

Chemical Accident Hazard Assessment Using Environmental Spatial Data and GIS

Seong Bong Heo^{1#}, Hang Nan Yu¹, Woo Sung Choi², Woo Kyun Lee^{1*}, Jong Ryeul Sohn³

¹ Department of Environmental Science & Ecological Engineering, University of Korea

² Department of Computer Science and Engineering, Korea University

³ Department of Health and Environmental Science, College of Health Science, Korea University, 13 Jongam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, Korea

Abstract

Chemical accident is one of the main obstacles for industrial development of South Korea. In order to prevent future accidents, it is necessary to estimate and predict the potential location of a chemical accident. This study first conducted a chemical hazard assessment using spatial analysis of chemical factory and accident data in Korea and then evaluated the hazard by environmental receptor. It is found that the human habitation area was found to have the highest chemical accident hazard (72%), compared to biotic and abiotic areas. In addition, among five receptors (human, forests, farmland, water resource, livestock), humans face the greatest threats (99.7% are at risk), followed by water resource, farmland, livestock farms and forests with 67%, 52%, 46.6% and 42% respectively. This study can help the relevant stakeholders and decision-makers in effective prevention of chemical accident and environmental management.

Key words: chemical accidents, land cover map, spatial analysis, GIS

1. 서론

지속발전과 국민의 안전을 가장 위협하는 환경오염 중 하나로 화학사고를 들 수 있다. 2015년 중국 텐진(Tianjin)의 화학공장 폭발사고, 2011년 일본 후쿠시마(Fukushima)의 원전사고, 그리고 1984년 인도 보팔(Bhopal) 참사로 볼 때 다른 환경오염들과는 다르게 화학사고는 매우 장시간동안 광범위한 지역을 오염시켜 국가적 인명피해, 재산손실, 국토유실 나아가 세대에

걸친 환경오염을 야기한다. 국내에서는 산업의 다양화 및 고도화에 따라 화학물질의 사용량은 꾸준히 증가 추세를 보이고 있으며 동시에 화학물질 사고 발생 또한 급증하였다(Suh, 2016). 유해화학물질 사고 사례집에 따르면, 2001년도 대비 2006년 유독물질 유통량은 21,159 천 톤에서 32,294 천 톤으로 52.6% 증가하였으며, 이와 관련된 사고 발생 건수는 26건에서 70건으로 169.23% 증가하였고(Ministry of Environment, 2007), 단순 사고 발생빈도의 증가와 더불어, 2012년 구미산업

The 1st author: Seong Bong Heo, Tel. 02-3290-3470, Fax. 02-3290-3470, e-mail. well1103@naver.com

* Corresponding author: Woo Kyun Lee, Tel. 02-3290-3016, e-mail. leewk@korea.ac.kr

단지의 불산 누출사고와 같이 인명, 재산, 환경에 피해를 야기한 중대 사고들의 발생으로 화학물질 관리의 중요성과 사고 발생 위험에 대한 우려가 증가하고 있다.

효과적인 화학물질 관리를 통한 사고피해 감축과 사고 발생 저감을 위해 2015년부터는 유해화학물질관리법을 개선하여 화학물질관리법(화관법) 과 화학물질평가법(화평법) 을 제정하였다. 뿐만 아니라 장외영향평가 제도, 영업허가제 신설, 화학사고 발생 시 즉시 신고 의무, 특별 관리지역 지정과 같은 세부내용을 통해 화학사고에 대비 대응 체계를 강화하였다 (Jo, 2016). 정부의 노력에 발 맞춰 학계에서도 화학물질 사고의 분류 체계 구축(Jang, *et. al.*, 2009), 위성영상 정보를 활용한 화학사고 영향범위 산정(Yu, *et. al.*, 2016), 시나리오를 이용한 누출 피해 모델링(Im, 2002), 국내외 제도 분석(Yoon, *et. al.*, 2007; Yoo, *et. al.*, 2013)등이 수행 되었으나 사고 발생 우려가 있는 물질 선정, 화학물질 사고 위험지역 파악과 같은 사고 방지에 대한 연구는 부족한 실정이다(Kim, *et. al.*, 2016).

본 연구는 크게 2가지의 부분으로 이루어 졌으며, 첫 번째 공간분석을 통한 화학사고 위험성 예측, 두 번째 토지피복도 및 공간자료를 활용한 화학사고 위험성 평가 및 위험지도 도출로 나뉜다.

II. 연구자료 및 방법

1. 공간분석을 통한 화학사고 위험성 예측

공간분석에 활용된 자료는 두 가지로서 화학공장과 화학사고 이력자료이다. 화학공장 자료는 환경부의 ‘화학사고 대응 환경기술개발사업’에 참여하여 연구의 목적으로 제공받아 사용하였고 국내 공장의 주소와 업체명을 속성 값으로 가지고 있다. 공장자료에 중복업체를 제외한 뒤 총 9,520개의 화학공장 정보를 최종적으로 선택하였다. 화학물질 사고이력 자료는 환경부 산하의 화학물질안전원에서 운영하는 화학안전정보 공유 시스템에서 2003년부터 2015년 까지 12년간 발생한 426건의 화학사고물질사고 이력 데이터를 제공받아 사용하였다. 화학공장과 화학사고 이력자료는 지번주소 기반 Text 형태를 가지고 있어 공간분석이 불가능하여 Geo-coding을 실시, 좌표체계를 입력하여 점(Point) 데이터로 공간자료(Spatial Data)를 구축하였다(Figure 1)).

