

기상조건이 도로 노면파손에 미치는 영향 분석

Effects of Weather Conditions on Road Surface Damage

김진국¹, 전우훈^{2*}

Jin-Guk Kim¹, Woo-Hoon Jeon^{2*}

요약

본 연구는 수도권, 강원권, 충청권, 전라권, 경상권 5개 지역을 대상으로 기상조건이 도로 노면파손에 미치는 영향을 분석하였다. 최근 3년간 데이터를 기반으로 강수량, 기온, 강우강도 등 기상 변수를 고려하여 지역별로 영향요인을 분석한 결과, 지역에 따라 기상 요인이 노면파손에 미치는 영향이 다르게 나타났다. 충청권과 경상권에서는 강수량이 노면파손에 영향을 미치는 것으로 분석된 반면, 수도권과 강원권에서는 기상 요인의 영향력이 거의 없어 교통량, 차종 등의 기타 요인이 노면파손에 영향을 줄 수 있을 것으로 추정된다. 따라서, 지역별로 차별화된 도로 유지관리 정책 수립이 필요하다는 결론을 도출하였다. 특히, 충청권과 경상권에서는 이상기후에 대비한 배수시설 관리 및 집중호우 대책이 중요하며, 수도권과 강원권에서는 교통, 제설 요인 등을 고려한 도로 관리가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구결과는 기후 변화에 대비한 지역별 맞춤형 도로 유지관리 전략 수립시 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 기상조건, 도로 노면파손, 영향 요인, 피어슨 상관분석, 다중 선형 회귀모형

Abstract

This study analyzed the impact of weather conditions on road surface damage across five regions: the Seoul metropolitan area, Gangwon, Chungcheong, Jeolla, and Gyeongsang. Using data from the past three years, weather variables such as rainfall, temperature, and rainfall intensity were considered to identify the influencing factors in each region. The results showed that the effect of weather factors on road surface damage varied by region. In Chungcheong and Gyeongsang, rainfall was found to have a significant impact on road surface damage, whereas in the Seoul metropolitan area and Gangwon, weather factors had minimal influence, suggesting that other factors such as traffic volume and vehicle types may play a more significant role. Consequently, the study concludes that differentiated road maintenance policies are needed for each region. In particular, drainage management and measures to address heavy rainfall are essential in Chungcheong and Gyeongsang, while traffic and snow removal factors should be considered in road management for the Seoul metropolitan area and Gangwon. The results of this study are expected to serve as fundamental data for establishing region-specific road maintenance strategies in response to climate change.

Keyword : Weather Conditions, Road Surface Damage, Influencing Factors, Pearson Correlation Analysis, Multiple Linear Regression Model

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

2 Department of Highway & Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Research Fellow]
e-mail: cwsoon@kict.re.kr (Corresponding author)

Received(October 25, 2024), Review Result(1st: November 13, 2024), Accepted(December 11, 2024), Published(December 31, 2024)



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

1. 서론

최근 기후변화에 따른 폭설, 폭우, 폭염 등 이상기후 현상이 자주 일어나면서, 도로 노면파손 발생 건수가 급증하고 있다 [1]. 기상청에 따르면 2024년 6월부터 8월까지 여름철 전국 평균 기온은 25.6℃로 1973년 기상 관측 이후 역대 1위를 기록했다고 발표했다 [2]. 또한, 2023년 여름에는 기록적인 폭우와 국지성 집중호우로 인해 전국적으로 도로상의 노면파손 및 침수 사고가 급증하기도 하였다. 이러한 이상기후의 빈번한 발생은 도로 인프라의 노후를 가속화 시키고, 이로 인해 도로 이용자들의 안전을 위협하게 된다. 세계 기후변화 보고서(2013)에 따르면 대기중 기온이 0.1도 상승할 경우 도로의 유지관리 비용은 약 8% 증가하는 것으로 예측하였다 [3]. 따라서, 도로 노면파손의 증가에 따른 도로 안전과 유지관리를 위한 예방 대책 마련에 대한 중요성이 커지고 있는 실정이다.

