한국환경보건학회지, 제46권 제6호(2020)
J Environ Health Sci. 2020; 46(6): 726-734

pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2020.46.6.726

원 저	Original articles

요인 및 군집분석을 이용한 유해화학물질 사고 잠재적 피해에 대한 도시 유형 분류 및 특성 분석

이승훈* · 유영은* · 김규리* · 백종인* · 김호현** · 반영운*†
*충북대학교 도시공학과, **평택대학교 ICT융합학부 ICT환경융합전공

The Analysis and Classification of Urban Types for Potential Damage from Hazardous Chemical Accidents Using Factor and Cluster Analysis

Seung Hoon Lee*, Young Eun Ryu*, Kyu Ri Kim*, Jong In Back*, Ho-Hyun Kim, and Yong Un Ban*†**

**Department of Urban Engineering, Chungbuk National University*
***Department of Information, Communication and Technology Convergence, ICT Environment Convergence, Pyeongtaek University*

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study was to analyze and classify the characteristics of potential damage from hazardous chemical accidents in 229 administrative units in South Korea by reflecting the social and environmental characteristics of areas where chemical accidents can occur.

Methods: A number of indicators were selected through preceding studies. Factor analysis was performed on selected indicators to derive factors, and cluster analysis was performed based on the factor scores.

Results: As a result of the cluster analysis, 229 administrative units were divided into three clusters, and it was confirmed that each cluster had its own characteristics.

Conclusions: The first cluster, "areas at risk of accident occurrence and spread of damage" was a type with a high potential for accident damage and a high density of hazardous facilities. The second cluster, "Urban infrastructure damage hazard areas" appeared to be a cluster with high urban development characteristics. Finally, the third cluster 'Urban and environmental damage hazard areas' appeared to be a cluster with an excellent natural environment. This study went further from the qualitative discussion related to existing chemical accidents to identify and respond to accident damage by reflecting the social and environmental characteristics of the region. Distinct from the previous studies related to the causes of accidents and the response system, it is meaningful to conduct empirical research focusing on the affected areas by analyzing the possibility of accident damage in reflection of the social and environmental characteristics of the community.

Key words: Chemical accident impact evaluation system, cluster analysis, factor analysis, four phases of disaster management, residential environments

†**Corresponding author:** Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, 52 Naesudong-ro, Heungduk-gu, Cheongju, Korea, Tel: +82-43-273-3391, E-mail: byubyu@chungbuk.ac.kr
Received: 16 October 2020, Revised: 11 December 2020, Accepted: 11 December 2020

I. 서 론

산업 발전과 산업 양상의 지속적인 변화로 인해 현대사회에서 화학물질은 일상생활과 산업에 밀접하게 연관되고 있다. 산업에 활용되는 화학물질은 세계적으로 약 12만여 종이 있으며, 이 중 우리나라에는 약 4만여 종의 화학물질들이 사용되고 있다.[1)]

이러한 화학물질의 사용 증가와 화학물질 관련 업종의 증가는 우리나라의 화학 산업을 지속적으로 성장시킴과 동시에 폭발 및 화재 등의 안전사고를 유발한다.[2)] 화학물질안전원에 의하면 2014년 1월부터 2020년 9월까지 국내 화학물질 관련 사고는 총 563건 발생하였다. 통계를 살펴보면 화학사고의 빈도는 점차 줄어들고 있는 추세이지만 전체 사고 중 약 77.4%가 작업자 부주의와 시설관리 미흡으로 인한 사고로 밝혀졌다.[3)] 이는 대부분의 화학물질 관련 사고의 원인이 인적오류(human error)[4)]로 인함을 의미한다. 이에 정부는 인적오류를 예방하기 위한 제도적 접근으로서 화학사고 대응절차, 공정안전관리(Process Safety Management, PSM) 등의 제도를 마련하여 중대 산업사고를 예방하고 있다. 그러나 이러한 관리체계와 예방대책은 화학사고 발생 후 대응에 목적을 두고 있으며 사업장과 설비에 대한 인적오류를 방지하는 등 사고 원점 중심의 안전예방 방안을 제시하고 있어 사고피해 여파에 대한 고려가 부족하다는 한계점이 존재한다.[5)]

이러한 한계점을 보완하기 위하여 환경부는 사고피해 여파와 제3자의 피해를 최소화하고자 장외영향평가를 제도를 마련하였으며, 2021년부터 화학물질관리법을 개정, 화학사고 예방관리 계획서로 통합 시행할 것임을 밝혔다. 개정법은 취급하는 물질의 종류 및 수량에 따라 외부영향이 거의 없는 사업장의 경우 제출을 면제할 수 있도록 하였고 이는 관련 법령과 제도에서 벗어나 있는 기타 사업장에서의 사고발생을 고려할 수 없는 등의 또 다른 문제점들을 야기했다.