점 데이터의 특성은 크게 1차 특성과 2차 특성으로 나눌 수 있는데 1차 특성은 단위 면적당 일어나는 사건의 평균을 측정하는 밀도에 관한 것 이며 2차 특성은 점과 점 사이의 거리로 측정한 공간의존성(Spatial dependence)과 공간자기상관성(Spatial autocorrelation)이다(Kim, 2003; Schabenberger & Gotway, 2005). 두 가지의 특성을 동시에 고려하고 부족한 데이터를 보완하기 위

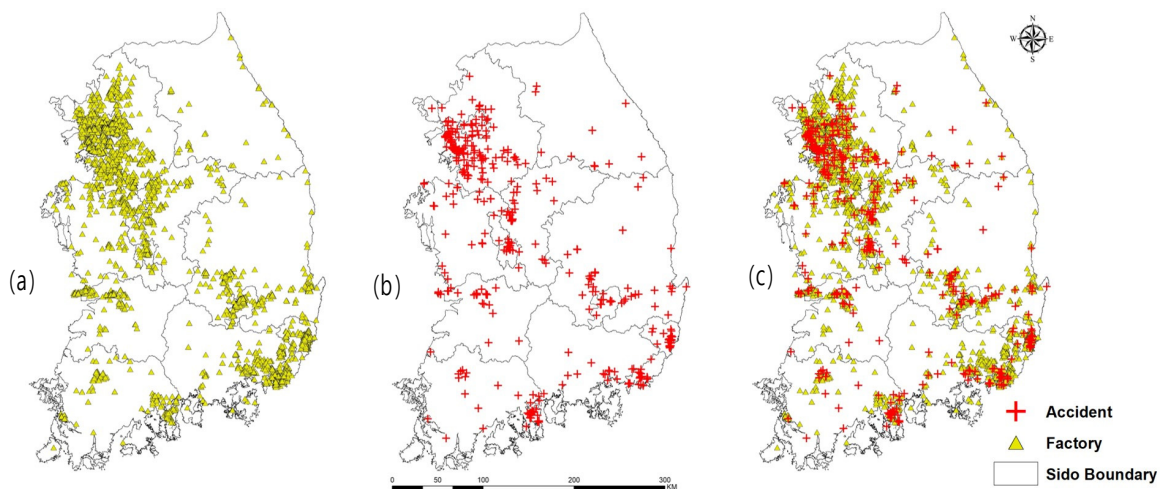


Figure 1. Spatial distribution of chemical factories and accidents in South Korea; (a) Chemical factory, (b) Chemical accident, (c) both

해 5 km × 5 km 크기의 공간격자(Grid)를 생성하여 격자 안의 화학공장과 사고의 수를 속성 값으로 사용하고 반베리오그램(Semi-variogram)을 통해 화학공장과 화학사고 각각의 공간자기상관성을 분석하였다.

반베리오그램은 실험적 베리오그램(Experimental variogram) 이론적 베리오그램(Theoretical variogram)으로 나누어 수행되며, 실험적 베리오그램은 분리거리(Lag distance)에 따른 분산(Variance) 값을 이용하여 일정한 거리 내에 있는 자료들 간의 유사성을 측정하며 그 계산식은 <Eq 1>과 같다. 실험적 베리오그램을 계산하여 거리와 베리오그램의 공간적 상관관계를 규명한 후, 실험적 베리오그램이 나타내는 자료의 공간자기상관성을 이상적으로 표현하는 이론적 베리오그램 모델을 결정해야 하며(Woo, *et. al.*, 2008) 본 연구에서는 데이터 분포가 지수함수적 성장 커브를 따라 Exponential 모델을 선택하였다(<Eq 2>).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(\mu_a + h) - z(\mu_a)]^2 \quad (1)$$

μ_a 는 화학 공장의 공간적 위치와 경도 및 위도로 변환 된 사고를 나타내고 $z(\mu_a)$ 는 μ_a 에 위치한 데이터의 속성 값이며, 본 연구에서 속성 값은 그리드에 포함 된 화학 공장 및 사고의 수이다. $z(\mu_a + h)$ 는 μ_a 에서 떨어진 속성 값이며 h 는 거리를 나타내며 n 는 lag size에서의 포인트 수를 나타낸다.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-\frac{3h}{a})], h \geq 0 \quad (2)$$

여기서 C_0 는 nugget 이고, $C_0 + C_1$ 는 sill 값을 나타낸다. h 는 실험 관측 간의 거리이며, a 는 공간 의존성 범위이다.

