

이용자 만족도를 고려한 고속도로 노면상태 종합평가에 관한 연구

Comprehensive Evaluation of Freeway Surface Conditions based on User's Satisfaction

손 영 태 Son, Young Tae
이 진 각 Lee, Jin Kak
이 신 라 Lee, Shin Ra
정 철 기 Jung, Chul gie

정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 (E-mail : son@mju.ac.kr)
정회원 · (주)로드코리아 기술본부 이사 (E-mail : niceguyjk@hanmail.net)
비회원 · 한국건설기술연구원 교통연구실 석사후연구원
비회원 · (주)로드코리아 기술본부 전무이사

ABSTRACT

This research is aimed at comprehensively evaluating the condition of a road surface of a highway in satisfaction of its users. This research conducted an overall evaluation of a road surface condition by adding qualitative data, or a driver's satisfaction to the existing quantitative elements, whereas the existing research put its focus on a correlation analysis with quantitative factors and qualitative factors through a statistical method. As for an evaluation method, this research conducted an overall evaluation by using Grey System Theory which makes possible an integrated evaluation. The analyzed results make it possible to diagnose the current conditions of each section of object roads and to predict the potentially changeable conditions for the time to come. In addition, these analyzed results could hopefully be applied to the maintenance of freeways through diverse methods. It is hoped that the evaluation of a road surface condition of a highway in satisfaction of its user could be helpful to keeping up the satisfaction of a driver and passenger on the highway by more than a certain level. In addition, the analyzed data on the influence of data value observed by comprehensively evaluating a variety of elements could be used as a secondary means of the decision-making process in relation to road maintenance. On top of that, it could be used as a means of improving road maintenance system and offering the improved driving environment of the highway.

KEYWORDS

GST(Grey System Theory), IRI, comprehensive evaluation, user satisfaction, highway survey, freeway surface condition

요지

본 연구에서는 이용자 만족도를 고려하여 고속도로의 노면상태를 종합적으로 평가하는 것을 목적으로 한다. 기존의 연구에서는 통계적 방법을 통해 정량적인 요인과 정성적인 요인들과의 상관분석 등이 추가 되었는데 반해, 본 연구에서는 기존의 정량적인 요소에 운전자의 만족도인 정성적인 data를 포함하여 종합적으로 노면상태 평가를 진행하였다. 이 때 평가 방법은 통합 평가가 가능한 Grey System Theory를 활용하여 종합적인 평가를 실시하였다. 분석된 결과는 대상도로의 각 구간에 대한 현재의 상태를 진단하고, 추후 변화될 상태에 대한 예측이 가능하다. 또한 분석된 결과를 다양한 방법을 통해 고속도로의 유지 관리에 활용할 수 있을 것이다. 다양한 요소들을 종합적으로 평가함으로써 관측된 data값들의 영향력을 분석할 수 있으며, 이를 활용하여 도로를 관리하고 유지하는 판단에 대한 결정지원에 보조적인 수단으로 활용할 수 있을 것이다. 아울러 사전 사후 모니터링 수단 활용으로 유지관리 체계 개선에 도움이 될 것으로 기대한다.

핵심용어

그레이 시스템 이론, 평탄성, 종합평가, 이용자 만족, 도로 조사, 고속도로 노면상태

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

일반적으로 도로는 차량의 소통과 안전을 함께 도모해야 하는 중요한 수단일뿐 아니라, 다양한 기하구조 조건과 노면상태, 교통운영 상황에 따라 운전자의 주행행태를 바꾸는 역할도 담당하게 된다. 이 중에서 도로의 노면상태(평탄성 등)는 차량을 이용하는 자에게 승차감을 좌우하는 결정적인 요소로 작용함과 동시에 교통 안전적인 측면에도 상당한 영향을 주게 된다.

이러한 노면상태 및 도로의 평탄성은 그 상태가 불량할수록 차량 안전상의 문제가 발생하게 될 수 있는데, 타이어 파손 등과 같은 심각한 문제가 발생할 경우 대형사고로 이어질 확률이 높아 이로 인한 사회적인 비용이 증가하게 된다.

특히, 고속도로의 경우 교통량이 많고 장거리를 고속 주행하는 특성을 지니고 있기 때문에 노면의 평탄성을 관리하고 유지하는 것은 이용자의 편안하고 안전한 주행을 가능케 함으로 무엇보다 중요한 요소이다.

한국도로공사의 『노면 평탄성 개선을 통한 고객만족도 향상, 2007, 도로저 내부자료』에 따르면 고속도로 이용자들의 만족도를 측정할 수 있는 지표 및 중요도 중 최근 교통정보가 중요한 요소로 부각되는 점을 제외하면 노면상태(평탄성)가 가장 중요한 요소로 작용하고 있음을 알 수 있다(그림 1 참조).

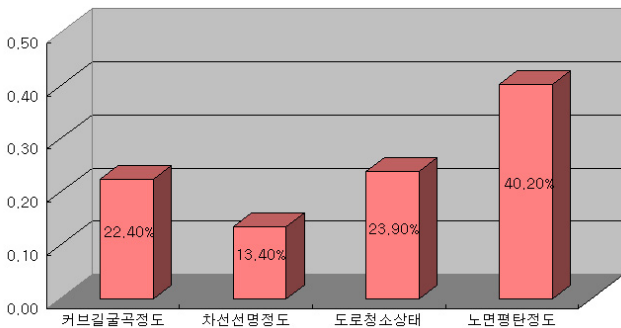


그림 1. 노면상태의 고객 만족도 지표 및 중요도(김성호 외, 2001)

고속도로의 평탄성을 나타내는 지수로는 IRI, QI, PrI, PSI 등이 있는데 현재 우리나라 고속도로의 평탄성을 측정하고 판단하는데 활용하는 것은 국제적 표준인 IRI이다. IRI(International roughness index)는 전문용어로 평균정류경사(Average Rectified Slope)라고 하여 기준간격으로 읽어 들인 각각의 data point(또는 level point)에서의 정류경사를 합산하여 평균한 값이다. 그 단위는 m/km(mm/m) 또는 in/mi로 표시된다(김성호 외, 2001).

현재 한국도로공사에서는 고속도로 이용자의 만족 및 안전성을 높이기 위해 노면 평탄성을 일정 수준 이상으로 유지하고 관리하는 방안을 마련하였다. 그 기준을 살펴보면 표 1에 나타난 바와 같이 총 5개 등급으로 나누어진다.

표 1. 국내 고속도로의 평탄성 등급 분류기준

등급	범위	평가	상 태	관리방안
1	1.5 이하	매우우수	쾌적한 승차감 확보	-
2	1.5~2.5	우수	승차감 양호	예방적 유지
3	2.5~3.5	보통	부분적인 진동으로 승차감 저하	수선 유지
4	3.5~5.0	불량	주행시 불쾌감이 느껴짐	개량
5	5.0 이상	매우불량	주행성 불량으로 속도저감필요	개량 시급

그러나 현재 우리나라에서 고속도로의 노면상태를 측정하고 평가하는 방법은 도로의 시설(Infrastructure)에 대한 요소만을 고려할 뿐 실제 도로를 이용하는 운전자에 대한 만족도는 고려하지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존의 평가방식을 포함할 뿐 아니라 이용자의 만족도를 고려하여 고속도로의 노면상태를 종합적(정량적+정성적)으로 평가하는 것을 목적으로 한다. 기존의 연구에서는 통계적 방법을 통해 정량적인 요인과 정성적인 요인들과의 상관분석 등이 주가 되었는데 반해, 본 연구에서는 기존의 정량적인 요소에 노면상태에 대한 운전자 만족도인 정성적인 data를 포함하여 종합적으로 노면상태 평가를 진행하고자 한다.

