

도로제설 이력자료 기반 제설 인프라 분석

Analysis of Road Snow-removal Infrastructure using Road Snow-removal Historical Data

김진국 Kim, Jin Guk
김승범 Kim, Seoung Bum
양충헌 Yang, Choong Heon

정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구원 (E-mail : jingukkim@kict.re.kr)
경상대학교 건축도시토목공학부 교수 · 교신저자 (E-mail : kimsb@gnu.ac.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 과학기술연합대학교대학원 교통물류 및
ITS공학과 전공책임교수 (E-mail : chyang@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : In this study, systematic road snow-removal capabilities were estimated based on previous historical data for road-snow-removal works. The final results can be used to aid decision-making strategies for cost-effective snow-removal works by regional offices.

METHODS : First, road snow-removal historical data from the road snow-removal management system (RSMS), operated by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, were employed to determine specific characteristics of the snow-removal capabilities by region. The actual owned amount and actual used amount of infrastructure were analyzed for the past three years. Second, the regional offices were classified using K-means clustering into groups "close" to one another. Actual used snow-removal infrastructure was determined from the number of snow-removal working days. Finally, the correlation between the de-icing materials used and infrastructure was analyzed. Significant differences were found among the amounts of used infrastructure depending on snowfall intensity for each regional office during the past three years.

RESULTS : The results showed that the amount of snow-removal infrastructure used for low heavy-snowfall intensity did not appear to depend on the amount of heavy snowfall, and therefore, high variation is observed in each area.

CONCLUSIONS : This implies that the final analysis results will be useful when making decisions on snow-removal works.

Keywords

K-means Clustering, Road Snow-removal, Historical Data, regional office, snowfall intensity

Corresponding Author : Kim, Seoung Bum, Professor
501 Jinju-daero, Jinju, South Gyeongsang Province, 52828, Korea,
Tel : +82.55.772.1778 Fax : +82.55.772.1779
E-mail : kimsb@gnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Feb. 01, 2017 Revised May. 30, 2017 Accepted May. 31, 2017

1. 서론

최근 전통적으로 강설량이 많은 강원도 이외에도 다른 지역의 폭설 빈도수가 점차 증가되고 있다.

2011년에는 경북 포항(28.7cm) 및 울산(12.5cm)에서 기상관측(포항 1943년, 울산 1932년) 이래 최대의 최심

적설¹⁾이 기록되었으며, 2016년에는 제주(135cm), 울릉도 (94cm) 등 기록적인 폭설이 내리기도 했다.

이렇게 국지적으로 예기치 못한 기습적인 폭설이 발생

1) 하루 중 실제 지표면에 쌓인 눈의 최대 깊이

하고 있지만 기온, 강수 및 강설량 등의 주요 기상예측을 정확히 알기는 매우 어렵다. 따라서 매년 비용 대비 효과적인 제설대책을 수립하기에는 현실적으로 한계가 있다.

국토교통부는 일반국도의 적설 및 노면 결빙 시 이를 신속하게 제거하여 교통사고를 미연에 방지하고 원활한 교통소통을 유지하기 위해 매년 동절기 시작(11월 이전) 전에 도로제설대책을 수립하고 있다. 여기에는 제설자재·장비의 확보 및 정비, 제설역량 강화를 위한 제설시설 확충, 제설취약구간 지정 및 관리 등이 포함된다.

그러나 도로제설대책은 일반적으로 정부의 제한적인 설해대책비용 내에서 도로제설업무 담당자들의 경험적 판단에 근거하여 수립하고 있다. 또한, 도로관리기관별 제설역량이 모두 다르기 때문에 예기치 못한 폭설 발생 시 신속한 대처가 어려울 수 있다. 이러한 이유로, 국지적인 기습 폭설에 신속하고 효율적으로 대응하기 위해서는 국내 도로관리기관에 대한 제설역량, 즉 제설작업에 활용되는 시설, 장비, 인력, 제설자재 등의 전반적인 점검을 통해 기관별 적정 제설역량을 고려한 제설대책 수립이 필요하다. 하지만 현실적으로 제설역량을 정량화하기는 어렵다. 이는 도로제설과 관련된 요인들 이외에도 도로연장의 변화, 운전자의 높은 도로 서비스수준 요구, 도로노면 결빙에 대비한 제설제 예비 살포 등의 다양한 정성적인 변수들이 영향을 미치기 때문이다(국토교통부, 2012).

먼저, 이러한 문제를 극복하기 위해 분석대상을 집단화하여 유사성을 분석하는 다변량 통계기법인 K-평균 군집분석(K-means clustering)을 사용하였다. 군집분석 수행 후 강설강도를 나타낼 수 있는 지표를 선정하여 국토관리사무소별 강설강도에 따른 제설작업 투입량을 군집분석 결과와 비교하였다. 이를 위해 18개 국토관리사무소별 3년간 동절기 시즌(13~14년, 14~15년, 15~16년)에 해당하는 과거 도로제설 이력데이터를 수집하여 분석하였다.