화학공장과 사고이력에 대한 반베리오그램 분석 결과와 내삽(Interpolation)기법 중 하나인 크리깅(Kriging)을 통하여 위해성을 예측하였다. 크리깅은 이미 값을 알

고 있는 주위 값들의 선형조합으로 미지의 지역의 값을 예측하는 지구통계적 기법이다. 본 연구에서는 추정 값이 편향되지 않으면서 오차분산을 최소화 하는 것으로 알려진 정규크리깅(Ordinary Kriging) 기법을 사용하였다(Woo, *et. al.*, 2008). 정규크리깅은 <Eq 3>과 같은 기지 값의 선형 조합으로 미지의 값을 추정하며 오차 분산값을 최소화하는 가중치를 위해 추정 분산을 최소화하며, 추정의 불편향 조건을 만족하도록 결정하기 위해 <Eq 4>와 같은 크리깅 방정식을 사용한다(Kim, *et. al.*, 2011; Goovaerts, 1997). 반베리오그램과 크리깅의 결과물로 우리나라 화학공장의 공간분포에 따른 위해성 지도와 화학공장 발생분포에 따른 위해지도를 도출하였다. 또한, 격자 내 화학공장과 화학사고 수가 기하급수 적으로 증가하는 것에 기반하여 위해도를 geometrical inveral 기법을 이용하여 등급화 하였다.

$$Z_{OK}^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{OK} z(u_{\alpha}) \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{B=1}^{n(\mu)} \lambda_B^{OK} \lambda_B^{OK}(\mu) = \gamma(\mu_a - \mu_{\beta}) - \mu_{OK}(\mu) \\ = \gamma(\mu_a - \mu) a = 1, \dots, n(\mu) \\ \sum_{B=1}^{n(u)} \lambda_B^{OK}(\mu) = 1 \end{array} \right\} \quad (4)$$

<Eq 4> 중, $\mu_{OK}(\mu)$ 와 $\gamma(\mu_a - \mu_{\beta})$ 는 각각 Lagrangian 파라미터와 두 포인트 사이거리의 베리오그램 값이다. 크리깅 추정치 $Z_{OK}^*(u)$ 는 정규크리깅(<Eq 4>)으로부터 산출 된다

2. 수용체 별 공간 주제도 구축

수용체 별 위해지도를 도출하기 위해서는 수용체 지표들이 지도 상에 반영되어야 한다. 이를 반영하고자 환경부에서 제작한 중분류 토지피복도를 공간자료로 활용하였다. 중분류 토지피복을 수용체 중심으로 판단하기 위해 인간활동 지역(Human activity area), 식생(vegetated area), 비식생(Non-vegetated area)으로 재분류하였다(<Tabel 1>).

Table 1. Classification table by each receptor

Human activity area	Vegetated area	Non-vegetated area
Residential area Traffic area Commercial area Industrial area Recreation area Public area	Green house Rice paddy farm land Grassland Orchard	Bare land Water

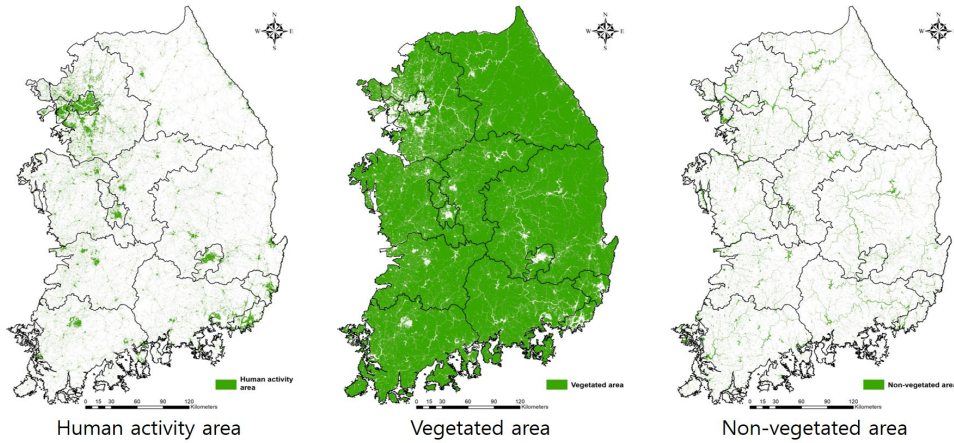


Figure 2. Categorized receptors (Human activity area, vegetated area and Non-vegetated area) based on land cover map

〈Table 1〉에 따라 토지피복을 재분류하여 각 수용체 별 주제도를 〈Figure 2〉와 같이 구축하였다. 또한, 화학사고가 특정 매체에 주는 영향을 살펴보기

위하여 환경 수용체를 인구 (집계구 인구), 산림, 농경지, 내륙수, 가축장 등 5개 주제도로 세분화하여 구축하였다(〈Figure 3〉).

