게 된다. 또한 미끄럼 저항 측정은 노면의 마찰이 문제가 된 구간에 대하여 타이어와 노면사이의 마찰력을 이용하여 미끄럼 저항치를 측정한다(MOLIT, 2010).

③ 의사결정지원

포장품질을 나타내는 포장결함 등급은 표면 결함상태 등급(VI)와 처짐량을 조합하여 Q1~Q9까지 9단계로 구분하여 보수공법을 결정하게 된다(Fig. 4). 노면상태에 대해서는 7개의 등급을 A,B,C로 재분류하여 처짐량 3개 등급과 조합하여 다음과 같은 포장결함등급을 결정한다(MOLIT, 2010).

위와 같은 품질등급에 따라 Q1, Q2는 포장상태와 처짐량이 양호한 상태로 일상적인 유지보수작업 수준임을 나타내고 있으며, Q3은 포장상태는 불량하지만 처짐량은 비교적 양호한 상태로 향후 포장상태가 나빠질 수 있는 가능성 있으므로 교통량 조사결과를 고려하여 덧씌우기 공법 적용 여부를 판단 할 수 있다.

Q4, Q5는 두가지 변수가 불확실한 상태로 포장재령 및 교통량, 최근 보수이력 등을 고려하여 처짐량과 포장상태 중 지배적인 부분에 따라 Q2, Q3, Q6로 재조정하여 Q6로 판단되면 노면상태와 처짐량 모두 불량한 상태로 반드시 덧

Amount of deflection (mm) VI Grade	I 0.5 below	II 0.85 below	III
1	Q1	Q2	Q7
2~3	Q3	Q5	Q8
4~7	Q4	Q6	Q9

Fig. 4. Pavement defect status rating determination flow chart (MOLIT, 2010).

씌우기 공법을 실시해야 하는 상태로 분류한다. Q7 – Q9 등급은 처짐량이 매우 불량한 구간으로 처짐량이 발생하는 원인을 분석하고 특이구간으로 분류하여 특이구간 운영지침에 의해 보수공법을 결정해야 하는 등급이다. 포장 보수 공법에 대한 최종적인 결정은 조사구간의 포장결함등급을 기준으로 현장 실사를 통하여 전반적인 포장상태와 문제점을 파악하여 보수공법에 대한 타당성을 검토하는 과정을 거치게 되며, 포장상태가 심각하여 우선보수가 필요한 구간에 대상으로 보수공법을 결정하고 그 외 대상구간은 HDM-4 모델을 이용한 경제성 분석을 통해 우선순위를 결정한다 (MOLIT, 2010).

포장보수공법은 소성변형의 정도와 노면 균열의 정도에 따라 공법 적용을 달리하게 되므로 이 두 가지 요소를 지표로 활용하여 덧씌우기, 절삭 등과 같은 보수공법 적용 기준에 따라 최종적으로 결정한다.

보수 우선순위 결정은 포장상태가 불량하여 심각하다고 판단되는 구간은 우선보수대상구간으로 1차 선정하고 그 외 구간에 대하여는 경제성을 검토하여 우선순위를 결정하게 된다. 경제성을 검토해야 하는 구간은 포장상태가 처짐량 15 mm 이하, 균열율 20% – 30% 이하에 해당하는 구간으로 HDM-4 모델을 이용하여 보수시기를 차기년도에 수행하는 것과 수행하지 않는 것에 대한 분석기간 5년 동안의 총 비용의 차이를 고려한 현재가치(NPV)로 우선순위를 결정한다(MOLIT, 2010).

이와 같이 분석한 결과 NPV가 (+)이면 차기 연도에 시행하는 것이 경제적 우위에 있음을 (-)이면 시행하지 않는 것 이 경제적 우위가 있음을 나타내는 것이다. 즉 시행 우선순위의 결정은 보수구간에 대한 상대적인 경제성을 비교하여 경제적 편익이 있다고 분석된 구간을 차기년도 보수구간으로 선정하고 NPV가 큰 순서대로 우선순위를 결정한 후 예산범위 내에서 시행가능 구간을 결정하는 방식이다.

PMS에서의 상대적 경제성 및 보수 우선순위 결정을 위해 사용되는 HDM-4 모델은 도로에 적용되는 다양한 변수의 고려가 가능할 뿐 아니라 LCC(Life Cycle Cost) 개념을 기반으로 효율적인 건설 및 유지관리 방안을 도출해내는 모형이다(MOLIT, 2012). 이 모델의 입력사항 항목으로는 도로, 차량, 유지보수로 구분되며, 세부모형의 경우 도로악화모형, 유지보수효과모형, 도로지용자모형, 사회-환경모형으로 구성되어 있다. HDM-4 모델은 도로의 계획, 설계, 유지관리 측면에서 경제성 분석을 위한 다양한 장점을 가진 모델이지만 입력자료의 각 변수가 결과에 미치는 영향의 강도를 파악하기가 어려워 해당 지역이나 국가별 도로 및 교통특성의 상이함을 반영하는데 어려움이 따른다 (MOLIT, 2012). 따라서 국내 여건에 적합한 경제성 분석이 가능한 모형을 구축하는 것이 필요한 실정이다.

포장관리시스템의 운영 효과

도로연장의 증가로 인하여 유지관리 업무는 과거와 같이 인력에 의해 주관적이고 단순한 개념으로 불가능해졌으며, 포장보수의 범위, 종류, 적합성평가, 장기적인 포장수명을 고려하는 것과 같이 다양한 분석을 필요로 하는 현 시대에는 방대한 양의 DB를 구축하고 이를 통한 합리적인 방안을 도출해내는 과정을 위해서는 PMS를 운영하는 것이 적합한 대안이라 할 수 있다.

PMS를 운영함으로써 얻을 수 있는 효과는 도로관리를 함에 있어 예방적 유지관리 및 포장수명을 고려한 전반적인 도로유지관리의 효율성 증대와 제한적인 예산운용을 위해 객관적이며, 경제성의 우위를 갖는 예산집행이 가능해짐에 따라 예산절감 효과, 도로의 질적 향상과 즉각적인 민원대응이 가능한 행정서비스의 향상이 가능해진다는 것이다 (GANGWON-DO, 2019). 따라서 PMS의 운영효과를 도로유지관리 효율성 증대, 예산절감, 행정서비스 향상과 같이 크게 3가지로 분류할 수 있으며 각각에 대한 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

① 도로유지관리의 효율성 증대

포장유지관리에 있어 과학화, 현대화된 포장관리 체계를 갖춤으로써 과거의 인력위주, 사후관리 위주의 방식에서 벗어나 보다 객관적이고 합리적인 유지관리가 가능할 뿐만 아니라 유지관리를 위한 인력, 예산, 소요시간이 획기적으로 단축되어 전반적인 업무의 효율성이 증대된다(GANGWON-DO, 2019). PMS를 이용하여 포장상태조사와 이를 등급별로 분류하는 과정, 보수공법 선정 및 예산 수립, 노선별 현황 및 계획 등과 같이 포장유지관리에 필요한 다양하고 복잡한 요소를 고려하여 현황파악 및 분석이 가능해짐에 따라 빠르고 정확한 포장유지관리를 수행할 수 있다. 포장과 관련된 자료에 대한 DB 구축이 가능해 짐에 따라 다양하고 다년간 축적된 DB를 평가 분석하여 상황에 맞는 최적의 대안을 제시할 수 있으며, 객관적인 의사결정을 지원함으로써 보수공법 선정 및 시기, 우선순위 선정과 같은 중요한 결정사항에 대한 실무관리자의 부담감을 줄이고 업무의 효율을 향상 시킬 수 있다. 또한 포장유지관리 업무에 대해 계획적이며 일관성 있는 업무추진이 가능하며, PMS를 이용하여 실현가능한 장기적인 포장관리 계획 및 목표의 설정 및 적절한 전략수립이 용이해짐에 따라 최종 결정권자와 실무관리자의 의견을 줄이고 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