아울러, 이때 평가 방법은 종합 평가가 가능한 Grey System Theory을 활용하며 평가방법에 필요한 평가지표의 경우에는 기존 평가지표 외에 이용자 만족도를 함께 고려함으로써 고속도로의 운전자 및 탑승자의 만족도를 유지하고, 향후 사전/사후 모니터링 수단으로 활용하여 유지관리체계의 개선 및 고속도로의 향상된 주행환경을 제공하는데 목적을 두고 있다.

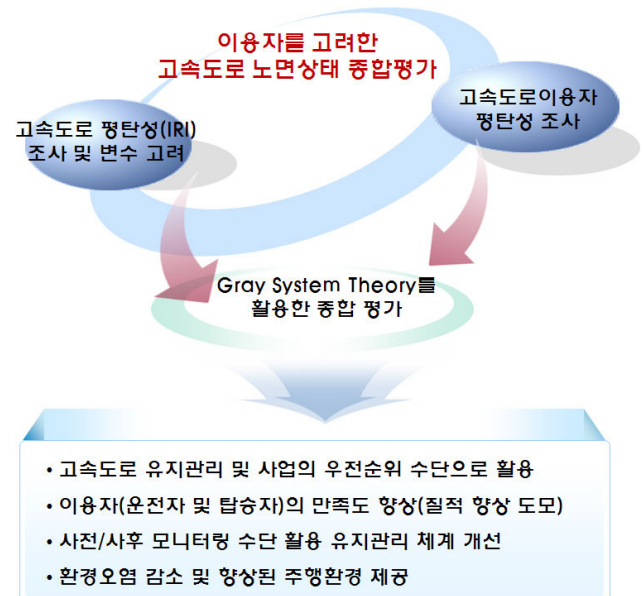


그림 2. 연구의 배경 및 목적

1.2. 연구의 수행방법

본 연구의 수행방법은 총 3단계로 관련문헌 고찰, 평가방법론 및 사례연구, 결론 및 향후 연구계획으로 진행한다.

첫째, 관련문헌 고찰에서는 국내외 평탄성 측정 및 평가에 대한 자료를 검토하여 본 연구와의 차별성을 검토하고, 둘째로 평가방법론 및 사례연구에서는 본 연구에서 활용하게 될 종합평가의 이론적 바탕이 되는 Grey System Theory를 통해 조사대상 지점의 종합평가를 수행한다.(이용자 만족도 포함) 마지막으로 기존의 평가(IRI)방식과 비교함으로써 종합평가가 가지고 있는 의의와 향후 연구과제 등을 논의하고자 한다.

2. 관련문헌 고찰

2.1. 국내 문헌 고찰

국내 문헌은 대부분의 경우, 도로 평탄성을 측정하고 이를 관리하기 위한 평가가 주로 이루어 졌는데, 김성호 외(2001)는 중부고속도로를 대상으로 평탄성을 측정하고 그 특징에 대하여 연구하였다. 조사장비는 ARIA(Automated Road Image Analyzer)를 활용하여 IRI를 측정하였으며, 전체 포장형태별 비교와 함께 토공부와 교량부 및 터널부간 비교를 실시하였다. 또한 CRCP(콘크리트 포장) JCP(무근 콘크리트 포장) 간의 평탄성을 분석하여 CRCP 구간의 IRI가 우수한 것을 알아냈으며, 1km 단위 구간별 표면결함(균열)과 IRI와 상관관계를 분석해 JCP(무근 콘크리트 포장)의 경우 균열과 상관관계가 있는 것을 규명하였다.

김국한 외(2002)는 평탄성 지수 IRI와 PrI의 평탄성 측정 오차에 대해 비교 분석하였으며, 그 결과 측정 장비의 종류에 따라 오차에 영향을 받게 된다는 것을 밝혀냈다. 또한 수동식 장비의 문제를 해결하고, 기존의 PrI 관리기준을 이용하여 IRI 관리 기준을 정립하기 위해 상관관계를 실험을 통해 규명하였다.

문형철 외(2008)는 시단위 포장도로의 포장평가지수개발에서 서울시 사례 및 기타 시단위 도로포장상태 조사자료를 토대로 아스팔트포장의 일반적 평가 요소인 균열, 소성변형, 종단평탄성 등 3가지 요소에 대한 포장상태를 분석하였으며, 시단위 도로의 유지관리 의사결정에 필요한 포장평가지수를 개발하였다. 현장조사를 통한 결함발생율과 샘플구간에 대한 포장업종 종사자들을 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 개별결함에 따른 유지보수가 필요하다고 판단되는 결함량은 균열율 15.2%, 소성변형 24.2mm, 종단평탄성 6.9m/km로 분석하였다.

2.2. 국외 문헌 고찰

국외 문헌은 가장 대표적인 것이 미국의 AASHO(American Association of Highway Officials)를 중심으로 노면 평탄성에 관한 연구들이 1960년대부터 시작되어 현재까지 활발하게 진

행되고 있는 것이다. 그 내용은 도로 이용자를 고려한 평탄성 측정 및 평가를 처음으로 시도한 연구자로 퍼듀 대학의 Nakamura와 Michael(1963년)이며, Indiana의 Lafayette에 위치한 Sixty test section (반경 40-mile 내)에서 30명을 대상으로 연구를 시행하였다.

조사시 각 실험 대상자는 평소 운전하는 것과 유사하게 주행하도록 하고, 일부 구간에서는 설계속도를 제시하여 주행하도록 하였다. 피 실험자로 인한 영향을 최소화하기 위하여 차에 단독으로 탑승하여 운전하도록 하였으며, 조사결과 중요요소는 포장상태, 평가자, 포장과 실험자간의 관계로 나타났고, 비중요 요소로 포장유형, 평가자 유형, 포장유형과 평가자와의 관계 등으로 분석되었다.

Nair, Hudson와 Lee(1985년)은 Austin의 Texas 대학에서 포장 유용성 개념을 입증함으로써 Carey와 Irick의 연구를 확대하는 연구를 수행했는데, 선형 회귀식을 이용하여 내구성 예측 식을 개발하였으며, 이는 운전자를 고려한 모형으로 도로 이용자의 인지반응과 기대에 따른 변화를 반영한 평탄성 지수가 포함되어 있다. 이 연구에서 흥미로운 것은 포장의 내구성이 이용자의 허용정도에 영향을 받는다는 것이다.

또한 Fernando와 Lee(1999)는 TTI 직원, Texas DOT 직원, 그리고 Texas A&M 학생들로 구성된 실험대상자(총 28명)들을 이용하여 2인 1조로 구성, 시험용 차량에 탑승하여 63개 이상의 시험 대상 구간의 포장 상태를 평가하였다. 기존의 연구된 평탄성 지수(AASHO/Weaver)를 바탕으로 노면의 상태에 따른 운전자의 상태를 측정하기 위해 50mph의 일정한 속도로, 미리 결정된 실험 구간을 운전했다.