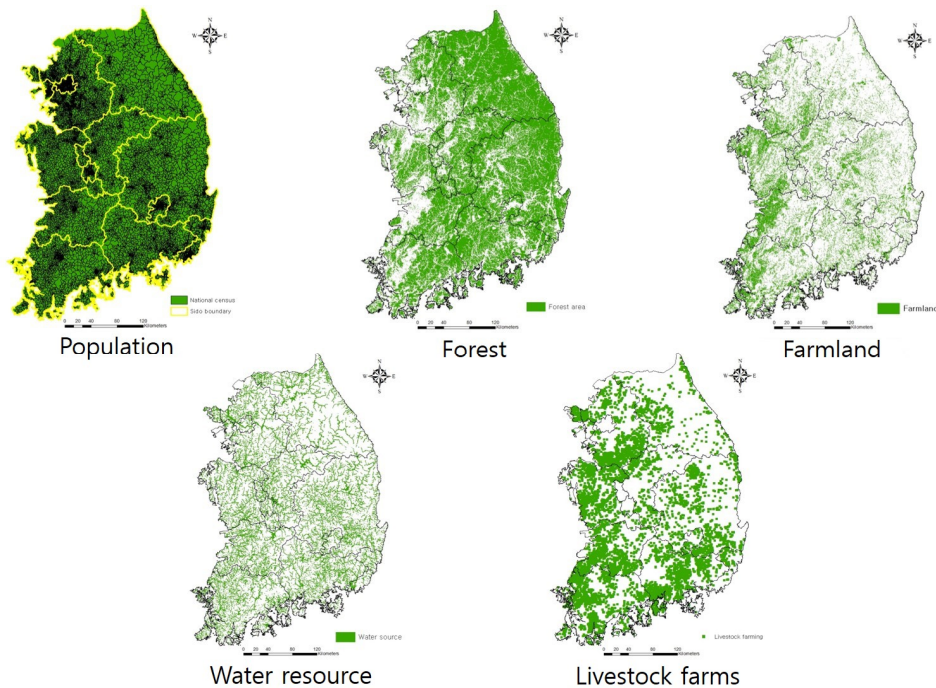


Figure 3. Five detailed receptors (population, forest, cropland, water resource, livestock farming) based on land cover map and national census

III. 결과

1. 국가단위 화학사고 위해성 평가

국가단위의 화학사고 위해성평가를 위해 먼저 화학 공장 및 사고이력을 공간화하고 이후 공간분석의 기법인 반 베리오그램과 크리깅을 통해 우리나라의 국가단위의 화학사고 위해성 지도를 도출하였다. 그 결과 화학공장과 사고의 분포는 공간적으로 유사성이 있으나(화학공장과 화학사고의 range는 각각 12.1km와 7.53km로 나타남) 화학공장이 더 넓게 분포하며 화학사고의 경우 이동 중 발생한 사고에 영향으로 공장이

없는 지역에서 위험이 예측되기도 하였다(〈Figure 3 (b)〉). 두 위해성 지도를 하나로 병합한 전국단위 화학사고 위해성 지도에서 수도권, 대전, 울산, 여수, 부산, 대구와 같은 대도시에서 위해성이 높게 예측되었다(〈Figure 4 (c)〉). 이는 Heo, *et. al.*(2018)의 분석한 결과와 비슷하다.

환경부의 중분류 토지피복도와 공간자료를 활용하여 도출한 인간 활동지역, 생물, 무생물 수용체 주제도를 전국단위 화학사고 위해성 지도와 중첩한 결과 화학사고 위해지도 등급별 수용체 잠재 피해에서 인간 활동 지역이 72%(1, 2, 3등급의 합)로 가장 높게 나타났고 그

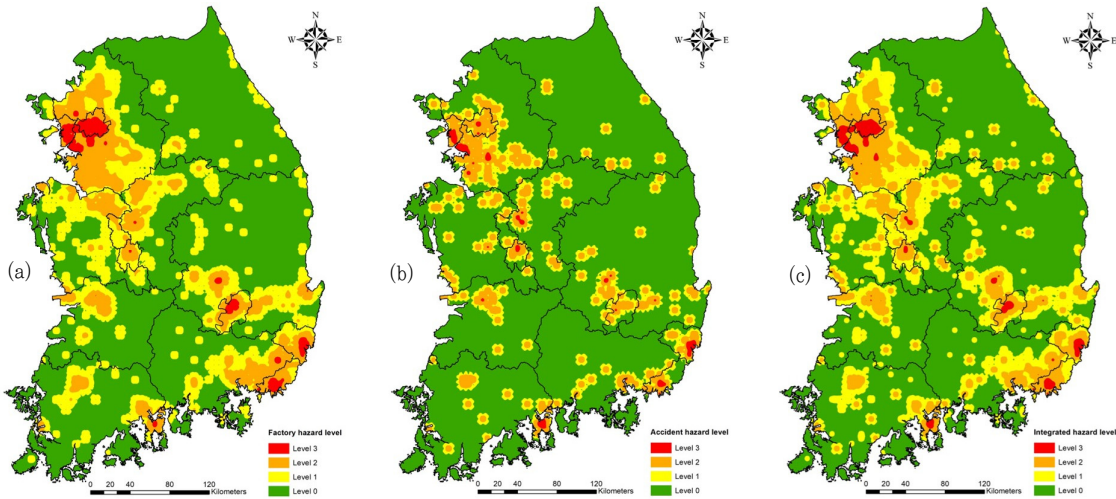


Figure 4. Estimated chemical hazard from chemical factories and accidents in South Korea; (a) Chemical factory, (b) Chemical accident, (c) Estimated hazard map of South Korea