② 예산절감

도로유지관리에 대한 예산 수립 및 집행에 대한 어려움은 도로의 양적증가와 노후화에 따른 관련 필요예산의 기하급수적인 증가에 비해 턱없이 부족한 예산을 얼마나 효율적으로 사용하느냐에 있다. 이러한 문제에 있어 PMS는 보수에 대한 시기와 공법의 적정성을 찾아 포장수명을 연장함으로써 예산 절감과 함께 예산 집행을 위한 합리적인 근거를 제시하고 객관적인 기준에 의한 우선순위가 결정되어 예산분배 및 중장기적인 예산 수립이 용이하다(IDI, 2012). PMS의 운영은 도로의 기능이 상실되거나, 성능이 저하되어 발생하는 부차적인 사회비용을 억제하고, 부적합한 보수공법의 적용으로 잦은 보수와 그에 따른 포장층의 공용성 단축 및 교통차단에 따른 부차적인 비용 등과 같은 크고 작은 부분에서 지출되는 예산을 절감할 수 있다. PMS는 포장체가 한계공용수명에 도달했을 때 보수를 실시하여 보수비용의 증가와 지속적인 파손이 발생되는 것을 방지하고 최적의 보수시기를 통해 예방적 유지보수 및 포장공용수명이 증가함에 따라 예산절감 효과를 거둘 수 있다(SEOUL, 2017). 예산절감의 일례로 일반국도 PMS의 운영 전과 후인 1991년부터 10년간 4,805억 원의 편익이 발생하였으며, 포장공용수명의 경우 2000년(8.3년)에 비해 2010년(12.7년)에는 53%가 증가하였다(GRI, 2014).

③ 행정서비스 향상

산업의 발전과 더불어 교통량의 증가는 도로가 가지는 기본적인 역할과 함께 도로의 질적 향상으로 주행성과 안전성을 요구함에 따라 각 지역별로 균등한 품질을 기대하게 되고 다양한 민원이 발생하게 되어 사업우선순위에 대한 객관적인 근거는 아주 중요한 요소로 PMS의 운영은 행정적인 측면에서도 의미가 있다. 다시 말해 PMS 도입으로 포장도의 노후 상태에 따라 사업우선순위 및 최적공법 제시로 예방적 차원의 도로관리 체계가 구축되어 도로의 질을 제고함으로써 지역주민들에 대한 불편해소 및 사고위험을 줄여 효율적 행정서비스를 제공 시킬 수 있다. 또한 최적의 보수공법 및 보수시기 등을 결정함으로써 예산절감 및 체계적인 사업진행 예측이 가능하게 되며, 과학적이고 객관적인 자료와 분석 및 예측을 토대로 효율적인 도로행정의 구현이 가능하다(GANGWON-DO, 2019). 과거의 포장 유지보수 방식은 방대한 양의 관할도로에 대한 포장상태 파악 및 유지관리가 힘들어 도로이용자의 질 높은 주행서비스 제공을 위한 선제적 대응 체계가 미비하여 민원에 대한 후속조치가 이루어지는 방식이었으나, 도로관리시스템을 도입함으

로써 관리자가 정확한 포장상태 파악 및 유지보수 계획을 수립하여 예방적 민원 대응으로 안전하고 질 높은 도로 주행 서비스를 제공할 수 있다.

지방도 포장관리시스템 구축 및 운영 특성

1980년대 이후 도로포장 노선이 급격하게 늘어남에 따라 포장유지관리에 대한 선진화의 필요성이 대두되면서 1989년 국토교통부가 일반국도를 대상으로 포장조사장비 및 분석시스템을 도입한 것이 국내에서 PMS의 시작으로 1991년부터 정식으로 PMS를 운영하게 되었다(GRI, 2014). 이후에 한국도로공사, 공항관련 기관에서 운영하고 있으며, 서울시를 비롯한 지자체에서 PMS를 구축, 운영하고 있다. 지자체 중에서 가장 먼저 PMS를 도입한 서울시의 경우 1999년부터 2001년까지 2단계에 걸쳐 자체 장비 및 조직을 갖추고 PMS 구축을 완료하고, 자체운영과 함께 지역적 특성을 고려한 평가지수를 개발하여 DB구축 및 분석을 함으로써 서울시만의 특성 있는 PMS를 구축하여 지속적으로 운영함으로써 도로유지관리에 대한 효율성이 향상되었으며, 다양한 부분으로 적용·확대 발전해가고 있다(SEOUL, 2017). 서울시의 PMS 도입 이후 성남시, 이천시, 안산시 등이 PMS를 구축하고 운영한 사례가 있으나, 초기 도입에 비해 지속적인 데이터 구축 및 갱신에 대한 어려움과 시스템 운영 및 관리의 한계성으로 운영을 중단하였다. 이후 인천광역시, 부산시, 경기도, 대전광역시, 충청남도 등 여러 광역단체에서 PMS를 도입하기 위해 다양한 검토를 하였으며 최근 들어 부산시와 경기도 등이 자체적으로 운영하고 있는 상황이다(GRI, 2014).

도로관리시스템을 자체적으로 운영한다는 것이 결코 쉽지 않다는 것은 운영중단을 한 지자체의 사례에서 알 수 있다. 그 원인으로 조사단계에서 전문장비 구축과 조사를 위한 예산문제, 조사 및 조사결과 분석을 위한 소요기간(1~2년 이상), 전문인력 및 조직의 운영과 같이 조사단계에서 다양한 문제가 발생한다는 것이다(IDI, 2012). PMS의 운영을 위해서는 관련 DB의 질적, 양적성과가 무엇보다 중요하므로 조사단계에서 많은 투자가 이루어져야 하며, 그것이 한 번에 그치는 것이 아니라 지속적이고 반복적으로 이루어져야 한다는 점에서 어려움이 따른다. 특히 PMS를 위한 예산을 구축비용, 조사비, 운영비로 구분할 때 조사비용이 가장 큰 비중을 차지함에 따라 PMS 초기단계에서 발생하는 재정적인 한계를 극복하는 것이 성공적인 운영을 결정하는 중요한 요소이다. 비교적 재정자립도가 낮은 지자체는 포장유지관리비의 절감효과를 비롯한 PMS 운영으로 얻을 수 있는 다양한 효과를 확신하기 전에 재정적인 한계에 부딪히게 되는 것이 현실이다. 지금까지 자체적인 운영에 성공한 지자체들은 재정자립도가 비교적 우위에 있는 곳으로 다른 지자체의 중단원인이 지속적인 운영을 위한 예산투입문제와 비용편익 대한 확실성의 부족이라는 것을 유추 할 수 있다. PMS를 자체운영하고 있는 곳은 서울시, 부산시, 경기도와 같이 재정자립도가 높은 광역자치단체이면서 관리해야 할 도로연장의 양이 방대하여 적절한 도로유지관리를 위해서는 PMS와 같은 선진 시스템의 도입이 필요할 뿐 아니라 비용편익 적인 측면과 그 외의 다양한 효과를 쉽게 확인할 수 있다. 하지만 성남시, 이천시 등과 같은 시군단 위의 지방자치단체는 관리도로의 양이 워낙 소규모이어서 투입예산에 비해 체감효과가 상대적으로 크지 않다고 판단되어 운영중단을 결정하는 요소가 될 수 있을 것이다. 현재 많은 지자체에서 PMS의 도입을 위한 검토와 필요성에 대한 공감대가 형성되고 있으나, 타 지자체의 사례를 통해 운영상 발생하는 다양한 현실적 문제들로 인하여 지속적인 운영이 쉽지 않다는 것을 인식하여 초기부터 자체적인 운영방식을 선택하기보다는 위탁운영을 선택함으로써 경험을 축적하고 운영효과를 확인한 후 각 지자체 상황에 적합한 운영방식의 결정을 고려하고 있다(GRI, 2014).