한편 국내의 산업전반에 화학물질 사용이 늘어남과 동시에 가구소득의 증가, 인구 증가 등으로 인해 국토 개발이 가속화되어 왔다.[6)] 국토 개발의 가속화는 공장과 주거지역이 혼재된 난개발 등의 문제를 야기하였으며 이러한 문제들은 화학사고가 국민 안전에 미치는 위험을 점점 증가시키고 있다. 실제로 2015년을 기준으로 3년 간 총 200건의 화학물질 사고의 분석 결과, 사고 지점에서 반경 1 km 안에 거주하는 사람은 약 70만 명, 직장 유동인구는 약 100만 명에 이르는 것으로 나타났다.[7)] 즉, 산업단지 및 공장 조성 시 주거지역과의 공간분리가 확보되지 못한 것으로 보이며, 산업단지 및 공장 인근의 주거환경은 화학사고 발생 시 피해가 발생할 확률이 매우 높은 것으로 고려된다.[8)] 이외에도 2012년 구미 불산가스 사고로 인해 사고지점으로부터 1 km 내의 인근 사업장과 지역주민, 사고 수습 관계자들이 큰 인명피해를 입은 것으로 나타나는 등(사망 5명, 입원치료 12명, 건강검진 7,162명 등) 주거지역 인근에 위치한 산업단지 및 공장은 인근 주민의 안전에 큰 위험이 되고 있다.[9)]

하지만 이러한 주민들의 인명피해 사례에도 불구하고 화학물질의 영향관계와 관련된 연구는 주거환경보다 생태계 및 건강에 미치는 영향을 중심으로 분석하는 연구가 주를 이루고 있으며 주거환경과 화학사고에 관한 연구가 부족한 실정이다.[10)] 또한, 국내의 화학물질 사고와 관련된 연구는 사례위주의 연구로 국내 화학사고에 관한 사례 및 특성 분석[11)] 또는 화학물질 관리에 관련된 현행 법률 및 제도의 고찰 및 대응 체계 고찰에 관련된 연구[12)]들이 주로 진행되고 있다. 이와 더불어, 화학사고 관련 평가에 관한 연구[13)]도 미흡하나 함께 진행되고 있지만, 단일 평가 방법에 관한 고찰 및 개선방안에 관한 연구라는 한계점이 있다.

본 연구는 기존의 발생 후 대응 및 사고원점 예방의 체계에서 더 나아가 기타 사업장에서의 사고발생을 고려한 주거환경 및 지역·환경 특성을 분석 및 분류하여 사고발생 피해에 대한 잠재적인 특성과 연관된 예방대책 마련의 필요성을 제시한다. 이를 위해 본 연구는 화학사고가 발생할 수 있는 지역의 사회적·환경적 특성을 반영하여 국내 229개 시·군·구의 유해화학물질 사고의 피해 잠재성 특성을 분석하고, 그 특성을 이용하여 도시의 유형을 분류하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 가설 설정 및 분석 방법

본 연구는 전국 시·군·구의 사회적·환경적 특성

에 따른 화학물질 사고피해 잠재성을 분석하고 유형을 분류하기 위해 요인분석과 군집분석을 실시하였다. 또한 본 연구에서는 선행연구에서 확인된 여러 도시 특성들을 유형화하고 그 특성을 파악하고자 다음과 같은 가설을 설정한다.

가설 1: 도시의 특성은 크게 도시설비 부문, 자연환경부문, 위험시설 부문으로 구분되고 이러한 요인은 화학물질 사고 피해 잠재성에 양의 영향을 미칠 것이다.

가설 2: 전국 229개 시·군·구는 화학물질 사고피해 잠재성에 따라 군집화 되어 특성이 분류 될 것이다.

가설 1을 검증하기 위하여 첫째로, 선행연구 고찰을 통해 지역의 사회적·환경적 특성을 나타낼 수 있는 여러 지표를 선정한다.

둘째로, 선정된 지표를 대상으로 요인분석을 실시하여 요인을 도출한다. 도출된 요인을 해석하여 도시의 특성을 파악한다.