조사 결과 3,000개 이상의 data를 수집하였고, ANOVA Test를 이용하여 PSR과 IRI사이의 몇 가지 관계에 대해 결론을 도출하였다. 본 실험에 관련된 요소로는 노면의 평탄성, 차종, 개인적인 평가, 그리고 포장 상태 등이며, 아스팔트 포장보다 더 거친 콘크리트 포장에 대한 운전자의 상태에 대해 초점을 두고 있다.

Kevan Shafizadeh, Fred Mannering, Linda Pierce(2002)의 연구에서는 노면 평탄성과 이용자 특성에 대해 분석을 하기 위해 실험자 56명을 대상으로 각 고속도로를 2,180개의 구역으로 구분하여 대상 도로의 노면 평탄성에 대해 조사하였으며, 도로의 물리적 평탄성 값과 이용자가 느끼는 승차감(평탄성) 값에 대해 비교/분석하였다. 연구 결과, 노면 평탄성과 관계가 깊은 변수들을 중요요소와 비중요 요소로 나누고 중요요소 항목에는 IRI, 자동차 소음, 주행속도, 유지보수 기간, 도로 이용의 친숙도로 나타났다.

2.3. 요약 및 본 연구와의 차별성

국내외 문헌을 검토한 결과 국내의 경우에는 이용자 만족도를 고려하여 노면상태를 종합적으로 평가하고자 하는 노력은

미비한 것으로 파악되었으며, 국외의 경우 도로의 다양한 변수를 측정하고 평탄성에 영향을 주는 요소들을 선정하여 일부 차량 탑승자를 대상으로 한 운전자의 특성의 영향에 대한 연구를 수행한 것을 알 수 있었다.

그러나 기존의 연구는 도로를 평가하고 관리하기 위해 이용자의 의견을 충분히 반영하지 못한 한계를 지니고 있으며, 도로의 평탄성에 대한 다양한 변수들을 함께 고려하지 못한 부분이 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 활용되어 왔던 주요 평가 지표와 함께 이용자의 만족도를 고려하여 고속도로의 노면상태를 종합적으로 평가하고자 한다.

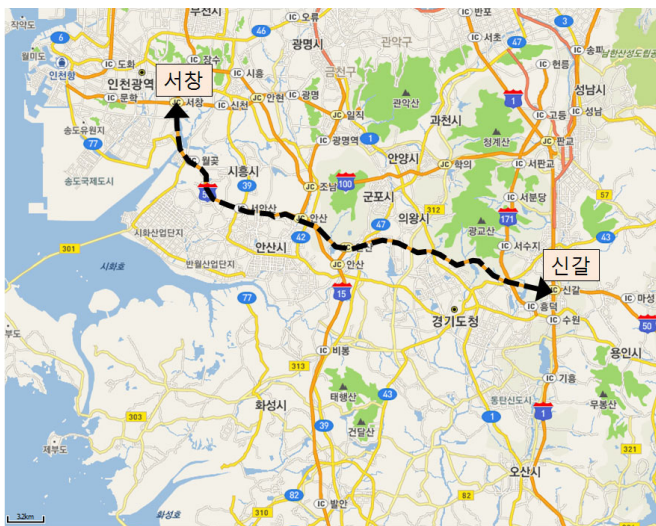
3. 조사 대상지점 및 분석방법론을 통한 사례연구

3.1. 조사 대상지점

3.1.1. 조사지점 및 조사차량 개요

본 연구에서 수행한 조사 대상지점은 영동고속도로 서창-안산 구간이며, 다음과 같은 조건을 기준으로 선정하였다.

- 대상 노선내 다양한 포장상태를 지니고 있는가
- 교통량이 높아 이용자가 많은가
- 가능한 노선 길이가 긴 곳으로 선정하여 다양한 조건의 조사가 가능한가
- 기타 노선연장, 교통량(승용차 및 대형차), 개통연도 등에 대한 고려사항 포함



구 분	구간(일방향)	차로수(양방향)
서창-안산	18.0km	8, 6
안산-신갈	23.8km	6
합계	41.8km	-

그림 3. 조사대상 노선 및 구간

조사대상 차량은 고속도로의 이용률이 가장 높은 1종(소형

차)을 우선으로 하였으며, 경차 또한 대상으로 포함하였다.

관련 자료를 수집하는데 활용된 차량은 경차/소형차, 준중형/중형차 및 SUV차량으로 조사를 실시하였다. 가장 많이 실험에 활용된 차종은 준중형/중형 자동차이며 총 26대이다. 경차/소형차와 SUV차량은 각각 2대씩 실험에 활용되었다.

표 2. 실험에 활용된 차량 종류

구 분	차 종	배기량(cc)	대	합 계
경차/ 소형차	모닝	1000	1	2
	젬트라X	1200	1	
준중형/ 중형차	클릭	1400	1	26
	세라토	1600	1	
	아반테	1600	2	
	i30	1600	1	
	카렌스	2000	1	
	소나타	2000	10	
	SM5	2000	10	
SUV	산타페	2000	1	2
	스포티지	2000	1	
합 계	-	-	-	30

관련 data 수집을 위해 속도 조사는 보조자가 세부 구간의 지점(200m 이점)을 통과하는 시각을 측정하여 통행시간을 구함으로써 활용하였다. 실험을 진행하는 동안 운전자는 속도의 제한 없이 평상시 운전 습관대로 실험을 실시하는 것을 원칙으로 하였다.

세부 구간의 지점을 200m로 지정한 것은 다른 평가지표들의 현장 데이터를 구축함에 있어 형평성을 위한 판단기준과 함께, 각 구간에 대한 이용자 만족도 조사시 판단을 10초 이내로 제한하기 위함이다.

3.1.2. 평가지표별 조사 항목 및 내용

종합평가 수행을 위해서는 평가지표 선정이 매우 중요한데, 이는 기존 문헌 고찰을 통해 노면의 상태를 나타낼 수 있는 지표들을 우선적으로 고려하였으며, 추가로 이용자 중심의 조사 항목을 포함하였다. 특히 평가지표가 Grey Category 기준에 따라 범주 구성이 가능한가를 살펴보아 좋음과 나쁨의 상태로

표 3. 평가지표 선정기준

구 분	기 준	지 표
1	기존 문헌에서 사용되는 노면상태 평가지표	IRI, 표면 손상률
2	종합평가기 활용 가능한 평가 지표	소음, 이용자 만족도
3	관측 값이 기준 설정이 명확한 지표	IRI, 표면 손상률, 소음, 이용자 만족도

나타낼 수 있는지를 판단하여 최종 선택하였다.

분석을 위해 최종 선정된 평가 지표는 총 4가지로 IRI, 이용자 만족도, 소음, 표면 손상률이다. 이들 선정된 지표는 평가지표의 선정기준에 의하여 최종 결정되었으며, 이를 활용하여 Grey분석을 실시하였다.

평가지표별 data 수집을 위한 조사는 09년 7월 20일~8월 14일에 실시하였으며 이 중 주말을 제외한 평일에 조사를 실시하였다. 조사 시간은 야간을 제외한 낮시간에 시행하였다. 노면상태를 일정하게 고려하기 위해 맑은날을 대상으로 하였으며 우천 시에는 조사를 실시하지 않았다. 사전에 모집된 운전자들은 보조자와 함께 동승하여 2인 1조로 실험에 참가하였다.