결과 및 고찰

강원도 도로관리 특성 및 포장관리시스템 적용방안

도로는 관리를 위한 법적인 분류는 도로의 기능을 기준으로 한 기능적인 분류에 따라 구분되며, 계획 및 건설, 관리 및 위험 관할권상으로는 도로법에 의해 고속국도, 일반국도, 특별·광역시도, 지방도, 시도, 군도 및 구도의 7개 등급으로 분류할 수 있다 (Fig. 5).

강원도와 같은 광역자치단체가 관리하는 도로는 지방도와 국지도, 위임국도를 관리하고 있으며, 지방도는 지방의 간선도로망을 이루는 도로로서 도청소재지로부터 시청 또는 군청소재지에 이르는 도로 및 시청 또는 군청소재지 상호간을 연결하는 도로이며, 강원도가 관리하고 있는 도로는 등급별로 구분하면 위임국도 10개 노선 491.8 km, 국가지원 지방도 7개 노선 271.1 km, 지방도 37개 노선 1,360.8 km로 총 54개 노선 2,123.7 km를 관리하고 있다(MOLIT, 2011).

강원도 관할 도로인 지방도 유지관리에 있어 포장보수, 사면정비와 같은 도로유지보수사업과 도로폭 확장, 위험도로 개량 및 구조개선 등의 도로기능을 향상시키기 위한 사업, 교량 및 터널등의 시설물 정비와 같은 안전시설 확충 사업으로 구분되어 진행되고 있으며, 강원도의 2017–2018년 조사결과에 따르면 기준 총사업비는 8,808억 원으로 그 중 포장도 보수를 위한 비용으로 172개소 1,180.4억 원이 소요되는 것으로 나타났다(GANGWON-DO, 2019).

도로유지관리와 관련하여 도로사면정비가 2,717.3억 원, 위험도로 개량이 1,473.4억 원 교량 및 터널보수가 1,163.8억 원 순으로 포장도 보수 비용이 4번째로 많은 예산을 필요로 하는 것을 확인할 수 있다(GANGWON-DO, 2019). 이는 강원도의 지형적 특성 상 산악지역이 많아 도로의 구조에 있어 사면과 굴곡, 교량 및 터널이 필요한 경우가 많아 그 만큼 관리대상이 많으며, 도로사면 정비의 경우 단위 사업비 소요가 큰 만큼 유지보수를 위해 많은 예산을 필요로 한다. 실제로 사업량에 있어 포장도 보수는 3,446,636 m²인데 반해 도로사면 정비구간은 1,911,019 m²로 큰 차이를 보이고 있다.

한편 강원도의 유지관리 예산은 매년 400여 억 정도 투자되고 있으며, 2019년 기준으로 2025년까지 투입되는 예산을 제외하더라도 5200여 억 이상의 추가적인 예산투자를 필요로 하는 상황이다(GANGWON-DO, 2019). 따라서, 도

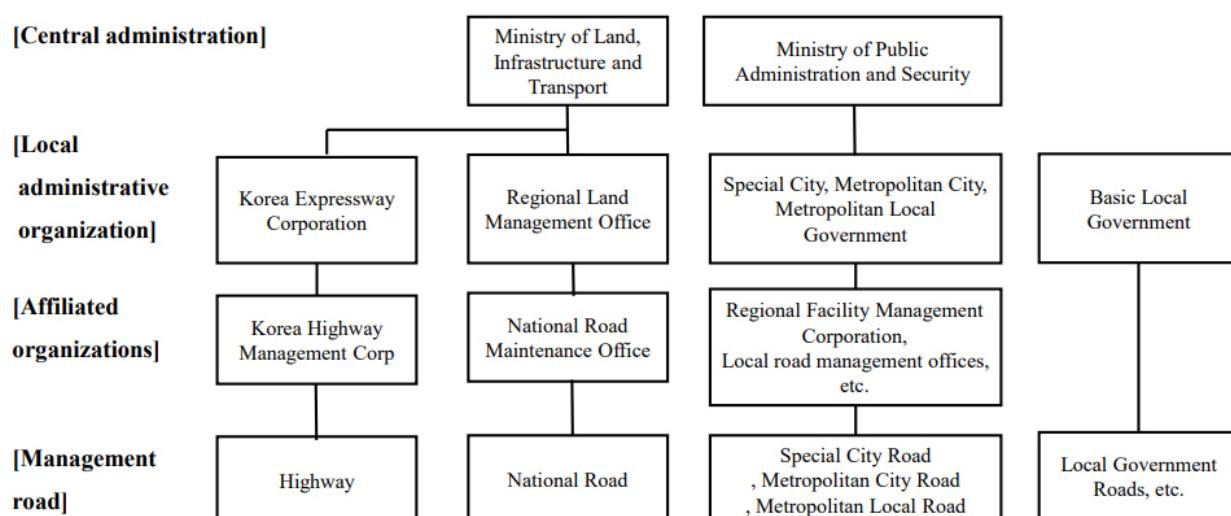


Fig. 5. Organizational chart of road administration in Gangwon-do (GANGWON-DO, 2022).

로 유지관리를 위해서는 부족한 예산에 비해 보다 효율적인 도로관리가 이루어져야 하며, 적정 보수시기를 놓칠 경우 상황이 악화되어 더욱 많은 예산을 필요로하게 될 것으로 예측하고 있다. 이러한 문제점을 인식하에 강원도는 국토교통부의 PMS를 도입하여 위탁운영 방식으로 진행 중에 있다.

PMS 적용방안을 검토하기 위해 일반적인 강원도의 도로관리 특성을 알아보면 강원도의 도로유지관리 업무는 강원도도로관리사업소(3개 지소)에서 담당하고 있으며(Fig. 6), 지방도 및 위임국도의 총 연장은 2,123.7 km이며 PMS를 적용하기 위한 조사연장은 위임국도를 제외한 지방도 37개 노선 1,360.8 km으로 2차선기준 환산 연장은 2,720 km로 유추할 수 있다(GANGWON-DO, 2022). 강원도는 지역적 특성상 산악지역이 대부분으로 도로 평면선형불량 및 종단경사가 심한 곳이 많으며, 터널과 교량을 비롯하여 급경사지 사면과 같은 도로와 관련한 시설물이 타 지역에 비해 많은 편이다(Rho and Kim, 2013). 따라서 도로 포장과 함께 시설물 유지관리와 관련한 업무와 예산의 비중이 커서 전체적인 도로유지관리를 위한 체계의 개편이 더욱 필요한 상황이다. 기후적인 측면에서는 하절기와 동절기의 기온변화가 크고, 타 지역에 비해 동절기 기간이 길 뿐만 아니라 적설량이 많아 동결용해 및 제설작업과 같이 포장의 수명을 단축시키는 요인이 많아 여러 가지로 불리한 측면이 있다. 실제로 강원도의 포장유지보수 적용 공법 중 대부분이 표층을 절삭 후 덧씌우기 공법으로 표면의 미세균열보다는 표층부의 재포설을 필요로 하는 경우가 많았으며, 이는 포장층의 파괴가 보다 쉽게 일어날 수 있는 환경요건을 가지고 있다고 판단할 수 있다.