가설 2를 검증하기 위하여 앞서 분석된 요인 점수를 바탕으로 군집분석을 수행한다. 마지막으로, 군집분석결과 나타난 군집과 기 추출된 요인들 간 분산분석을 실시하여 각 군집별 특성을 유형화하고 그 특성을 파악한다.

1.1. 요인분석

본 연구는 요인분석의 방법 중 주성분분석법의 추출방식과 베리멕스(varimax) 회전으로 요인분석을 실시하였다.

요인분석 시 표본의 수는 최소 50개 이상, 권장 100개 이상이어야 하며, 사용되는 항목 수의 최소 5배 이상이어야 한다.[14]

본 연구의 표본 수는 전국 시·군·구 229개이며 항목의 수는 11개를 사용하였다. 요인분석 후 요인분석 결과로 얻은 요인적재량을 활용하여 연관성이 높은 변수들을 구분하였다. 그 결과 3개의 요인이 도출되었으며 그 특성들을 파악하였다.

1.2. 군집분석

본 연구에서 사용된 비계층적 군집분석은 군집의 수를 미리정하여 설정된 군집의 중심에 가까운 개체를 결합하는 방식이다.[15] 타당한 군집 수를 결정하기 위하여 먼저 계층적 군집분석을 수행하였으며 분석 시 거리 산정방법은 와드(Ward)방식을 사용하였다.[16] 계층적 군집분석 결과 군집의 수는 총 3개로 나타났으며 구분된 군집의 수를 토대로 비계층적 군집분석을 수행하였다.

2. 데이터 구축 방법

앞서 서술한 본 연구의 목적과 같이 전국의 시·군·구의 사고피해 잠재성을 분석·유형화하기 위해 다음과 같은 자료를 구축하고 활용하였다. 먼저 본 연구는 분석 시 인구주택 총 조사 데이터를 중심으로 활용하였기 때문에 2015년 연도를 기준으로 데이터를 구축하였다. 인구주택 총 조사 통계자료 외에도 2015년 지역 기초통계자료와 2015년 화학물질배출량 자

Table 1. Variable explanation & construction method

Variable	Explanation
Chemical facility ratio	Number of hazardous chemicals discharge facilities by city, borough and district
Population ratio	Total population ratio by city, borough and district
Whole house ratio	Total house ratio by city, borough and district
Empty house ratio	Total vacant residential buildings (vacant single houses+vacant apartments)/ total buildings*100
Dilapidated dwelling	Total over 30-year-old buildings/total buildings*100
City area ratio	City area (m^2)/total area
Develope area ratio	Develop area (m^2)/total area
Planning management area ratio	planning management area (m^2)/total area
Road area ratio	Road area (m^2)/total area (m^2)*100
Independent rate of finance	(Local tax+other revenues than taxes-local loan/general account tax revenues) *100
City park area ratio	Green area (m^2)/total area (m^2)*100

료 그리고 GIS를 통해 자체적으로 구축한 화학물질 배출시설 입지 등의 분석 자료를 활용하였으며, SPSS 21 통계프로그램을 활용하여 요인분석과 군집분석을 수행하였다. 분석단위는 시·군·구를 기준으로 하였으며 전체 229개 시·군·구를 대상으로 분석하였다. 도시의 유형을 대변하는 변수들은 선행연구를 통해 선정·구축하였으며, 총 인구비율, 도로면적 비율, 도시지역면적 비율, 화학물질 배출시설 비율, 노후화 주택 비율, 재정자립도, 녹지지역 면적비율, 건축물 공가율, 전체 건축물 비율, 도시개발구역 면적 비율, 계획관리지역 면적비율 등 11개 변수로 구성되며 구축방법은 Table 1과 같다.

III. 결 과

1. 유해화학물질 사고 잠재적 피해에 대한 도시 특성 분석

1.1. KMO와 Bartlett의 검정

입력 변수들 간 충분한 상관관계를 가지고 있음을 밝히고 요인분석이 의미가 있는지를 파악하기 위하여 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) 검정과 Bartlett 검정을 실시하였다. KMO 값이 일반적으로 0.5 이상이면 구축된 데이터를 요인분석으로 분석하기에 적절하다고 판단할 수 있다. 또한 Bartlett 검정의 경우 유의수준을 기준으로 p값이 0.1 이하일 때 요인분석에 적합한 상관관계가 존재한다고 판단한다.[17] 본 연구에서 KMO 값과 유의확률은 Table 2와 같으며 각각 0.799, 0.000으로 요인분석을 실시하는 것이 유의미하다고 판단하였다.

