

Technical Article

주거지 개발사업에 대한 건강영향평가 사례 연구

신문식^{*,**} · 동종인^{*} · 하종식^{***}

서울시립대학교 일반대학원 환경공학과^{*}, (주)도화엔지니어링^{**}, 한국환경정책·평가연구원^{***}

A Case Study on the Health Impact Assessment of Residential Development Projects

Moonshik Shin^{*,**} · Jongin Dong^{*} · Jongsik Ha^{***}

Department of Environmental Engineering, The University of Seoul^{*}
DOHWA Engineering Co., Ltd^{**}
Korea Environment Institute^{***}

요약: 국내 법적 근거를 가진 건강영향평가(Health Impact Assessment)는 환경영향평가 항목 중 위생공중보건 항목에서 작성 수행되고 있다. 택지개발 등 주거지 개발사업들은 「환경보건법」 제13조에 따른 건강영향평가 대상사업은 아니다. 하지만 환경영향평가협의회 단계에서 인근 산업단지 등 오염원에서 배출되는 물질 중 건강영향평가 대상물질을 확인하여 위해도(발암·비발암 포함)를 산정하여 제시하라는 심의내용에 근거하여 부분적인 건강영향평가로 수행하고 있다. 주거지 개발사업은 특정대기유해물질 등 오염물질 배출시설 계획이 없지만 주변 산업단지와 같은 대기오염 발생원에서 배출되는 오염물질에 의해 향후 입주하는 계획지구 주민들에게 건강영향을 미칠 수가 있다. 본 연구에서는 실제 도시개발사업 사례를 분석하여 미래에 입주하는 계획지구 입주민들에게 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 미래에 영향 검토 시 주변지역에 대한 문헌을 통한 예측 case1, 대기확산모델(AERMOD)을 이용한 발암성물질 노출농도예측과 기여도 분석 case2를 하였다. 본 연구를 통해 계획지구 인근 산업단지 등의 오염원에 대한 수용체를 고려한 건강영향평가 방법으로는 현황조사와 대기확산모델(AERMOD)을 이용한 노출농도예측 및 기여도분석을 상호보완적으로 적용하여 평가하는 것이 효용성이 높은 것으로 판단되었다.

주요어: 건강영향평가, 환경영향평가, 대기확산모델, 수용체

Abstract: Health Impact Assessment based on municipal law is performed and written in the sanitary and public health part in the current environmental impact assessment.

Residential development projects such as housing site development etc., are not subject to health impact assessment under Article 13 of the Environmental Health Act. However, health impact assessment is conducted partially based on the review that health impact assessment targets which are identified among substances emitted from pollutants nearby industrial complexes should be assessed risk (including carcinogenic and non-carcinogenic) at the stage of the environmental impact

First Author: Moonshik Shin, Tel: +82-2-6323-4318, E-mail: nomin77@hanmail.net, ORCID: 0000-0001-9007-9696

Corresponding Author: Jongin Dong, Tel: +82-2-6490-2862, E-mail: jidong@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-0141-7030

Co-Author: Jongsik Ha, Tel: +82-44-415-7754, E-mail: jsha@kei.re.kr, ORCID: 0000-0001-9473-5603

Received: 5 October, 2020. Revised: 15 October, 2020. Accepted: 18 October, 2020.

assessment consultation. Although residential development projects do not have plans for pollutant emitting facilities that emit hazardous air pollutants, there is a possibility that residents might be affected by pollutants from industrial complex near residential area in the future. In this study, Health impact assessment was conducted to examine the impact on residents in planned areas by analyzing previous residential development projects. We predicted future impact by using the literature survey results on surrounding area (case1) and conducting contribution analysis (case2) and predicting exposure concentration of carcinogenic substances applying Atmospheric Diffusion Model (AERMOD). By this study, we concluded that applying on-site survey, contribution analysis and prediction of exposure concentration by using AERMOD complementarily will be effective to assess the health impact to the receptors by pollutants from industrial complexes near the planned zone.

Keywords : Health Impact Assessment, Environmental Impact Assessment, Atmospheric Diffusion Model, Receptors

I. 서론

환경이 건강에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 밝혀지면서 세계보건기구(World Health Organization, WHO), 국제영향평가협회(International Association for Impact Assessment, IAIA), 세계은행(World Bank) 등 국제기구에서는 1980년 초반부터 건강영향평가(Health Impact Assessment : 이하 HIA)의 실시를 활성화하기 위하여 노력하고 있다. WHO의 Gothenburg 합의서에는 “HIA는 어떠한 정책, 전략, 프로그램, 프로젝트에 의한 인체 건강에 미치는 직접 및 간접적인 모든 영향들의 인구 내에서의 분포도에 대하여 판단할 수 있는 절차, 방법 및 도구들의 조합이다.”라고 정의되어 있다(WHO, 1999). HIA는 정책, 계획, 프로그램, 프로젝트 등이 인체 건강에 미치는 영향을 사전에 평가하여 의사결정권자의 의사결정에 도움을 주기 위한 제도이며, WHO, 영국, 캐나다, 호주, 미국, EU 등에서 활용하고 있다.