[그림 1]과 같이 도로상에서 노면파손이 발생하는 주요 원인은 다음과 같다. 첫째, 도로의 침수와 배수 불량으로 인해 우수가 도로포장에 침투하여 포장 구조를 약화시키는 것이다. 둘째, 아스팔트 혼합물의 내구성 결함이나 품질 관리의 미흡으로 인해 표면에 미세 균열이 발생하고, 그 틈으로 수분이 침투하여 포장이 손상되는 경우이다. 셋째, 차량에서 유출된 기름 등 외부 물질이 아스팔트와 골재 간의 결합력을 약화시켜 노면파손을 일으킨다 [4].



[그림 1] 도로 노면파손 사례

[Fig. 1] Case of road Surface damage

또한, 기상조건은 도로 노면파손에 직접적인 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 강우량과 강우일수, 기온 변화 등 다양한 기상요인은 도로 노면파손의 위험을 높일 수 있다. 장마철 집중호우뿐만 아니라 기습폭우의 경우 도로침하를 유발할 수 있고, 겨울철 한파로 인한 결빙은 도로 노면의 균열과 파손을 가속화시킬 수 있다. 따라서, 기상요인과 도로파손의 상관관계를 살펴보고, 도로파손에 영향을 미치는 기상요인에 대한 분석을 통해 기후 변화에 대응할 수 있는 적절한 도로관리전략

수립이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 수도권, 강원권, 충청권, 전라권, 경상권 5개 권역을 대상으로 기상조건과 노면파손 간의 상관성 및 영향요인 분석을 분석하였다.

2. 선행 연구

이영남 외는 상관분석과 회귀분석을 이용하여 사망사고와 기상요소 간의 상관관계를 분석하였다. 2001년부터 2005년까지 인천에서 발생한 사망사고 자료와 운량, 습도, 강수, 풍속 등 기상자료를 수집하여 분석에 활용하였다. 분석 결과, 강수량이 사망사고에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 강수량이 적을 때 사고 발생률이 더 높은 것으로 분석되었다 [5].

신강원 외는 강수량과 대중교통 승객 수 간의 관계를 분석하기 위해 회귀(SUR) 모델을 이용하였다. 부산 지역을 대상으로 최근 24개월 동안 수집된 버스, 도시철도, 마을버스의 일일 승차 승객 수와 일 강수량 데이터를 분석에 활용하였다. 분석 결과, 일 강수량이 10mm 이상일 때 대중교통 수단의 승객 수가 감소했으며, 특히 버스와 마을버스의 승객 수가 도시철도보다 강수량에 더 민감하게 반응했다. 최종적으로 강수량이 1mm 증가할 때 버스는 0.169%, 도시철도는 0.101%, 마을버스는 0.172%의 이용 감소율을 보였다 [6].

조은수 외는 VDS 데이터와 ASOS 데이터를 사용하여 적설이 강원도 일반국도의 교통 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 강릉, 평창, 춘천 지역의 교통량 및 주행속도를 수집하여 적설에 의해 교통량과 주행속도가 감소하는 특성을 확인하였다. Pearson 상관분석과 회귀분석을 통해 적설량이 많아질수록 교통량은 최대 22%, 주행속도는 최대 10%까지 감소하는 것으로 나타났다 [7].

양충헌 외는 제설작업과 기상정보 간의 상관관계 분석을 통해 도로기상정보의 중요성을 확인하였다. 강원도 A 지역의 제설작업 수기 기록과 기상청의 AWS(자동기상관측장비) 자료를 활용하였으며, 제설작업과 강설 정보 간의 상관관계에 있어서 AWS가 설치된 지점과 인접 도로 간의 고도 차이가 클수록 상관성이 낮아진다는 결론을 도출하였다. Pearson 상관분석을 통해 고도차가 9m 이하일 때 제설작업과 강설 기록의 일치율이 90% 이상으로 나타났으며, 고도차가 클수록 일치율이 현저히 감소하는 것으로 확인되었다 [8].

차진욱 외는 SPSS를 사용하여 대기질 인자와 기상 인자가 미세먼지에 미치는 영향을 분석하였다. 2014년부터 2017년까지 에어코리아와 기상청으로부터 수집한 대기질 및 기상 데이터를 활용하여 상관분석을 수행하였다. 분석 결과, PM_{2.5}는 PM₁₀과 강한 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, NO₂, CO, SO₂ 등도 미세먼지에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 반면, 일사량, 풍속 등은 미미한 상관관계를 보였다 [9].

