

자기조직화 신경망을 이용한 고속도로 유지관리 서비스 등급 개선에 대한 연구*

신덕순** · 박승범***

A Study on Improvement of Level of Highway Maintenance Service Using Self-Organizing Map Neural Network*

Duksoon Shin** · Sungbum Park***

■ Abstract ■

As the degree of economic development of society increases, the maintenance issues on the existing social overhead capital becomes essential. Accordingly, the adaptation of the concept of Level of service in highway maintenance is indispensable. It is also crucial to manage and perform the service level such as road assets to provide universal services to users. In this regards, the purpose of this study is to improve the maintenance service rating model and to focus on the assessment items and weights among the improvements. Particularly, in determining weights, an Analytic Hierarchy Process (AHP) is performed based on the survey response results. After then, this study conducts unsupervised neural network models such as Self-Organizing Map (SOM) and Davies-Bouldin (DB) Index to divide proper sub-groups and determine priorities. This paper identifies similar cases by grouping the results of the responses based on the similarity of the survey responses. This can effectively support decision making in general situations where many evaluation factors need to be considered at once, resulting in reasonable policy decisions. It is the process of using advanced technology to find optimized management methods for maintenance.

Keyword : Bigdata, Artificial Intelligence, Self-Organizing Map, AHP, Service Level Model

Submitted : August 19, 2020

1st Revision : December 10, 2020

Accepted : December 24, 2020

* 본 논문은 신덕순의 박사학위(호서대 기술경영전문대학원) 논문을 일부 수정하여 작성한 것입니다.

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2018-0-01417).

** 갈렘엔컴퍼니 M&T부문대표(전무), 주저자

*** 호서대학교 기술경영전문대학원/스마트팩토리기술경영학과, 교신저자

1. 서 론

국내 고속도로는 1969년 경부고속도로 개통을 시작으로 정부의 7×9+6R 계획에 근거하여 고속도로 건설이 지속적으로 추진되고 있으며, 정부의 계획에 따라 총 7,330km에 달하는 고속도로가 건설될 예정이다. 현재는 약 65%가 건설되어 2018년 12월 기준 총 4,768km가 운용되고 있어, 신규 건설 중심에서 교통관리와 유지관리의 중요성이 이동하고 있다. 특히 국내 고속도로의 역사가 50년을 넘었기 때문에 노후화된 도로에 대한 유지보수 문제가 중요하다. 유지보수는 많은 비용이 들고 시간이 지날수록 그 비용이 증가하는 경향이 있다. 또한 고속도로는 많은 차량의 통행과 시간의 경과로 인해 건설 단계의 성능을 잃어간다. 이를 효율적이고 효과적으로 일정 수준 이상으로 유지하는 것이 유지관리의 성과 목표가 될 것이다.

이에 따라 유지관리를 하는 데 있어 ‘서비스 수준’ 개념을 도입하는 것이 필요하다. 유지관리도 도로라는 SOC를 바탕으로 이용객들에게 보편적 서비스를 제공한다는 관점에서 어느 수준 이상을 유지해야 하는 것이 매우 중요하기 때문에 서비스 수준 평가를 바탕으로 유지관리를 해야 한다.

기존 공공·민간 기관의 수준 평가모델 개발은 성과 항목에 대한 중요도 평가를 통해 지표 간 세부지표를 확정하고 이후 가중치 부여를 통하여 우선순위를 결정하는 방식으로 진행된다. 보통의 경우, 설문 응답 결과를 바탕으로 다양한 평가 기준을 활용하는 분석적 계층화 과정(AHP)을 수행하여 평가 기준별 가중치를 산출한다. 예를 들어 시장성, 시급성 등과 같은 평가 기준을 정의하고 전문가들의 평가치를 반영하여 가중치를 확정한다.

기존의 서비스 수준 평가 모델은 가중치 확정 후 유지관리 유형별 세부 가중치 배분 방안을 제공하지 못하였다. 예를 들어 특정 서비스기업 전체의 조직원 평가모델은 고객을 응대하는 프론트라인과 백오피스 라인별로, 제조기업은 생산라인별로 평가지표별 가중치 차별화가 필요하다. 정부업무 평가에

도 동일한 평가지표의 기관 유형별, 업종별 차등화가 미흡한 실정이다. 이에 따라 세부 평가대상 기관의 분류와 평가 가중치 조정에 있어 객관성 결여의 문제점을 초래한다(조세연구원, 2010). 이러한 사례에서 알 수 있듯이, 특정 성과모델을 적용하여 성과관리를 할 경우에 세부평가 대상을 제대로 군집화하였는가, 그리고 하위 그룹별 성과관리 대상의 특징을 반영하여 가중치를 차별성 있게 적용하였는가는 매우 중요한 문제이다. 본 연구는 이러한 현실적 문제에 대해 합리적 대안을 제안한다.

본 연구는 성과지표 데이터에 존재하는 패턴들을 추출하고 특성들을 분류하여, 평가대상의 ‘세부 군집 및 분류별 가중치 생성’과 ‘세부 분류 집단의 종합적인 특징을 설명’ 할 수 있는 모델을 제안한다. 이를 위해 기존의 AHP 방법과 더불어 자기조직화 신경망(SOM : Self-Organizing Map) 분석을 수행하여 AHP 설문결과 데이터에 존재하는 유의한 결과패턴들을 추출하여 패턴별로 군집을 결정한 뒤 군집별 차등화된 지표 가중치를 제시한다. 본 연구에서 제안한 모델에서는 Davies-Bouldin 지수를 산출하여 최적 군집수를 결정하며, 이를 반영하여 자기조직화지도 신경망을 사용하여 군집별 차등화된 평가대상별 평가지표 가중치를 제공할 것이다. 본 연구를 통하여 대기업이나 정부기관 등 복잡한 조직 특성과 평가지표들을 한꺼번에 고려해야 하는 상황에서 데이터 기반의 객관적인 평가 대상 식별 및 평가지표 최적화 방법을 결정하는 합리적인 정책 평가결정에 기여할 수 있다.

