Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 21(1) 2018, pp. 71-82 ISSN 1226-9719(Print)On
https://doi.org/10.11108/kagis.2018.21.1.071 ISSN 2287-6952(Online)

GIS 기법을 활용한 화학사고 대피시설의 적정성 분석*
- 울산광역시를 대상으로 -

송봉근[1] · 이태욱[1] · 김현주[1] · 김태훈[1※]

An Analysis on the Appropriation of Chemical Accident Evacuation Facility Using GIS*
- focused on Ulsan metropolitan city -

Bong-Geun SONG[1] · Tae-Wook LEE[1] · Hyun-Ju KIM[1] · Tai-Hoon KIM[1]

요 약

본 연구는 울산광역시를 대상으로 화학사고에 대비한 대피시설 위치의 적정성을 분석하여 피해 최소화를 위한 방안을 연구하였다. 연구방법은 화학물질 배출 및 이용량 자료와 인구센서스 집계구 자료, 대피시설 위치정보 등을 활용하여 화학사고 위험성 평가와 대피시설의 접근성을 분석하였다. 이를 통해 대피시설 위치의 적정성을 도출하였다. 화학사고 위험성은 석유화학공장과 인구가 밀집된 석유화학공단지역 인근 5km 이내에서 높았다. 대피시설은 대부분 화학사고 위험지역에 분포하고 있으나, 석유화학공장 인근지역에서 대피시설의 접근성이 취약한 것으로 나타났다. 따라서 우선적으로 화학사고 예방을 위해 노후화된 공장시설의 안전점검도 필요하지만, 대피시설의 수용인원, 규모 등을 고려하여 보다 효과적인 대피방안을 마련해야 될 것이다.

주요어 : 화학사고, 지리정보시스템, 대피시설, 화학물질 배출 및 이동량

ABSTRACT

The purpose of this study is to minimize damage of chemical accidents through the appropriation analysis of evacuation facility position focused on Ulsan metropolitan city. For analysis, informations such as pollutant release and transfer registers(PRTR), population census, and evacuation facilities were used. After then, damage assessment of

2018년 02월 11일 접수 Received on February 11, 2018 / 2018년 03월 12일 수정 Revised on March 12, 2018 / 2018년 3월 13일 심사완료 Accepted on March 13, 2018

* 본 연구는 국민안전처 국민안전확보기술개발 사업인 '과학적 재난원인조사 기반 기술과제(NDMI-주요-2016-01)' 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

1 국립재난안전연구원 재난원인조사실 Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Research Institute.

※ Corresponding Author E-mail : ddahoon@korea.kr

chemical accidents, accessibility and appropriation of evacuation facilities were analyzed. Damage of chemical accidents is high in around 5km of industrial complex there is dense of chemical facility and population. Evacuation facilities were mainly situated in hazard area of chemical accidents, but accessibility of evacuation facilities was vulnerable in chemical plant neighborhood. Therefore, safety check of deteriorated plants is important for prevention of chemical accidents. Also, effective evacuation plan considering capacity and scale of evacuation facilities will be established.

KEYWORDS : Chemical Accident, GIS, Evacuation Facility, PRTR

서 론

최근 유해화학물질의 화재, 폭발과 관련된 화학사고가 지속적으로 이어지고 있다. 여수 산업단지 염화수소 누출사고(2005년), 구미 불산누출사고(2012년), 울산 에스오일 폭발사고(2016년), 석유공사 울산지사 배관공사 폭발사고(2016년), 구미 스타케미컬 폭발사고(2016년) 등이 대표적이라 할 수 있으며, 2002년 이후 매년 1,000여건 이상 꾸준히 발생하고 있다(Jeong and Baik, 2014). 이와 같은 화학사고는 시설의 노후화, 작업자 안전관리규정 및 절차 미준수 등이 원인으로 작용하고 있다(You and Chung, 2014).

화학사고는 시설의 교체 등 작업 시 작업자의 과실, 시설 결함·노후화, 자연재해, 운송사고 등으로 인하여 화학물질이 사람이나 환경에 유출 및 누출되어 발생하는 일체의 상황으로 정의하고 있다(Ministry of Environment, Lee *et al*, 2016). 화학사고는 발생 규모와 피해정도가 상당히 크기 때문에 그 피해 또한 매우 치명적일 수 있어 화학사고에 대비한 많은 노력이 필요하다.

현재 많은 선행연구에서 화학사고에 대한 연구들이 진행되고 있다. You and Chung(2014)은 2008년~2014년 기간 동안 유해화학물질 사고사례의 분석을 통해 유해화학물질의 문제점 및 대처방안에 대해 조사하였으며, 유해화학물질의 안전관리 미흡에 의한 원인이 크게 작용하는 것으로 나타났다. Bang *et al.*(2017)은 화학사고의 통합적인 평가를 위해 화학물질-사고형태-피해유형-인체피해의 인과관계로 구성된 decision tree를 작성하였고, 누출사고가 화학사고의 대부분을 차지하는 것으로 분석되었다. Jeong and Baik(2014)은 유해화학물질 취급작업장에서 발생되는 누출 및 화학사고의 주요 원인에 대한 안전관리 실태와 관련 제도의 기준 등 취득 및 관리상의 문제점을 분석하였고, 사고예방과 초기 대응을 위한 제도 및 안전관리 개선방안을 제시하였다. Jung and Lee(2016)은 화학물질 누출사고의 피해 최소화 대책 확보를 위해 사고 발생 초기에 파악 가능한 모든 정보를 바탕으로 Consequence Analysis를 수행하고 이를 통해 비상대응계획 수립의 가이드라인 활용 가능성 여부를 파악하였다. Lee and Choi(2015)은 지속적으로 발생하고 있는 화학사고에 있어 현재 재난관리체계의 문제점과 화학사고에 대한 재난관리 실패의 구조적 원인 및 사고 대응의 문제점 등을 도출하여 화학사고 대응체계 개선방안을 제시하였다. Oak and Lee(2017)은 유해화학물질의 정보관리체계, 대응관리체계 및 화학물질 관리 지원 근거에 대해 분석하고 이를 통해 유해화학물질 대응시스템 개발 및 운영할 수 있는 법과 제도적 개선방안에 대해 제시하였다. 이와 같이 선행연구는 유해화학물질의 안전관리 및 기준을 개선하기 위한 방안 연구와 화학사고의 발생원인의 구조적 진단 및 대응체계의 개선 등에 대한 연구가 대부분이다. 반면 화학사고 발생 시 유해화학물질의 확산으로 인한 인근 지역의 피해를 예방하기 위해 대피시설의 적정성에 대한 연구가 부족한

실정이다.