최순화는 고령층의 온라인 배달 서비스 경험 및 유용성 인식에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 로지스틱 회귀분석과 선형 회귀분석을 이용하였다. 분석결과, 고령층의 온라인 배달 서비스 이용 가능성과 인식의 결정 요인으로는 기술 중요성 인식, 자기효능감, 인구통계학적 특성으로 나타났다으며, 60대, 여성, 고소득, 고학력일수록 온라인 배달 서비스를 더 자주 이용한다는 결과를 도출하였다 [10].

3. 자료구축 및 현황분석

3.1 자료구축

기상조건이 도로 노면파손에 미치는 영향요인을 분석하기 위해 2021년부터 2023년까지 3년간 월 별로 전국 도로(고속국도, 도시고속도로, 일반국도, 지방도, 시·군도 등)에서 발생한 지역별 노면 파손 발생 건수를 수집하였다. 기상자료(강우일수, 강우량, 평균기온, 최저기온, 최고기온)는 기상청 기상 데이터 제공 서비스인 기상자료 개방포털로부터 해당 연도와 월을 매칭하여 평균값으로 구축하였다. 또한, 기상자료 중 강우강도는 시간당 강우량 자료 수집의 어려움으로 인해 강우일수와 총 강우량을 이용하여 월 평균 강우강도로 구축하였다. [그림 2]는 최종적으로 구축된 데이터 예시이다.