IAIA(International Association for Impact Assessment)는 1995년 개발 프로젝트에서 edited book을 발간하였다. 사회학, 통계학, 생태, 위해성평가 chapter와 함께 건강영향평가를 한 chapter에 포함하였다. IAIA와 WHO는 2001년 12월 인체 건강과 개발을 공동 관심사로 상호협력의 목적으로 한 양해각서를 체결하여 현행 매체중심의 환경영향평가가 인간중심의 환경영향평가로 확대 전환되어야 함을 강조

하고 있다(WHO, 2001, Health Impact Assessment in Development Policy and Planning).

현행 환경영향평가(Environmental Impact Assessment)제도에서는 인체에 미치는 건강영향에 대해 평가서상의 위생공중보건 항목에서 다루고 있다. 우리나라의 경우는 건강영향평가의 대상이 환경영향평가 대상사업 중 일부로 한정되어 있다. 「환경보건법」 제13조에 따른 건강영향평가 대상사업은 산업단지 조성, 화력발전소 건설, 소각장 조성, 매립장 조성, 분뇨 및 가축분뇨(공공)처리시설 설치 사업이다. 주된 평가방법으로는 건강영향평가 대상사업별 평가 대상물질에 대해 위해성평가를 실시하여 위해도기준(발암물질)을 초과할 경우 저감방안을 수립하여 해당사업을 시행하도록 한다(Ministry of Environment 2011).

택지개발 등 주거지 개발사업은 「환경보건법」 제13조에 따른 건강영향평가 대상사업은 아니다. 하지만 환경영향평가협회의 단계에서 인근 산업단지 오염원에서 배출되는 물질 중 건강영향평가 대상물질을 확인하여 미래 주거인의 노출을 예상한 위해도(발암·비발암 포함)를 산정하여 제시하라는 심의내용에 근거하여 주거지 입주자의 건강피해를 최소화하기 위한 목적으로 건강에 미치는 영향을 예측하여 제시하고 있다. 관련한 평가방법론은 환경부에서 제공하는 건강영향 항목의 추가·평가 매뉴얼을 따르고 있다(Ministry of Environment 2013).

하지만 주거지 개발사업에 대한 건강영향 항목의 추가·평가는 매뉴얼상의 평가대상이 아니라서 사전 예방적인 측면에서 법제도적인 한계가 있다. 즉 산업 단지 또는 폐기물처리시설 등 특정대기유해물질을 배출할 수 있는 시설 인근에 계획 중인 택지개발, 도시 건설 등은 「환경보건법」에 따른 건강영향평가 대상에 포함되지 않아 당해 사업으로 인한 건강영향을 평가하는 데 미흡함이 있다. 무엇보다도 최근 국내 도시 또는 택지개발 예정지가 기존 산업단지 부근에 계획되는 경우가 다수이며, 이 경우 기존 산업단지 등의 영향으로 입지가 적절하지 않다는 협의의견이 제시되어 개발자 측과 이해당사자 측의 입장 대립이 발생하고 있다.

더불어 우리 경우는 발암율에 의한 판에 박은 평가에 의존하고 있고, 도시 전반적 접근에 대한 평가가 미흡하여 수치 중심 평가를 제도화하여 나가는 문제가 있다. 예를 들어 발암물질 발생은 개발과 관련 없이 자연적으로도 발생하는 경우가 많고 특히 현재 적용되는 모델이 전체 배출량을 감안 하지 못해, 통계적 상관도는 높아도 내용적 상관도가 적어 신뢰성이 떨어지고 모델 적용을 위한 HIA 절차로 형식적으로 규정을 준수하는 쪽으로 흐르고 있다.

현재 주거지 개발관련 사업에서 건강영향평가는 건강영향을 최소화하기 보다는 주거지 부지의 타당성을 검토하기 위한 목적으로 제시되고 있는 실정이다. 그 이유는 계획지구 내에 특정대기유해물질 배출원이

없어 수용체에 중점을 두어 평가를 하기 보다는 주거지 개발사업 주변 예측을 통한 건강영향을 평가하기 때문이다. 이에 입지 타당성에 대한 검토뿐만 아니라 입지 타당성을 만족하기 위한 사전예방적 방안을 제시하여야 하는 측면에서는 적절한 방법론의 마련이 시급하다.