본 연구의 목적은 국토관리사무소별 과거 도로제설 이력자료를 기반으로 강설강도와 제설 인프라에 따른 사무소별 제설역량을 파악해 보는데 있다.

이를 통해 향후 지역별로 제한된 제설 인프라를 효율적으로 활용할 수 있는 최적의 도로제설 대책 수립 시 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 관련문헌 고찰

군집분석(Cluster Analysis)이란 각 객체의 유사성을 측정하여 유사성이 높은 대상 집단을 분류하고, 군집

에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체 간의 상이성을 규명하는 통계분석 방법이다. 이는 주로 대상들을 분류하기 위한 명확한 기준이 존재하지 않거나 기준이 밝혀지지 않은 상태에서 다양한 특성을 지닌 전체를 군집으로 분류하는데 사용되는 기법이다(허명회, 2005).

군집분석은 계층적 군집분석과 비계층적 군집분석으로 구분되는데 K-평균 군집분석은 비계층적 군집분석 기법 중 하나로 모집단 또는 자료에 대한 사전 정보가 없는 경우 군집의 수를 미리 정하여 주어진 값들 사이의 거리 또는 유사성을 이용하여 분석하는 기법이다. 일반적으로 계층적 군집분석은 분석대상이 한 군집에 소속이 되면 다른 군집으로의 이동이 불가능하지만, 비계층적 군집분석은 가장 적절한 다수의 군집 분류가 가능하다.

먼저 국내연구를 살펴보면, 한만섭은 군집분석 중 와드(Ward)법과 K-평균 군집분석을 통해 서울시의 25개 행정구역을 3개 그룹인 도심부 그룹, 주거 밀집그룹, 도넛중심그룹으로 분류하여 행정구역별 교통관련 특성을 반영한 교통정책의 필요성을 제시하였다(한국도로학회, 2012).

박창용은 계층적 군집분석 중 평균연결법과 와드법을 이용하여 기온과 강수특성을 고려한 남한의 기후지역을 구분하였다(대한지리학회, 2009).

김형주는 혼합군집분석 기법을 활용하여 침투·비침투·심야시간에 대한 지속시간과 집중률의 산정방법을 제시하였다. 2009년 전국 24시간 수시교통량 자료를 바탕으로 분석을 수행하였으며, 차종별 특성을 살펴보기 위해서 승용차, 트럭, 전 차종 등으로 나누어 분석을 실시하였다(대한교통학회, 2012).

이성건은 서울시내 주요 간선도로인 올림픽대로의 구간별 속도자료에 대한 24시간 속도패턴의 유사성을 알아보기 위해 와드법을 통해 얻어진 9개의 군집수에 대해 군집분석을 수행하였다(한국자료분석학회, 2010).

조준한은 병합적 계층 군집분석인 와드법, 비계층적 군집분석인 K-평균 군집분석, 자율신경 회로망을 이용한 Kohonen SOM(Self-Organizing Maps)의 비교 분석을 통해 교통특성에 따른 도로분류 방법론인 도로 특성분류에 대한 기초분석을 수행하였다(대한토목학회, 2009).

이기영은 인근 유사사고가 하나의 구간으로 처리되지 못하는 단점을 보완하기 위해 K-평균법을 활용하여 하나의 집단으로 처리될 수 있는 기법을 제시하였다(한국

도로학회, 2005).

해외 연구를 살펴보면, Flaherty(1993)는 애리조나 주 상시 교통량 조사 28개 지점을 토대로 Monthly traffic factor를 변수로 설정하여 비계층 군집분석인 K-평균 군집분석을 통해 분석하였다.

Lingras(1995)는 알버타 주 72개의 교통량 상시조사 지점에 대해 Monthly traffic factor를 변수로 설정하여 계층적 군집분석과 Kohonen SOM을 비교 분석하였다.

Tessa(2008)는 충돌사고 자료를 기반으로 GIS, 커널 밀도 추정법(Kernel density estimation), K-평균 군집분석을 이용하여 영국 런던지역의 교통사고 다발지점을 분류하였다.

본 연구는 일반적인 통계기법을 활용한 정량적인 결과 도출이 아니라, 18개 국토관리사무소에 대한 제설역량에 따른 강설강도를 비교하는 것이 목적이므로 데이터의 특성 비교를 위해 군집분석을 사용하는 것이 적절하며, 앞서 설명한 바와 같이 가장 적절한 다수의 군집 분류가 가능한 K-평균 분석방법을 이용하는 것이 본 연구의 목적에 적합하다고 판단하였다.