year	month	Metropolitan												Kangwon												Chungcheong											
		r_damage	day_rain	rainfall	avg_intensi	avg_temp	low_temp	high_temp	r_damage	day_rain	rainfall	avg_intensi	avg_temp	low_temp	high_temp	r_damage	day_rain	rainfall	avg_intensi	avg_temp	low_temp	high_temp															
2021	January	272	9.2	19.6	2.130435	-2.8	-7.8	2.2	63	7.8	17.1	2.192308	-3.35	-8.6	2	78	10.7	42.2	3.943925	-2.3	-7.8	3.45															
	February	316	5.5	8.8	1.6	2.1	-3.2	7.7	88	3.6	8.5	2.361111	1.8	-3.8	7.5	7.1	27	3.802817	2.55	-3.35	8.7																
	March	493	7.8	103	13.20513	8.1	2.9	14.1	129	8	202.9	25.3625	7.2	1.8	13.15	127	7.4	177.3	23.95946	8.15	2.05	14.75															
	April	461	7.7	107.6	13.97403	13.4	8	19	72	7.9	207.3	26.26582	11.8	6.05	17.6	84	7.1	118.3	16.66197	13.2	6.8	19.6															
	May	476	16.2	184.7	11.40123	16.3	11.7	21.5	91	15.6	324.8	20.82051	15.55	10.45	21.1	109	16.6	293.9	17.70482	16.25	10.85	22.1															
	June	335	11.6	63.7	5.491379	22	17.9	26.9	28	12.1	139.5	11.52893	20.45	16.3	25.35	71	11.2	159.5	14.24107	22	17.45	27.35															
	July	632	10.5	122.1	11.62857	27	23.3	31.5	41	9.1	270.4	29.71429	25.2	21.05	30.3	185	12.1	379.1	31.33058	26.35	22.2	31.4															
	August	540	15.3	192.2	12.56209	25.1	21.9	29.3	40	15.6	510.8	32.74359	23.35	20.2	27.65	138	15.8	494.5	31.29747	24.65	21.25	29.1															
	September	471	10.5	154.6	14.72381	21.9	18	26.6	37	11.7	264.3	22.58974	19.75	15.95	24.45	121	10.9	387.1	35.51376	21.25	17.15	26.05															
	October	401	10.5	42.2	4.019048	15	10.6	20.3	53	11.7	210.4	17.98291	13.55	9.05	19.2	128	9.4	79.8	8.489362	14.35	9.4	20.8															
	November	368	7.2	68.8	9.555556	7.6	3	15	16	5.2	71	13.65385	6.95	2.2	12.75	153	8.6	127.4	14.81395	7.45	2.3	13.9															
	December	472	6.6	8	1.212121	0.3	-4.2	5.2	11	4.8	43.2	9	0.05	-4.75	5.2	99	7.5	14.8	1.973333	0.8	-4.2	6.5															
2022	January	371	5.3	5.4	1.018868	-2.5	-7.4	2.6	15	3.9	5.9	1.512821	-3	-8.3	2.75	90	5.8	7.2	1.241379	-2.15	-7.75	3.8															
	February	395	3.8	4.4	1.157895	-1.4	-6.3	3.9	17	3.1	11.7	3.774194	-2.1	-7.4	3.65	82	4.6	7.6	1.652174	-1.1	-6.7	4.85															
	March	461	9.3	91.7	9.860215	7	2	12.4	109	9.7	187.3	19.30928	6.1	0.7	11.65	77	9.2	149.5	16.25	6.95	0.9	13.25															
	April	424	5.5	33	6	13.6	8.1	19.7	56	4.6	81.6	17.73913	13.2	6.85	19.4	130	5.8	105.6	18.2069	13.3	6.3	20.55															
	May	345	4.4	8.7	1.97273	17.9	12.1	23.8	22	4.3	19.3	4.488372	17.3	10.8	25.6	125	4.3	13	3.023256	17.65	10.75	24.6															
	June	719	11.9	380.6	31.98319	22.5	18.7	26.9	30	13	535.7	41.20769	21.15	17	25.75	120	10.9	352.3	32.33945	22.7	18.2	27.8															
	July	851	14.3	244.2	17.07692	26.4	23.2	30.4	103	15.4	406.9	26.42208	24.65	21.35	29.1	215	13.9	396.9	28.55396	25.95	22.35	30.4															
	August	1100	18.8	598.3	31.82447	25	22.2	28.4	118	19.4	783	40.36598	24.05	20.75	27.95	191	18.2	900.3	49.46703	24.9	21.7	28.65															
	September	813	5.9	184.6	17.28814	21.3	17	26.7	65	6.6	437.2	66.24242	19.25	14.65	25.05	114	5.4	207.9	38.5	20.75	16.05	26.6															
	October	556	6.8	116.9	17.19118	13.7	9.1	19.3	33	8.6	379.2	44.15116	12.2	7.65	18.05	128	6.1	192.1	31.4918	13.2	7.85	19.6															
	November	448	6.9	68.3	9.898551	9	3.9	15	30	8	114	14.25	8.4	2.85	15	100	6.2	101	16.29032	8.45	2.5	15.75															
	December	459	7.2	14.2	1.972222	-3.6	-8	1.1	15	3.7	8.6	2.324324	-3.5	-8.2	1.8	129	8.9	38.5	4.325843	-3	-7.85	2.35															
2023	January	853	7.4	44.5	6.013514	-2.3	-6.9	2.7	51	6.7	103.8	15.49254	-2.6	-7.75	2.9	231	8.2	55.8	6.804878	-1.85	-7.2	4.05															
	February	567	2.7	0.7	0.259259	1.5	-3.2	6.9	88	2.6	30.8	11.76923	0.9	-4.35	6.45	151	3.3	8	2.454345	1.45	-4.2	7.7															
	March	665	2.6	7.7	2.961538	8.6	2.4	15.4	68	2.6	28.5	10.98154	8.2	1.7	14.9	131	2.4	36.2	15.08333	8.75	1.15	16.5															
	April	873	9.5	79.1	8.326316	13	7.5	18.5	56	10.1	117.4	11.62376	12.1	6.25	17.9	168	8.9	89.3	10.03371	12.85	6.2	19.25															
	May	812	8.2	145.1	17.69512	18.3	13	24	73	8.7	224.3	25.78161	17.15	11.1	23.15	191	8.2	339.1	41.35366	18.05	11.95	24.25															
	June	571	10.7	154.8	14.46729	22.4	18.5	27	23	11.3	407	36.0177	21.5	16.75	26.85	140	10.2	345.6	33.88235	22.55	17.85	28															
	July	1958	17.3	462.7	26.74566	25.8	22.8	29.5	146	16.2	499.9	30.85802	25.2	21.75	29.85	497	18.5	1298.2	70.17297	25.5	22.4	29.75															
	August	2035	12.4	243.2	19.6129	26.4	23.2	30.4	51	14.2	742	52.26056	24.75	21.5	29.15	368	11.3	497.8	44.0531	26.4	22.75	31.15															
	September	1468	12	130.3	10.85833	22.8	19.2	27.1	57	13	367.5	28.26923	20.85	17.25	25.45	308	11.5	482.5	41.95652	22.3	18.55	27.1															
	October	1378	5.5	39.3	7.145455	14.7	10	20.3	40	6.4	53.1	8.296875	13.35	8.2	19.6	247	4.6	43.3	9.456522	13.95	8.5	20.7															
	November	1136	8.3	85.9	10.3494	6.5	2	11.4	38	7.4	129	17.42343	6.4	1.5	11.7	191	9.4	110.9	11.79787	6.9	1.7	12.6															
	December	1241	10.6	88.3	8.330189	0.6	-3.6	5	40	9.2	277.7	30.18478	0	-4.55	4.55	241	11.3	218.7	19.35398	1.45	-3	6.35															