2. 이론적 배경 및 선행 연구

2.1 고속도로 유지관리 서비스 등급(Level of Service : LOS)

고속도로 유지관리 서비스 등급(LOS)은 고속도로 유지관리 분야에 도입된 서비스 등급을 바탕으로 유지관리 수준을 계량적으로 분석할 수 있는 성과관리 모델이다.

〈표 1〉 기존 SOC 유지관리 서비스 등급 연구

국가/기관	LOS	평가대상	비고	
미국	ASCE	5단계	항공, 교량, 댐, 식수, 에너지, 유해폐기물, 배수관, 제방,공원 및 오락시설, 철도, 도로, 학교, 폐기물, 교통, 하수	4년에 1회
	TRB	5단계	교량(부목별), 배수시설(종류별), 포장(상태지표별), 노면(사면, 식생, 휴게시설), 교통시설/표지, 이동성, 안정성	연구보고서
	텍사스주	5단계	통행료, 배수시설, 노면지역 및 시설, 구조물, 교통운영, 유고시 운영	LOS경계값에 교통량 고려
	워싱턴주	5단계	통행료, 배수시설, 사면, 노면 및 경관, 교량, 터널, 강설 및 결빙, 교통제어 시설, 휴게시설	현장업무 매뉴얼 제시
	조지아주	KPI	교통사고 사망자수, 교통사고 처리시간, 평균통행속도, 프로젝트 진행률	KPI지표
호주	5단계	도로, 철도, 공항, 항만, 식수, 하수, 강수, 관개, 전기, 가스, 통신	지역(관리자)별 통합평가	
캐나다	5단계	식수, 하수, 강수, 시가지도로	수자원중심	
남아공	5단계	수자원, 위생, 폐기물, 도로, 공항, 항구, 철도, 전기, 의료시설, 학교	공중·지역별 세분평가	
영국	5단계	에너지, 교통네트워크, 지역교통, 상하수도, 홍수관리, 자원 및 폐기물관리	기술력, 규정 등 추가평가	
국내연구 (한국도로공사)	5단계	유지관리 현황물 파악하고 서비스 등급신청을 위한 계량화된 척도개발, 표준지사의 유지관리 서비스 등급을 신청, 유지관리체계 선진화/효율화에 기여	총15개 세부공종 평가	

유지관리 서비스 등급은 시설물이 제공하는 서비스 품질의 등급을 의미하는 것으로서, 대상 시설물의 관리자 및 이용자 사이의 객관적인 의사소통의 근거가 되며 가용한 예산 내에서 유지관리 활동의 일관적인 계획, 수행, 평가를 가능하게 한다. 해외 고속도로 유지보수 기관들은 도로와 길가 자산들의 상태, 유지보수 품질을 묘사하기 위해, “Level of service” 용어를 사용하여 왔다. “level”은 성과측정과 거의 동일한 의미를 가지지만 약간의 차이가 있다. 실무에서 서비스 등급은 특정 성과평가나 측정 등급에 점수를 주어, 성과평가를 구체화할 때 쓰이고 있는 등 아래와 같이 세 가지로 유지관리 상태를 관리하는 기본틀로 활용하고 있다(Andrews and Bonta, 2000).

서비스 등급은 이론상 유지관리 계획과 그로 인한 공용성의 효과적인 예측을 가능하게 한다. 예를 들어 유지관리 목표와 실제 목표 달성 여부를 알려주며, 유지관리 예산을 효율적으로 배분하기 위한 필요 정보를 제공하고, 유지관리 효과를 명확히 함으로써 예산안에 정당성 부여하는 역할도 할 수 있다.

고속도로 유지관리에 있어 재정 또는 공공부문의 재원을 활용한 결과 공익성이 달성되고 있는지에 대한 평가의 수단으로 활용할 수 있다. 고속도로 유지관리 서비스에서 서비스 등급 연구의 필요성은 매우 크다.

고속도로 유지관리 서비스 등급 연구는 관리자와 이해관계자들 소통의 도구 부재, 명확한 목표 설정의 부재, 적정성의 기준 미흡 등의 문제에 대한 인식을 바탕으로 공중별 서비스 기준을 바탕으로 통합 서비스 등급 기준을 개발하는 것이 목표이다. 예를 들어 부족한 예산의 분배과정이나 예산집행의 ‘적정성 및 Accountability’ 문제, 유지관리에 대한 ‘명확한 목표’ 부재, 주관적 판단 및 반응적 대응, 도로공사 본부/지사/공중별 ‘예산 편성 과정의 객관성’ 부재, 지사의 연간 ‘업무성과 평가기준’ 부재 등에 대한 강력한 대안이 될 수 있을 것이다. 고속도로 유지관리 서비스 등급의 핵심 결과물이 공중별 서비스 등급 기준 개발을 바탕으로 통합 서비스 등급을 마련하는 것이 목표이므로 이것을 다양하게 활용할 수 있는 것이다(Dye Management Group, 2010).

고속도로 유지관리 분야의 경영과 기술 등 다양한 측면의 시각에서 적정성에 대한 의사결정자와 관리자간 “소통”을 이끌어낸다. 다만 개별 공종의 유지관리 서비스 등급, 통합 서비스 등급을 제시할 수 있다는 점에서 이러한 관리체계가 평가로 인식될 수도 있다. 그러나 평가로 인식되는 순간 해당 공종 또는 지역을 담당하고 있는 관리 책임자가 평가 결과에 따른 후속 조치를 고려하게 됨으로써 왜곡된 의사결정이 일어날 수 있다는 점에서, 서비스 등급을 철저히 관리체계로서 활용하여야 한다. 예를 들어 서비스 등급을 측정해서 기준보다 낮은 등급일 경우 목표 수준 이상으로 높이기 위한 예산 투입과 관리 활동을 하는 것이 목표이다.