이용자 만족도 조사를 시행하는 동안 헤드웨이 측정기를 활용하여 보조자가 차량의 속도를 조사하고, 차량 내 소음 측정기를 장착하여 운전자가 운전 시 차량의 내부 소음을 측정하였다. 조사에 참가한 인원을 살펴보면 총 인원은 30명이었고 남성 운전자 24명, 여성운전자는 6명으로 대부분 남성 운전자가 실험에 참가하였다. 이중 결혼한 사람은 13명, 미혼은 17명으로 구성되었다.

또한 이용자 만족도의 경우에는 운전자는 주행하고 있는 구간의 노면상태에 대하여 1에서 5까지의 범위로 하여 1을 가장 양호한 상태, 5를 가장 열악한 상태로 선택하도록 하였다. 또한 주행중 운전자가 허용가능한 평탄성인가를 동시에 조사 하였다.

3.2. 분석방법론에 따른 사례연구

3.2.1. 분석방법론 : Grey System Theory(GST)

본 연구에서 통합평가 방법론에 사용하고자 하는 Grey System Theory의 경우, 1982년 중국의 Julong Deng에 의해 제안된 이론으로서, 불규칙한 시계열 Data와 과거, 현재의 상태에 따른 진단 및 경향예측을 수행하는데 사용되는 방법이며, 국내 도로교통 분야에서는 이진각(2009)에서 보행우선구역의 대상으로 하여 차량 및 보행환경에서 사용되는 평가지표를 토대로 정량적 항목과 정성적 항목을 종합적으로 평가한 노력이 있다.

이 이론은 퍼지(Fuzzy)이론과 비슷한 형태를 보이고 있으며, 실제 관측된 또는 측정된 데이터(Whitening Value)가 어느 범주에 포함(Black)되어 평가가 되는가 하는 개념을 가지고 있다. 따라서 불확정 정보를 처리할 수 있는 장점을 지니고 있으며, 스케일이 다른 각 변수(지표)간 하나의 표준화된 값을 변환/평가가 가능하다는 점에서 퍼지이론과 상대적으로 다른 점을 지니고 있다.

Grey System 이론에는 우선 최소값과 최대값의 범위 안에서 존재하는 Grey 값을 가지고 있는데, 이를 수식으로 표현하면 다음의 식 (1)과 같다.

$$\ominus x \in [\ominus x, \bar{\ominus} x] \quad (1)$$

여기서, $\ominus x$ 는 최소값, $\bar{\ominus} x$ 는 최대값

또한, 관측값 또는 결정된 값(Whitening Number)을 \acute{x} 이라고 가정하면, 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\ominus x \in \acute{x}, \acute{x} \in [\ominus x, \bar{\ominus} x] \quad (2)$$

관측된 값은 Grey Clustering(집단군)에 따라 카테고리별로 행렬로 표현이 가능하게 되며, 크게 3가지의 집단군으로 정리할 수 있다.

- ① 평가하고자 하는 대상(구간, 지점 등)에 대한 집단군 $k(k=1, 2, \dots, n)$
- ② 선정된 평가지표의 항목 집단군(예 : V/C, 속도, 사고건수 등, $i(i=1, 2, \dots, m)$)
- ③ 좋고 나쁨을 평가하는 Grey Category 집단군(예 : 매우 좋음, 좋음, 보통, 나쁨 등, $j(j=1, 2, \dots, p)$)

3.2.2. Grey system 이론 평가 단계

• 1단계 : Grey Category별 평가지표 단위 표준화
지표로 선정된 각 지표는 식(3)과 같이 항목별로 행렬표현이 가능하게 되며, 식(4)와 같이 카테고리 중 최대값을 가지고 있는 변수를 기준으로 각 항목의 값들을 나누어 단위 표준화가 가능하게 된다. 따라서 바뀌어지는 최대값은 1이 되며 각 카테고리별 변수들은 그에 대응하는 가중치 값으로 변환된다.

$$\lambda^0 = \begin{bmatrix} \lambda_{11}^0 & \lambda_{12}^0 & \dots & \lambda_{1p}^0 \\ \lambda_{21}^0 & \lambda_{22}^0 & \dots & \lambda_{2p}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{m1}^0 & \lambda_{m2}^0 & \dots & \lambda_{mp}^0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서,

$$\lambda_{ij} = \frac{\lambda_{ij}^0}{\max_{1 \leq j \leq p} \{\lambda_{ij}^0\}} \text{ and}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1p} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{m1} & \lambda_{m2} & \dots & \lambda_{mp} \end{bmatrix} \quad (4)$$

표 4. 평가지표별 구간별 관측 값

구분	IRI	이용자 만족도	소음	표면 손상률	구분	IRI	이용자 만족도	소음	표면 손상률
1	2.280	3.357	68.512	0.814	37	1.150	2.286	67.900	0.000
2	2.460	3.857	69.038	1.728	38	1.310	2.393	68.841	0.085
3	2.560	3.286	68.411	1.130	39	1.550	2.607	68.117	0.023
4	2.550	3.071	68.865	1.697	40	1.470	2.607	67.431	0.050
5	1.900	2.536	68.484	39.923	41	1.310	2.893	67.380	0.045
6	2.330	2.750	68.229	0.995	42	1.600	3.036	67.320	0.001
7	2.220	3.179	68.908	1.171	43	1.830	3.286	67.802	0.043
8	1.840	3.107	68.719	0.314	44	1.840	3.250	68.049	0.846
9	2.340	3.143	68.484	1.238	45	2.470	3.286	67.620	1.540
10	2.760	3.821	68.620	2.021	46	2.190	3.321	67.197	0.991
11	2.500	3.321	68.053	3.719	47	2.580	3.179	67.264	0.452
12	2.770	3.857	67.597	1.870	48	2.140	3.429	67.202	1.071
13	2.730	3.571	67.003	0.624	49	2.600	3.464	67.008	0.121
14	2.570	3.393	67.202	0.356	50	2.770	3.679	67.895	0.028
15	2.650	3.321	68.125	2.815	51	2.830	3.536	67.812	0.288
16	2.110	3.286	66.883	0.493	52	2.980	3.714	66.734	1.896
17	3.260	3.571	67.540	0.542	53	2.710	3.714	66.306	6.385
18	2.510	3.370	67.960	0.396	54	2.870	3.643	66.286	0.512
19	3.040	3.333	67.929	0.981	55	3.000	3.750	66.939	0.350
20	1.800	2.815	68.840	0.953	56	2.520	3.571	66.645	1.022
21	1.430	2.704	67.484	0.493	57	2.710	3.321	67.296	1.670
22	1.990	2.926	67.124	0.073	58	2.580	3.393	67.953	2.519
23	2.210	3.037	66.388	0.373	59	2.140	3.214	68.098	0.181
24	2.540	3.185	66.550	0.534	60	3.020	3.714	67.566	1.763
25	2.330	3.074	67.623	0.532	61	2.060	3.107	67.207	0.313
26	2.750	3.074	68.854	0.795	62	2.190	3.071	68.425	0.709
27	2.310	3.444	67.956	6.200	63	2.960	3.536	67.588	0.764
28	2.260	3.074	68.848	2.406	64	2.630	3.179	66.654	2.358
29	2.190	2.852	68.077	2.115	65	2.350	3.179	66.990	0.153
30	1.770	2.519	68.207	1.296	66	2.380	3.143	66.787	0.109
31	1.260	2.259	67.838	2.354	67	1.500	2.571	67.218	0.061
32	1.230	2.222	67.515	0.000	68	1.540	2.679	66.864	0.411
33	1.450	2.407	67.504	0.043	69	2.270	3.429	66.667	0.945
34	1.460	2.370	67.385	0.025	70	2.190	3.214	65.503	0.682
35	1.230	2.407	67.326	0.046	71	2.250	3.464	66.920	1.770
36	1.280	2.556	67.160	0.460	72	2.540	3.143	66.662	0.287

행렬로 구성된 항목 중 열(Column)은 평가하고자 하는 평가지표의 수가 되며, 행(Row)은 각 평가지표의 평가기준을 나타낸다.