따라서 본 연구는 대규모 석유화학단지가 위치하여 화학사고의 잠재적 위험성이 높은 울산광역시를 대상으로 화학사고 및 대피시설 관련 공간정보를 활용하여 GIS 기반의 대피시설 적정성을 분석하였고, 화학사고에 따른 피해최소화를 위한 방안에 대해 알아보았다.

연구 방법

1. 연구대상지

본 연구는 그림 1와 같이 대규모 석유화학단지가 조성되어 있는 울산광역시를 대상으로 수행하였다. 울산광역시는 1998년 광역시로 승격된 이후 지속적인 개발과 인구 유입 등으로 인해 현재는 약 120만 명의 인구가 거주하고 있는 대도시로 성장했다. 특히 남구와 중구 일대는 중심상업지구 및 대규모 고층아파트가 조성되어 있어 인구 밀도가 매우 높다. 울산광역시에 조성된 석유화학단지는 1962년 울산 특정공업지구로 지정 · 공포되면서 국내 최대 규모의 석유화학 중심의 공업단지로 발전되었고, 석유화학 뿐만 아니라, 조선과 자동차 산업 부분에서도 국내의 대표적인 지역으로 알려져 있다. 이러한 석유화학 중심의 개발로 인해 관련 종사자가 유입되면서 인구가 급격하게 증가하게 되었고 지역사회 발전에 큰 영향을 미쳤다. 하지만 다소 노후한 시설로 인해 최근 지하매설배관 폭발 사고 등이 빈번히 발생하고 있다. 뿐만 아니라, 울산 석유공사 원유배관 공사 폭발사고, 한화케미컬 울산공장 배관 폭발사고, 에스오일 울산공장 폭발사고 등 작업자 과실 및 안전의식 미흡으로 인해 다수의 사고가 발생하였다.

이와 같은 석유화학 관련 사고는 그 여파가 공장 인근만이 아니라 주변 지역까지 미칠 수 있고 규모 또한 대형화 및 복합화될 우려가 있어 인접지역 주민들의 불안감이 증가되고 있는 실정이다. 따라서 화학사고 위험성과 대피시설의 적정성 등을 진단할 필요가 있다.

2. 연구수행과정

본 연구는 그림 2와 같이 수행하였다. 우선 화학물질 배출 및 이동량 자료(Pollutant Release and Transfer Registers, PRTR)와 인구센서스, 대피시설, 도로망도 정보와 같은 기초적인 공간자료를 구축하였다. 분석은 크게 화

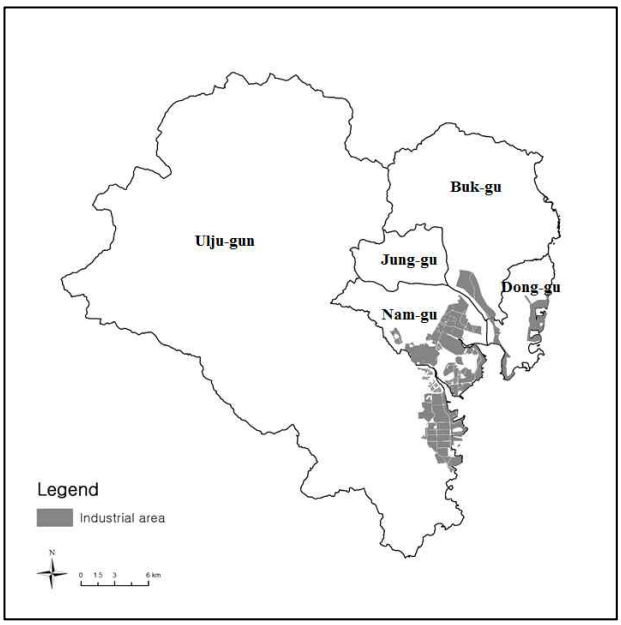


FIGURE 1. Study area

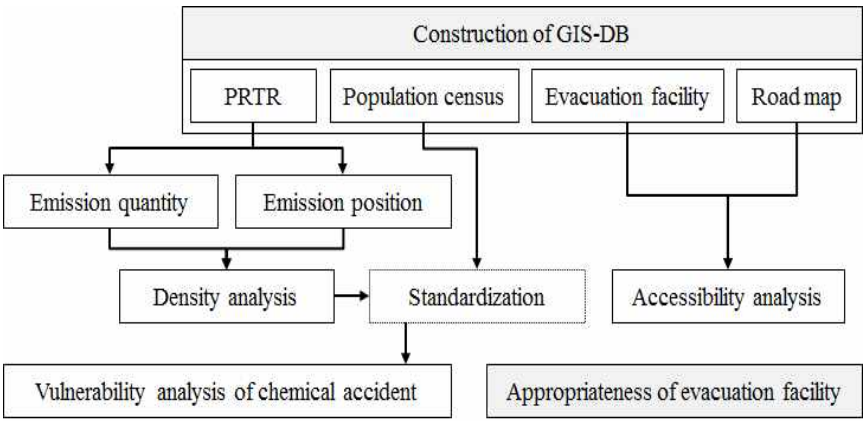


FIGURE 2. Study process

학사고 위험성 평가와 대피시설의 접근성에 대해 진행하였다. 화학사고 위험성 평가는 화학물질 배출 및 이동량 자료에서 시설의 위치와 배출량에 대한 정보를 활용하여 공간밀집도 분석 및 표준화를 통해 도출하였다. 대피시설의 접근성은 대피시설의 위치정보와 도로망도를 통해 분석하였다. 이와 같은 결과를 통해 화학사고의 위험성 및 대피시설의 접근성을 고려하여 대피시설 위치의 적정성에 대해 분석하였다.