반대로 아직 예산 투입과 유지관리 활동이 필요하지 않은 서비스 등급임에도 불구하고, 정기적 활동에 따른 예산 투입이 이루어질 경우 과도한 예산 투입 활동이 이루어질 수도 있다. 이를 적정한 수준에서 관리할 수 있는 기준이 바로 서비스 등급이라 할 것이다(Singh et al., 2017).

2.2 국내외 고속도로 유지관리 서비스모델 비교

고속도로 유지보수 서비스 수준등급의 우수한 사례로 조사된 것들을 국내사례와 비교하여 보았다. 개발단계이긴 하나 통합 서비스 등급 제시를 하고 있는 한국도로공사 서비스 등급, 서비스 등급의 표준적 안을 선구적으로 제시한 미국의 NCHRP 677, 유지관리 전략과 서비스 등급을 연계하는 특징을 보여주는 MAP의 사례 등이 우수한 사례로 판단된다. 하지만, 기존 사례들은 세 가지 문제를 가진다.

첫째, 고속도로 유지관리 수준에 대한 통합적 관점을 측정하는 항목이 부족하다는 것이다.

선정된 서비스 등급 항목이 개별 자산의 기존 유지보수 활동에만 집중되어 부족한 예산의 분배, 예산 집행시 이용자의 만족도를 고려하여 전체적인 서비스 수준을 가늠하는데 어려움이 있다.

둘째, 측정지표간 연계성이 부족하며, 상위 유지

관리 목표와 항목의 유기적 연결이 어려워 대부분 서비스 등급 평가 항목이 시설물 안전 측정 항목에 집중되어 있다. Washington DOT의 MAP(Maintenance Accountability Process) 사례가 있기는 하지만 유지관리 전략과 목표와의 연계성을 고려하지 않은 서비스 수준 모델이 대부분이다.

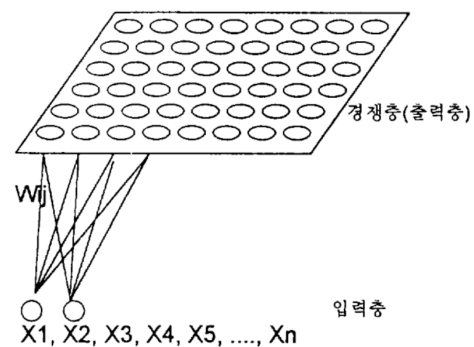
셋째, 평가기준 정량화와 평가 가중치에 대한 객관성이 부족하다. 한국도로공사 서비스 등급의 경우 각 항목별 가중치 부여시 소요예산으로 1차 가중치, 자문회의 및 관계기관 협의로 2차 가중치를 산정하였으나 2차 가중치 산정 시 소수의 의견 반영으로 가중치에 대한 객관성이 부족하다. 서비스 등급 개발 여건이나 초기 연구라는 점을 감안할 때 보다 객관적 방법으로 가중치를 설정할 필요성이 크다고 할 수 있다.

2.3 비지도학습 기반 군집분석 알고리즘

2.3.1 자기조직화 신경망(SOM)

인공신경망 분야에서 패턴의 군집화를 수행하는 알고리즘으로 자기조직화 신경망(SOM : Self Organization Map)이 있다.

자기조직화 신경망은 입력층과 경쟁층(Competitive Layer)이라고 불리는 출력층으로, 완전히 연결되어(Fully Connected) 있고, 출력층은 2차원 직방형 격자층으로 되어 있다. [그림 1]은 자기 조직화 신경망의 구조를 보여주고 있다.



[그림 1] SOM 모델(Balakrishnan, 1996)

자기조직화 신경망은 다차원(Multi variate) 자료를 학습하여 2차원 형태의 출력층에 투영시키며, 출력층에서는 투영된 입력 자료가 유사한 패턴끼리 서로 모이도록 클러스터를 이루어 출력되게 된다. 자기조직화 신경망 알고리즘의 특징은 학습시, 입력층과 출력층에 연결하는 모든 연결강도(Wii)를 조정하는 것이 아니라, 승자 노드와 이를 중심으로 이웃노드만이 학습된다는 것이다(Kohonen et al., 1996; Caliński et al., 1974). 자기조직화 신경망은 가장 대표적인 비지도학습 신경망 군집모델이다(조준희, 2007).

2.3.2 Davies-Bouldin(DB) 지수

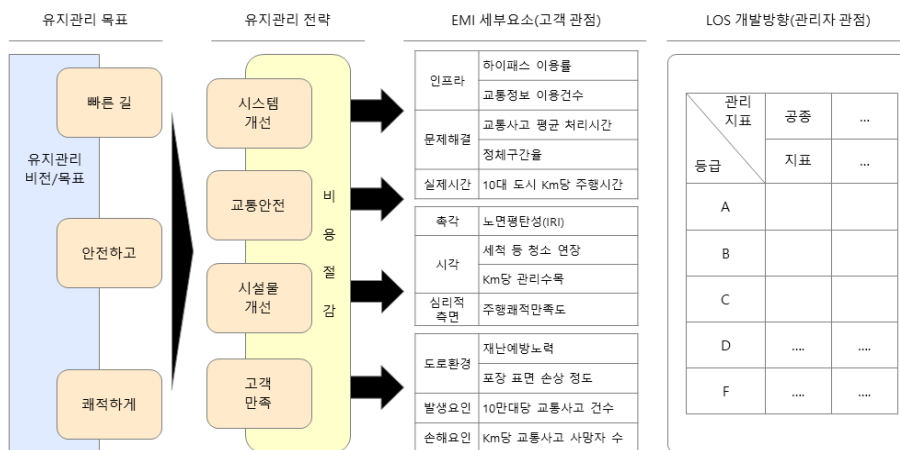
DB지수는 LVQ, 자기조직화 신경망과 같은 군집 알고리즘을 사용하여 군집 분석을 수행할 때 데이터를 분석하여 발생 가능한 군집수에 따른 군집분석의 유효성을 판단하여 최적의 군집 수를 결정하는데 사용되는 지수이다(Davies and Bouldin, 1979). 군집 분석의 유효성을 평가할 수 있는 다양한 지수들이 제시되었으나 대다수의 많은 연구에서 DB 지수를 사용하고 있다.