[그림 2] 분석 데이터 구축 (예시)

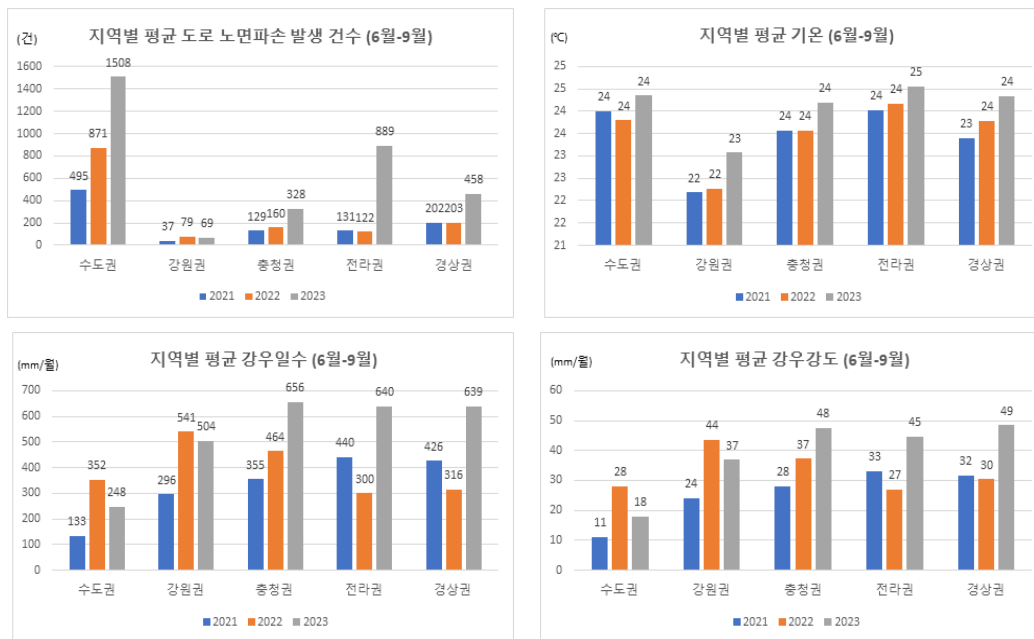
[Fig. 2] Analytical data example

3.2 현황분석

최근 3년간(2021년부터 2023년까지) 강우가 많이 발생하는 6월부터 9월까지의 지역별 도로 노면 파손 발생 건수를 분석한 결과, 수도권과 전라권에서 발생 건수가 급증하는 양상을 보였다. 수도권은 2021년 평균 495건에서 2023년 평균 1,508건으로 급격히 증가하였으며, 전라권의 경우에는 2021년 평균 131건 2023년에 평균 889건으로 급증했다. 또한, 충청권과 경상권도 2021년 대비 두 배 이상 증가했다. 지역별 평균기온을 분석한 결과, 최근 3년간 모든 지역에서 큰 변동은 없는 것으로 나타났다. 다만, 전라권의 경우 2023년에 25°C로 다른 지역보다 다소 높은 기온을 보였지만, 전체적으로 기온 변화는 미미했다.

강우량과 강우강도는 비가 내리는 빈도와 비가 내릴 때의 강도를 나타내는 중요한 지표이다. 분석 결과, 충청권과 전라권은 강우량과 월 평균 강우강도가 모두 증가하는 것으로 나타났으며, 이에 따라 도로 노면파손 발생 건수도 크게 증가한 것으로 분석되었다. 반면, 수도권과 강원권에서는 강우량은 줄었지만, 월 평균 강우강도가 각각 약 2배 이상 증가한 것으로 나타났다. 이는 최근 3년간 수도권과 강원권에서 집중호우가 자주 발생한 것으로 추정해볼 수 있다.