3. 연구 방법론

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 과거 도로제설 이력데이

터를 기반으로 유사한 제설 인프라(보유 장비 및 제설제)를 보유한 국토관리사무소들을 집합군으로 분류하기 위해 MATLAB에서 제공하는 K-평균 군집분석 tool을 활용하여 분석하였다.

첫째, 동일 집합군에 포함되어 있는 사무소들 중 적은 강설강도에 비해 많은 제설 인프라를 보유하고 있는지 여부와 그 반대의 경우도 검토하였다. 군집분석을 통해 얻어진 결과를 가지고 강설강도를 나타낼 수 있는 지표를 선정하여 강설강도에 따른 제설 인프라 보유 현황을 군집분석 결과와 비교하였다.

둘째, 상이한 군집으로 분류되었으나 유사한 강설강도를 보이는 국토관리사무소가 있는지도 비교·분석하였다. 또한, 사무소에서 보유하고 있는 제설 인프라와 실제로 투입된 제설 인프라 간에 차이가 있으므로 군집분석을 통해 높은 강설강도에 비해 비교적 적은 제설 인프라를 보유하고 있거나, 혹은 낮은 강설강도에 비해 상대적으로 많은 제설 인프라를 보유하고 있는 사무소에 대해 실제 제설제 사용량의 추이를 추가적으로 분석하였다.

셋째, 두 차례에 걸쳐 분류된 국토관리사무소를 대상으로 강설강도에 따른 '제설제 사용량' 및 '투입 인력 및 장비'에 대한 상관관계 분석을 수행하였다. 일반적으로 강설강도와 제설 인프라 투입량은 정(+)의 비례관계를 보일 것으로 예상되어 이를 통해 어떠한 특성 값을

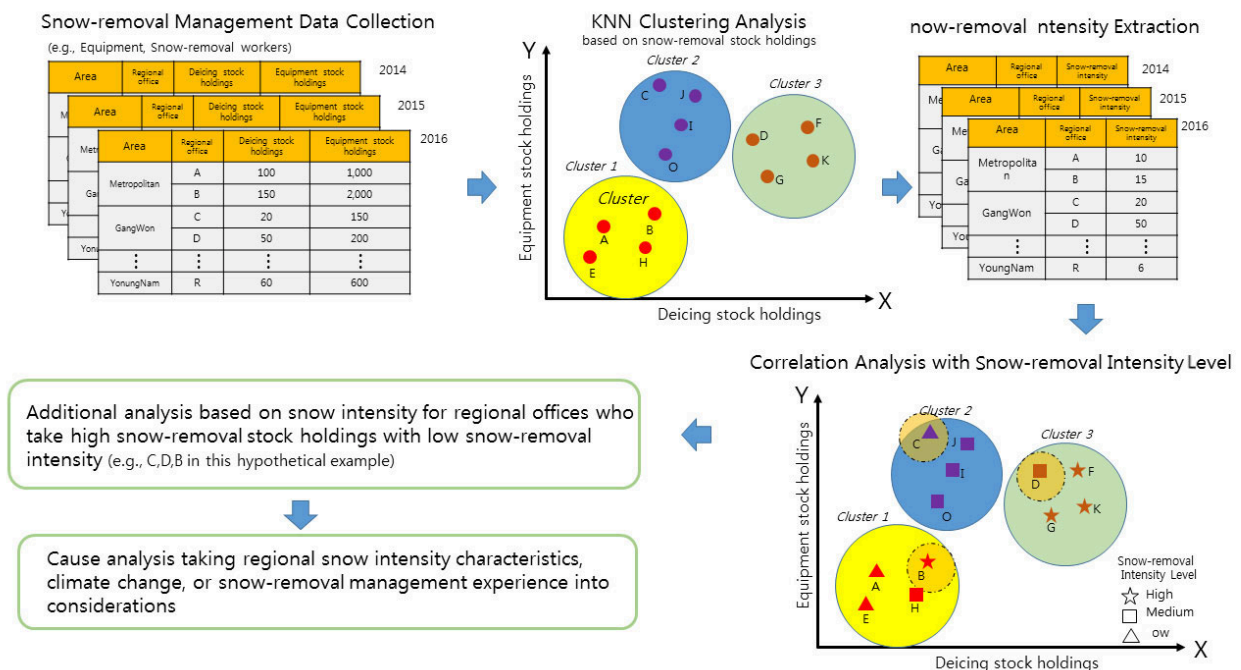


Fig. 1 Flow Chart for K-means Clustering

찾기 어려울 것으로 판단된다.

따라서 해당 국토관리사무소들의 지역적 기상특성 및 도로제설작업 경험의 차이를 통해 그 원인을 파악해 보았다. Fig. 1은 본 연구의 연구방법론에 대한 과정을 정리한 것이다.