3. GIS-DB 구축

1) 화학물질 배출 및 이동량

화학물질 배출 및 이동량은 사업장에서 제조 또는 사용과정에서 배출되는 화학물질의 양에 대한 정보를 말하는 것으로, 이에 대한 조사는 화학물질의 양을 사업자 스스로 파악하도록 하고 배출저감 노력으로 제품이나 원료물질의 배출 손실을 줄여 기업의 생산성을 향상시키고 환경오염을 최소화하는데 목적이 있다. 이는 화학물질관리법 제11조(화학물질 배출량 조사), 동법 시행규칙 제5조(화학물질 배출량 조사 등)에 명시되어 있다. 대상업종은 광업, 제조업, 전기가스 등 9개로 분류되어 있고, 대상물질은 사업장에서 생산하는 화학물질 및 화학제품과 원료 및 첨가제, 공정보조물질 등으로 제조 및 사용 총량이 연간 1톤(16종) 또는 10톤 이상(399종)인 물질이 해당된다(옥영성과 이영섭, 2017).

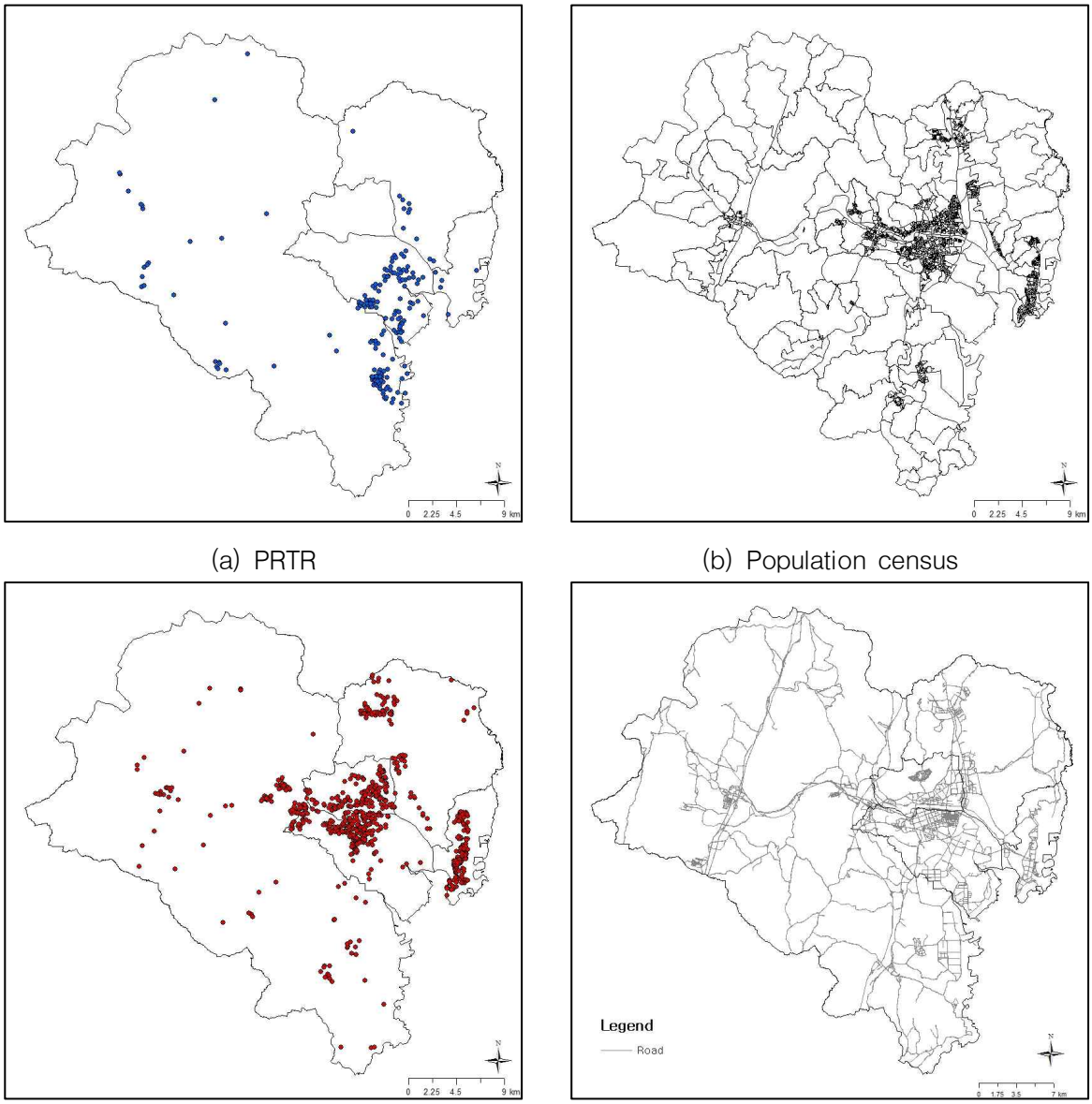
자료는 관리기관인 화학물질안전원을 통해 2013년에 조사된 울산지역의 화학물질 배출 및 이동량 자료를 요청하여 수집하였다. 자료에는 업체명, 주소, 업종, 발암물질 여부, 물질명, 배출량 정보 등이 포함되어 있으며, 주소 정보를 이용하여 포인트 기반으로 자료를 구축하였다(그림 3(a)).

2) 인구센서스

인구센서스 자료는 화학사고로 인해 발생할 수 있는 인명피해 분석을 위해 활용하였다. 자료는 통계지리정보서비스(http://sgis.kostat.go.kr)에서 제공하는 집계구 단위의 인구센서스 자료를 활용하였고, 울산지역에 대한 2010년 인구 및 가구에 대한 정보를 요청하여 수집하였다(그림 3(b)).

3) 대피시설의 접근성

울산지역에 위치한 대피시설에 대한 정보는 울산광역시에서 제시하는「유해화학물질유출사고 현장조치 행동 매뉴얼」의 주민 대피소 현황 정보를 활용하여 구축하였다. 주민 대피소는 민방공 대피소(613개소), 초등학교(117개소), 중학교(63개소), 고등학교(56개소), 기타(17개소)로 구분되어 총 866개소가 울산지역에 위치하고 있으며, 주소와 시설규모, 시설명에 대한 정보가 포함되어 있다. 대피시설 또한 주소 정보를 활용하여 포인트 기반의 GIS 자료로 구축하였다(그림 3(c)).