이와 같이 강원도의 지역적 특성은 도로시설물의 유지관리에 있어 지형적으로나 기후적으로 상당히 불리한 여건에 있으며, 이는 PMS와 같은 선진화된 유지관리 시스템의 도입으로 유지관리의 효율성 극대화 외에 다양한 장점을 가질 수 있다는 점에서 그 필요성이 더욱 강조되고 있다. 강원도가 가지고 있는 도로와 관련한 여건과 특성을 파악하는 것은 PMS의 운영목적과 목표를 결정하기 위한 중요한 요소이며, 이를 정확히 반영하여야만 가장 효율적인 시스템의 구축이 가능할 것이다. 다시 말해 강원도의 지리적·지형적 특성을 PMS의 구성요소에 반영하여 조사항목 및 간접주기, 평가요소 등을 결정하는 것이 중요하며, 그것은 자체운영 할 것인지 위탁운영 할 것인지에 대한 선택에 있어서

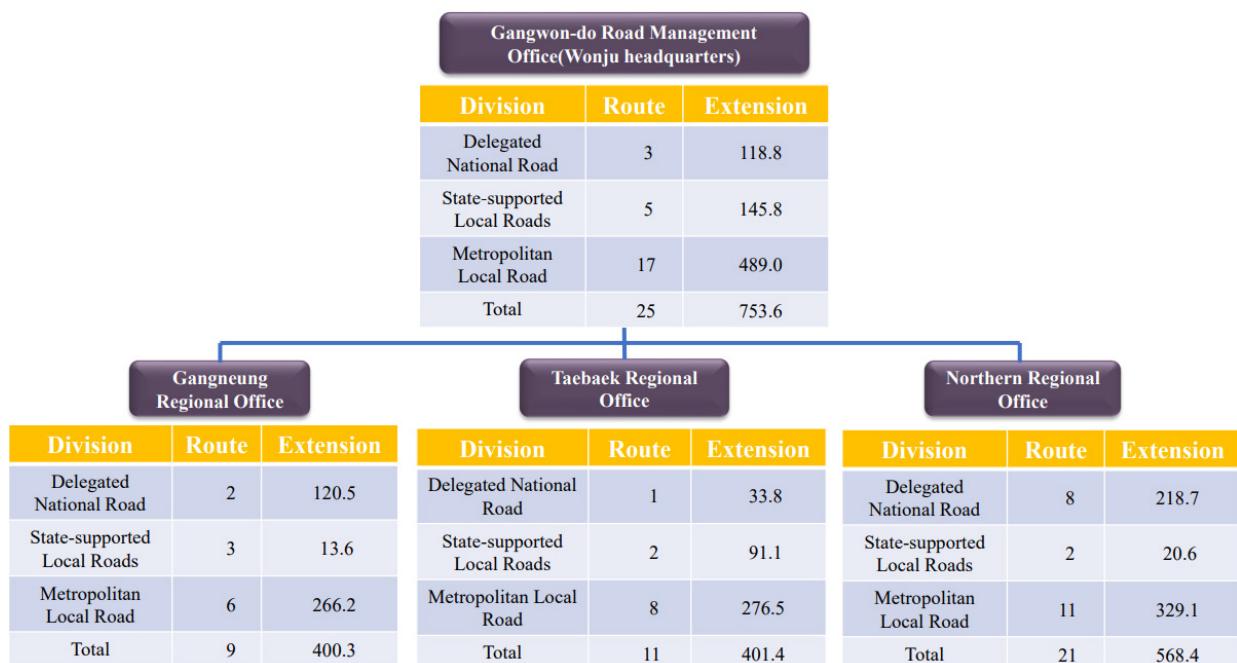


Fig. 6. Current status of road management offices and branches in Gangwon-do (GANGWON-DO, 2022).

도 영향을 미칠 수 있다. 두 가지 운영방식은 각각의 장단점이 존재하여 어떤 것이 좋은지 특정 짓기는 힘들지만, 일반적으로 지역적 특성을 고려하고 관리주체의 편리성을 고려할 때 자체운영방식이 적합한 반면 운영능력 및 예산을 고려할 때 쉽지 않은 측면이 있어 대부분의 지자체들이 위탁운영에 의존하고 있는 실정이다.

독자적으로 시스템을 개발하여 자체 운영을 하면 사용자 요구에 부합하는 프로그램의 개발이 가능하며 조사방법과 분석자료에 대한 평가지수의 특성반영이 가능하다는 점과 사용 후 문제점 개선과 향후 이용방안에 따라 확장성이 용이하다는 점이 장점이다. 하지만 초기 개발비용 및 조사장비 구축비용의 발생, 전문인력의 부족과 운영경험부족으로 지속적인 운영을 위한 정착기간이 필요하다는 문제점이 있으며, 초기 고비용의 예산이 투입되는 만큼 개발방향의 설정이 잘못 될 경우 예산낭비를 초래할 수 있어 신중히 검토할 필요가 있다. 위탁운영방식은 시스템 및 조사장비와 같은 초기구축비용이 들지 않으며 운영경험이 없어도 PMS를 도입하여 포장관리가 가능하다는 장점이 있으나, 운영주체의 특성을 반영한 시스템 구성이 불가하며 DB 구축 시 입찰에 의해 용역업체가 변경됨에 따라 동일성 및 연속성을 갖기 힘들어 DB에 대한 균일한 품질관리가 쉽지 않다는 단점이 있다.

최근 PMS를 구축하려는 대부분의 지자체는 자체운영을 추구함에도 초기구축 시 발생하는 예산문제와 운영능력의 문제로 위탁운영방식을 선택하여 진행한 후 경험과 노하우를 쌓고 운영방향을 확실히 설정한 후에 자체운영을 추진하는 것을 선호하고 있다. 자체운영방식을 선택하여 초기예산을 투입하여 성공적인 구축을 이루었음에도 전문적이고 방대한 양에 따라 장기간이 소요되는 조사 및 분석과정에서 어려움을 겪어 지속적인 운영을 포기하고 중단한 경우가 많은 만큼 과거 타 지자체의 사례를 통해 운영방식의 선정 및 개선사항을 면밀히 검토하여 결정할 필요가 있다.

PMS의 구성단계 중 조사 및 분석단계는 가장 근본적이며 핵심적인 요소로 DB의 질적 양적 수준에 따라 전체적인 계획 및 예산 수립에 큰 영향을 끼치게 된다. 하지만 조사대상의 양이 방대하여 시간적, 경제적, 기술적 문제가 발생하여 PMS운영상 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있다.