최근 3년간 지역별 도로 노면파손 발생 건수와 기상자료 현황은 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 지역별 도로 노면파손 및 기상 현황

[Fig. 3] Road surface damage and weather conditions by region

4. 영향요인 분석

4.1 피어슨 상관분석

본 연구에서는 기상조건과 도로 노면파손과의 상관관계를 분석하기 위해 피어슨 상관분석 (Pearson correlation analysis)으로 각 변수 간의 개별적인 관계를 파악하였다.

수도권의 경우 강우량과 노면파손 간의 상관계수는 0.52로 중간 정도의 양의 상관관계를 보였으며, p-value는 0.0010으로 유의미한 결과를 나타냈다. 강우일수와 월 평균 강우강도 역시 노면파손과 유의미한 상관관계를 보였고, 월 평균 기온과 최저기온도 도로 노면파손에 중요한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 강원권은 강우일수와 도로 노면파손 간 상관계수가 0.46으로 나타났으며, p-value는 0.0049로 중간 정도의 유의미한 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 강우량 또한 미미하게 유의미한 상관관계를 보였으나, 월 평균 강우강도와 기온은 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 충청권에서는 강우량과 도로 노면파손 간의 상관계수가 0.70, p-value는 0.000002로 매우 높은 상관관계를 보였다. 또한, 강우일수와 월 평균 강우강도가 노면파손에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 평균 기온과 최저기온 역시 통계적으로 비슷한 상관관계를 나타냈다. 전라권에서의 강우량과 도로 노면파손 간 상관계수는 0.56, p-value는 0.0004로 유의미한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 강우일수와 월 평균 강우강도도 도로 손상에 중요한 영향을 미치는 변수인 것으로 나타났으며, 평균 기온과 최저기온 역시 도로 손상과 유의미한 상관관계를 보였다. 경상권은 강우량과 도로 노면파손 간의 상관계수가 0.66, p-value는 0.000012로 강한 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 강우일수와 월 평균 강우강도, 평균 기온, 최저기온 또한 노면파손과 유의미한 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

결론적으로 [표 1]과 같이 모든 지역에서 강우량과 강우일수, 강우강도가 도로 손상에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 특히 강우량이 젤 큰 영향을 미치는 요인으로 나타났다.

[표 1] 피어슨 상관분석 결과

[Table 1] Pearson correlation analysis results

지역	Variable 1	Variable 2	Pearson Coefficient(r)	P-value
수도권	노면파손	월 평균 강우일수	0.420092	0.010746
	노면파손	월 평균 강우량	0.524337	0.001029
	노면파손	월 평균 강우강도	0.472171	0.003643
	노면파손	평균 기온	0.394623	0.017231
	노면파손	최저 기온	0.416983	0.011405
	노면파손	최고 기온	0.367187	0.027597

강원권	노면파손	월 평균 강우일수	0.459027	0.004863
	노면파손	월 평균 강우량	0.374624	0.024379
	노면파손	월 평균 강우강도	0.258698	0.12764
	노면파손	평균 기온	0.285255	0.091725
	노면파손	최저 기온	0.281456	0.096323
	노면파손	최고 기온	0.28156	0.096195
충청권	노면파손	월 평균 강우일수	0.434626	0.008077
	노면파손	월 평균 강우량	0.697348	0.000002
	노면파손	월 평균 강우강도	0.636133	0.000030
	노면파손	평균 기온	0.396192	0.016754
	노면파손	최저 기온	0.427498	0.009305
	노면파손	최고 기온	0.367781	0.027328
전라권	노면파손	월 평균 강우일수	0.401685	0.015169
	노면파손	월 평균 강우량	0.559801	0.000385
	노면파손	월 평균 강우강도	0.487361	0.002572
	노면파손	평균 기온	0.343412	0.040307
	노면파손	최저 기온	0.362282	0.029905
	노면파손	최고 기온	0.323117	0.054581
경상권	노면파손	월 평균 강우일수	0.483801	0.002795
	노면파손	월 평균 강우량	0.659646	0.000012
	노면파손	월 평균 강우강도	0.576474	0.000233
	노면파손	평균 기온	0.413677	0.012143
	노면파손	최저 기온	0.432961	0.008351
	노면파손	최고 기온	0.391309	0.018277

4.2 영향요인 분석

앞 절에서 피어슨 상관분석을 통해 변수 간의 선형적 관계를 확인하고, 본 절에서는 다중 선형 회귀분석(Multiple Linear Regression)을 통해 지역별로 기상 조건이 노면파손 발생에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 다중 선형 회귀분석은 여러 독립변수와 하나의 종속변수 간의 복합적인 영향 관계에 대한 파악이 가능하며, 여러 분야에서 활용되고 있다. 이를 통해 각 독립변수가 종속 변수에 미치는 영향에 대한 분석이 가능하며, 변수들 간의 회귀계수(coefficient)와 통계적 유의성 (p-value)을 평가할 수 있다.