4. 자료수집 및 변수선정

국토관리사무소별 제설역량의 차이를 비교하기 위해 국토교통부 도로제설관리시스템을 통해 18개 국토관리사무소의 3년간 동절기 시즌(13~14년, 14~15년, 15~16년)에 대한 과거 도로제설 이력데이터를 수집하였다.

도로제설관리시스템을 통해 수집한 과거 도로제설 이력데이터의 종류는 Table 1과 같다. 이력데이터 중 기상 관련 데이터(최심신적설, 최심적설, 강설일수 등)는 15~16년부터 수집을 시작하였기 때문에 이 기간에 해당되는 동절기 시즌의 데이터만 수집하였다.

Table 1. Snow-removal Works Data Collected from Regional Office

| Contents | Snow-removal works data |
|------------------------|------------------------------|
| Equipments | Equipments(own & lease) |
| | Used equipments |
| Snow removal workers | Used workers |
| Deicing chemicals | Used deicing chemicals |
| Weather characteristic | Fresh snow cover |
| | Maximum depth of snow cover |
| | Number of snowfall days |
| | Heavy-snowfall warning |
| | Number of snow-removal works |

Table 1에 명시된 데이터를 활용하여 K-평균 군집분석을 수행하기 위해서는 먼저 강설강도와 연관되어 있는 변수 데이터를 선정해야 한다. Table 1과 같이, 과거 도로제설 이력데이터에는 보유장비(자체보유+임대도급), 자체 투입장비, 자체 투입인력, 제설제 투입량(사용량+잔량), 기상특성, 제설작업일수가 있다.

이 중 기상특성과 관련된 대설특보, 최심신적설, 최심적설, 강설일수의 경우 13년~15년 동절기 시즌 동안의 데이터가 누락되어 해당 데이터들은 군집분석에서 제외시켰으며 자체 투입장비, 자체 투입인력, 자체 보유 장비, 임대도급 장비는 총 보유 장비와 연관이 있으므로 분석의 편의를 위하여 역시 제외시켰다.

결과적으로 보유 장비, 제설제 투입량, 제설작업일수를 최종 변수로 설정하여 군집분석에 사용하였다.

5. K-평균 군집분석(K-means Clustering)

K-평균 군집분석에 사용될 두 변수(보유장비와 보유 제설제)는 크기(scale)와 단위가 상이하기 때문에 군집화 작업에 앞서 [0, 1] 범위로 정규화할 필요가 있다. 정규화를 통해 얻어진 동일한 크기와 단위로 환산된 변수 값을 이용하여 주어진 개수만큼의 군집을 분류하게 된다.

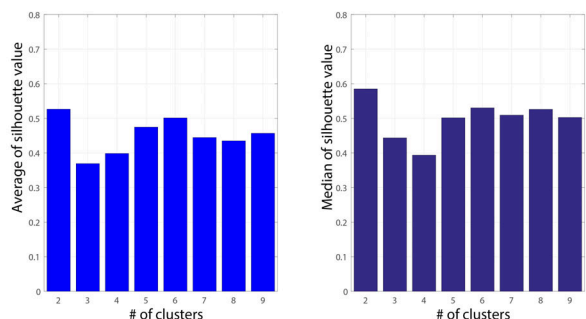
K-평균 군집분석을 위해서는 최적의 군집개수를 먼저 결정해야 하므로 본 연구에서는 실루엣 값(Silhouette Value)을 사용하였다. 이는 군집화가 얼마나 잘 되었는지를 확인할 수 있는 척도로 Eq. (1)을 이용하여 계산하였다. 실루엣 값은 [-1, 1]의 범위를 가지며 가장 큰 값을 가질 때의 군집의 개수가 최적임을 나타낸다. 따라서 본 분석에서는 최소 2개에서 최대 9개 사이의 군집 개수로 K-평균 군집분석을 수행한 후 최대 실루엣 값에 상응하는 군집 개수를 선택하는 방식으로 적정 군집 개수를 결정하였다. Fig. 2는 집합군의 개수 별 실루엣 값의 평균 값(가)과 중간값(나)에 대한 분석결과를 보여준다. 따라서, Fig. 2에서 군집 개수가 2개인 실루엣 값에서 가장 큰 값을 나타내고 있으므로 본 연구에서는 2개의 군집 개수가 적정한 것으로 분석되었다.

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max[a(i), b(i)]} \quad (1)$$

where,

a(i): average distance from the i^{th} point to the other point in the same cluster as i

b(i): the minimum average distance from the i^{th} point to points in a different cluster



(a) Average Silhouette Value (b) Median Silhouette Value
Fig. 2 Silhouette Value for a Given Number of Clusters

최적의 군집개수 결정 후 동절기 시즌별 보유장비와 보유제설제를 기준으로 유사한 제설 인프라 보유 추이를 나타내는 집합군을 나누기 위해서 K-평균 군집분석을 수행하였다.