한편 조사 및 분석단계에서 고려할 점은 조사장비의 선정, 조사연장, 갱신주기, 평가방법과 같은 요소이다. 물론 운영방식에 있어 위탁운영방식을 선정할 경우는 고민 할 필요가 없으나, 자체운영방식을 선정할 경우 조사 및 분석단계에 대한 신중한 검토를 필요로 한다. 강원도가 자체운영을 한다고 가정하고 조사 및 분석 단계에서 고려사항을 검토하면 다음과 같다.

첫째 노면조사장비는 PES, ARAN, KRISS의 3가지 종류가 일반적이며 조사항목은 표면결함, 소성변형, 종단평탄성으로 구성되어 있으며, 촬영범위나 균열측정 분해능, 소성변형 측정간격 등의 항목에서 보다 정확하고 균질성을 확보할 수 있으며, 장비의 유지관리가 유리한 측면에서 PES, KRISS 장비가 우수한 측면이 있다. 또한 장비가격적인 측면에서도 5~9억으로 비교우위에 있다.

두 번째로 조사연장 및 갱신주기의 결정으로 강원도의 조사대상은 1,360.8 km(2차선 환산기준 2,720 km) 정도이다. 조사 및 분석은 1년을 주기로 시행하는 것이 가장 바람직하나, 조사 소요기간, 예산 등을 고려할 때 2~3년을 주기로 갱신하는 것이 가장 일반적이다. 또한 조사구간은 기본 조사는 전 구간을 대상으로 하고 상세조사구간은 노면조사 결과와 교통량, 유지보수이력, 과거 조사데이터를 참고하여 포장 상태가 불량한 구간을 선정하게 된다. 조사 및 분석 예산은 타 지자체 운영 사례를 보면 년간 1,000 km를 기준으로 2.5억 원 정도가 소요되므로 강원도의 경우 총 2~3년 6.8억 정도가 소요될 것으로 예상된다.

PMS의 운영을 위한 조직 및 인력은 국토교통부와 타 지자체의 사례를 참고하면 기본인원은 6명, 직접조사 및 평가를 위한 추가인원이 보통 7명 정도가 필요할 것으로 나타나고 있으며, PMS의 기본인원은 최소 박사급과 사무관과 석

사급 인원과 같은 전문인력이 필요하다(GRI, 2014). 대부분의 지자체는 관련 산하기관을 위탁기관으로 지정하여 운영하는 것이 업무의 분담과 전문성, 경제적 효율성을 확보하는데 유리할 것으로 검토하고 있다. 즉 강원도의 경우 현재 도로관리사업소가 유지관리업무를 맡고 있지만 강원도 개발공사와 같은 산하기관을 위탁기관으로 지정하여 PMS 운영조직을 신설함으로써 업무의 지속성과 안정성을 확보할 수 있을 것이다.

PMS의 구축 및 운영에 있어 그 필요성과 운영효과는 더 이상 의심의 여지가 없다는 것은 모든 지자체에서 공감하고 있으며 성공적으로 PMS를 도입하고 운영하기 위한 노력을 기울이고 있다. 강원도 역시 PMS 도입을 필요로 하고 있으며, 이를 위해 다양한 시도를 하고 있는 실정이다. 하지만 과거 여러 지자체의 실패사례에서 보듯이 지속적인 운영은 쉽지 않으며 가장 큰 원인은 생각보다 많은 예산의 문제와 운영상 필요한 전문성일 것이다.

앞에서 살펴본 바와 같이 지역적인 도로특성과 행정적, 예산적 상황을 고려한 유지관리 업무를 위해서는 PMS의 자체 운영방식을 필요로 하지만 초기 구축비용과 운영방법에 대한 경험 및 노하우 부족으로 어려움을 겪게 되며, 가장 기본적인 조사단계에서 많은 조사량과 분석자료의 DB화를 위한 과정에서 한계를 느끼게 되는 것이 현실이다. 실제로 대부분의 지자체가 PMS의 구축 후에 지속적인 DB 구축의 어려움으로 운영을 중단하였다고 봐도 무방하다. 강원도의 경우도 관리도로의 연장이 짧지 않아 조사 및 분석을 위해 매년 2~3억원이 소요되며 이를 체계적으로 DB화하고 지속적으로 개선·관리한다는 것은 PMS 운영에 있어 큰 걸림돌이 될 것이라 판단된다. 또한 이러한 DB를 구축하였다 하더라도 PMS의 전체 과정 상 일부분으로 도로유지관리업무를 위한 전반적인 운영에 대한 경험이 전무한 실정에서 실효성을 거두기 어려울 것이다.

결론적으로 PMS 구축 및 운영 상 예측되는 문제점을 고려할 때 운영 방식의 선정은 자체운영방식을 목표로 하되 처음 시작은 위탁운영방식을 선택하여 운영 경험과 노하우를 쌓고 시스템의 개선사항 등을 사전에 파악하여 시스템 보완 및 최적화를 이룰 수 있는 독자적인 시스템 구축을 추진하는 것이 바람직할 것이다. 또한 조사 및 분석을 통한 DB 구축 단계의 문제점은 최근 비약적 기술적 발전을 이루고 있는 센서기반 모니터링, 드론 모니터링, 딥러닝과 OpenCV와 같은 ICT 기술의 적용을 통해 방대한 양의 조사 및 분석 작업과 DB 연동화 작업을 빼르고 간소화하면서도 더욱 정확하고 체계적인 데이터 구축 및 관리를 가능하게 만들 수 있다. 강원도의 PMS 구축은 기존의 PMS 방식에서 벗어나 새로운 기술의 접목과 접근방식의 변화를 통해 근본적인 포장유지관리 목표는 유지하되 보다 간소하고 유연성이 확대된 시스템 구축이 가능할 것으로 판단된다.

지방도 포장관리시스템의 현실화를 위한 기술적 대안

조사단계의 ICT 스마트 기술 적용

앞서 살펴본 바와 같이 PMS의 운영에 있어 가장 어려움 겪는 단계는 조사단계, 즉 포장 조사와 분석을 통한 DB 구축 단계이다. 기존 조사방법은 조사 및 DB 구축을 위해 소요되는 고가의 조사장비, 조사기간, 인력, 예산의 한계성과 이를 지속적으로 반복 업데이트해야 한다는 점에서 어려움이 있으므로 이를 극복하기 위해서는 조사단계의 절차적 간소화를 이루면서 DB의 품질은 저하시키지 않는 기술적 변화가 필요하다. 최근 혁신적으로 발전하고 있는 ICT 기술은 스마트 기기, 사물인터넷(IoT), 스마트 센서, 드론, OpenCV와 같은 다양한 하드웨어, 소프트웨어, 통신기술을 종합적으로 활용하여 스마트한 정보화 사회를 가능케 하는 미래지향적 기술이다. 이러한 최신 기술은 PMS의 DB 구축 방법에 활용함으로써 그동안 다소 무겁게 여겨지던 조사단계를 슬림화 할 수 있으며, 보다 효율적인 DB 구축 및 분석이 가능해짐에 따라 지자체의 PMS 운영상 가장 큰 걸림돌을 제거함으로써 보편적이면서 지속적인 PMS 운영이 가

능할 것으로 예상된다(MOLIT, 2019b). 조사단계에서 적용 가능한 ICT 기술에 대하여 보다 구체적으로 그 적용방안을 살펴보면 다음과 같다.