3. 가중치와 군집화를 위한 모델링

본 연구에서 제안하는 자기조직화 신경망(SOM

: Self-Organizing Map)을 고속도로 유지관리 서비스 수준 진단에 적용된 연구 모델은 [그림 2]와 같다. 제안된 모델은 DB지수 분석과 자기조직화 신경망 학습을 통해 최적의 군집수를 추출하는 1단계와 신규 데이터와 추출 패턴의 유사도 수준에 근거하여 분류 그룹별 세부 가중치를 제시하는 2단계로 구성된다. 설문 결과를 기반으로 하는 패턴인식 모델의 1단계에서는 본 연구의 성과모형 도출 대상인 SOC 서비스 대상자를 대상으로 AHP 설문을 실시한다. 설문 후 가중치 기입이 완료된 데이터를 바탕으로 자기조직화 신경망 학습을 수행하여 데이터에 숨겨진 진단검사 결과 패턴을 추출한다. 자기조직화 신경망 학습을 수행할 때, 학습을 통해 추출되는 군집 수인 n을 결정해야 하는데, 본 연구에서는 기존의 많은 군집분석 관련 연구에서 최적의 군집 수를 결정할 때 활용된 Davies-Bouldin(DB) 지수를 사용한다.

일반적으로 설문 응답 결과는 관련업무 종사자와 그렇지 않은 사람 등 응답자의 특성에 따라 서로 다른 결과패턴을 가질 수 있기에 이를 고려하여 데이터 셋을 구성하여 자기조직화 신경망을 적용하여 학습해야 한다. 자기조직화 신경망 학습을 수행할 대상 데이터 셋의 크기를 고려하여 군집의 수를 적절한 범위에서 변경하였을 때 DB 지수 값을 산출하고, 가장 작은 값을 가지는 군집의 수를 최적의



[그림 2] 제안된 유지관리 서비스 수준진단 모델

군집 개수인 n으로 결정한다. AHP를 사용하여 도출된 고속도로 유지관리 서비스 모델의 의사 결정 모델의 평가 시스템이 구축되고, 다음 단계는 이 지표가 SOM 신경망 입력 계층으로 변환되고, SOM 신경망이 최적의 군집개수로 이를 분류한다.

본 연구는 SOM evaluation을 위해서 Weka v 3.8.2를 이용하였으며, DB지수 도출을 위해 Python 3.5와 사이킷-런(Scikit-learn) 라이브러리를 이용하였다.

3.1 1단계 분석 : 고속도로유지관리 서비스모델 도출 및 AHP 분석

3.1.1 연구모델 도출

도로 유지관리 목표는 [그림 3]과 같이 고속도로 이용자가 빠르고 안전하게 목적지에 도달할 수 있도록 주행시간, 주행 만족도, 도로환경 등을 고려하는 것이다. 도로 이용자의 관점을 고려하여 고속도로 관리자 관점에서 서비스 등급 기반 유지관리 성과관리 모델을 개발하는 것이 고속도로 유지관리 서비스 개선의 접근방법이다.

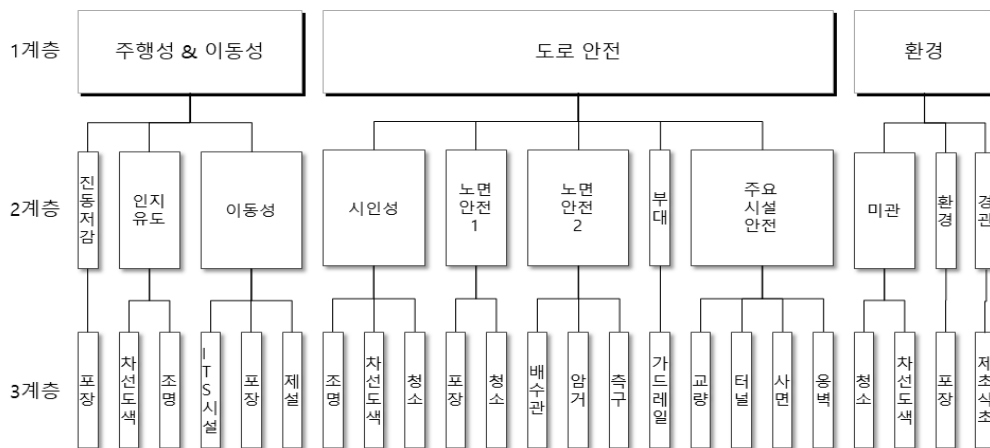
이를 위해 Satty(1990)가 제시한 AHP 산식을 통해 가중치를 유지관리 대상인 공중별로 도출하였다. 도출된 가중치의 종합 결과를 통해 점수(등급)이 도출되며, 결정 산식을 요약하면 아래 식과 같다.

종합 점수(등급)

$$= a \text{ 공중 평가 점수(등급)} \times a \text{ 공중 가중치} + b \text{ 공중 평가 점수(등급)} \times b \text{ 공중 가중치} + c \text{ 공중 평가 점수(등급)} \times c \text{ 공중 가중치} + \dots + n \text{ 공중 평가 등급(점수)} \times n \text{ 공중 가중치}$$

도출된 산식을 바탕으로 먼저 델파이 기법을 통해 평가 항목과 평가 기준에 대한 검토와 전문가 의견을 반영하였다. 델파이 조사는 2018년 상반기에 총 3회가 수행되었으며, 유지관리 공중별 전문가 10여 명으로 패널을 운영하였다. 위에서 제시된 개선방향에 따라 검토된 모델의 구체적인 개선 사항을 요약해 보면 아래와 같다. 유지관리 서비스 평가의 현실성과 타 평가와의 중복성을 배제하여 이중 작업이 되지 않도록 하는 등 세부적인 검토가 이루어진 결과이다.