1.2. 고유값과 설명된 분산

고유값은 한 요인이 몇 개의 변수들의 분산 양을 설명하고 있는지를 나타내는 값이다. 일반적으로 고유값이 1.0 이상인 경우 의미 있는 요인으로 여겨진다.[18] 본 연구에서 고유치가 1.0 이상인 요인은 3개로 나타나며, 스크린 도표로 나타내면 Fig. 1과 같다. 고유치가 1.0 이상인 요인은 총 3개임을 확인할 수 있으며 그 외의 요인은 의미가 없음을 나타낸다. 설명된 총 분산은 3개 요인이 11개 항목을 얼마나 설명하는가를 의미한다. Table 3을 살펴보면 회전이후 요인 1이 34.138%로 가장 설명력이 높게 나타났으며, 요인 2는 29.699%로, 요인 3은 9.392%로 나타났고 3개의 추출된 요인들이 전체분산의 73.229%를 설명하는 것으로 나타났다.

Table 2. KMO, Bartlett test result

Kaiser-Meyer-Olkin test		0.799
Bartlett test	χ^2	2288.554
	df	55
	p	0.000

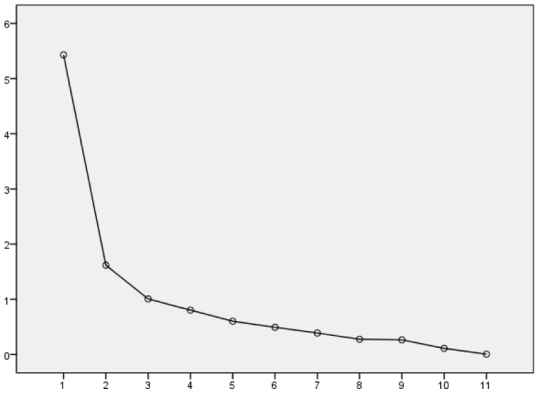

Fig. 1. Scree plot from principal components analysis

1.3. 요인행렬과 공통성

요인분석결과 나타난 요인 적재값 행렬은 변수가 어떤 요인에 의하여 주로 설명되고 있는지 파악할 수 있게 한다. 또한 요인적재량으로 요인구조를 결정하고 이를 이용해 해석할 수 있다. 성분행렬은 1번 요인의 요인 적재값이 대체적으로 크게 나타나고 있으며 각 요인의 로딩이 높은 변수의 수를 최소화하고자 베리멕스 직교 회전을 사용하였다. 분석결과는 Table 3과 같다.

공통성 값은 추출된 요인들에 의해 각각의 변수가 얼마나 설명되는지를 나타낸다. 본 연구에서 분석한 11개의 변수는 모두 0.5 이상의 공통성 값을 가지고 있다. 따라서 추출된 3개의 요인에 의해 11개의 변수가 모두 일정수준 이상의 설명력을 가지고 있음을 알 수 있다.

1.4. 요인분석 결과

요인분석 결과 11개의 변수는 총 3개의 요인으로 분류되었다. 먼저 요인1은 기반시설 및 도시면적이 특성을 반영하는 요인으로 나타난다. 도시지역 면적

Table 3. Rotated component matrix

Variables	Communality	Component		
		1	2	3
City area ratio	0.861	0.892	0.274	0.145
Planning management area ratio	0.654	-0.830	0.010	-0.166
Road area ratio	0.588	0.721	0.205	-0.110
Empty house ratio	0.891	-0.719	-0.432	0.031
Develope area ratio	0.943	0.670	0.193	0.040
Whole house ratio	0.850	0.356	0.850	-0.019
Population ratio	0.653	0.410	0.832	-0.024
Chemical facility ratio	0.718	-0.259	0.751	0.153
Independent rate of finance	0.575	0.373	0.711	-0.091
Dilapidated dwelling	0.704	-0.520	-0.664	-0.083
City park area ratio	0.717	0.110	0.034	0.964
Eigenvalues after rotation		3.755	3.267	1.033
% explained variance		34.138	29.699	9.392
Cumulative %		34.138	63.837	73.229

Varimax rotation of 11 factor loadings

비율, 도로면적 비율, 도시개발구역 면적 비율이 양의 요인으로 작용하였고 계획 관리지역 면적 비율과 건축물 공가율 등이 음의 요인으로 작용하였다. 특히 타 요인보다 도시지역면적 비율 및 도로면적 비율 등이 높게 나타난 형태로 도시개발과 관련성이 높은 것을 의미한다. 따라서 요인1을 도시개발특성(urban development)으로 명명하였다. 요인2는 건축물 비율과 인구비율, 유해화학시설 비율, 그리고 재정자립도가 양의 요인으로 작용하였으며 건축물 공가율, 노후건축물 비율이 음의 요인으로 작용하였다.