본 연구에서 선정된 평가지표는 Grey Category에 따라 기준과 범위를 설정하고, 각 지표별로 단위를 표준화하였으며, Category는 매우 좋음, 좋음-보통, 보통-나쁨, 매우 나쁨으로 총 4가지로 구성하였다. 또한 각 평가지표에 대한 Grey Category 구성은 국내외 문헌을 기초로 하여 작성하였다.

4개의 Category로 구분한 이유는 일반적인 서비스 수준 판단시(도로의 경우, LOS B 이상은 좋음, LOS E 이하를 나쁨으로 판단) 좋음 이상을 보이는 경우에는 매우좋은의 기준을

따르는 것으로 판단하였으며, 나쁨 이하의 경우 매우 나쁨으로 간주할 수 있기 때문이다.

각 Category의 단위를 표준화하면(1단계) 다음과 같은 평가지표상 최대값 1을 갖는 행렬식을 갖는다.

$$\lambda = \begin{bmatrix} 0.43 & 0.43 & 0.71 & 1.00 \\ 0.40 & 0.40 & 0.60 & 1.00 \\ 0.71 & 0.71 & 0.86 & 1.00 \\ 0.20 & 0.20 & 0.50 & 1.00 \end{bmatrix}$$

표 5. 평가지표 및 Grey Category구성

평가 지표	Grey Category			
	매우 좋음 (Excellent)	좋음-보통 (Good)	보통-나쁨 (Medium)	매우나쁨 (poor)
IRI*	<1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	3.5<
이용자 조사값**	<2	2~3	3~4	4~5
소음***	<50	50~60	60~70	70<
표면 손상률****	< 2	2~5	5~10	10<

* IRI : 고속도로 평탄성 개선에 관한 연구, 한국도로공사 내부자료, 2007

** 이용자 조사값 : Janoff et al, (1985)의 「Effect of Vehicle and Driver Characteristics on the Subjective Evaluation of Road Roughness」

*** 소음 : 김정룡 외(2001), 「뇌파를 이용한 적정 자동차 내부소음의 평가」

**** 표면 손상률 : 도로공사의 내부기준에 따른 도로 관리 방안에서 표면손상에 의한 등급기준

• 2단계 : 관측 데이터의 Matrix 및 단위 표준화

2단계는 평가대상이나 구간의 평가 지표를 실제 관측데이터에 대해 단위를 표준화 한다. 실제로 관측된 데이터를 $D^0 = \{d_{11}^0, d_{12}^0, \dots, d_{nm}^0\}$ 라고 하였을 때, 이 또한 1단계의 식 (4)와 마찬가지로 각 항목별로 단위를 표준화할 수 있다.

$$D^0 = \begin{bmatrix} d_{11}^0 & d_{12}^0 & \dots & d_{1m}^0 \\ d_{21}^0 & d_{22}^0 & \dots & d_{2m}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1}^0 & d_{n2}^0 & \dots & d_{nm}^0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

표 6. 평가지표별 구간별 관측값의 표준화

구분	IRI	이용자 만족도	소음	표면 손상률	구분	IRI	이용자 만족도	소음	표면 손상률
1	0.65	0.67	0.98	0.08	37	0.33	0.46	0.97	0.00
2	0.70	0.77	0.99	0.17	38	0.37	0.48	0.98	0.01
3	0.73	0.66	0.98	0.11	39	0.44	0.52	0.97	0.00
4	0.73	0.61	0.98	0.17	40	0.42	0.52	0.96	0.00
5	0.54	0.51	0.98	3.99	41	0.37	0.58	0.96	0.00
6	0.67	0.55	0.97	0.10	42	0.46	0.61	0.96	0.00
7	0.63	0.64	0.98	0.12	43	0.52	0.66	0.97	0.00
8	0.53	0.62	0.98	0.03	44	0.53	0.65	0.97	0.08
9	0.67	0.63	0.98	0.12	45	0.71	0.66	0.97	0.15
10	0.79	0.76	0.98	0.20	46	0.63	0.66	0.96	0.10
11	0.71	0.66	0.97	0.37	47	0.74	0.64	0.96	0.05
12	0.79	0.77	0.97	0.19	48	0.61	0.69	0.96	0.11
13	0.78	0.71	0.96	0.06	49	0.74	0.69	0.96	0.01
14	0.73	0.68	0.96	0.04	50	0.79	0.74	0.97	0.00
15	0.76	0.66	0.97	0.28	51	0.81	0.71	0.97	0.03
16	0.60	0.66	0.96	0.05	52	0.85	0.74	0.95	0.19
17	0.93	0.71	0.96	0.05	53	0.77	0.74	0.95	0.64
18	0.72	0.67	0.97	0.04	54	0.82	0.73	0.95	0.05
19	0.87	0.67	0.97	0.10	55	0.86	0.75	0.96	0.03
20	0.51	0.56	0.98	0.10	56	0.72	0.71	0.95	0.10
21	0.41	0.54	0.96	0.05	57	0.77	0.66	0.96	0.17
22	0.57	0.59	0.96	0.01	58	0.74	0.68	0.97	0.25
23	0.63	0.61	0.95	0.04	59	0.61	0.64	0.97	0.02
24	0.73	0.64	0.95	0.05	60	0.86	0.74	0.97	0.18
25	0.67	0.61	0.97	0.05	61	0.59	0.62	0.96	0.03
26	0.79	0.61	0.98	0.08	62	0.63	0.61	0.98	0.07
27	0.66	0.69	0.97	0.62	63	0.85	0.71	0.97	0.08
28	0.65	0.61	0.98	0.24	64	0.75	0.64	0.95	0.24
29	0.63	0.57	0.97	0.21	65	0.67	0.64	0.96	0.02
30	0.51	0.50	0.97	0.13	66	0.68	0.63	0.95	0.01
31	0.36	0.45	0.97	0.24	67	0.43	0.51	0.96	0.01
32	0.35	0.44	0.96	0.00	68	0.44	0.54	0.96	0.04
33	0.41	0.48	0.96	0.00	69	0.65	0.69	0.95	0.09
34	0.42	0.47	0.96	0.00	70	0.63	0.64	0.94	0.07
35	0.35	0.48	0.96	0.00	71	0.64	0.69	0.96	0.18
36	0.37	0.51	0.96	0.05	72	0.73	0.63	0.95	0.03

$$d_{ki} = \frac{d_{ki}^0}{\max_{1 \leq j \leq p} \{\lambda_{ij}^0\}} \quad (6)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & d_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

이 행렬 구성에서 열(Column)은 평가하고자 하는 대상 또는 지점의 수가 되며, 행(Row)은 평가지표의 수가 되게 된다.