(a) PRTR (b) Population census

(c) Evacuation facilities (d) Road map

FIGURE 3. Construction of GIS-DB

대피시설의 접근성은 화학사고 발생시 사람이 대피시설까지 신속하게 접근할 수 있는 거리를 고려하였다. 분석방법은 대피시설 위치정보와 도로망 자료를 이용하여 ArcGIS 프로그램 Network analysis기법의 Service area 분석툴을 활용하였다. 접근시간은 화학사고 발생 시 사람이 빠른 걸음(6km/h)으로 5분 이내(500m)로 대피시설에 도착하는 것을 가정하였다.

4. 화학사고 위험성 평가 방법

화학사고 위험성 평가는 화학사고의 잠재적 발생요인과 피해의 가중요인으로 구분하였다. 먼저 잠재적 발생요인은 PRTR 자료를 통해 화학사고가 발생할 수 있는 시설물의 위치 및 공

간적 밀집도를 고려하였으며, 이를 위해 발암물질 시설물 위치와 총 배출량 정보를 활용하여 각각에 대한 Kernel 밀도 분석을 실시하였다. 여기서 Kernel 밀도 분석은 점 개체의 분포를 기반으로 대상지역의 공간밀도를 예측하는 것으로 점 개체의 중심점 간의 거리가 증가할수록 공간적 연관성이 감소한다는 지리학의 제1법칙 하에서 특정 격자로부터 일정한 크기의 대역폭을 설정하고 해당 대역폭 내에 포함된 점 개체들을 기준으로 격자들의 밀도를 조정하게 된다 (Lee, 2011; Song and Park, 2017).

Kernel 밀도 분석 결과는 동일한 범위 적용을 통한 상대적 비교 및 분석을 위해 표준화를 실시하였으며, 중첩분석을 통해 공간적 밀집도를 도출하여 화학사고의 잠재적 발생요인을 파악하였다. 표준화 방법은 식(1)과 같이 수식을 적용하였다.

$$Standardization = \frac{(X - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \times 100 \quad (1)$$

여기서, X는 각 분석결과에 대한 값이고 X_{max}는 값의 최대치, X_{min}는 값의 최소치를 의미한다.

피해 가중요인은 화학사고 발생 시 인명피해의 가중정도를 고려한 것으로 인구센서스의 인구밀집 정보를 활용하였다. 인구 밀집도 또한 잠재적 발생요인과 상대적 비교 및 분석을 위해 동일한 방법으로 표준화를 실시하였다.

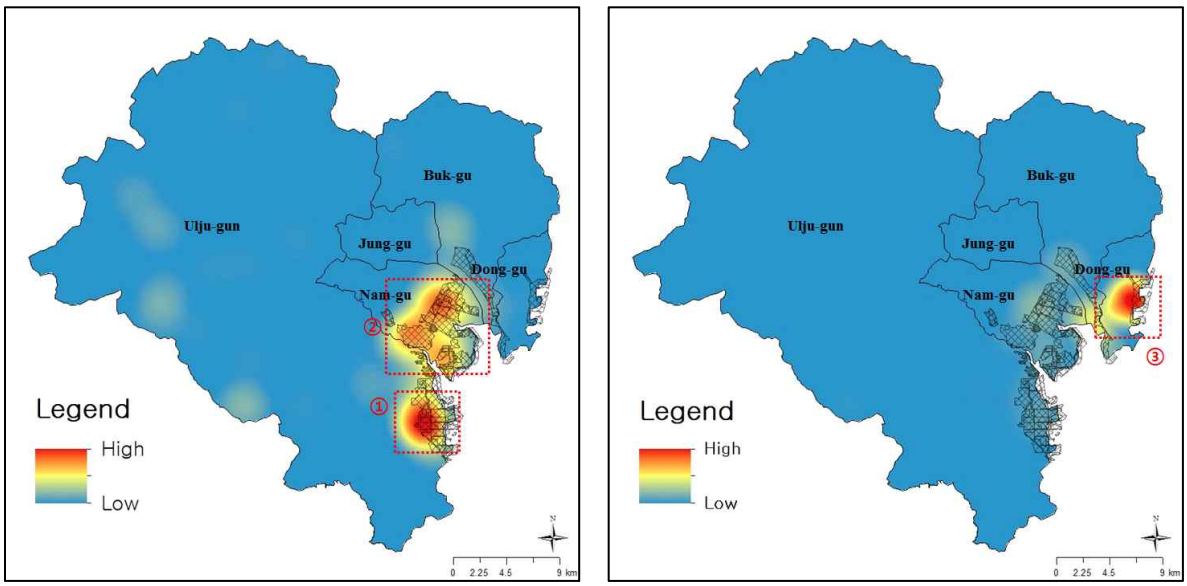
다음으로 인구 밀집도 자료의 공간단위를 경계로 잠재적 발생요인의 평균값을 도출하였고 피해 가중요인과의 평균값 산출을 통해 최종적으로 화학사고 위험성을 평가하였다.