Fig. 3은 2개의 군집으로 분류된 군집분석 결과를 나타낸다. 제1집합군과 제2집합군은 색상별로 구분하였으며, 각 동절기 시즌의 사무소별 강설강도를 대표하는 제설작업일수는 서로 다른 모양으로 구별하였다.

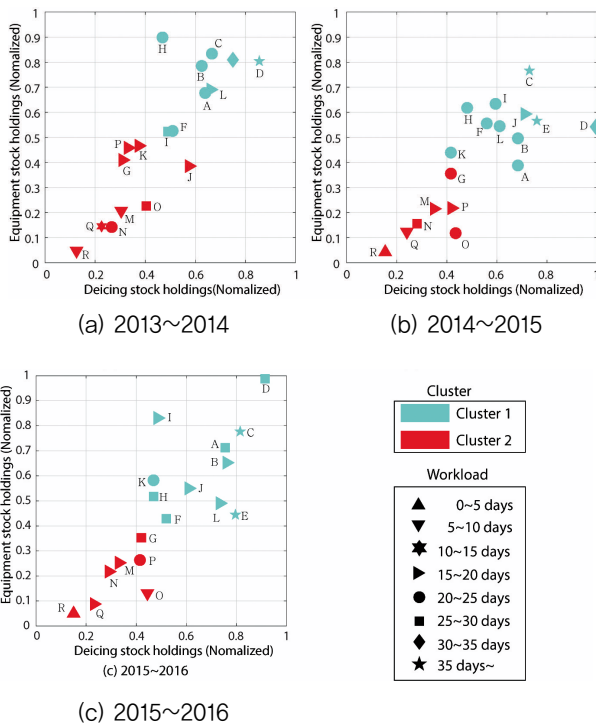


Fig. 3 Clustering Results Over Three Different One Year Periods

분석결과를 살펴보면, K-평균 군집분석을 통해 도출된 동절기 시즌별 보유장비 변수와 보유제설제 변수의 크기를 비교했을 때 제1집합군의 장비와 제설제의 보유량이 제2집합군보다 큰 것으로 분석되었다. 각 동절기 시즌별 집합군의 특성을 살펴보면 2013~2014년에 J와 K를 제외하고 제2집합군의 모든 사무소가 3개 년도에 걸쳐 동일한 집합군으로 분류되었다. 따라서 각 국토관리사무소들의 제설역량은 연도별로 크게 차이가 나지 않는 것으로 분석되었다.

집합군별로 보유장비 및 보유제설제 대비 제설작업일수현황을 살펴보면, 제2집합군의 경우 G, N, O, P를 제외한 대부분은 ‘제설작업일수’는 20일 미만으로 나타났다. 반면 제1집합군의 경우 B, I, J, K를 제외하고 모든 사무소에서 20일 이상의 제설작업일수를 나타내고 있다. 따라서, 제1집합군과 제2집합군의 제설작업일

수를 비교해보면, L의 경우 유사한 제설작업일수를 보이는 다른 사무소와 비교했을 때 제설장비 및 제설제 보유량이 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.

이를 유추해 보면, L의 경우 제설역량 측면에서는 제1집합군에 속하지만 강설강도 측면에서 봤을 때는 제2집합군과 유사하다는 결론을 도출할 수 있다.

반면 N과 O의 경우 2013년부터 2015년 동절기 시즌까지 제설작업일수가 연평균 20일 이상인데 비해 제설역량은 제2집합군 내에서도 상당히 낮은 것으로 분석되었다. 이는 제설장비 및 제설제의 보유량과 제설작업일수 사이의 관계가 항상 정(positive)관계는 아님을 간접적으로 나타낸다.

지역별로 비교해 보면, 수도권, 강원권, 영남권의 경우 제설작업일수 대비 제설장비 및 제설제의 보유량에 있어 특이한 변화는 보이지 않았다. 반면 L(13~14년, 14~15년, 15~16년 동절기 시즌)과 J(15~16년 동절기 시즌)의 경우 유사한 제설작업일수를 보이는 타 국토관리사무소에 비해 상대적으로 많은 제설 인프라를 보유하고 있는 것으로 분석되었다.