표 6은 관측 값과 Grey 평가에 따라 단위가 표준화된 값을 보여주고 있다.

• 3단계 : Grey 모형 함수식 정의 및 Grey Category 평가
3단계에서는 Grey Category별로 표준화된 값들 계산한다. 이때, 관측된 값들이 카테고리 범위에 따라 $f_{ij}(d_{ki})$ 함수식에 의해 정리가 되는데, 관측된 값이 최소값보다 작은 경우, 각 Category 범위안에 있을 경우, 최대값보다 클 경우 등으로 구분되며, 그림 4와 같이 표현된다.

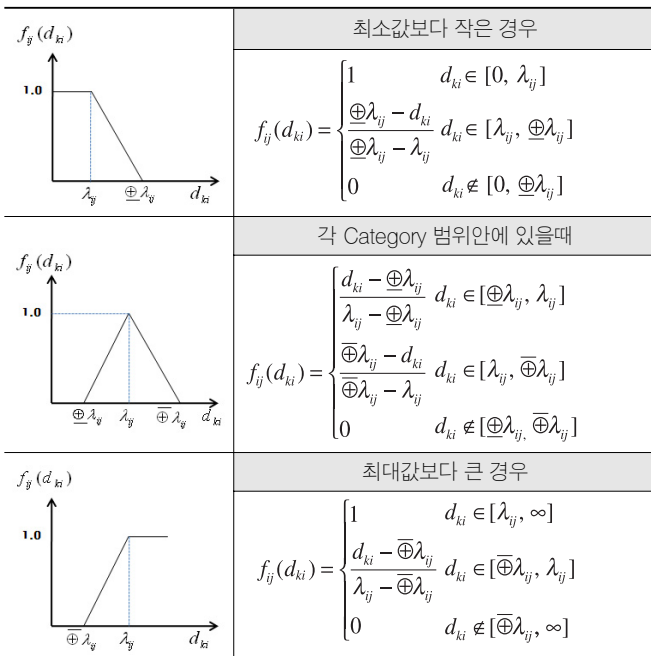


그림 4. Grey Category별 함수식

또한 그림 5는 평가지표 중 IRI의 Grey Category별 함수식을 표현한 예시이다.

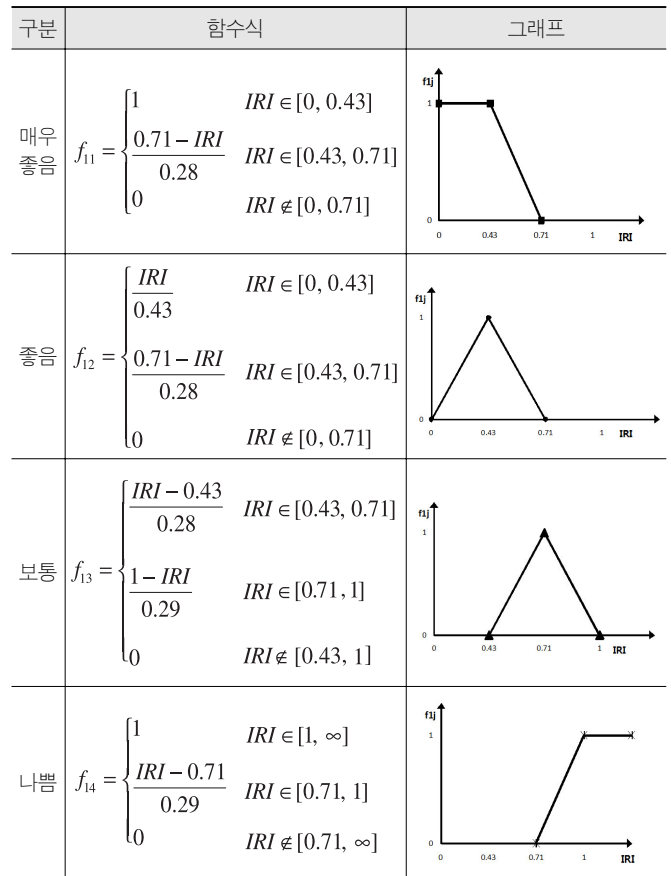


그림 5. Grey Category별 Grey 모형 함수식 및 IRI의 예

4단계에서는 표준화된 평가 수행을 위해 평가 지표간 가중치를 계산한다. 3단계에서 각 평가지표별로 Grey 함수식에 따라 계산된 값을 곱하여 종합점수화를 수행한다. 다음 표 7은 선정된 평가지표간의 가중치를 계산한 것이다.

표 7. 평가 지표간 가중치

η	매우좋음	좋음	보통	나쁨
IRI	0.246	0.246	0.267	0.250
이용자 만족도	0.230	0.230	0.225	0.250
소음	0.410	0.410	0.321	0.250
표면 손상률	0.115	0.115	0.187	0.250
-	1	1	1	1

• 5단계 : Grey Category중 최대값 선정(종합점수화)

4단계의 식(10)을 통해 산정된 값을 토대로 Grey Category 별로 나열하고, 그 중에서 가장 높은 점수를 받은 항목을 그 대상구간의 종합 평가지표로 활용한다.

$$\sigma_k = \{\sigma_{k1}, \sigma_{k2}, \dots, \sigma_{kp}\} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{kj} &= \max_{1 \leq j \leq p} \{\sigma_k\} \\ &= \max_{1 \leq j \leq p} \{\sigma_{k1}, \sigma_{k2}, \dots, \sigma_{kp}\} \end{aligned} \quad (12)$$

최종적으로 계산된 점수들은 0과 1사이의 값을 가지게 되며, 이때 Grey Category별 점수의 총 합계는 1이 된다. 이 값들 중에서 최대값을 그 대상에 대한 최종 평가의 값으로 한다.

이에 본 연구의 대상지역인 영동고속도로의 신갈~서창간의

총 72개 구간에 대한 종합평가 결과, 총 72개 구간 중 매우 좋은 Category는 16개 구간, 보통의 Category는 51개 구간, 나쁨의 범주에 속한 구간은 총 5개 구간으로 분석되었다.

또한 현재는 보통 상태의 점수이지만 나쁨의 점수가 20% 이상을 차지하는 구간이 45개 구간이다. 이들 구간은 현재의 상태에서 나쁨의 점수로 옮겨갈 여지가 많으므로 적절한 유지관리가 집중적으로 필요한 곳으로 판단된다.

3.3. 사례연구 결과 요약

Grey Category중 최대값 선정(종합점수화)된 결과를 기존의 평가 지표인 IRI값과 비교해 보면 다음과 같다. 기존의 IRI값으로 평가한 결과와 종합평가의 결과가 차이가 나는 구간이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 결과 값이 다른 구간은 총 33개의 구간으로 종합평가의 결과가 기존 IRI 평가보다 낮은 단계의 평가를 받은 구간은 28개 구간이다.