이는 공장 등의 산업시설 입지가 두드러지며 동시에 산업시설의 입지로 인한 인구 유입이 많다는 것을 의미한다. 또한 빈집의 수와 노후건축물 수가 비교적 적게 나타나 공업도시의 형태를 띠고 있으며 유해시설의 입지가 집중된 특성을 보인다. 따라서 요인2를 고밀 유해시설 특성(high density hazardous facilities)으로 명명하였다. 마지막으로 요인3은 녹지면적 비율이 양의 요인으로 작용하고 있으며 타 요인보다 두드러지게 높은 적재량 값을 가지고 있다. 이를 해석하면 녹지분포가 우수한 지역의 특성을 반영하는 요인이라고 할 수 있다. 따라서 요인3을 녹지분포 우수 특성(superior green area distribution)으로 명명하였다. 이처럼 시·군·구별 화학물질 사고의 피해 잠재성 특성을 나타내는 11개의 변수들은 도시개발 특성요인, 고밀 유해시설 특성요인, 녹지분포 우수 특성요인 등 3개 요인으로 분류된다.

2. 유해화학물질 사고 잠재적 피해에 대한 도시 유형 분류

2.1. 군집의 영향력 분석

요인분석을 통해 분류된 도시개발 특성요인, 고밀 유해시설 특성요인, 녹지분포 우수 특성요인 등 3개 요인을 토대로 군집분석을 실시하였다.

군집분석 결과 군집별 요인의 영향력은 Table 5와 같이 나타났으며 총 229개의 시·군·구는 3개의 군집으로 분류되었고 1군집 38개, 2군집 180개, 3군집 11개로 나타났다. 군집별 시·군·구의 분포를 살펴보면 Fig. 2와 같다. 요인의 영향력을 토대로 군집의 특성을 파악한 결과 1군집은 경기도 권과 경남 경북지역 등 총 38개 지역이 포함되며 유해시설의 입지와 인구밀도가 타 군집보다 상대적으로 높은 특성을 가진 군집으로서 사고피해 잠재성이 높게 여겨진다. 따라서 1군집을 '사고발생 및 피해확산 위험지역(areas at risk of accident occurrence and spread of damage)'이라 명명한다.

2군집은 일반적인 도시형태를 띄는 군집으로서 수

Table 5. Factor scores and administrative unit counts by cluster

Factor	Cluster (case)		
	Areas at risk of accident occurrence and spread of damage (38)	Urban infrastructure damage hazardous areas (180)	Urban and environmental damage hazardous areas (11)
Urban development	-0.5276	0.0661	0.7401
High density hazardous facilities	1.7440	-0.3615	-0.1089
Superior green area distribution	-0.1027	-0.1965	3.5708

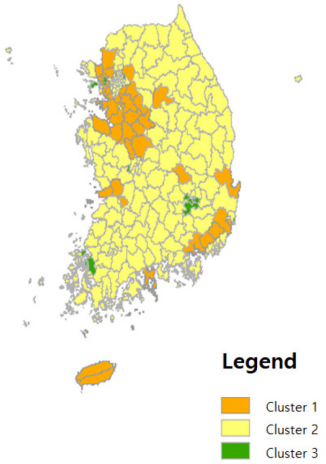

Fig. 2. Cluster distribution of potential damage from hazardous chemical accidents by administrative unit

도권과 강원도 등 180개의 시·군·구지역이 포함되어있다. 군집의 요인특성을 반영하여 2군집을 '도시 기반시설 피해 위험지역(urban infrastructure damage hazardous areas)'이라 명명한다. 마지막으로 3군집은 도시 개발 특성과 녹지분포가 타 군집보다 우수한 특성을 가진 군집으로 대구광역시와 인천광역시, 충청남도 계룡시 등 11개 지역이 포함된다. 마찬가지로 군집의 요인특성을 반영하여 3군집을 '도시 및 환경 피해 위험지역(urban and environmental damage hazardous areas)'이라 명명한다.

2.2. 군집의 특성 분석

군집으로 묶인 요인의 특성을 자세히 파악하고자 분산분석(ANOVA)을 실행하고 이를 Scheffe 검정을 통해 사후검정을 실시하였다. 분석결과 각 요인에 대한 F값은 Table 6과 같고, 그 유의확률은 모두 0.000 이하로 나타나 유의수준 0.01일 때 각 군집에 따른 3개의 요인들은 통계적으로 유의미한 차이를 가지는 것으로 나타났다.