정리하면, 현행 환경영향평가 제도에서 건강영향 평가 적용 및 최근 주거지 개발 중심의 도시개발계획 과정에서의 건강 악영향과 관련한 환경갈등 등을 고려할 때, 수용체(주거지 입주민)의 건강영향을 고려한 건강영향평가 방법론 마련이 요구된다고 하겠다. 그리고 주거지 개발시 입지 타당성을 검토할 수 있는 적용방법과 해석방안을 구체화할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 주거지 개발사업 등 택지개발사업은 유해오염물질 배출 시설계획이 없으므로, 사례 분석을 통해 주거지 대상지 주변의 배출원에서 발생되는 오염물질이 수용체인 향후 입주민들에게 미치는 영향을 검토하여 실제 개발사업 추진 시 건강영향을 고려한 평가 방법론과 적용 방안에 대해 고찰하는 것이다.

II. 연구방법

1. 사례분석 대상

본 연구의 사례는 “A 공공주택지구” 도시개발사업으로 M시 내 개발제한구역 부지를 이용하여 생애최

Table 1. Overview of industrial complexes around A planned zone

Classification	National industrial complex (00Special Area)			d General Industrial Complex (Under construction)
	a Zone	b Zone	c Zone (Under construction)	
Location	M City 00dong area	N City 00dong area	Northern reclaimed land in 00lake	M City 00dong area
Construction period	'86.09~'06.12	'77.01~'93.11	'07.05~'20.12	'11.12~'19.12
Size (thousand m ²)	125,401	14,640	10,038	376
Major industries	Manufacturing industry	Manufacturing industry	High-tech industry/ Venture business	Manufacturing industry
Number of tenant companies (Number of employees)	11,663 Companies (125,983 People)	7,218 Companies (117,657 People)	938 Companies (11,438 People)	-
Occupation rate (%)	100	100	94	-
Separation distance (km)	1.6 (Southwest)	1.5 (South)	4.0 (Southwest)	7.4 (Northeast)

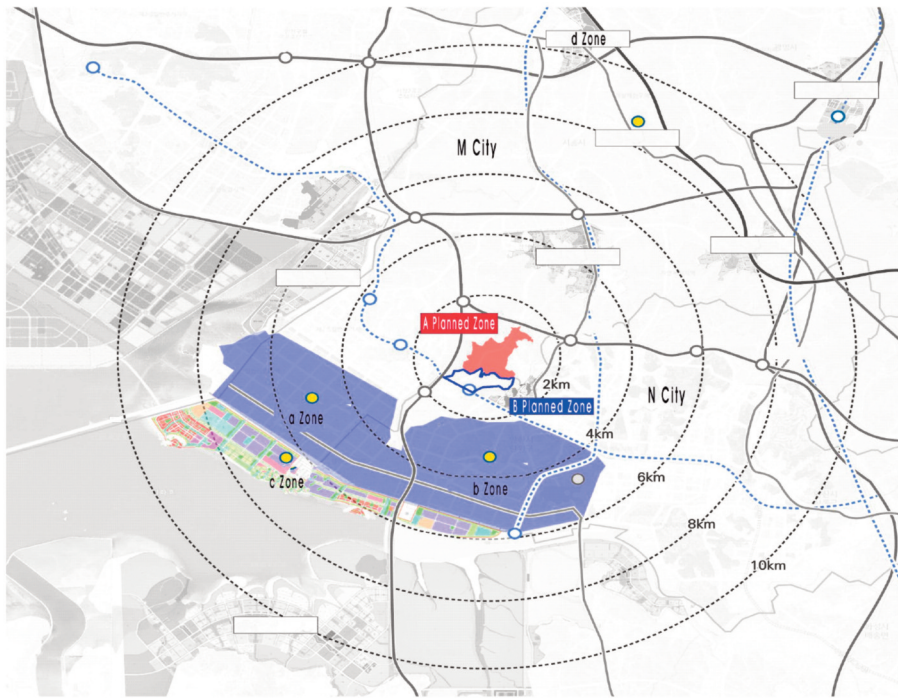


Figure 1. Current status of area around A planned zone.