결과 및 고찰

1. GIS-DB 구축 결과

1) 화학물질 시설 및 배출량 밀집도

화학물질 시설 및 배출량의 공간밀집도를 도출한 결과는 그림 4와 같다. 먼저, 화학물질 배출시설이 밀집된 지역은 울주군 온산읍에 위치한 온산 국가산업단지(①)와 남구의 울산석유화학단지, 미포국가산업단지, 용연공업단지(②) 일대로 확인되었다. 이 지역들은 화학물질 취급 및 저장, 그리고 금속을 제련하는 기업체가 다수 위치하고 있는 것을 알 수 있었다. 반면, 화



(a) Chemical handling facilities (b) Emission amounts

FIGURE 4. Spatial density considering chemical substance information

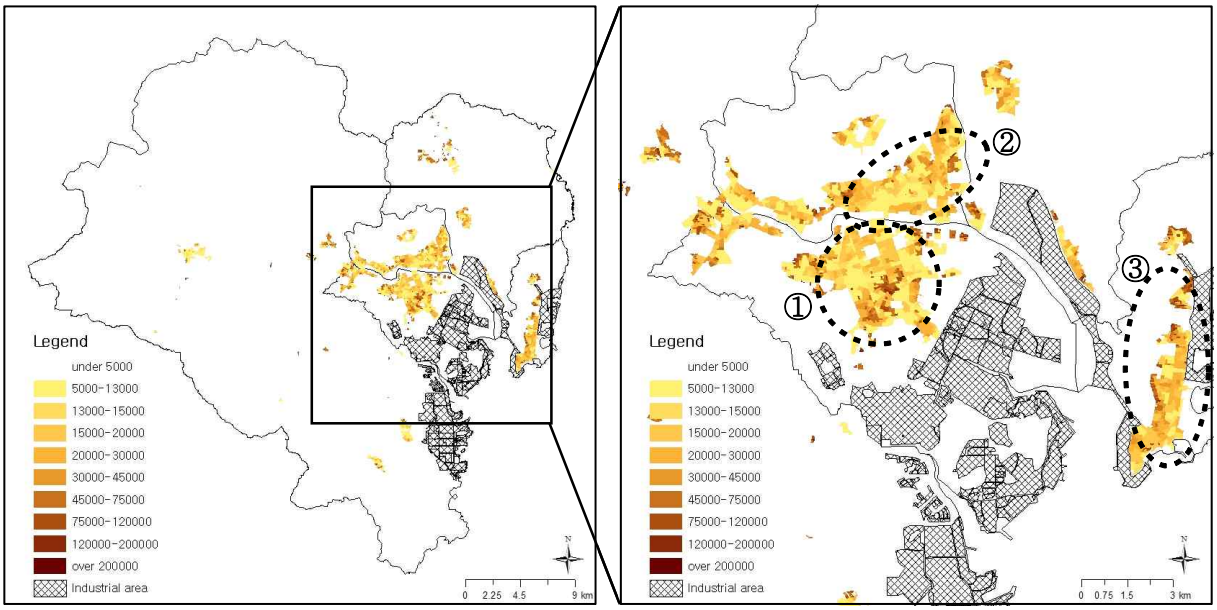


FIGURE 5. Population density

학물질의 배출이 많은 지역은 배출시설이 밀집된 ①, ②번 지역이 아닌 동구에 위치한 'H' 중공업 일대(③)인 것으로 나타났다. 이는 단일 업체에서 많은 양의 화학물질을 취급하고 배출한다는 것을 의미한다.

석유화학물질 취급업체가 밀집된 남구, 온산, 동구 일대를 제외한 대부분의 지역은 화학물질 시설 및 배출량의 공간밀집도가 낮은 것으로 나타났다.

2) 인구밀집도

인구밀집도를 나타낸 결과는 그림 5와 같다. 인구가 밀집된 지역은 남구(①), 중구(②), 동구(③) 일부지역인 것으로 나타났다. ①지역은 삼산동, 달동, 야음동 등 울산광역시의 주거 및 상업중심지역이 위치한 곳으로 고밀도 인구밀집지역이 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 또한 석유화학단지와의 거리는 약 1~2km 이내로 매우 인접해 있어 화학사고 발생시 대규모 인명피해가 우려되는 지역이다.

②지역은 태화동, 북정동, 약사동, 반구동 등이 위치한 곳으로 고층 아파트 등 주거가 밀집된 지역이다. 이 지역은 석유화학단지와 다소 거리가 있으나(3~4km), 유해화학물질이 태화강을 따라 빠른 시간에 확산될 수 있어 피해가 우려된다.

③지역은 일산동과 방어동 등이 위치한 곳으로 'H' 중공업과 매우 인접해 있는 것을 알 수 있다. 앞서 유해화학물질 배출량 밀집도 결과에서 'H' 중공업 일대가 매우 높아 ③지역은 화학사고 발생시 신속한 대피가 필요할 것으로 판단된다.

3) 대피시설 접근성

대피시설의 접근성을 분석한 결과는 그림 6과 같으며, 인구밀도가 높은 중구와 남구지역을 대부분 포함하는 것을 알 수 있다. 하지만 산업단지와 인접해 있는 지역인 ①, ②번의 경우, 대피시설의 접근이 못 미치는 취약한 지역으로 나타났으며, 산업단지와도 인접해 있다. 만약 산업단지에서 화학사고가 발생시 이 지역에 거주하는 주민은 대피시설이 없어 인명피해가 발생할 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 지역의 원활한 대피를 위해 추가적인 대피시설의 설치 및 신속한 대피경로 설정이 필요하다고 판단된다. 또한 동구에 위치한 ③번 지역은 대피시설의 접근성은