도로의 노면 상태를 관리할 때에 이들 값을 활용하는 방법에는 종합평가 지표의 결과에 따라서 우선적으로 관리 대상을 선정하고, 이 후 기존 IRI 값과의 비교를 통해 상대적으로 낮은 점수로 평가된 구간을 2차 관리 대상구간으로 설정한다. 평가 지표들 중 높은 값을 나타내는 지표가 현재 상태에서 변화될 확률이 높은 값이므로 추가적으로 이들을 비교하여 주의를 기울여야 할 것으로 보인다(표 8 종합평가 비교 참조).

표 8. 종합평가 비교

구분	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	IRI	평가	구분	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	IRI	평가
1	0.1745	0.1042	0.4554	0.2660	2.28	보통	23	0.1920	0.0957	0.5428	0.1695	2.21	우수
2	0.1268	0.1109	0.4232	0.3390	2.46	보통	24	0.1256	0.0335	0.6253	0.2156	2.54	보통
3	0.1227	0.0693	0.5290	0.2790	2.56	보통	25	0.1660	0.0767	0.5455	0.2119	2.33	우수
4	0.1193	0.1012	0.5269	0.2526	2.55	보통	26	0.1265	0.0503	0.5001	0.3231	2.75	보통
5	0.2039	0.2039	0.2214	0.3708	1.90	우수	27	0.0464	0.0464	0.5949	0.3123	2.31	우수
6	0.2091	0.1527	0.4371	0.2011	2.33	보통	28	0.1538	0.1538	0.4684	0.2240	2.26	우수
7	0.1842	0.1365	0.4335	0.2458	2.22	보통	29	0.2028	0.2028	0.4088	0.1856	2.19	우수
8	0.2681	0.1745	0.3335	0.2239	1.84	우수	30	0.3316	0.2986	0.2017	0.1681	1.77	우수
9	0.1578	0.1131	0.4935	0.2355	2.34	우수	31	0.3858	0.3564	0.1116	0.1462	1.26	매우 우수
10	0.1155	0.1155	0.3808	0.3883	2.76	보통	32	0.3782	0.3388	0.1155	0.1674	1.23	매우 우수
11	0.0508	0.0508	0.6482	0.2502	2.50	보통	33	0.4031	0.3053	0.1393	0.1523	1.45	매우 우수
12	0.1162	0.1087	0.4058	0.3693	2.77	보통	34	0.4067	0.3102	0.1345	0.1486	1.46	매우 우수
13	0.1251	0.0390	0.5043	0.3315	2.73	보통	35	0.4148	0.2842	0.1481	0.1530	1.23	매우 우수
14	0.1274	0.0227	0.5761	0.2738	2.57	보통	36	0.3869	0.2828	0.1806	0.1497	1.28	매우 우수
15	0.0857	0.0857	0.5404	0.2881	2.65	보통	37	0.3755	0.3230	0.1205	0.1810	1.15	매우 우수
16	0.2110	0.1244	0.4564	0.2081	2.11	우수	38	0.4148	0.2978	0.1040	0.1834	1.31	매우 우수
17	0.1276	0.0346	0.3375	0.5003	3.26	보통	39	0.3727	0.2763	0.1786	0.1725	1.55	우수
18	0.1277	0.0253	0.5712	0.2758	2.51	보통	40	0.3790	0.2808	0.1839	0.1562	1.47	매우 우수
19	0.1244	0.0610	0.4082	0.4064	3.04	보통	41	0.3514	0.2207	0.2596	0.1683	1.31	매우 우수
20	0.2941	0.2404	0.2682	0.1973	1.80	우수	42	0.3117	0.2053	0.3091	0.1739	1.60	우수
21	0.3617	0.2790	0.2015	0.1579	1.43	우수	43	0.2717	0.1625	0.3415	0.2243	1.83	우수
22	0.2538	0.1447	0.4257	0.1758	1.99	우수	44	0.2588	0.1970	0.3270	0.2172	1.84	우수

<표 계속>

45	0.1256	0.0985	0.5433	0.2327	2.47	우수	59	0.2108	0.1026	0.4488	0.2378	2.14	우수
46	0.1896	0.1322	0.4597	0.2186	2.19	우수	60	0.1177	0.1037	0.3598	0.4188	3.02	보통
47	0.1271	0.0287	0.5962	0.2480	2.58	보통	61	0.2242	0.1268	0.4544	0.1946	2.06	우수
48	0.1985	0.1464	0.4270	0.2281	2.14	우수	62	0.1951	0.1194	0.4613	0.2242	2.19	우수
49	0.1291	0.0078	0.5727	0.2905	2.60	보통	63	0.1252	0.0478	0.4214	0.4055	2.96	보통
50	0.1308	0.0018	0.4687	0.3987	2.77	보통	64	0.1021	0.1021	0.5725	0.2234	2.63	보통
51	0.1290	0.0186	0.4650	0.3874	2.83	보통	65	0.1643	0.0495	0.5726	0.2136	2.35	우수
52	0.1160	0.1100	0.3924	0.3817	2.98	보통	66	0.1577	0.0391	0.5981	0.2051	2.38	우수
53	0.0000	0.0000	0.6231	0.3769	2.71	보통	67	0.3810	0.2886	0.1806	0.1498	1.50	매우 우수
54	0.1255	0.0322	0.4813	0.3610	2.87	보통	68	0.3558	0.2794	0.2210	0.1438	1.54	우수
55	0.1276	0.0223	0.4139	0.4361	3.00	보통	69	0.1728	0.1117	0.4934	0.2221	2.27	우수
56	0.1213	0.0620	0.5603	0.2564	2.52	보통	70	0.1910	0.1154	0.5293	0.1644	2.19	우수
57	0.1180	0.0986	0.5005	0.2830	2.71	보통	71	0.1691	0.1564	0.4528	0.2217	2.25	우수
58	0.0966	0.0966	0.5340	0.2728	2.58	보통	72	0.1278	0.0183	0.6374	0.2165	2.54	보통

4. 결론 및 향후 연구과제

4.1. 결론

고속도로를 이용하는 이용자의 만족 향상 및 고속도로의 쾌적한 주행환경 제공 및 도로의 유지관리를 위한 방법으로 활용 가능 하도록, 본 연구에서는 노면상태에 대한 이용자 만족도를 조사하고 이를 활용하여 각 구간별 평탄성 측정에 직접적으로 활용하여 각 구간별 평가를 실시하였다.

대상은 영동고속도로의 신갈~서창 구간의 총 72개 구간을 그 대상으로 하였으며, Grey System Theory를 활용하였다.

Grey이론의 특징은 적은수의 data를 평가하는 것이 가능하며, 서로 상관성이 결여된 불규칙한 관계를 가진 것들에 대한 종합적인 평가가 가능하다는 장점을 지니고 있다.

현재의 대상구간의 노면상태를 평가한 결과 대부분의 구간에서 보통의 상태를 지닌 것으로 평가되었으나, 나뭇의 범주에 속한 구간과 일부 구간은 보통에서 나뭇으로 옮겨갈 여지가 있는 구간이 존재하는 것으로 판단되었다. 이들 평가된 구간들은 결과 값을 통해 현재의 상태를 진단하고 추후에 변화될 상태를 예측할 수 있다.

또한 기존의 IRI로 평탄성을 평가하는 결과 값과의 비교를 통해 구간에 따라 차이가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 이들 구간에 대해서는 집중적인 관리가 필요한 것을 알 수 있었다.