하지만 Fig. 3의 군집분석 결과는 보유 제설장비와

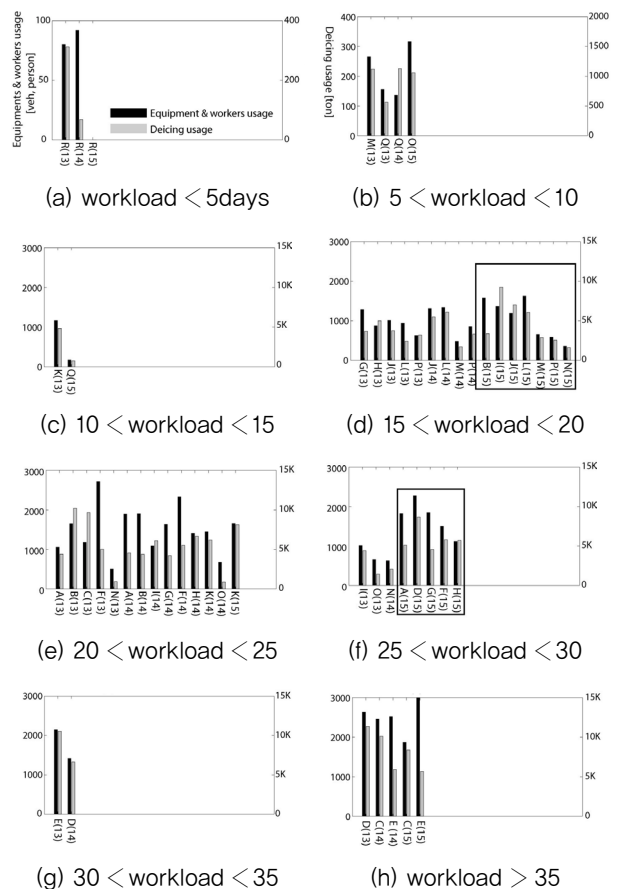


Fig. 4 Infrastructure Usages as a Function of Workload

보유 제설제만을 고려한 것이지 제설작업에 투입된 실제 사용량은 반영하지 않았기 때문에 실제 사용량을 기준으로 추가 분석을 수행하였다. 이를 위해, Fig. 4와 같이 제설작업일수별로 3년간 동절기 시즌의 제설투입 장비 및 제설투입인력과 총 제설제 사용량을 국토관리사무소별로 비교하였다.

Fig. 3과 Fig. 4의 분석결과를 비교한 결과 몇 가지 중요한 시사점을 도출할 수 있었다. 먼저 Fig. 3과 같이, N과 O의 경우 동일 제설작업일수를 보이는 국토관리사무소에 비해 제설 인프라를 적게 보유한 것으로 나타났으며, 실제 제설 인프라 투입량도 다른 사무소에 비해 적은 것으로 나타났다(Fig. 4 (d), (e), (f)).

또한, Fig. 4(d)의 I, J, L의 경우 14년~16년 동절기 시즌 동안에 투입된 제설제 사용량과 제설장비 및 제설 인력의 양은 상위권에 속하는 편이며, 특히 제설제 사용량은 일반적으로 작업일수가 25일 이상인 다른 국토관리사무소와 비교했을 때 거의 유사하거나 평균치를 상회하였다.

14~15년 동절기 시즌에 실제로 투입된 제설제 사용량을 살펴보면, 평균 제설작업일수가 35일 이상인 강

원권(C, D, E)의 평균 제설제 사용량은 7,000톤인 반면, 호남권 J는 5,500톤, L은 6,088톤인 것으로 분석되었으며, 15~16년 동절기 시즌에는 충청권 I는 9,254톤, J는 7,010톤, L은 6,060톤이 투입된 것으로 나타났다.

따라서 위의 분석결과는 전체적으로 동일한 제설작업 일수를 보이더라도 국토관리사무소별로 투입된 제설장비, 제설인력, 제설제의 규모가 상이하고, 동일한 강설강도 하에서 국토관리사무소별로 대응하는 제설대책이 상이할 수 있을 것으로 추정된다.

6. 상관관계 분석

제설작업일수와 강설강도 간의 상관관계를 알아보기 위해 도로제설관리시스템에서 수집한 18개 국토관리사무소별 과거 최심적설량과 강설일수 자료에 대한 이력 데이터를 Table 2와 같이 분석하였다. 국토관리사무소별 강설강도를 파악하기 위해서는 유사한 기상특성과 사무소 별 제설제 사용량을 파악해 볼 필요가 있다. 따라서 유사한 제설작업일수를 가지고 있는 국토관리사무

Table 2. Snow-removal Works Data Collected from Regional Office in 15~16 Year Winter Season