- 포장의 경우 2년에 이루어지는 전국단위 포장상태 종합평가지수 평가 결과를 활용
- 교량, 터널, 사면, 옹벽 등의 법정관리 대상 시설들은 현행 법률 기준 참조(시특법)
- 시설물 배수관, 측구정리, 암거에 대한 평가는 손상도 평가를 준용토록 함
- 부대시설 가드레일, ITS시설, 조명, 차선도색 등은 해외 사례와 과거 데이터를 비교하여 등급 경계값 설정



[그림 3] 고속도로 서비스 등급산정을 위한 AHP 지표

- 제설 강설의 경우 유지관리 특성을 고려하여 차 단 횟수로 평가
- 제초 및 삭초의 경우 잡초의 높이, 노변으로 나온 길이로 평가
- 청소의 경우 단위 면적당 노변 쓰레기 개수로 평가

이를 반영하여 서비스 등급 항목을 개선하였다. 3개 계층에 걸쳐 유지관리 항목을 설정하였고, 이러한 결과는 유지관리의 전략과 목표를 달성할 수 있도록 구조화되었다. 앞에서 제시되었던 주행시간, 주행만족도, 도로환경을 구성하는 유지관리 요소가 2계층에서 한단계 더 구체화되어 항목이 선정되었고, 3계층에서 유지관리를 하는 구체적 대상과 공종을 세분화하는 과정을 거쳐 모델이 완성되었다.

3.1.2 AHP 분석

본 연구 모형의 가중치 설정을 위하여 유지관리 분야에 종사하는 업계 종사자들과 고속도로를 이용하는 일반인을 대상으로 설문을 실시하였다. 업계 종사자들에 대한 설문은 건설기술연구원에서 협력 관계를 가지고 있는 도로 및 관련 시설물 유지관리 업계 종사자(전문가)들을 분야별로 선별하여 설문을 실시한 결과이고, 일반인들에 대한 설문은 H대학 기술경영전문대학원에 재학중인 일반 직장인들을 대상으로 설문을 수행하였다. 모두 고속도로를 자주 이용하고, 유지관리 업무를 인지하고 있는 사람들을 대상으로 [그림 3]에 제시된 3계층 23개 지표에 대한 쌍대비교 설문을 수행하였다.

AHP기법을 이용한 일반인 대상(非 종사자) 조사는 2019년 4월 15일 부터 5월 15일까지 총 1달

동안 실시하였다. 전체응답자수는 99명이었으며 통계프로그램을 이용하여 빈도를 분석한 결과는 <표 2>와 같다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 총 99명의 응답자는 일반인과 업계 종사자로 구성되어 있다. 일반인은 도로를 이용하는 이용자들이며, 업계 종사자는 유지관리 각 분야 전문가들로서 엔지니어링 기업, 학교/연구원, 건설사 등으로 구성되어 있다. 유지관리 업계 종사자 비율은 29%, 일반인은 71%로 구성되어 있다.

3.2 2단계 분석 : 신경망기반 군집모형 적용

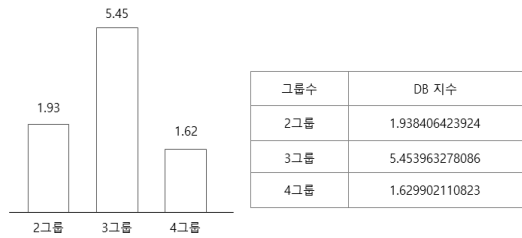
3.2.1 최적 군집수의 결정

전 단계까지의 연구는 설문을 바탕으로 유지관리 성과 모델의 요소를 새롭게 정의하고 AHP를 통해 가중치를 설정한 것이다. [그림 3]에 제시된 AHP 모델의 3계층 23개 지표에 대한 쌍대비교 설문결과를 집계한 자료를 AHP 분석을 이용하여 전체 가중치를 도출한 후 비지도학습 군집 알고리즘을 적용하여 하위 군집별로 세부적인 가중치를 도출할 것이다. 우선, 이러한 군집 분석이 유효한 것인지를 검증해야 한다. 즉, 가장 적합한 군집수가 무엇인지를 결정하는 것이 중요하다. 최적의 군집수를 결정하기 위해서는 군집내 데이터들의 어느 정도 유사한지와, 타 그룹 데이터들과의 차이가 얼마나 큰지를 파악해서 군집의 유효성을 파악해야 한다. 본 연구에서는 군집분석의 유효성을 평가하는 지수중에서 현재까지 많이 쓰이고 있는 Davies-Bouldin(DB) 지수를 사용했다. DB 지수는 군집내 데이터들의 유사성을 나타내는 응집도와 서로 다른 군집의 데이터 간 이질성을 나타내는 분리도를 평가한다(박상찬, 이장희, 2016). AHP 데이터를 DB 알고리즘에 넣어 DB지수를 도출해 보았다.

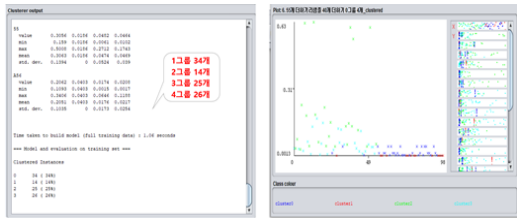
DB 지수 도출 결과 3그룹 보다는 2그룹이, 2그룹 보다는 4그룹이 더 낮은 값을 보여주고 있다. 이를 바탕으로 판단해 보면 4그룹을 최적의 군집수로 판단할 수 있다. 이를 바탕으로 이후에서는 인공신경망 비지도학습 4그룹핑 결과를 가지고 군집 분석을 실시하였다.