도로 이용자를 고려한 노면상태 종합평가는 기존의 관리자 중심으로 평탄성을 평가한 방법의 한계를 극복하고, 현재 도로의 상태를 종합적으로 평가하여 판단함으로써 다양한 효과를 기대할 수 있다.

먼저 운전자 및 탑승자의 만족도를 일정수준 유지하는데 도움이 될 것으로 기대한다. 기존 도로의 평탄성을 관리하는 방법은 관리자 중심으로 IRI를 측정하여 일정한 판단 기준에 의한 관리였으나, 이용자를 고려하여 종합평가한 방법은 이용자의 직접적인 의견을 반영하였기 때문에 만족도를 높여 향상된 도로 주행환경을 제공할 수 있을 것이다.

또한 다양한 요소들을 종합적으로 평가함으로써 관측된 data 값들의 영향력을 분석할 수 있다. 그리고 이를 활용하여 도로를 관리하고 유지하는 판단에 대한 결정지원에 보조적인 수단으로 활용할 수 있을 것이다. 또한 사전 사후 모니터링 수단 활용으로 유지관리 체계 개선에 도움이 될 것으로 기대한다.

4.2. 향후 연구 과제

본 연구에서는 이용자를 고려하여 노면상태를 측정하고 이를 반영한 종합적인 평탄성 평가를 실시하였다. 이는 아직 국내에서는 이용자를 고려한 노면상태 평가에 대한 연구가 진행되지 못한 상황에서 이루어진 성과물로 그 의미가 있다고 본다.

이용자를 고려한 평가에는 실제로 이용자를 대상으로 대상 도로에서의 실험을 통해 이용자의 data를 조사하는 것이 중요한 부분이다. 이 때 운전자 및 차종, 대상 도로의 특성 및 기타 요인들에 대한 적절한 구분 및 분류가 필요하며, 정확한 결과를 위하여 조사 표본을 일정 수 이상으로 하여 효율성 및 객관성을 유지하는 것이 중요한 것으로 보인다.

본 연구에서는 이용자 조사가 제한적인 부분으로 진행되었기 때문에 추후 이를 확장시켜 차량 특성 및 기타 여러 요인들을 구분하여 실험을 실시해야 할 것으로 보인다. 또한 실험에 대한 기준 등을 마련하는 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 그리고 이를 바탕으로 평탄성을 측정하고 현재의 상태를 평가해야 할 것이다. 또한 이용자의 특성 및 차량의 특성, 도로 환경의 특성 등 도로 주행시 영향을 받게 되는 여러 가지 요인들을 구분하고 분석하여 평탄성과의 연관성 및 그 영향 등에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

또한 도로의 포장상태를 예측하는 연구 등에 본 연구를 활용하여 도로의 유지관리를 위한 하나의 방법으로 발전시켜 활용 가능하도록 방안을 모색한다면 노면의 유지 관리에 현실적으로 도움이 될 것으로 보인다.

마지막으로 국내에서는 도로 이용자와 노면 평탄성에 대한

연구가 활발하게 진행되지 못하였기 때문에 국내 실정에 맞는 운전자의 특징 및 노면의 상관성에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다. 도로의 효율을 높이고 환경을 생각하며 이용자를 고려할 수 있도록 지표의 다양화를 통해 적극적인 연구가 필요하다. 이를 활용하여 좀더 쾌적한 도로 주행환경을 제공하여 이용자의 만족도를 높이고, 안전하고 편리한 도로의 유지관리가 이루어져야 할 것으로 보인다.

참고 문헌

- 김성호, 서영찬, 조윤희, 박경부(2001), “중부고속도로 평탄성 특성에 관한 연구”, *한국도로포장공학회지*, pp.131~140
- 김국한, 이병덕, 최고일, 양성철(2003), “평탄성 지수 IRI와 P_r의 상관관계에 관한 연구”, *한국도로포장공학회 논문집*, pp. 11~18
- 문형철, 서영찬(2008), “시단위 포장도로의 포장평가지수개발”, *한국도로학회 논문집*, pp.211~230
- 박상욱, 서영찬, 정철기(2008), “포장상태 예측방법 개선에 관한 연구”, *한국도로학회 논문집*, pp.199~208
- 이진각 · 손영태(2009), “Grey System Theory를 이용한 도시가로 특성별 통합 평가방법 개발 -보행우선구역 시범사업지를 대상으로-”, *대한교통학회 제61회 학술발표회 논문*, pp. 803~808
- 한국도로공사 도로처 내부자료(2007), “노면평탄성 개선을 통한 고객만족도 향상”
- Fernando, E. and N.Y. Lee (1999). Technical Memorandum. “Documentation of Ride University System. College Station, TX. December. Surveys Conducted in Project 4901”. *Texas Transportation Institute*. Texas A&M
- Janoff, M.S. and J.B. Nick (1983). “Effects of Vehicle and Driver Characteristics on the Subjective Evaluation of Road Roughness” in *Measuring Road Roughness and Its Effects on User Cost and Comfort. ASTM Special Technical Publication (STP) 884*, T.D. Gillespie and M. Sayer, Eds. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. pp. 111-126.
- J Li(2004), “Performance Evaluation of Signalized Urban Intersections under Mixed Traffic Conditions by Grey System Theory”, *ASCE*
- Kuemmel, D.A., R.K. Robinson, R.J. Griffin, R.C. Sonntag, and J.K. Giese (2001a). Public Perceptions of the Midwest's Pavements Final Phase III Report-Iowa. Report CHTE 2001-02. *WisDOT Highway Research Study #94-07*. January.
- Kuemmel, D.A., R.K. Robinson, R.J. Griffin, R.C. Sonntag, and J.K. Giese (2001b). Public Perceptions of the Midwest's Pavements Executive Summary-Minnesota. Report CHTE 2001-02. *WisDOT Highway Research Study #94-07*. February.
- Kuemmel, D.A., R.K. Robinson, R.J. Griffin, R.C. Sonntag, and J.K. Giese (2001c). Public Perceptions of the Midwest's Pavements Executive Summary-Wisconsin. Report WI/SPR-01-01. *WisDOT Highway Research Study #94-07*. January.
- Kevan Shafizadeh, Fred Mannering(2002) A statistical Analysis of factors associated with driver-received road roughness on urban highways. *Washington State Transportation Commission*. Department of Transportation and in cooperation with U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration
- Nair, S.K., W.R. Hudson, and C.E. Lee (1985). Realistic Pavement Serviceability Equations Using the 690D Surface Dynamics Profilometer. Research Report 354-1F, Center for Transportation Research, University of Texas, Austin, Texas. August. [Some results from this report are also available in: Nair, S.K. and W.R. Hudson (1986). “Serviceability Prediction From User-Based Evaluations of pavement Ride Quality”, *Transportation Research Record 1084, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.* pp.66-72.]
- Nakamura, V.F., and H.L. Michael (1963). “Serviceability Ratings of Highway Pavements”. *Highway Research Record 40. Highway Research Board*. Washington, D.C., pp. 21-36.
- Sifeng Liu · Yi Lin(2006), “Grey Information, Theory and Practical Applications”, Springer
- Wong Wing-gun(1999), “Grey Evaluation Method of Concrete Pavement Comprehensive Condition”, ASCE

접 수 일 : 2010. 3. 29
 심 사 일 : 2010. 3. 30
 심사완료일 : 2010. 7. 8