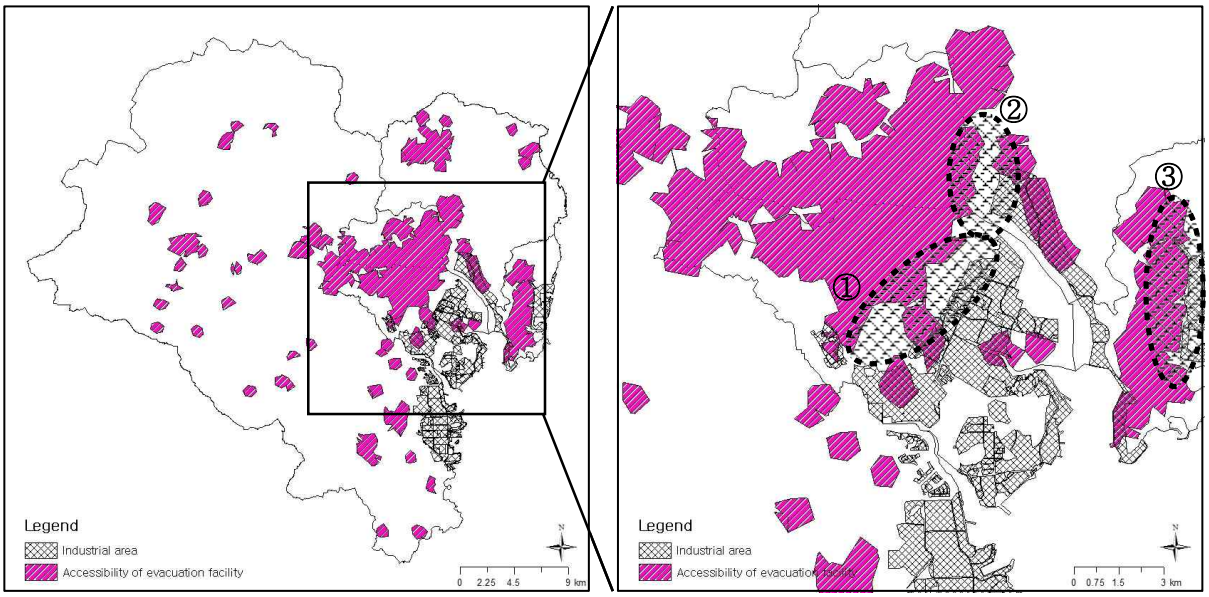


FIGURE 6. Accessibility of evacuation facility

양하나 산업단지와 맞붙어 있어 직접적인 피해를 저감할 수 있는 방안이 필요할 것이다.

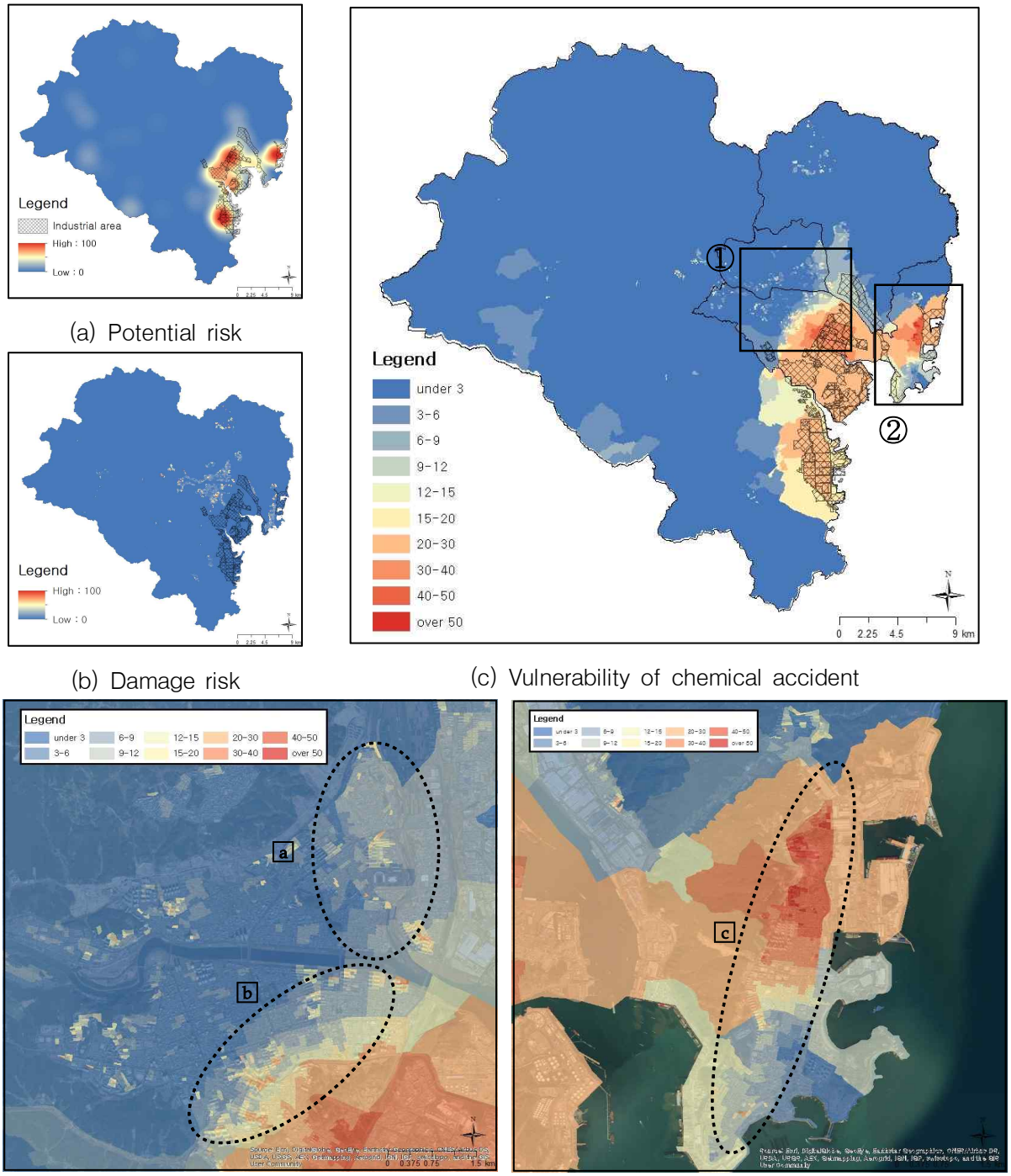
한편, 중구, 동구, 남구 외 대피시설은 산업단지와 다소 거리가 있어 화학사고 발생시 신속한 대피로 피해가 크지 않을 것으로 예상된다.

2. 화학사고 위험성 평가

화학사고의 발생위험요인(그림 7(a))과 피해가중요인(그림 7(b))을 토대로 울산지역의 화학사고 위험성을 평가한 결과는 그림 7(c)과 같다. 평가등급은 데이터를 분류할 때 임의의 분류군 평균값과 해당 분류군에 포함되는 실제 데이터 간의 차이를 작게 함으로서 분류군 안의 데이터 변이를 가장 작게 하는 Jenk's Natural break method를 적용하여(Song and Park, 2010) 총 10등급으로 분류하였다.