<표 2> AHP 설문 응답자 현황

구분	유지관리 종사자			非 종사자	계
	건설사	엔지니어링	학교/연구원		
응답수	3	19	7	70	99
비중	3%	19%	7%	71%	100%



[그림 4] Davies-Bouldin(DB) Index 도출 결과



[그림 5] SOM 분석 결과

3.2.2 SOM 분석

SOM을 이용하여 군집분석을 실시하였다. 자기조직화 신경망(SOM : Self Organization Map)은 인공지능분야에서 패턴의 군집화를 수행하는 대표적 알고리즘으로, K-평균 알고리즘 등 데이터 마이닝 수준의 알고리즘들 보다 탁월한 성과를 보이고 있다(Balakrishnan et al., 1992; Balakrishnan et al., 1996). DB지수에서 제시된 최적의 군집수인 4개의 군집으로 도출되었으므로 이후에서는 인공지능경망 비지도학습(SOM) 4그룹핑 결과를 가지고 군집 분석을 실시하였다. 총 4개 그룹으로 분류되었으며, 1그룹은 34개, 2그룹은 14개, 3그룹은 25개, 4그룹은 26개 그룹으로 분류되었다

4. 토 론

4.1 그룹별 요소별 가중치 발생

SOM 분류결과 각 그룹은 요소별 가중치에 뚜렷한 차이가 있었다. 그룹간의 차이가 분명하게 나타났다. 1그룹은 유지관리 요소 중 환경을 크게 생각하는 그룹이며(62.0%), 2그룹은 도로안전(81.4%), 3그룹은 주행성(61.7%)을 중요하게 생각하는 그룹이었다.

4그룹은 도로안전(72.7%)을 중요하게 생각한다는 점에서 2그룹과 유사한 특징을 가지고 있으나, 두번째 요소로서 주행성을 중요하게 생각한다는 점에서 2그룹과 다른 점을 나타내는 그룹으로 분류되었다.

1그룹은 1계층 기준 환경을 가장 중요하게 생각하는데, 2계층 구분 기준 미관, 환경, 경관 중에서 환경(30.6%)을 가장 중요하게 생각한다. 환경이란 일상적인 도로 청소 활동을 의미한다. 도로를 주행할 때 도로 포장 위의 청소가 제대로 되어 있지 않을 경우 유지관리가 제대로 되지 않는다고 느끼는 정도가 가장 크다는 의미이다.

2그룹은 1계층 기준 도로안전을 가장 중요하게 생각하는데, 2계층 구분 시인성, 노명안전, 부대시설, 주요시설 중에서 주요시설(55.0%)을 가장 중요하게 생각한다. 주요시설이란 고속도로를 구성하는 요소들 중 교량, 터널, 사면, 옹벽 등의 유지관리 활동을 의미한다. 도로를 주행할 때 교량, 터널, 사면, 옹벽 등의 관리가 제대로 되어있지 않을 경우 유지관리가 제대로 되지 않는다고 느끼는 정도가 가장 크다는 의미이다. 3그룹은 1계층 기준 주행성을 가장 중요하게 생각하는데, 2계층 구분 기준 진동, 인지유도, 이동성 중에서 이동성(24.5%)을 가장 중요하게 생각한다. 이동성이란 도로에 설치되어 안전한 이동성을 도와주는 지능형 교통관리 시스템(ITS : Intelligent Transformation System)이나 이동을 보장하는 도로 포장, 계절적인 요인으로 제설 등을 의미한다. 도로를 주행할 때 ITS 시설이 제대로 작동하지 않거나, 포장, 동절기 제설 등이 제대로 되어 있지 않을 경우 유지관리가 제대로 되지 않는다고 느끼는 정도가 가장 크다는 의미이다. 4그룹은 1계층 기준 2그룹과 같이 도로안전을 가장 중요하게 생각하는데, 2계층 구분 시인성, 노명안전, 부대시설, 주요시설 중에서 2그룹과 달리 시인성(23.0%)을 가장 중요하게 생각한다. 시인성이란 조명, 차선도색, 청소 상태 등을 의미한다. 도로를 주행할 때 조명, 차선도색, 청소가 제대로 되어있지 않을 경우 유지관리가 제대로 되지 않는다고 느끼는 정도가 가장 크다는 의미이다.

1계층 기준 2번째로 중요하게 생각하는 부분은 2그룹과 달리 주행성(18.2%)이라는 점에서 2그룹과 다르다고 할 수 있다. 본 연구의 결과를 바탕으로 다양한 유지관리 요소들 간의 관계 설정에 있어 기존에는 유지관리 특성에 따른 가중치 설정을 세분화하여 할 수 없었으나, 그룹간의 의미 있는 분리가 가능함에 따라 유지관리 가중치 설정을 세분화 하여 할 수 있는 근거가 마련되었다.

4.2 하위 그룹별 유지관리 특성

1계층 기준 환경 요인을 가장 중요하게 생각하는 1그룹은, 2계층 기준으로 환경(청소), 경관(조경) 요소를, 1계층 도로안전을 가장 중요하게 생각하는 2그룹은, 2계층 기준으로 주요시설을, 3그룹은 2계층 기준 이동성 요인을 가장 중요하게 생각한다. 다만 4그룹은 도로안전 요인 중 시인성을 가장 중요하게 고려한다는 점에서 다른 그룹과 차이가 있으며, 각 요소들간의 관계 설정에 있어 그룹간 차이가 있다는 것을 확인할 수 있다. 어떤 그룹의 결과를 선택하여 의사결정의 기준으로 선택할지는 유지관리 여건에 따라 달라져야 한다.