① 스마트 기기 센서를 이용한 포장상태 관측

스마트기기에는 가속센서, 중력센서, 자이로 센서, GPS센서, 방향센서 등과 같은 다양한 센서가 설치되어 있어 이를 활용하면 포장상태에 대한 다양한 자료를 얻을 수 있다. 가속센서, 중력센서, 자이로센서는 주로 스마트기기의 움직임을 감지하는 것으로, X, Y, Z 3축을 기준으로 가속도를 측정, 중력 가속도 측정, X, Y, Z 3축에 대한 회전속도를 측정함으로써 기울임 정도나 회전 등을 알 수 있어 스마트 기기의 세세한 움직임을 감지하는 기능을 갖도록 하는 것이다. 또한 GPS센서와 지자기 센서를 이용하여 현재의 위치와 시간, 방위각의 측정이 가능함으로써 위치정보를 얻을 수 있게 된다. 이러한 기기의 특성을 이용하여 애플리케이션 형태의 프로그램 개발만으로 도로 포장의 소성변형, Pot Hole, 기타 포장파괴에 대한 자료를 손쉽게 파악할 수 있다(KOTI, 2021). 물론 스마트기기의 센서 성능에 따라 불화 실성이 발생될 수 있는 문제점과 포장구간 전체에 대한 조사를 위해 이용될 수 없지만 도로 보수원의 평상시 점검과정에서 불특정 기간에 발생하는 포장파괴에 대한 자료를 추가적으로 업데이트할 수 있는 장점이 있다. 따라서 포장상태 조사과정에서 보조적인 역할을 수행하거나, 폭우나 적설과 같은 기상 상황 및 기타여건으로 발생하는 포장파괴에 대해 긴급하게 대처하기 위해 현장 상황을 파악하는데 유용한 방법으로 이용될 수 있을 것이다.

② 드론을 이용한 포장상태 관측

드론(Drone) 혹은 무인 항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 조종사(human pilot)가 탑승하지 않고 자동 또는 원격으로 비행이 가능한 장비로 정의할 수 있다. GPS와 고해상도 카메라를 탑재한 무인항공기를 이용해 조사하고 자하는 도로구간에 대한 항공영상을 수집한 후 후처리를 통해 정사영상을 제작하여 이를 기반으로 도로의 균열, 포트홀과 같이 포장표면의 상태를 영상처리 기술을 이용하여 자동으로 추출해 낼 수 있어 조사와 분석에 대한 정확성과 함께 조사기간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 과거에 비해 자동비행 기술의 발전과 배터리 용량 및 효율이 증가하여 드론산업은 하드웨어적인 측면에서 실용성이 확대 되었으며, 촬영 영상에 대한 3D 모델링이 보편화됨에 따라 3D DSM (Digital Surface Model)의 구현이 가능하게 되었다. 이는 드론을 이용한 영상을 통해 도로와 관련된 지형지물을 3D 지형도로 구현이 가능하여 도로의 종단경사, 횡단경사와 같은 기하학적 특성 자료뿐만 아니라 포장 표면의 소성변형과 균열 등의 현 상태를 정밀하게 표현하고 분석하는 것이 가능하다(Kim et al., 2019).

③ Computer Vision(CV)을 이용한 포장상태 관측

PMS의 구성에 있어 조사단계의 가장 큰 문제는 방대한 조사량이다. 조사와 분석을 위해 평균 2~3년이 소요되다 보니 그 사이 변경사항이 발생할 수 있으며 의사결정단계에서 2~3년 전 자료를 이용하게 된다. 하지만 최근의 기술은 Computer Vision과 Raspberry Pi 등을 사용하여 실시간으로 현장의 자료를 전송 받고 분석이 가능한 기술이 개발되고 있다. Computer Vision 기술 중 하나인 OpenCV는 무료프로그램으로 주로 인간-컴퓨터 상호작용, 로봇 공학, 보안, 조명 및 사용환경을 제어할 수 있는 기타 시각 응용프로그램을 대상으로 하는 오픈소스 모음집이라고 할 수 있다.

OpenCV는 2000년에 출시되어 영상과 관련된 다양한 문제를 보다 쉽게 해결하기 위해서 개발되었으며, 다양한 알고리즘을 지원할 뿐만 아니라 최근에는 머신러닝(Machine Learning)과 딥러닝(Deep Learning)까지 지원하여 다양

하고 정확한 분석이 가능한 기술이다. 한편 뛰어난 성능과 저렴한 가격으로 가장 대중화된 소형컴퓨터의 한 종류라 할 수 있는 라즈베리 파이는 저전력, 저소음 컴퓨터로서 전력과 유지비로 인한 부담으로부터 자유로우며 장비의 노후화로 인한 교체가 수월한 장점이 있다. 또한 WIFI와 BLUETOOTH 모듈이 내장되어 있어서 데이터 송수신을 위한 추가적인 비용 발생이 없는 것도 큰 장점이다.

이러한 기술의 조합을 통해 도로의 상태를 실시간으로 파악할 수 있어 위험구간이나 상습적으로 파손이 발생하는 지역과 같은 곳에 설치하여 저비용으로 실시간 관측이 가능하며, 교통량에 대한 정보, 강우, 강설에 따른 실시간 정보를 취득할 수 있어 PMS의 목적에 부합하는 다양한 DB 구축에 용이하다.

④ 영상분석 및 딥러닝을 이용한 DB구축

PMS의 운영을 위한 조사자료를 분석하고 DB로 구축하는 것 또한 상당히 어려운 일이다. 또한 수작업에 의존하는 기준의 분석 방법은 작업자의 주관이 개입되어 일관성이 떨어지며 정확성이 떨어질 수밖에 없다. 따라서 ICT 융합 기술을 이용하면 영상형태의 정보자료를 기반으로 Computer Vision 기술과 딥러닝 기술을 적용함으로써 보다 정확하고 빠르게 분석하고 DB화하는 것이 가능해 진다.

이러한 딥러닝 기술은 특정 특성을 가진 데이터를 반복적으로 컴퓨터에 입력하여 컴퓨터가 그 특징을 인식하도록 유도하는 방법이며, 방대한 데이터를 기반으로 특성과 경향을 분석하여 예측하거나 분류하는데 사용되는 컴퓨터 인공지능 알고리즘이라 정의할 수 있다(KISTEP, 2016). 1950년대 중반 처음으로 인공지능의 개념이 등장한 이후 컴퓨터 기술력의 한계로 인하여 눈에 띠는 성장을 보이지는 못하였지만 최근 기술력의 급격한 발전으로 인하여 주목받고 있는 기술이다. 신경망을 여러 층으로 나누어 복합적인 연산을 진행하기에 구축자료의 양이 많아야 뛰어난 효과를 볼 수 있어 PMS의 경우와 같이 방대한 양의 자료와 파손형태의 다양성이 제한적인 DB 항목을 분석하고 분류하는데 아주 유용하다. 즉 조사자료에 대한 판단의 기준을 명확히 하고 수많은 영상자료를 학습하게 되면 포장면의 균열이나 소성변형과 같은 파손상태를 아주 손쉽게 DB화 할 수 있어 몇 배 이상의 소요기간 단축과 정확도를 향상 시킬 수 있게 된다. 결국 이러한 기술을 이용한 DB 구축은 빅데이터를 기반으로 한 데이터베이스 구축과 연관되어진다고 볼 수 있다. 빅데이터란 너무 방대하여 기존의 방법이나 도구로 수집/저장/분석 등이 어려운 정형 및 비정형 데이터의 집합이며 이러한 데이터로부터 가치를 추출하고 결과를 분석하는 기술로 정의되고 있다. 빅데이터는 데이터의 양, 데이터 속도, 데이터 형태 등 세 가지 요소로 구성되어 있으며, 우리 사회의 다양한 분야에서 어떠한 상황이나 환경에 대한 구체적인 과정을 이해하기 위해 유용하게 사용되고 있다(Tene and Polonetsky, 2012). 따라서 빅데이터를 이용한 교통량 및 포장상태 분석, 도로 노후화 예측 기술 개발을 통해 PMS의 선진화를 이루고 그동안 단점으로 지적되어 왔던 방대한 양의 조사자료의 취급 및 관리 등을 개선함으로써 지속적인 운영이 가능해 질 수 있을 것이다.