| Areas | Regional office | Used equipments (year) | Used workers (person) | De-icing materials (ton) | | | Number of snow-removal working days | Maximum depth of snow cover (cm) | Number of heavy-snowfall days |
|--------------|-----------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|-------|--------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| | | | | Total | Usage | Remain | | | |
| Metropolitan | A | 959 | 864 | 1,823 | 5,103 | 5,929 | 26 | 14.7 | 5 |
| | B | 697 | 882 | 1,579 | 3,364 | 6,739 | 17 | 5.8 | 0 |
| GangWon | C | 612 | 1,256 | 1,868 | 8,372 | 3,659 | 36 | 4.2 | 0 |
| | D | 1,050 | 1,223 | 2,273 | 8,688 | 6,623 | 28 | 19.5 | 1 |
| | E | 1,328 | 1,685 | 3,013 | 5,677 | 1,231 | 37 | NaN | 0 |
| ChungCheong | I | 620 | 746 | 1,366 | 9,254 | 3,626 | 19 | 14.4 | 5 |
| | G | 728 | 1,121 | 1,849 | 4,582 | 870 | 28 | 8.1 | 2 |
| | F | 572 | 930 | 1,502 | 5,795 | 838 | 27 | NaN | 0 |
| | H | 600 | 515 | 1,115 | 5,706 | 2,331 | 26 | 5.1 | 3 |
| HoNam | J | 560 | 628 | 1,188 | 7,010 | 1,497 | 16 | 20 | 3 |
| | L | 917 | 707 | 1,624 | 6,060 | 1,554 | 18 | 58 | 6 |
| | K | 629 | 1,031 | 1,660 | 8,151 | 880 | 22 | NaN | 0 |
| | M | 281 | 376 | 657 | 2,885 | 1,023 | 19 | 0.3 | 0 |
| YoungNam | P | 326 | 258 | 584 | 2,533 | 1,548 | 20 | NaN | 1 |
| | O | 180 | 136 | 316 | 1,057 | 972 | 9 | 102* | 13 |
| | N | 167 | 189 | 356 | 1,623 | 1,765 | 18 | 8.6 | 0 |
| | Q | 57 | 120 | 177 | 769 | 586 | 15 | 0.3 | 0 |
| | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 772 | 0 | NaN | 0 |

소에 대해 최심적설과 강설일수와 제설제 사용량 간의 관계를 분석해 보았다. 기상특성 자료의 경우 15~16년 동절기 시즌부터 수집을 시작하였기 때문에 이에 해당하는 데이터만을 사용하였다.

먼저 Fig. 4의 '(d)작업일수 15일~20일'에 해당하는 국토관리사무소들의 경우 유사한 제설작업일수를 보이고 있지만 강설일수나 최심적설에 따른 제설제 사용량의 크기는 상이한 것으로 나타났다. 즉, 제설작업일수 자체가 강설강도를 적절히 반영하지 못하고 있다는 것을 추정할 수 있다. 또한, 앞서 설명한 N의 경우 Table 2와 같이 높은 제설작업일수 대비 제설 인프라의 보유량 및 사용량은 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 이는 N의 제설역량이 타 국토관리사무소에 비해 낮다는 결론을 도출할 수 있다.

특이한 점은 L과 J를 비교해볼 때, L은 J에 비해 제설작업일수, 최심적설량, 그리고 강설일수 측면에서 상대적으로 강설강도가 높아 보이지만 제설제 사용량은 오히려 J가 약 1,000톤가량 더 많았다. I의 경우에도 L에 비해 강설강도는 낮은 반면 투입된 제설제 사용량은 약 3,000톤 이상 더 많았다.

반면 Fig. 4의 '(d)작업일수 15일~20일'에 해당하는 국토관리사무소의 분석결과를 보면 대체적으로 작업일수, 최심적설량, 강설일수의 정도에 따라 사용된 제설제의 양과 장비 및 인력투입량이 비례하여 변화하였다.

Table 2의 은 Fig. 4(d)의 B, I, J, L, M, P, N이며, 은 Fig. 4(f)의 A, D, G, F, H를 나타낸다.

이러한 비례관계를 정량적으로 확인하기 위해 최심적설량과 제설 인프라(제설제, 투입인력, 제설장비) 사용량과의 상관분석(Correlation Analysis)을 수행하여 Table 3과 같이 상관계수(Correlation Coefficient)를 도출하였다.

Table 3. Correlation Coefficient between Fig. 4(d) and Fig. 4(f)

| Snow-removal data | Maximum depth of snow cover vs. used deicing chemicals | Maximum depth of snow cover vs. used workers and equipments |
|-----------------------------------|--|---|
| 15-16 winter season (Figure 4(d)) | 0.3996 | 0.5443 |
| 15-16 winter season (Figure 4(f)) | 0.7080 | 0.8697 |

상관계수는 두 변량 X, Y 사이의 상관관계의 정도를 나타내는 수치(계수)이며, 상관관계의 정도를 수량적으

로 표시한 것으로서, 보통 “로우 ρ ”로 표시된다. 상관계수는 항상 부등식 $-1 \leq \rho \leq 1$ 을 만족시키며, 양의 상관관계가 있을 때는 >0 , 음의 상관관계가 있을 때는 <0 이다. 또 무상관일 때는 $=0$ 이 된다(양충현, 2012).

따라서, 상관계수는 1에 가까울수록 강한 양(+)의 상관관계를 보이므로 Table 3과 같이 강설강도와 투입 제설 인프라 규모와의 관계는 강설강도가 커질수록 강한 양(+)의 상관관계(Fig. 4(f))를 가지며 강설강도가 낮을수록 약한 양의 상관관계(Fig. 4(d))를 가지고 있는 것으로 판단된다.