또한 각 요인에 따른 군집분류에서 도시 개발특성 요인과 고밀 유해시설 특성 요인, 녹지분포 우수 특성 요인이 모두 2개의 군집관계에 유의미한 결과를 보였으며 이는 군집분류에서 변수의 기여도는 모두 같은 것을 의미한다.

Table 6. ANOVA scheffe test result

		n	M	SD	F	P	scheffe
Urban development	Areas at risk of accident occurrence and spread of damage[a]	38	-0.527	0.900			
	Urban infrastructure damage hazardous areas[b]	180	0.066	0.983	9.330	0.000	a<c
	Urban and environmental damage hazardous areas[b]	11	0.740	0.873			
High density hazardous facilities	Areas at risk of accident occurrence and spread of damage[a]	38	1.744	0.984			
	Urban infrastructure damage hazardous areas[b]	180	-0.362	0.519	177.288	0.000	a>b,c
	Urban and environmental damage hazardous areas[c]	11	-0.109	0.692			
Superior green area distribution	Areas at risk of accident occurrence and spread of damage[a]	38	-0.103	0.623			
	Urban infrastructure damage hazardous areas[b]	180	-0.197	0.342	207.501	0.000	c>a,b
	Urban and environmental damage hazardous areas[c]	11	3.571	2.123			

IV. 고 찰

기존에 수행되었던 국내 유해화학물질 배출과 관련된 선행연구는 입지적 특성에 대한 연구와 정책과 관련된 연구 등 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째로, 시설의 입지 특성에 관한 연구는 특정 사례 혹은 비정상적인 입지 사례와 관련된 연구가 주를 이룬다. 수도권 개별입지에 위치한 시설의 입지특성을 분석한 연구를[19] 예로 들 수 있으며 대부분 국지적이고 사례 중심의 연구이기 때문에 명확한 입지 요인을 밝히지 못하는 한계가 있다. 공간범위를 확대하여 화학물질 배출시설의 입지 특성을 밝히고자 한 연구도 수행되었으나, 변수의 다양성이 부족하여 입지 특성과 요인들을 충분히 밝히지 못한 한계점이 존재한다.[20]