최신기술을 활용한 의사결정 시스템 개발 방안

일반국도 PMS에서 사용하는 HDM-4 모델은 경제성 분석을 위한 장점을 지니고 있으나, 지역이나 국가별 특성을 반영하는데 어려움이 있으며, 최근 도로시설의 통합적인 관리를 위해 추진되고 있는 스마트 도로관리시스템의 구성상 시스템의 확장성과 유연성 측면에서 적합성이 떨어진다고 볼 수 있다(MOLIT, 2019a). 또한 ICT기술과 딥러닝 기술을 이용한 조사자료 DB의 활용적 측면에서 새로운 의사결정지원시스템이 필요하다고 볼 수 있다. 방대하고 다양한 데이터베이스의 관리가 가능하고 공간 정보분석 및 관리가 가능하다는 점에서 Web GIS 기반 시스템은 새로운 대

안이 될 수 있다. 방대한 양의 데이터를 서버에서 저장·관리할 수 있고, GIS서버를 통해 상황에 따라 필요한 데이터를 분석하는 것이 가능하며, 이를 웹서버를 이용하여 다양한 분석결과에 대해 사용자의 이해도를 높일 수 있는 시각적 표현이 가능한 장점이 있다. Web GIS기반 시스템을 운영하기 위해서는 GIS Data를 관리/분석할 수 있는 프로그램들이 필수적이다. 이 프로그램들은 3가지 종류로 구분된다.

첫 번째로 User Interface는 사용자들에게 GIS Data들을 시각적으로 표현할 수 있는 인터페이스를 가지고 있는 프로그램들로 GeoExt, Google Maps, Google Earth, OpenLayers, Bings Maps, ArcGIS Desktop 등이 있다. 두 번째로는 Application Server로 GIS Data를 수정/분석/게시할 수 있는 기능을 가지고 있으며 GeoWebCache, GeoServer, ArcGIS Server/ArcIMS 등이 있다. 마지막으로 Database 관리로 분석할 데이터 또는 분석된 데이터를 저장/관리할 수 있는 기능을 가지고 있는 프로그램들로 PostGIS/PostgreSQL, Oracle Spatial/ ArcGIS Server/ArcSDE, Microsoft SQL Server 등이 있다(Owuor, 2018). Web GIS기반 시스템을 운영하기 위한 많은 프로그램들이 있지만, 시스템의 지속적인 유지관리와 경제성면을 고려했을 때, Open Source Software인 OpenGeo Suite이 가장 적절한 프로그램이라 판단되며, OpenGeo Suite는 OpenLayers, GeoServer, PostGIS 등과 같은 Open Source 프로그램들로 구성 되어있다. 오픈레이어는 웹 브라우저에서 지도 데이터를 표시하기 위한 Javascript 라이브러리로 국토교통부에서 운영하고 있는 ‘공간정보 오픈플랫폼 지도서비스(VWorld)’에서도 오픈레이어를 지원하고 있으며, 다양한 정부기관에서도 Web GIS기반의 시스템 구축에 많이 활용되고 있다(MOLIT, 2019a).

이러한 GIS 소프트웨어의 특징은 도로관리와 관련한 수치지도만을 이용하여 별도의 데이터베이스 없이 다양한 분석이 가능하다는 것이다. 예를 들어 도로설계기준에 따른 도로평면선형 및 종단선형을 검토하여 위험구간을 도출할 수 있으며, 관리자의 필요에 따라 정보의 조합 및 분할이 자유롭고 GIS 소프트웨어가 제공하는 분석기능을 이용하여 제한적인 정보만으로도 다양한 시각에서의 공간분석이 가능하다. 따라서 강원도 도로체계 및 일반적인 현황 또는 도로구간별 특수 요소와 같이 도로관리를 위한 기본적이며 총괄적인 현황파악에 유용하다.

결론적으로 GIS기반 시스템을 이용하면 포장상태 조사 결과를 도로 노선별 구분하에 상하행 차선별 구분과 적정 단위의 셀 단위로 구분하여 도로관리를 위한 속성정보를 입력함으로써 세분화된 통계 분석이 가능하다(MOLIT, 2011). 세분화된 속성정보의 입력이 가능하다는 것은 도로의 포장상태나 공사이력 및 보수이력, 도로 시설물 상태 등과 같은 직관적인 현황파악이 용이하며, 유지관리 구간에 대한 적정 보수공법 매칭 후 물량산출, 추정공사비 산출과 같은 기능을 제공함으로써 예산수립과 우선순위 설정을 위한 정보제공이 가능해진다는 것을 의미하는 것으로 한층 효과적인 의사결정지원체계를 갖출 수 있다(MOLIT, 2011).

결 론

우리나라는 1970 – 80년대 급격한 산업화와 더불어 이를 뒷받침하는 SOC산업에 대한 집중적 투자의 결과로 도로 시설의 양적증가를 이루었으며, 국가전반을 아우르는 도로망을 갖추게 되었다. 이는 곧 노후화된 도로의 증가로 유지 관리를 위해 필요한 예산이 신설도로를 위한 예산을 앞서게 되면서 효과적인 예산수립과 집행을 위한 도로유지관리 시스템을 필요성을 인식하게 되었다. 도로유지관리는 사후 보수중심에서 예방적 보수로의 전환을 통해 포장보존이라는 선행적 접근방식으로 포장수명의 장기화와 생애주기비용의 최소화를 위한 체계적인 접근이 가능한 PMS의 도입과 함께 시작되었으며, 국내에서 점차 확대 운영 및 구축을 위한 시도가 이루어지고 있다. 하지만 가장 많은 노선을 관리하는 지방도로의 관리주체인 지자체에서는 전문성, 인력, 예산 등과 같은 다양한 문제로 인하여 원활한 시스템

구축 및 운영이 이루어지고 있지 않은 것이 현실이다. 본 연구에서 국내에서 가장 성공적으로 운영되고 있는 서울시와 국도 PMS의 구성과 운영방법을 살펴본 결과 지방도에서 적용성이 떨어지는 이유에 대해서 다음과 같이 몇 가지로 추론할 수 있었다.

PMS 운영을 위한 DB 구축의 어려움

PMS의 효과적인 운영을 위해 선행되어야 할 가장 기본적인 요소는 각 노선에 대한 정확하고 다양한 DB 자료를 확보하는 것이다. 하지만 PMS의 구성요소 중 조사단계에 해당하는 DB를 구축하고 분석하는 것은 쉽지 않은 일이다. PMS를 운영하던 기존 지자체의 중단이유 중 가장 큰 원인 중 하나가 DB를 구축하고 분석하는 부분으로 파악되고 있으며, DB 구축이 어려운 점은 다음과 같다.