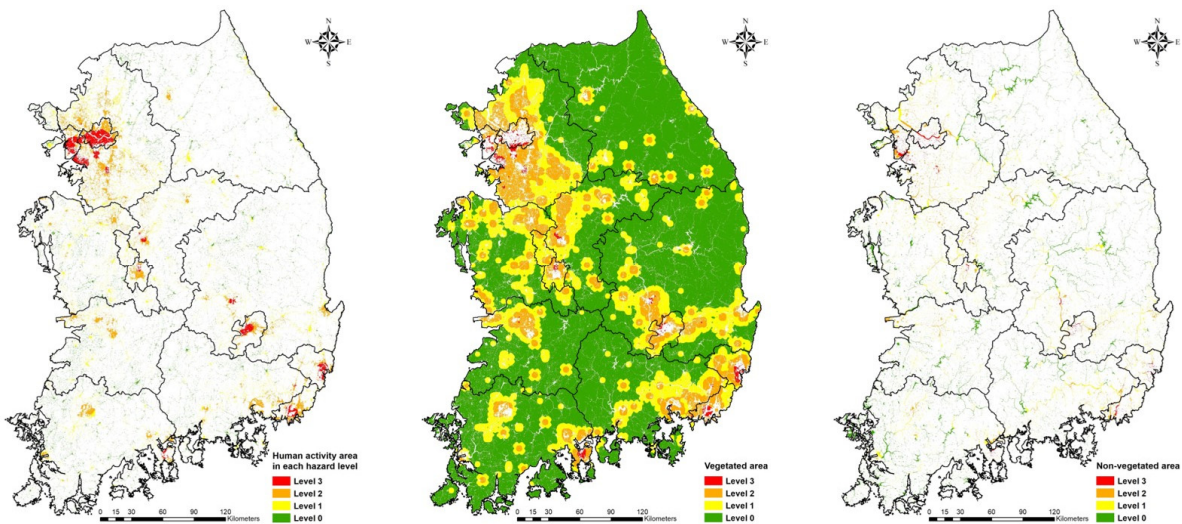


Figure 5. Hazard of chemical accident to each receptor; form left to right: Human activity area, vegetated area, and Non-vegetated area.

Table 2. Receptors under each hazard level based on chemical accident hazard map

Hazard level	Human activity area	Human activity area (%)	Vegetated area (KM ²)	Vegetated area (%)	Non-vegetated area (KM ²)	Non-vegetated area (%)
0	1690.95	28.0%	58047.67	67.5%	2497.67	52.9%
1	1397.78	23.1%	18185.49	21.1%	1157.89	24.5%
2	2207.19	36.5%	9377.49	10.9%	916.08	19.4%
3	748.66	12.4%	437.56	0.5%	151.29	3.2%
Total	6044.58	100%	86048.22	100%	4722.94	100%

다음으로 무생물이 47.1%로 높게 나타났다(Figure 5), (Table 2)). 화학사고 영향을 받지 않는 수용체(0등급)로 생물이 67.5%로 가장 높게 나타났고 잠재 피해에 있어서는 생물과 무생물의 경우 화학사고 위해도 1등급에서 가장 많은 부분을 차지한 반면 인간 활동지역의 경우 위해도 2등급에서 가장 많았다.

다음, 상세 수용체 주제도(인구, 산림, 수자원, 농경지, 가축사육장)들의 위해도를 살펴본 결과(Figure 6), (Table 3)), 화학사고 위해를 받는 인구는 총 99.7%

로 수용체들 중 가장 높은 비율을 보였는데 이는 인구가 밀집 되어 있는 대도시 지역에 화학공장이 밀집되어 위해도가 높은 것으로 판단된다. 다음으로 수자원이 받은 화학사고 위해가 67%로 높게 나타났고, 농경지, 가축사육장, 산림이 각각 52%, 46.6%, 42%로 뒤를 이었다. 인구를 제외한 다른 수용체들은 위해도등급이 높아지면서 비율이 낮아지는 것으로 나타났는데 이는 화학공장이 밀집된 도시로부터 멀리 떨어졌기 때문이다.