둘째로, 유해화학물질과 관련된 정책연구는 대부분 저감방안 및 관리방안에 초점을 두고 있어 사고발생 피해 여파에 대한 대책이 부족하다.[21] 이처럼 유해화학물질 사고와 관련된 선행연구는 현재 활발히 진행되고 있으나 사고의 피해를 예측하고자 하는 연구는 미비하다. 이에 본 연구는 국내의 시·군·구를 대상으로 사회적·환경적 특성[22]에 따른 유해화학물질 사고피해 잠재성을 분석하였고 분석결과 도시의 유형별 유해화학물질 사고 피해 잠재성을 유형화할 수 있었다. 다음은 분석결과에 따른 가설의 검증 내용이다. 먼저 첫 번째 가설인 1) '도시의 특성은 크게 도시설비 부문, 자연 환경부문, 위험시설 부문으로 구분되고 이러한 요인은 화학물질 사고 피해 잠재성에 양의 영향을 미칠 것이다.'는 요인분석결과 크게 3가지 요인을 가진 것으로 확인되었다. 도출된 3개의 요인 중 도시지역면적 비율과 도로면적 비율 도시개발구역 면적 비율로 구성된 요인을 '도시개발 특성 요인'이라고 명명하였으며 건축물 비율과 인구 비율, 유해화학물질 배출시설 비율 등으로 구성된 요인을 '고밀 유해시설 특성 요인'이라고 명명하였다. 마지막으로 녹지면적 비율로 구성된 요인을 '녹지분포 우수 특성 요인'이라고 개념화하였다. 다음으로 추출된 요인을 활용하여 두 번째 가설인 2) '전국 229개 시·군·구는 화학물질 사고피해 잠재성에 따라 군집화되어 특성이 분류될 것이다.'을 검증하였다. 군집분석 결과 전국의 229개 시·군·구는 총 3가지 군집으로 구분되며 제1군집 '사고발생 및 피해확산 위험지역'은 고밀 유해시설 특성 요인이 높게 나타나는 사고 피해 잠재성이 높은 유형으로 나타났다. 특히 '사고발생 및 피해확산 위험지역' 군집의 고밀 유해시설 특성은 1.7440으로 2군집(−0.3615)와 3군집(−0.1089)보다 높게 측정됨을 알 수 있다. 이는 유해화학물질 배출 시설이 타 군집보다 높게 관측되고 건축물 및 인구의 밀도가 높아 사고 발생 시 큰 피해가 예측되는 지역임을 의미한다. 특히 기존 공장 등의 시설입지에 대한 연구에서 소규모 시설들이 군집하며 기반시설의 악화를 가져온다는 연구결과를 토대로 해석할 수 있다.[23] 이외에도 제2군집 '도시기반시설 피해 위험지역'은 도시개발 특성 요인이 다소 높게 나타나는 도시형태를 띠는 군집으로 모든 요인에 대하여 낮게 측정되나 도시 개발 특성이 0.0661로 1군집보다 높게 측정된다. 따라서 사고 피해 시 도시지역의 피해가 크게 나타날 수 있는 위험성을 내포하고 있다 사료된다. 마지막으로 제3군집 '도시 및 환경 피해 위험지역'은 자연환경이 우수하게 분포되어 있는 군집으로서 녹지분포 우수특성이 3개의 군집 중 가장 크게(3.5708) 관측되며 도시 개발특성 또한 높게(0.7401) 관측된다. 사고발생 시 주변식생의 피해가 타 군집보다 심각해질 위험성이 존재한다는 특성을 가진 것으로 나타났다. 위와 같은 분석 결과는 두 개의 가설이 모두 채택되었으며 화학물질 사고 피해 잠재성이 지역별로 구분되고 각기 다른 특성을 가지고 있음을 의미한다. 본 연구의 결과를 통해 향후 유해화학물질 사고 피해를 대비하는 것 뿐 아니라 지역 별 대응체계 수립방향에 의미 있는 시사점을 제공할 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 본 연구는 분석대상을 단순히 유해화학물질 배출시설로 한정하여 전국을 시·군·구 단위로 분석한 연구로서 두 가지 한계점이 존재한다. 첫째는 폭발이나 유출 등 다양한 특성을 지니고 있는 화학물질 사고의 유형과 그 피해 양상을 세분화하지 못한다는 것이다. 둘째는 넓은 공간단위와 실제 영향을 판단하고 측정할 수 있는 포괄적인 지표를 도입하지 못해 지역사회에 영향을 미치는 양상을 세밀히 파악하지 못한다는 한계점을 가지고 있다. 이러한 측면에서 향후 연구로서 화학사고 피해와 직접적으로 관련된 정량적 지표를 도입하여 도시의 특성 유형별 사고 피해 잠재성을 평가하는 연구가 수행되어야 한다. 또한, 화학 사고를 유형화하여 유형별 사고 발생에 따른 시나리오 및 대

응체계 방안마련을 제시하는 연구가 필요하다.

V. 결 론

국내에서는 여전히 지속적으로 크고 작은 화학사고가 발생하고 있으며, 국토 개발의 가속화 및 난개발 등 복합적인 이유로 점차 도시의 형태가 변화하고 있다. 이러한 도시의 형태변화는 사고 발생 후 잠재적 피해 가능성을 늘리고 있으며 국민의 안전과 삶의 질에 지대한 영향을 끼치게 된다. 하지만 기존의 화학사고 발생 대응 및 관련 안전관리 계획의 경우, 화학물질의 영향 및 노출에 초점이 맞추어져 있어 피해 수용체인 주민 및 생활환경에 대한 고려가 전무한 실정이다. 기존의 사후대응 위주의 대안들과 사고발생 원점 기준의 안전관리 대책에서 더 나아가 사고발생 인근 지역의 피해 최소화를 위한 대응 및 복구 관련 제도의 도입이 필요할 것으로 판단된다.

한편 본 연구는 기존의 화학사고와 관련된 정성적 논의에서 더 나아가 지역의 사회적·환경적 특성을 반영하여 사고 발생 후 야기되는 피해의 정도를 파악하고 대응하고자 유형을 분류하였다. 이는 지금까지의 사고원점과 대응 체계와 관련된 연구로부터 벗어나 지역사회의 사회적·환경적 특성을 반영한 사고 피해 잠재성을 분석해 봄으로써 피해지역 중심의 실증적 연구를 수행함에 그 의의가 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 화학사고 대응 환경기술 개발 사업에서 지원받았습니다(과제번호: 2019001970001).