- DB 구축용 조사장비의 구입가격이 고가
- 조사대상 노선의 방대함으로 인한 조사기간 및 분석기간(갱신주기 평균 2~3년)
- DB의 이력확보 및 업데이트를 위한 조사단계의 연속성
- 조사자료에 대한 분석이 인력 의존도가 높아 장시간의 소요기간 및 전문인력 필요
- DB의 질적, 양적 성과를 거두기 위해 많은 시간과 예산, 기술적 노력 필요
- DB의 양적 방대함, 지속적이며 반복적인 구축과 분석을 위한 많은 예산과 인력을 필요로 함에 따라 재정적 한계

PMS 운영을 위한 전문인력 및 조직

강원도와 같은 지자체에서는 도로관리를 위한 별도의 조직과 인력이 갖추어져 있지만 PMS는 기존 인력을 활용하기에는 어려움이 따른다. PMS의 운영은 기존 도로관리체계와는 다르게 IT와 관련한 전문성을 갖추고 있어야하기 때문에 기존 도로관리 인력과 이원화로 인한 효율성이 저하되고 추가적인 예산이 소요될 수 밖에 없다. 뿐만 아니라 PMS와 관련한 경험과 노하우를 갖춘 전문인력이 거의 없어 조직을 구성하기 쉽지 않은 것이 현실이다.

지역적 특성에 부합하는 의사결정지원 시스템의 부재

PMS의 최종적인 목표는 저비용고효율의 최적관리를 위한 의사결정을 지원하는 것이라 할 수 있다. 최종 결정권자가 합리적인 근거를 바탕으로 최적 보수공법 및 우선순위를 선정함으로써 제한된 예산안에서 장기적인 관점에서 포장유지관리 체계를 확립할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 의사결정 지원 시스템은 지역적 여건에 따른 복잡 다양한 도로특성을 반영할 수 있어야만 비용편익적인 측면에서 실효성을 거둘 수 있지만 현실적으로는 가장 모범적으로 운영되고 있는 일반국도 PMS 조차 외국의 시스템을 개선하여 운용하고 있는 실정이다. 각각의 지자체가 가지고 있는 도로상황이 다른 현실에서 어떤 측면에 중점을 둘 것인가를 고민하고 반영할 수 있는 시스템의 부재로 인하여 독립적인 PMS를 운영하고자 하는 지자체의 계획에 차질이 발생하고 이는 위탁운영이라는 방법으로 선회하고 있는 요소이다.

예산과 전문인력의 한계

지자체에서 PMS의 구축 및 운영을 위한 한계점은 결국 부족한 예산과 전문인력으로 단정 지을 수 있다. 앞서 살펴본 DB 구축의 어려움, 전문적 조직구성, 지역적 특성을 고려한 의사결정지원시스템의 부재는 많은 예산과 전문인력을 투입해야만 해결할 수 있는 문제로 귀결되며, 실제 많은 지자체의 필요와 노력에도 불구하고 PMS의 운영을 중단 할 수 밖에 없었던 가장 큰 원인이었다. 국도, 서울시, 부산시와 같이 비교적 재정자립도가 비교우위에 있으며, 관리도로의 유지관리비용 절감효과 크게 나타남으로써 비용편익적인 측면에서 유리한 지자체만이 지속적이며 독립적인 PMS를 운영하고 있다. 그 외에 PMS를 도입하여 운영하던 여러 지자체는 초기 계획과는 다르게 그 효과와는 별개로 운영을 중단하거나, 계획단계에서 머물러 있는 상태이다. 위와 같은 다양한 문제로 인하여 PMS의 필요성이 절실히 요구되는 상황 속에서 많은 노력과 시도가 있어 왔지만 성공적인 구축 및 운영이 현실화 되진 않고 있으며, 이는 현재의 PMS의 전반적인 문제점을 인식하고 개선방안을 마련함으로써 보편화된 시스템으로 전환이 필요하다는 방증이기도 하다. 지방도를 관리하는 강원도와 같은 광역자치단체의 경우 엄청난 양의 도로망을 관리하기 위해서는 PMS와 같은 도로유지관리시스템의 도입이 절실하게 요구되는 시점에서 적은 예산과 인력으로 효율적이며 보편화된 시스템이 필요하다.

따라서 최근 급속하게 발전하고 있는 ICT기술을 이용하여 기존 PMS의 문제점과 단점을 개선하고 보다 접근성이 뛰어난 시스템 구축방안을 모색할 수 있을 것으로 예상되며, 예산과 전문인력 부족이라는 한계를 극복할 수 있는 구체적이며 포괄적인 시스템 구축방안에 대한 연구를 통해 미래지향적인 강원도의 도로관리체계를 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

인용문헌(References)

- Choi, B. K. (2012) Construction plan of road pavement management system (PMS) in Incheon. The incheon institute.
- GANGWON-DO (2019) Road construction management plan.
- GANGWON-DO (2022) Yearbook of Gangwon-Do Road statistics.
- Gyeonggi Research Institute (GRI) (2014) Directions to Introduce the Pavement Management System for Gyeonggi-do.
- Incheon Development Institute (IDI) (2012) Directions to Introduce the Pavement Management System for Incheon-si.
- Kim, J. M., Hyeon, S. G., Chae, J. H., Do, M. S. (2019) Road Crack Detection based on Object Detection Algorithm using Unmanned Aerial Vehicle Image. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems 18:155-163.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) (2015) Development of Pavement Management System for Asian Developing Countries.
- Korea Institute of SCIENCE & TECHNOLOGY Evaluation and Planning (KISTEP) (2016) Understanding and research and development of deep learning technology.
- Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS) (2012) A New Policy for SOC investment in a Transition Period Focusing on the road policy.
- Korea Transport Institute (KOTI) (2021) Utilization of personal mobility big data collected by smart device.
- Lee, B. K. (2017) Research on efficient road maintenance methods. Daejeon Sejong Research Institute.
- Lee, Y., Do, M., Lee, J. (2007) Development of Pavement Management System for Highway Maintenance. Journal of the Korean Society of Road Engineers 9:159-169.

- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2010) Final-Report of the National Highway Pavement Management System.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2011) Final-Report of the National Highway Pavement Management System.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2012) Final-Report of the National Highway Pavement Management System.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2016) Research on establishing a road asset management system (focusing on road paving).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2019a) Final-Report of the National Highway Pavement Management System.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2019b) Research on ways to improve road safety and maintenance systems.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2021) Yearbook of Road Bridge and Tunnel Statistics.
- National Assembly Research Service (NARS) (2019) Current Status and Challenges of Road Maintenance - Focusing on Road Asset Management.
- Owuor, I. (2018) Developing a web-based Gis application for mapping the electrical grid network in Kenya case study: Nakuru County (Doctoral dissertation, University of Nairobi).
- Rho, S., Kim, J. (2013), Efficient Maintenance and Management Plan for Gangwon-do's Local Roads. Research Instiute for Gangwon.
- Seoul (2017) Seoul Metropolitan City Road Pavement Maintenance Manual.
- Tene, O., Polonetsky, J. (2012) Privacy in the Age of Big Data: A Time for Big Decisions. Stanford Law Review Online 63:63-69.