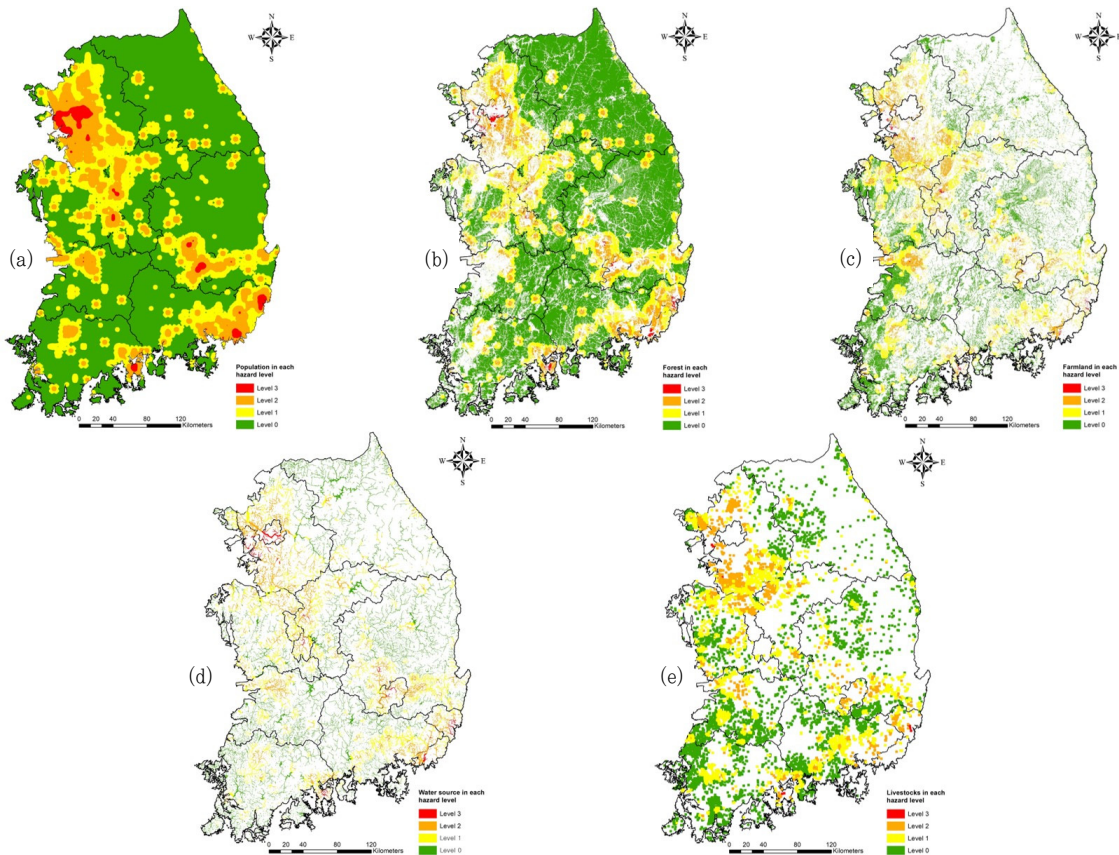


Figure 6. Hazard of chemical accident to each receptor; (a) Population (b) Forest (c) Farmland (d) Water resource (e) Livestock farming

Table 3. Receptors under each hazard level based on chemical accident map

Hazard level	Population	Population (%)	Forest (KM ²)	Forest (%)	Farmland (KM ²)	Farmland (%)
0	158,578	0.3%	35857.75	58%	11130.37	48%
1	7,192,725	15.4%	17,883.19	29%	7,619.23	33%
2	25,729,516	55.0%	7,663.98	12%	4,192.86	18%
3	13,672,231	29.2%	422.16	1%	160.20	1%
Total	46,753,050	100%	61,827.08	100%	23,102.66	100%

Hazard level	Water resource (KM ²)	Water resource (%)	Livestock farms	Livestock farms (%)
0	719.72	33%	5,834	53.4%
1	868.61	40%	3,250	29.7%
2	527.75	24%	1,839	16.8%
3	68.3	3%	12	0.1%
Total	2184.38	100%	10,935	100%

IV. 고찰

1. 화학사고 위해지도 개발의 필요성

국외에서 개발된 EEGL(Emergency Exposure Guidance Level), ERPG(Emergency Response Planning Guidelines), Dow Chemical Exposure Index들은 모두 사고 이후 발생하는 화학물질의 노출에 대한 수용체의 피해를 정량화 할 수 있다(Brock, 1999; Etowa, *et. al.*, 2002; Lewis, *et. al.*, 1990). 하지만 이러한 지수들은 사고 발생 이후 노출된 화학물질에 대한 위해성에 따라 수용체의 피해를 산정하는 방법으로서 사고 이전에 위해지역을 파악하고 미연에 방지하는 노력은 부족한 것으로 나타났다. 국내에서는 국가 산업단지 내 공장에서 발생하는 화학물질 배출량을 통해 관리 우선순위를 연구하기도 하였다(Kim, *et. al.*, 2016). 하지만 배출되는 화학물질의 위해성만을 고려하여 피해를 받는 수용체는 고려하지 못하였다. 본 연구에서 고안된 화학사고 위해지도 제작방법은 추후 환경 수용체에 관한 화학사고 위해지수가 개발된다면 이를 적용하여 더 정확한 위해지도를 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