즉, 강설강도가 낮은 지역에서 투입하는 제설 인프라의 투입량은 강설량에 따라 달라지지 않으며 지역별로 큰 편차를 보일 수 있다는 결론을 도출하였다.

7. 결론

본 연구에서는 18개 국토관리사무소별 과거 도로제설 이력데이터를 기반으로 K-평균 군집분석 및 상관관계 분석을 통해 강설강도와 제설 인프라에 따른 사무소별 제설역량을 분석하였다.

분석결과를 요약하면, 유사한 강설강도를 가지고 있는 국토관리사무소의 제설 인프라 투입량은 서로 상이한 것으로 분석되었다. 특히 국토관리사무소별 제설제 사용량에 대한 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 제설 인프라 투입량이 지역별 도로관리연장, 제설경험, 제설취약구간연장 등에 의해 달라질 수 있다는 것을 암시한다. 또한 국토관리사무소별 제설 인프라 투입량의 편차는 강설량이 상대적으로 적은 지역에서 크게 나타났다. 강설량이 많음에 따라 강설강도가 높은 국토관리사무소의 경우 다년간의 제설경험을 통해 최적의 제설 인프라 투입량을 결정하기 때문에 투입량의 편차는 크게 나타나지 않았다. 반면 높은 강설강도에도 불구하고 제설경험이 축적되지 않은 국토관리사무소의 경우 기습 폭설 발생 시 효율적인 제설 인프라의 투입량을 결정하기가 매우 어렵기 때문에 투입량의 편차가 크게 나타날 수 있다.

최근 기후변화로 인해 전통적으로 강설량이 많은 지역 이외에도 폭설의 빈도수가 잦은 지역들이 새롭게 등장하고 있다. 따라서 국토관리사무소 별로 제설 인프라의 보유량 및 투입량의 추이를 지속적으로 분석해 기후변화를 고려한 정책수립의 필요성을 인식할 필요가 있다.

이를 위해 향후 국토관리사무소별 과거 도로제설 이력자료를 기반으로 강설강도에 대한 우선순위 산정 또

는 이를 뒷받침할 수 있는 강설강도 계수 산정에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것이다. 다만 신뢰성이 보장된 강설강도 계수 산정 그리고 우선순위의 결정에 있어 불확실성을 최소화하기 위해서는 기상 및 제설자료의 장기적이고 지속적인 이력관리가 필수적일 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Aeran Park, (2009), "A Study on the Traffic Velocity Patterns using Statistical Modeling", Sungshin Women's University.
- Cho, Jun Han, Kim, S., (2009), "A Comparative Study on Statistical Clustering Methods and Kohonen Self-Organizing Maps for Highway Characteristic Classification of National Highway", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 29, pp.347-356.
- Han, mahn-seob, Oh, H., (2012), "Categorization of Traffic Type According to Seoul-City Administrative District Using Cluster Analysis", International Journal of Highway Engineering, Vol. 14, 133-140.
- Huh Myung Heo, (2003), "Multi-variable Analysis for Social Science", Free Academy .
- J. Flaherty, (1993), "Cluster Analysis of Arizona Automatic Traffic Recorder Data", TRB, Transportation Research Record No. 1410, pp.93-99.
- KIM, Hyungjoo, CHANG, J., (2012), "Calculation of the Peak-hour Ratio for Road Traffic Volumes using a Hybrid Clustering Technique", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 30, pp.19-30.
- Lee, Ki Young, Chang, M., (2005), "Selecting Technique of Accident Sections using K-mean Method", International JOURNAL of HIGHWAY Engineering, Vol. 7, pp.211-219.
- Lee, Seong-Keon, Park, A., (2010), "A Study on the Clustering of Express Way of Seoul using its Traffic Patterns", Journal of the Korean Data Anaysis Society, Vol. 12, pp.3295-3304.
- Lingras, P., (1995), "Classifying highways : Hierarchical grouping versus Kohonen neural networks", Journal of Transportation Engineering, Vol. 121, No. 4, pp. 364-368.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2010). "A Study on the Stockpile Plan for De-icing Chemicals".
- Park, Changyong, Choi, Y., Moon, J., Yun, W., (2009), "Classification of Climate Zones in South Korea Considering both Air Temperature and Rainfall", The Korean Geographical Society, Vol. 44, pp.1-16.
- Tessa K. Anderson, (2009), "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots", Accident Analysis and Prevention Vol. 41, pp.359-364.
- Yang, Choong Heon, Kim, I., (2012), Analysis of Snow Removal Vulnerability through Relationship between Snow Removal Works and Weather Forecasts, International Journal of Highway Engineering, Vol. 14. 141-148.