본 연구에서는 수도권, 강원권, 충청권, 전라권, 경상권의 5개 지역을 대상으로 강우일수, 강우량, 강우강도, 평균기온, 최저기온, 최고기온을 독립변수로 설정하고, 노면파손 발생 건수를 종속변수로 하여 기상 요인과 노면파손 발생 간의 영향관계를 분석하였다. 강우일수, 강우량, 강우강도, 최저기

온, 평균기온, 최고기온과 같은 기상조건이 노면파손 발생 건수에 미치는 영향을 회귀분석을 해 분석하였다.

먼저, 수도권은 경우 기상조건이 노면파손에 미치는 영향에 대한 설명력이 약 36%로 낮게 나타나 통계적으로 유의미하지 않은 것으로 분석되었다. 따라서 노면파손에 영향을 미치는 요인은 기상 관련 요인 보다는 다른 중요한 요인들이 노면파손 발생에 더 큰 영향을 미치는 것으로 추정해 볼 수 있다. 강원도는 약 34%로 수도권과 비슷한 설명력을 보였으나, 통계적으로 강우일수가 노면파손에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면, 강우량, 강우강도, 기온은 노면파손에 미치는 영향이 유의미하지 않은 것으로 분석되었다. 충청권은 기상요인과 노면파손에 있어 평균 보다 높은 약 56%의 설명력을 보였으며, 강우량이 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면, 강우일수, 강우강도, 기온은 노면파손에 미치는 영향이 유의미하지 않은 것으로 분석되었다. 전라도의 경우에는 기상요인과 노면파손에 있어 약 34%의 설명력을 보였으며, 강우량이 통계적으로 미미하게 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면, 강우일수, 강우강도, 기온은 노면파손에 미치는 영향이 유의미하지 않은 것으로 분석되었다. 마지막으로 경상권은 기상요인과 노면파손에 있어 약 47%의 설명력을 보였으며, 강우량이 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면, 강우일수, 강우강도, 기온은 노면파손에 미치는 영향이 유의미하지 않은 것으로 분석되었다.

지역별로 기상조건이 노면파손에 미치는 영향에 대한 분석결과는 다음 [표 2]와 같다.

[표 2] 영향요인 분석 결과

[Table 2] Analysis results of influencing factors

Region		강우일수	강우량	강우강도	평균기온	최저기온	최고기온	R2
수도권	Coef	-36.6563	0.888779	4.752346	385.9181	-46.097	-332.157	0.36
	SE	37.00226	1.655738	19.79097	588.8686	279.8447	321.8855	
	p-value	0.330051	0.595509	0.811921	0.517405	0.870304	0.310644	
강원권	Coef	6.409964	0.045851	0.023299	9.420806	-16.8581	6.592258	0.34
	SE	2.998094	0.103354	0.922684	30.01985	13.08743	18.75244	
	p-value	0.041071	0.6606	0.980027	0.755905	0.20789	0.727724	
충청권	Coef	-8.86935	0.376665	-0.65253	-65.2566	34.91446	28.83125	0.57
	SE	6.146211	0.142763	2.077581	60.04208	27.11078	35.5954	
	p-value	0.159719	0.013257	0.755706	0.286055	0.207982	0.424553	
전라권	Coef	-23.4383	1.235939	-5.70065	-166.679	108.284	56.15273	0.34
	SE	30.04698	0.696052	9.822174	381.8169	186.5403	205.5059	
	p-value	0.44168	0.086288	0.566138	0.665676	0.566071	0.786604	
경상권	Coef	-9.61081	0.727664	-1.94041	12.24717	-7.25767	-6.28471	0.47
	SE	10.43923	0.304974	3.113112	116.5808	51.76747	69.31415	
	p-value	0.364832	0.023782	0.537958	0.917057	0.889473	0.928378	