2. 안전사회를 위한 환경공간정보 개방의 중요성

본 연구에서 화학사고의 위해성을 평가하기 위해 사

용한 토지피복도는 환경부에서 제공받은 것으로 환경공간정보 서비스에서 신청하여 누구나 사용할 수 있다. 현재까지 중분류 토지피복도는 전국에 걸쳐 제공되고 있으나 세분류 토지피복도는 최근 개발된 2015년 대전, 세종, 충남권역과 2016년 전북권역을 포함하여 국토의 대부분에 대한 개발이 완료 되었으나 아쉽게도 강원도와 전라남도 권역의 세분류 토지피복도는 개발되지 않았거나 제공되고 있지 않고 있다. 중분류 토지피복도로 전국단위의 화학사고 위해성 평가를 할 수 있었으나 좁은 지역에 대해 세밀한 위해성 평가를 할 때에는 수용체에 대해 정확한 평가가 가능한 세분류 토지피복도가 필수적인 것으로 사료된다. 토지피복도 뿐만 아니라 화학안전정보공유시스템 및 기타 공간자료로부터 화학사고와 화학공장의 위치정보를 제공받아 사용할 수 있었다. 하지만 안전상의 문제로 화학공장별 취급하는 물질과 그 물질에 양에 대한 정보는 획득 할 수 없었다. 추후 연구의 목적으로 공장에서 발생한 피해 또는 취급물질의 독성과 그 양으로 위해성을 평가한다면 더 정확한 위험지도를 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 단순 화학공장 및 사고자료를 가공하여 공

간자료화하고 이를 공간분석을 통해 화학사고의 위해성을 평가하였다. 이후 환경공간자료의 하나인 중분류 토지피복도와 기타 공간 자료를 이용하여 3가지 포괄적인 환경 수용체와 5가지 상세 수용체 주제도를 구축하였고 각각의 화학사고 위해성을 살펴보았다. 그 결과 수도권, 울산과 같은 대도시에서 화학사고 위해성이 높게 나타났고 환경 수용체 생물을 제외한 기타 수용체들 모두 40%이상의 잠재위해를 받는 것으로 나타났다. 하지만 화학물질에 대한 독성 파악 및 공장이 보유하고 있는 물질량 등에 관한 정보가 미비한 관계로 보다 신뢰성 있는 위해도도 작성에 한계가 있었다. 본 연구는 화학사고 위협정보를 좀 더 정확하고 신속히 전파하여 화학사고를 사전 예방하는 환경관리에 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 환경부의 ‘화학사고대응환경기술개발사업’(과제번호: 2015001950001)의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

References

- Brock, W. J. 1999. Hydrogen Fluoride: How Toxic Is Toxic(A Hazard and Risk Analysis). *Halon Options Technical Working Conference*. pp. 559-566.
- Etowa, C. B., P. R. Amyotte, M. J. Pegg, and F. I. Khan. 2002. Quantification of Inherent Safety Aspects of the Dow Indices. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 15(6): 477-487.
- Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press. New York. pp. 28.
- Im, Cha Soon. 2002. Accident Response Scenario Generation System in Chemical Plants Using Real-time Meteorological Information. Master's Thesis. Kwangwoon University.
- Jang, Nam Jin, Kyu Sang Han, So Won, Jong Won Yong, Yoon Yi, and En Sup Yoon. 2009. A Study on the Classification Codes and Database of Chemical Accidents. The Korean Institute of Gas Proceedings. 2009(4): 63-67.
- Jo, Yong Min. 2016. Environmental Legislation for Safe Management of Harmful Chemicals. *Prospective of Industrial Chemistry*. 19(2): 74-77.
- Kim, Guang Gu. 2003. Detecting Spatial Autocorrelation and Using Spatial Regression. *Korean Journal of Policy Analysis and Evaluation*. 13(1): 273-306.
- Kim, Moon Il, Han Bin Kwak, Woo Kyun Lee, Myong Soo Won, and Kyong Sang Koo. 2011. Study on Regional Spatial Autocorrelation of Forest Fire Occurrence in Korea. *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System*. 19(2): 29-37
- Kim, Seong Joon, Hye Ok Kwon, Yu Sik Huang, and Sung Deuk Choi. 2016. Selection of Priority Chemicals and Areas for the Response to Chemical Accidents in National Industrial Complexes. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*. 19(1): 24-35.
- Lewis, S. C., J. R. Lynch, and A. I. Nikiforov. 1990. A New Approach to Deriving Community Exposure Guidelines from “no-observed-adverse-effect levels”, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 11(3): 314-330.
- Ministry of Environment, National Institute of Environmental Research. 2007. Hazardous Material Accident Casebook. Korea Government. Seoul.
- Schabenberger, O. and C. A. Gotway. 2005. Statistical Methods for Spatial Data Analysis. *Chapman and Hall/CRC*. Boca Raton.
- Suh, Yang Won, So Yoon Kwak, and Jin San Kim. 2016. A Study of Exploring and Selecting Estimation Methodologies for Costs of Chemical Accidents: Focusing on Estimating Costs of Human Health and Ecosystem Damages. Research Report of Korea Environment Institute. 2016(4): 1-105.
- Woo, Kwang Sung, Jin Hwan Park, and Hui Jeong Lee. 2008. Sensitivity Analysis of Ordinary Kriging Interpolation According to Different Variogram Models. *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*. 21(3): 295-304.
- Yoo, Byung Tae, Jae Mo Yang, and Keum Ho Oh. 2013. Trend Analysis and Activating Study on International Societal