분석결과, 석유화학단지 인근지역일수록 화학사고 위험성이 높은 것으로 확인되었다. 이는 석유화학물질 취급시설의 밀집도가 높아 잠재적인 발생위험성이 높기 때문으로 판단된다. 또한, 중구와 남구의 인구가 밀집된 지역에서도 화학사고의 위험성이 다소 높은 것을 알 수 있다. 특히 그림 7(c)의 ①번과 ②번 지역은 화학사고 위험성도 높고 인구가 밀집된 지역으로 피해가 가장 클 것으로 예상되는 곳이다. 이 지역들을 자세히 살펴보면, ①번 지역인 그림 7(d)에서 이를 확대해 자세히 살펴보면, ①번 지역인 그림 7(d)에서 화학사고 발생위험이 큰 지역은 석유화학단지 인근의 고밀도 주거시설이 밀집된 곳으로(ⓐ, ⓑ, ⓒ) 석유화학단지와 불과 1km에 근접해 있다. 따라서 화학사고가 인근 공장에서 발생 시 신속히 대피하지 못하면 자칫 대형사고로 이어질 위험이 있다. 특히, ⓒ은 울산지역에서도 화학사고의 위험성이 가장 높게 나타난 곳으로 앞서 언급된 것과 같이 화학물질 배출량 밀집도가 가장 높으며 인구밀집도가 높은 지역이어서 화학사고에 대한 특별한 대비책이 필요할 것으로 판단된다.

그림 8은 ⓐ~ⓒ 위험지역에 대한 화학사고 위험성 평가결과와 인구밀도를 비교한 것으로 평가결과가 취약한 지역에 대해 대부분 대피시설의 접근성이 양호한 것으로 확인되었다. 하지만 일부 인구밀집지역은 대피시설의 접근이 어려운 것으로 나타났다. 특히, ⓑ와 ⓒ에서 대피시설 접근지역에서 벗어나는 곳은 화학사고 발생 잠재위험성이 높기 때문에 화학사고에 대한 대비가 매우 부족하다고 할 수 있다. 뿐만 아니



(a) Potential risk

(b) Damage risk

(c) Vulnerability of chemical accident

(d) Vulnerable area a and b

(e) Vulnerable area c

FIGURE 7. Results evaluating vulnerability of chemical accident

라, 화학공장과 인접해 있어 가장 신속한 대피가 필요하고 유해화학물질의 확산을 방지하기 위한 방안이 필요하다.

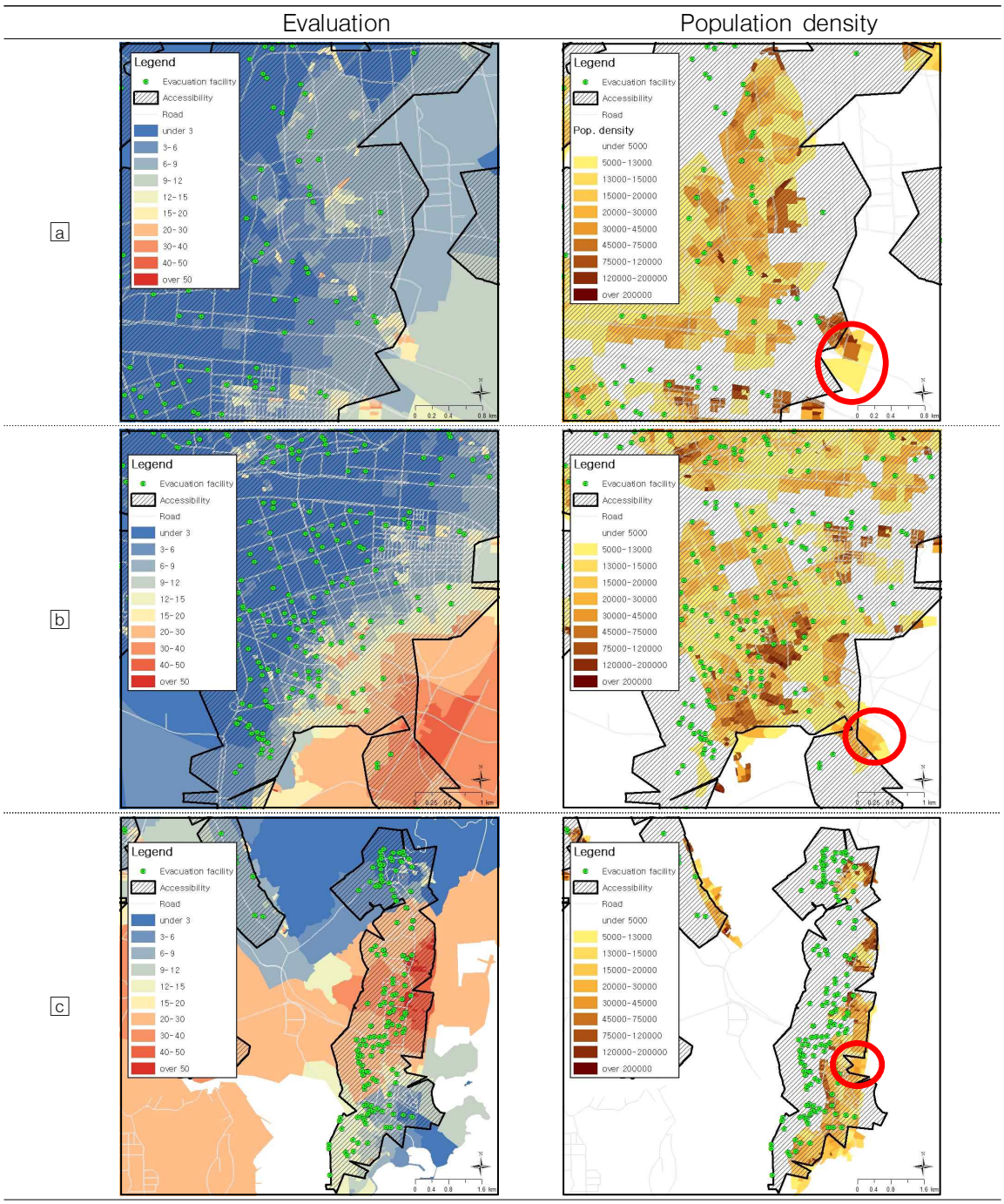


FIGURE 8. Results considering vulnerable area and accessibility of evacuation facility

결 론

본 연구는 울산광역시 석유화학단지를 대상으로 최근 빈번하게 발생되고 있는 화학사고와 관련해 공간정보를 기반으로 한 GIS 기법을 적용하여 화학사고의 위험성을 평가하고 대피시설 위치의 적정성을 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저, 화학사고의 잠재적 위험성은 화학물질

시설 및 배출량의 공간적 밀집도를 고려하여 평가하였다. 울주군 온산읍에 위치한 국가산업단지와 남구 울산석유화학단지, 미포국가산업단지, 용연공업단지에서 배출시설이 밀집되어 있고, 배출량은 'H' 중공업 일대가 가장 높았다. 피해가중요인은 인구밀집도를 고려하였고, 울산광역시에서 주거 및 상업시설이 밀집된 남구 삼산동, 달동, 야음동과 동구 일산동, 방어동 일대에서 높았다. 이들 지역은 석유화학단지와 매우 인접해 있었다.