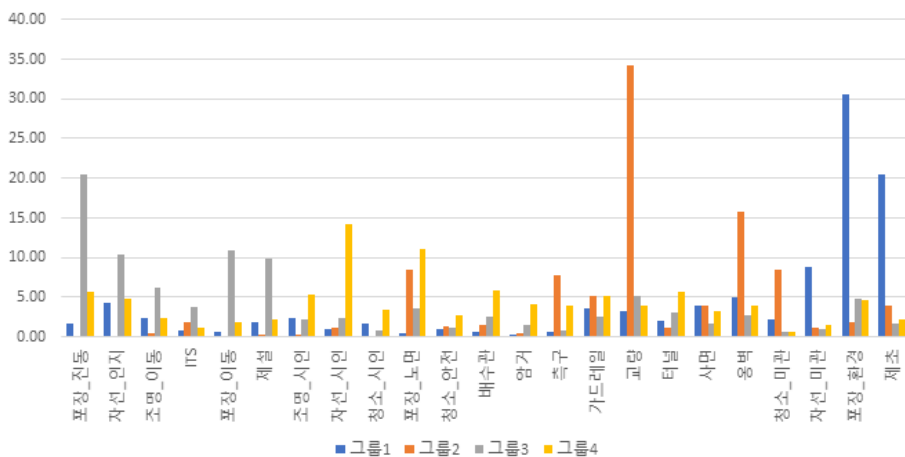
4.3 하위 그룹별 응답자 특성

1그룹은 환경, 도로안전, 2그룹은 도로안전, 3그룹은 주행성, 4그룹은 도로안전, 주행성을 중요하게 생

각하는 그룹인데, 주행성을 중요하게 생각하는 3그룹이 세부 요소별로 포장의 진동이나 평탄성에 관련된 부분을 중요하게 생각하고 있다. 실제로 설문결과를 확인한 결과 유지관리 업계에 종사하는 인력들은 대부분 3그룹과 4그룹에 속해 있었는데(1그룹에 4, 2그룹에 1, 3그룹에 25, 4그룹에 26), 3그룹은 주행성, 4그룹은 도로안전 다음으로 주행성을 중요하게 생각하는 그룹이라는 점을 고려할 때 유지관리 업계 종사자들이 주행성을 중요하게 생각한다는 점을 확인할 수 있다. 일반적 상식과도 일치하는 부분이다.

4.4 유지관리 방법론 개선 내용

다양한 유지관리 여건과 환경이 나타날 수 있다. 특정 유지관리 여건에서는 사고가 많이 발생하고 있어 도로 안전을 최우선으로 유지관리를 해야 할 경우가 있을 것이며, 특정 유지관리 여건에서는 주행성을 최우선으로 유지관리를 해야 할 경우가 있다. 기존의 방식으로는 이러한 세부적인 특성에 대응하기 위한 기준과 원칙을 잡는데 어려움이 있다. 오직 관리자와 경영자들의 직감에 의한 판단이 주요 의사결정 기준이었으나, 지금의 방식을 적용하여 그룹과 가중치에 대한 기준과 원칙을 수립할 경우 보다 세밀한 유지관리를 위한 원칙과 기준을 만들 수 있다는 점에서 기존의 방식을 한 차원 높은 접근방법이라 할 수 있다.



[그림 6] 4개 세부 그룹별 SOM 분석 가중치 비교 결과

예를 들어 도로 안전을 중요시하는 그룹에서는 어떤 유지관리 자산에 어떤 가중치를 설정하고 있는지를 보다 세분화하여 정밀하게 파악할 수 있으며, 이러한 특성은 다양한 유지관리 여건의 고려할 때 중요한 의사결정 기준이 될 수 있다. 특정 유지관리 여건에서 사고가 많아 도로 안전을 위한 유지관리 활동이 필요한 경우 해당 그룹의 가중치 결과를 활용하여 유지관리 예산 등을 배분하는데 활용할 수 있다.

5. 결 론

본 연구의 가장 큰 의미는 유지관리 성과관리 모델을 개발할 때 보다 정교하고 객관적으로 군집 설정 및 가중치를 설정하는 것이다. 군집을 설정하는 이유는 모델의 적용을 위한 환경이 서로 다름에도 불구하고 동일한 특성으로 간주되어, 동일한 가중치를 설정하는 문제점을 방지하기 위한 것이다. 예를 들어 특정 유지관리 여건에서는 안전을 위한 유지관리가 최우선 되어야 하며, 어떤 유지관리 여건에서는 안전을 위한 유지관리가 목표로 하는 수준을 이미 달성하고 있기 때문에, 환경적 유지관리 요인을 중요하게 관리해야 할 필요가 있다. 이렇게 유지관리 여건이 다름에도 불구하고 유지관리 요소에 대한 동일한 가중치를 설정해 놓으면, 실질적인 유지관리 자원 배분의 기준이 되지 못한다. 직관적 판단에 따라 유지관리 여건의 차이에 따라 자원배분을 달리할 수도 있으나, 이것은 직관에 의한 판단이며 보다 객관적 원칙과 기준을 제시하지 못한다. 과거에도 개별 특성을 반영하기 위해 군집화를 시도하였으나, 정성적으로 접근하였다. 본 연구에서는 설문 결과를 바탕으로 유지관리 여건에 따라 군집을 설정하고 군집별 가중치를 도출하는데 인공지능망 모델을 이용하였다. 그 결과 객관적이고 정교한 군집 결정과 이에 따른 가중치를 설정하게 되었다. 또한 본 연구는 DB 지수와 자기조직화지도 신경망의 논리적인 연계 활용과 자기조직화 신경망 기반의 지식

추출 및 지식 활용과정을 구체적으로 설명하는 패턴인식 모델을 제시하고 검증하였다는 점에서 학술적인 의미가 있다.