- Security Standard for Chemical Accidents Prevention. *Korean Society of Societal Security*. 6(2): 9-14
- Yoon, Yi, Hee Sun Yang, Chun Hwa Park, Sung Il Shin, Mun Sik Cho, Sung Bum Kim, Yeon Shin Park and Mun Soon Lee. 2007. Current Status and Major Policies for Chemical Accidents Response of MOE. *Crisisonomy*. 3(2): 18-29.
- Yu, H., J. Y. Lee, W. K. Lee, G. Cui, J. K. Cho, G. Wei, and L. Li. 2016. Application of CASI Hyperspectral Image to Analysis of the Distribution of Hydrogen-Fluoride-Damaged Vegetation in Gumi, Korea. *Photonirvachak(Journal of the Indian Society of Remote Sensing)*. 45(2): 317-326.
- Korean References Translated from the English*
- 국립환경과학원. 2007. 화학물질 사고사례집.
- 김광구. 2003. 공간자기상과의(spatial autocorrelation) 탐색과 공간회귀분석(spatial regression)의 활용. *한국정책분석평가학회*. 13(1): 273-306.
- 김문일, 곽한빈, 이우균, 원명수, 구교상. 2011. 우리나라 산불 발생의 지역별 공간자기상관성에 관한 연구. *한국지형공강정보학회지*. 9(2): 29-37
- 김성준, 권혜옥, 황유식, 최성득. 2016. 국가산업단지 화학사고 대비를 위한 우선순위 화학물질과 관리지역 선정. *한국환경분석학회지*. 19(1): 24-35.
- 서양원, 곽소윤, 김진산. 2016. 화학사고 경제적 손실 추정을 위한 방법론 진단 및 선정 방안 연구: 인적·생태적 피해액 추정을 중심으로. *수시연구보고서*. 2016(4): 1-105.
- 우광성, 박진환, 이희정. 2008. 베리오그램 모델 변화에 따른 정규 크리깅 보간법의 민감도분석. *한국전산구조공학회 논문집*. 21(3): 295-304.
- 유병태, 양재모, 오금호. 2013. 화학사고 예방을 위한 재난안전 분야 국제표준 동향분석 및 활성화 연구. *한국방재안전학회 논문집*. 6(2): 9-14.
- 윤이, 양희선, 박춘화, 신성일, 조문식, 김성범, 박연신, 이문순. 2007. 환경부의 화학사고 대응 현황 및 주요정책. *Crisisonomy*. 3(2): 18-29.
- 임차순. 2002. 실시간 기상정보를 이용한 화학공장에서의 사고 대응시나리오 생성 시스템. *광운대학교 석사학위논문*.
- 장남진, 한규상, 소원, 용종원, 윤이, 윤인섭. 2009. 화학사고 분류 체계 및 데이터베이스 구축에 관한 연구. *한국가스학회. 춘계학술발표회*. 2009(4): 63-67.
- 조영민. 2016. 화학물질 안전관리에 관한 환경법령. *공업화학전망*. 19(2): 74-77.

Received: Jun. 1, 2018 / Revised: Jun. 28, 2018 / Accepted: Jun. 29, 2018

환경공간정보 및 지리정보시스템을 활용한 화학사고 위해성평가

국문초록 화학사고 지속발전과 국민의 안전을 가장 위협하는 환경오염 중 하나로 한국의 산업발전에 큰 걸림돌로 작용 할 수 있다. 때문에 향후 화학사고 방지를 위하여 사고 이전에 위해지역사전에 예방 및 대응하는 연구가 필요하다. 본 연구는 9,520개의 화학공장 및 12년간 발생한 426건의 사고 자료를 활용하여 공간분석을 통한 화학사고 위해성평가를 실행하였고, 이를 기반으로 환경 수용체 별 위해도를 살펴 보았다. 분석 결과 본 연구에서 포괄적으로 분류하여 사용한 인간 활동지역, 생물, 무생물 주제도 중 인간 활동지역이 72%로 가장 높은 화학사고 위해도를 보였다. 추가로 제작 된 5가지 상세 수용체(인간, 산림, 농경지, 수자원, 가축) 중, 화학사고로 인한 인간이 받는 피해가 99.7%로 가장 높았고 다음으로 수자원, 농경지, 가축사육장, 산림이 각각 67%, 52%, 46.6%, 42%의 잠재 위험을 받는 것으로 나타났다. 본 연구는 이후 화학사고의 사전 예방과 환경관리에 도움이 될 것으로 사료 된다.

주제어 : 화학사고, 토지피복도, 공간분석, GIS

Profiles **Seong Bong Heo** : He received his B.S. from University of Illinois at Urbana Champaign, and M.S. from Korea University (well1103@naver.com).

Hang Nan Yu : He received his B.S. from Yanbian University and M.S. from Korea University. Now, he is a Ph.D student at Korea University(willpower0129@gmail.com).

Woo Sung Choi : He received his B.S. from Korea University, and he is a Ph.D student at Korea University(ws_choi@korea.ac.kr).

Woo Kyun Lee : He received his B.S. and M.S. from Korea University, and Ph.D. from Goettingen University. He is a Professor of the Department of Environmental Science & Ecological Engineering at Korea University(leewk@korea.ac.kr).

Jong Ryeul Sohn : He received his B.S. and M.S. from Hanyang University, and Ph.D. from Chunbuk National University. He is a Professor of the Department of Health and Environmental Science at Korea University(sohn1956@korea.ac.kr).