이와 같이 요인별 평가를 통해 종합적으로 울산지역의 화학사고 위험성을 평가한 결과, 대부분 석유화학단지와 인근 지역을 중심으로 위험성이 높은 것으로 나타났다. 이는 잠재적 위험성이 밀집된 영향이 크게 작용하였기 때문으로 판단된다. 또한 이러한 지역은 인구가 밀집되어 있어 대피시설의 접근성이 양호하더라도 시설의 수용인원과 규모, 보다 접근성이 양호하지 않으면, 화학사고 발생으로 인한 신속한 대피가 어려울 것으로 보인다.

따라서 화학사고의 사전예방을 위해 현재 노후화된 공장시설의 안전점검을 우선적으로 고려할 필요가 있으며, 이와 더불어 대피시설의 전반적인 실태분석과 위치의 적정성을 세밀히 점검하여 피해를 저감방안이 마련되어야 한다.

한편, 본 연구는 공간정보를 기반으로 GIS기법을 활용하여 화학사고의 취약성 및 위험성을 평가하였다. 보다 정확한 분석과 이를 통한 개선방안을 도출하기 위해서는 화학사고 발생에 따른 화학물질 확산 시뮬레이션과 그에 따른 대피 경로 설정, 시뮬레이션 분석 등이 동시에 이루어질 필요가 있다. 또한, 화학사고 위험성 평가를 위해 각 요인(발생 위험요인, 피해 가중요인)에 대한 가중치 적용과 평가요인의 발굴 등 추가적인 연구가 요구된다.

본 연구에서는 이러한 연구를 위한 기초적인 연구를 담고 있으며 우선적으로 화학사고에 대비한 현황 파악을 목적으로 수행하였다. 향후 본 연구를 확대하여 화학사고에 대비하기 위한 정책과 법, 제도 개선에 적용할 수 있는 연구를 진행할 예정이다. KAGIS

REFERECNES

Bang, M.J., Y.W. Chon, Y.W. Hwang, and I.M. Lee. 2017. A study on the integrated analysis of chemical accidents by using the decision tree. Korean Journal of Hazardous Materials 5(1):59-66 (방미진, 천영우, 황용우, 이익모. 2017. Decision Tree 작성에 의한 화학사고의 통합 해석에 관한 연구. 한국위험물학회지 5(1):59-66.)

Jeong, G.S. and E.S. Baik. 2014. A study on the improvement of safety management of hazardous chemicals handling in the workplace. FIRE SCIENCE AND ENGINEERING 28(1):12-19 (정경삼, 백은선. 2014. 유해화학물질 취급작업장의 안전관리 개선에 관한 연구. 한국화재소방학회논문지 28(1):12-19.)

Jung, B.G. and C.J. Lee. 2016. Consequence analysis based research for the initial response of chemical accidents. Korean Journal of Hazardous Materials 4(2):22- 29 (정병곤, 이창준. 2016. Consequence Analysis를 이용한 화학사고 초기대응에 관한 연구. 한국위험물학회지 4(2):22-29.)

Lee, D.J., T.H. Lee, and C.H. Shin. 2016. Study on improvement measures for prevention and countermeasure of chemical accident. FIRE SCIENCE AND ENGINEERING 30(5):137-143 (이덕재, 이태형, 신창현. 2016. 화학사고 예방 및 대책에 대한 개선방안에 관한 연구. 한국화재소방학회 논문지 30(5):137-143.)

Lee, H.Y. 2010. GIS geomatics. Bobmunsa (이희연. 2010. GIS 지리정보학. 법문사.)

Lee,, J.S. and D.M. Choi. 2015. A study on the improvement of chemical accident

response system in view of the national disaster management system. Fire Science And Engineering 29(5):73-78 (이재석, 최돈묵. 2015. 국가재난관리체제 관점의 화학사고 대응체계 개선방안에 관한 연구. 한국화재소방학회 29 (5):73-78.)

Ministry of Environment. 2016. Chemical Substances Control Act (환경부. 2016. 화학물질관리법)

Oak, Y.S. and Y.S. Lee. 2017. A study on improvement of legal system for harmful chemical substance response management system. Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society 18(4):216-223 (옥영석, 이영섭. 2017. 유해화학물질 대응시스템 적용을 위한 제도 개선 연구. 한국산학기술학회논문지 18(4):216-223.)

Song, B.G. and K.H. Park. 2010. An analysis of cold air generation area considering climate-ecological function. Journal of Korea Association Geographic Information Studies 13(1):114-127 (송봉근, 박경훈. 2010. 기후생태적 기능을 고려한 찬공기 생성지역 분석. 한국지리정보학회지 13(1):114 -127.)

Song, B.G. and K.H. Park. 2017. Analyzing characteristic of business district in urban area using gis methods-focused on large-scale store and traditional market-. Journal of Korea Association Geographic Information Studies 20(2):89-101 (송봉근, 박경훈. 2017. GIS 기법을 활용한 도시지역 상권 특성 분석. 한국지리정보학회지 20(2):89-101.)

You, J.S. and Y.J. Chung. 2014. Case analysis of the harmful chemical substances' s spill, Fire Science And Engineering 28 (6):90-98 (유지선. 정영진. 2014. 유해화학물질 유출의 사례 분석. 한국화재소방학회논문지 28(6):90-98.)