본고에서 도출된 결과를 유지관리 현장에 적용하여 최적의 유지관리 자원배분과 유지관리 성과를 얻기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

첫째, 서비스 등급 모델의 측정 가능성과 현실성을 높이기 위해, 시범 적용과 세밀한 모델 개선이 필요하다. 시범 적용은 모델을 통해 유지관리 최적 자원배분을 검증할 수 있다. 이러한 검증을 바탕으로 보다 세밀하게 현재의 모델을 개선하고 실무 현장에서 적용할 수 있는 단계로 발전시킬 수 있다. 둘째 유지관리 활동에 대한 평가가 아니라 유지관리 성과를 관리한다는 측면에서 본 방법이 발전되고 의사결정에 반영되어야 한다. 본 연구에서 제시된 모델을 바탕으로 유지관리 성과가 측정되어 수치로 나타날 경우 이것이 마치 해당 업무를 수행한 유지관리 인력에 대한 단기적인 평가로 연결될 수 있다. 그러나 이러한 활용은 자원배분 및 장기적 관점의 유지관리 성과 향상이라는 관점에서 바람직하지 않다. 셋째, 보다 광범위한 현장 데이터의 확보가 필요하다. 유지관리 여건의 특성이 워낙 다르기 때문에 이를 세밀하게 반영하기 위해서는 많은 데이터가 필요하다. 특히 비지도 학습 신경망 알고리즘을 기반으로 그룹핑을 실시하기 위해서는 보다 많은 학습 데이터 확보가 필요하다. 연구 과정에서 초기 단계 보다는 샘플사이즈를 확대했으나, 인공지능 비지도 학습을 위한 데이터로는 부족하다고 판단된다. 향후 학술적 연구와 실무적 적용을 위해서 보다 많은 데이터를 확보해야 한다. 보다 많은 학습 데이터가 확보될 경우, 가장 적합한 군집수를 판단하고, 각 군집의 특징에 따른 최적화된 가중치를 도출하는데 있어 보다 타당한 결과를 도출할 수 있다. 넷째, 모델의 정교함을 높이기 위해 군집 분류 외에 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어 성과변수와 서비스 성과에 대한 검증이나 인과 관

계에 대해서도 연구가 필요하다. 구조 방정식에 의한 모델 검증 등을 통해 성과변수와 서비스 성과에 대한 연구가 가능하다. 그러나 방대한 데이터가 축적되어야 종속 및 결과 변수에 대한 인과 관계를 규명하고 모델의 적합도를 증명할 수 있다. 그러나 본 연구의 범위 내에서 다루기에는 한계가 있으며, 향후 추가적으로 연구가 이루어져야 할 부분이다.

참고문헌

- 박상찬, 이장희, “자기조직화지도 신경망을 활용한 의료 진단검사 결과 패턴인식 모델”, *대한경영학회지*, 제29권, 제1호, 1996, 115-134.
- 조세연구원, “공공기관의 핵심성과와 평가를 위한 계량평가 지표체계의 개선방안 연구”, *공공기관정책연구센터*, 제1권, 제3호, 2010, 25-67.
- 조준희, 강부식, “코스닥기업의 도산예측모형에 관한 연구”, *산업경제연구*, 제20권, 제1호, 2007, 141-160.
- Andrews, D.A. and J. Bonta, *The Level of Service Inventory-Revised : Multi-Health Systems*, Toronto, Ontario, Canada, 2000.
- Balakrishnan, P.V., M. Cooper, V.S. Jacob, and P.A. Lewis, “A study of the classification capabilities of neural networks for market segmentation : A comparison with k-means clustering”, Vol.59, 1997, 509-525.
- Balakrishnan, P.V., M. Cooper, V.S. Jacob, and P.A. Lewis, “Comparative performance of the FSCL neural net and k-means algorithm for market segmentation”, *European Journal of Operational Research*, Vol.93, No. 2, 1996, 346-357.
- Caliński, T. and J. Harabasz, “A dendrite method for cluster analysis”, *Communications in Statistics-theory and Methods*, Vol.3, No.1, 1974, 1-27.
- Davies, D.L. and D.W. Bouldin, “A cluster separation measure”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 1, No.2, 1979, 224-227.
- Dye Management Group, “Development of Levels of Service for the Interstate Highway System”, *Transportation Research Board*, Vol.3, No.5, 2010, 77.
- Kohonen, T., S. Kaski, K. Lagus, and T. Honkela, “Very large two-level SOM for the browsing of newsgroups”, *International Conference on Artificial Neural Networks*, Vol.1, No.1, 1996, 269-274.
- Satty, T.L., “Multicriteria decision making : the analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation”, *Pittsburgh*, Vol.2, No.3, 1990, 35-62.
- Singh, G. and A. Kaur, “Comparative Analysis of K-Means and Kohonen-SOM Data Mining Algorithms Based on Behaviors in Sharing Information on Facebook”, *International Journal of Engineering and Computer Science*, Vol.6, No.4, 2017, 2000-2093.
- TRB, “Development of Levels of Service for the Interstate Highway System”, *Dye Management Group. Inc.*, Vol.1, No.2, 2010, 619-711.

◆ About the Authors ◆



신 덕 순 (dsshin21@gmail.com)

LG전자 설계/해외영업 업무를 경험하고, 민간과 공공기관을 대상으로 조직 진단 업무를 수행하고 있다. 기획재정부 공공기관 경영평가 위원을 역임한바 있으며, KAIST 디지털혁신연구센터(DIRC) 전문위원으로도 활동하고 있다. 관심영역은 인공지능, 블록체인, 조직진단, BSC, 공공기관 경영평가 등이다.



박 승 범 (parksb@hoseo.edu)

LGCNS, 한국지능정보사회진흥원을 거쳐 현재 호서대학교 기술경영전문 대학원에 재직 중이다. 빅데이터, 인공지능 등의 디지털융합 신기술을 이용한 정책 수립과 기술사업화 연구 등이 관심분야이다.