References

1. Lee TH, Park JD, Lee SJ, Bang BS, Kim KP, Kim MS, et. al. Characteristics of chemical substance accident in Korea. *Korean Journal of Hazardous Materials.* 2015; 3(1): 37-41.
2. Lee SH. Analyzing the locational characteristics of hazardous chemicals discharge facilities in Korea from an environmental justice standpoint [dissertation]. [Cheongju]: Chungbuk National University; 2020.
3. National Institute of Chemical Safety Available: icis.me.go.kr/pageLink.do[accessed 24 October 2020].
4. Heinrich HW, Petersen D, Roos NR, Industrial accident prevention : a safety management approach, 5th ed. New York: McGraw-Hill Co; 1980.
5. Lee DJ, Lee TH, Chang HS. Study of the improvement of hazardous chemical management for chemical accident prevention. [dissertation]. [Incheon]: Incheon National University; 2017.
6. Chung HW, Kim JI. The spatial distribution of urban sprawl in metropolitan regions. *Journal of Korea Planning Association*. 2003; 38(5): 7-20.
7. Newstapa. Exclusive Access to the History of Chemical Accidents across the Country... 700,000 People Live 1km from the Accident. Available: https://newstapa.org/article/JOpWr. [accessed 5 October 2020].
8. Lee JY, Kim SS, Yang WH, Yoon JH, Ryu JS, Kim JK, et al. Investigation of the guidance levels for protecting populations from chemical exposure and the estimation of the level of concern using acute toxicity data. *J Environ Health Sci.* 2018; 44(1): 44-54.
9. Jeong IW, Ik ML, Hwang YW, Kim YW. A study on the minimization of residents' damage in case of chemical accident. *Korean Journal of Hazardous Materials.* 2018; 6(1): 142-150.
10. Yi CH, Lee SI. Analysis of single household areas and evaluation of their residential environment in seoul. *The Seoul Institute*. 2010; 11(2): 69-84.
11. Kim SY, Jo CH, Lee EG. Studies on the chemical accidents of Korea by the statistics and case review. *Korean Journal of Hazardous Materials*. 2017; 5(1): 50-58.
12. Park GS, Kim HS, Jeon BH. Analysis and suggestions on current chemical management in Korea. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*. 2017; 39(11): 650-654.
13. Cho MS, Yoon YS, Kim KJ, Park YS, Kwon YH, Chun KS, et al. Study on improved environmental impact assessment measures for chemical accidents. *Korean Journal of Hazardous Materials*. 2013; 1(2): 11-16.
14. Samuels P. Advice on exploratory factor analysis. *Birmingham City University Working Paper.* 2017; 1-8.
15. Park YB, Lee GM, Kang SJ. A Study of standard setting method using the cluster analysis and validity. *Journal of Educational Evaluation.* 2011; 24(3): 645-664.
16. Ro YH, Lee JW, Cho ES, Yoo CS. Hydrologic regionalization of basin using multivariate statisti-

cal analysis: A case study of Gyeonggi-do 30 districts. *J Korean Soc. Hazard Mitig.* 2017; 17(1): 287-300.
17. Lee HY. Research Methodology, 2nd ed. Seoul: Cheog-Ram Books; 2000. p.447-567.
18. Lim SH, Ha JA, Oh JS. Classification of national highway by factor analysis. *International Journal of Highway Engineering.* 2005; 7(3): 43-52.
19. Hwang SG, Lee SG, Park JI. Spatial-temporal pattern analysis of unplanned factory locations in the seoul metropolitan area using FEMIS data. *Journal of the Korean Regional Science Association.* 2018; 34(3): 21-34.
20. Lee SH, Ban YU, Back JI, Ko JK, Sim SE. A comparative analysis of socioeconomic characteristics of chemical substance emissions: From the viewpoint of environmental justice. *Crisisonomy.* 2018; 14(9): 133-144.
21. Im JY, Lee MJ, Kim HJ, Ryu JS, Yun DS, Jang YC, et al. A study on the emission change in reduction chemical substances in Korea. *J Environ Health Sci*. 2020; 46(2): 159-169.
22. Park TS, Yeo CG, Choi MH, Lee SO. Flood damage index regarding regional flood damage characteristics. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers.* 2010; 30(4); 361-366.
23. Hwang SG, Lee SG, Park JI. Spatial-temporal pattern analysis of unplanned factory locations in the seoul metropolitan area using FEMIS data. *Journal of the Korean Regional Science Association.* 2018; 34(3): 21-34.

<저자정보>

이승훈(대학원생), 유영은(대학원생), 김규리(대학원생), 백종인(박사후연구원), 김호현(교수), 반영운(교수)