5. 결론

본 연구에서는 수도권, 강원권, 충청권, 전라권, 경상권을 대상으로 지역별로 기상조건이 노면파손 발생에 미치는 영향을 분석한 결과 지역별로 차이를 보이는 것으로 나타났다. 수도권과 강원권에서는 타 지역에 비해 설명력이 낮아 기상 요인 이외에 교통량, 차종 등이 더 중요한 영향을 미칠 것으로 추정된다. 또한, 충청권과 경상권에서는 강우량이 노면파손에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되어, 기상 요인에 의해 노면파손이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

따라서, 지역별로 효율적인 도로 유지관리를 위해 기상조건과 지역 및 지형 특성을 반영하여 차별화된 정책 수립이 필요하다. 수도권과 강원권에서는 기상요인 뿐만 아니라, 교통량, 차종(과적차량, 대형차량 등), 도로포장 상태 등의 요인을 중점적으로 고려하여 도로 유지관리에 집중할 필요가 있다. 충청권과 경상권은 강우량이 노면파손에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으므로, 배수시설과 침수시설 등 장마철 및 이상기후로 인한 집중호우에 대비한 도로 유지관리 정책을 선제적으로 강화할 필요가 있다.

본 연구는 강우일수, 강우량, 강우강도, 기온을 포함하는 기상 요인만을 고려하여 분석을 수행하였다. 그러나, 수도권과 전라권의 경우 기상 요인이 노면파손에 미치는 영향 정도가 거의 없는 것으로 나타나, 향후 지형 특성, 교통 관련 변수(교통량, 차종, 포장상태 등)에 대한 자료를 추가적으로 수집하여 분석해 볼 필요가 있다. 또한, 기상 요인 중 한파, 폭설, 제설과 관련된 동절기 기상 정보도 추가로 수집하여 분석한다면 보다 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Civil Complaints Information Analysis Division, "Analysis of Pothole-Related Complaints for Ensuring Public Safety and Securing Peace of Mind", Anti-Corruption and Civil Rights Commission (ACRC), Sejong City, Republic of Korea, April 2024.
- [2] Korea Meteorological Administration (KMA), "Press Release on the Climate Characteristics of Summer 2024", Seoul, South Korea, September 2024.
- [3] P. S. Chinowsky, J. C. Price, J. E. Neumann, "Assessment of climate change adaptation costs for the US road network", *Global Environmental Change*, vol 23, no, 4, August 2013, pp. 764-773, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.03.004.
- [4] J. H. Jin, J. S. Kim, Y. H. Lee, "Early Damage of Asphalt Pavement Due to Climate Change", *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, vol. 15, no. 2, June 2013, pp. 5-12.
- [5] Y. N. Lee, K. W. Kim, "A study on the relationships between the fatal traffic accidents and meteorological factors", *Korean Police Studies*, vol. 6, no. 3, December 2007, pp. 125-164.

- [6] K. W. Shin, K. C. Choi, "Analyzing the Relationship Between Precipitation and Transit Ridership Through a Seemingly Unrelated Regression Model", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 32, no. 2, April 2014, pp. 83-92, doi: 10.7470/jkst.2014.32.2.083.
- [7] E. S. Jo, T. Y. Kwon, H. U. Kim, K. R. Kim, S. B. Kim, "Analysis of Traffic Characteristics of General National Roads by Snowfall in Gangwon-do", *Atmosphere*, vol. 31, no. 2, April 2021, pp. 157-170, doi: 10.14191/Atmos.2021.31.2.157.
- [8] C. H. Yang, I. S. Kim, W. H. Jeon, "Analysis of Snow Removal Vulnerability through Relationship between Snow Removal Works and Weather Forecasts", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 14, no. 4, August 2012, pp. 141-148.
- [9] J. W. Cha, J. Y. Kim, "Analysis of fine dust correlation between air quality and meteorological factors using SPSS", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 5, May 2018, pp. 722-727, doi: 10.6109/jkiice.2018.22.5.722.
- [10] S. H. Choi, "The determinants of the experience and perceived usefulness of online delivery service by elderly", *Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology*, vol. 12, no. 1, February 2023, pp. 33-42, doi: 10.29056/jncist.2023.02.04.