초 구입자, 신혼부부 등 무주택 실수요자의 내 집 마련 부담을 줄여 줄 수 있도록 공공주택지구로 지정하는 사업을 대상으로 하였다. 개발제한구역 1,516km²를 해제하여 개발 진행 중에 있는데, 계획지구 주변으로 대규모산업단지인 00특수지역 국가산업단지가 위치하며 국가산업단지 내 a, b, c지구가 있다. a지구면적은 125,401천m²으로 현재 100% 분양되어 운영 중에 있으며 A 공공주택지구 남서측으로 약 1.6km 이격되어 있다. b지구는 면적은 14,640천m²으로 현재 운영 중에 있으며 A 공공주택지구 남측으로 약 1.5 km 이격되어 있다. c지구는 면적 10,038천m²이고 조성 중으로 A 공공주택지구 남서측 약 4.0km 이격되어 있다. 더불어 d일반산업단지는 조성 중으로 A 공공주택지구 북동측으로 약 7.4km 이격되어 있다 (Table 1 and Figure 1).

2. 평가항목 설정

건강영향평가에서 건강결정요인은 건강의 변화를 나타낼 수 있는 지표로서 개인이나 집단의 건강 상태에 영향을 미치는 요인을 말한다(Ministry of

Environment 2013). 환경영향평가 제도 상에서 건강결정요인은 물리적 요인으로 대기, 수질, 토양, 폐기물, 소음 및 진동, 사고 등을 고려하고 있다. 특히 건강영향 항목의 추가·평가 매뉴얼에서는 유해대기 오염물질로서 특정대기오염물질(발암성물질 및 비발암성물질), 수질오염물질, 소음을 대상으로 하고 있다. 본 연구는 “A 공공주택지구” 계획지구 주변 산업단지의 대기오염물질 중 발암성물질을 평가항목으로 설정하였으며, 평가 항목 설정은 “환경영향평가서 내 위생·공중보건 항목 작성을 위한 건강영향 항목의 평가 매뉴얼, 2013.12, 환경부”에 제시된 산업단지 발암성 물질인 포름알데히드(HCHO), 니켈(Ni), 6가 크롬(Cr⁶⁺), 염화비닐(CH₂=CHCl), 카드뮴(Cd), 비소(As), 벤젠(C₆H₆)으로 선정하였다.

3. 연구 방법

주거지 개발 시 계획지구 주변의 대기오염물질 발생원에서 배출되는 오염물질이 수용체인 향후 입주하는 계획지구 입주민들에게 미치는 영향을 평가하였다. 평가 시 현황조사와 계획지구 인근 산업단지

에서 산정된 배출량을 이용하여, case1: 주변지역에 대한 문헌을 통한 예측, case2: 대기확산모델링 (Atmospheric Diffusion Model; 이하 AERMOD)을 통한 예측을 수행하였다. 각각의 예측된 농도에 대해서는 향후 입주민이 평생동안 노출된다는 가정 하에 발암위해도(Cancer risk)를 산정하였다.

1) 영향예측

Case1의 주변지역에 대한 문헌을 통한 예측은 현지 조사와 국가측정망 측정자료 데이터를 이용하였다. 현지조사는 지리적 특성, 주변 정온시설, 주풍향 등을 고려하여 9개 지점(H-1~H-9)을 조사지점으로 선정하였고(Figure 2) 여름, 가을, 겨울철 3회 조사를 하였다. 측정분석은 대기오염공정시험기준에 준하여 조사하였다(National Institute of Environmental Research 2019). 국가측정망자료는 계획지구에서 가장 가까운 대기중금속 측정망(계획지구와의 이격거리 약 3.9km)의 측정자료를 조사하여 예측에 이용하였다(Figure 2).

Case2의 AERMOD을 활용한 예측은 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency : EPA)지

정 공식모델로 우리나라와 같이 공단 및 산업단지 등이 복잡한 지형에 위치하고 있는 상황에 적합한 정상상태를 가정하는 가우시안 연기모델로 많이 활용되고 있다(Environmental Protection Agency 2004). AERMOD 예측 시 기상자료는 계획지구 인근 기상대의 부지기상 측정자료와 고층기상관측소의 상층기상 측정자료를 이용하였다. 예측지점은 대기영향에 따른 수용체인 A계획지구 내부를 대상으로 8개 지점(S1~S8)을 예측지점으로 선정하였다(Figure 2).

2) 평가

발암성 물질은 발암위해도를 산정하여 영향여부를 검토하게 되며, 국내의 경우 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 까지를 위해도 판단기준으로 정하고 있다(Ministry of Environment 2011). 기본적으로 10^{-6} 을 기준으로 하고, 국내·외의 최상의 저감시설 설치·운영을 포함한 모든 저감시설을 설치한 후에도 10^{-6} 기준을 만족시키기 어려운 경우에 한하여 10^{-5} 기준을 적용하고 있다(Ministry of Environment 2013). 발암성 물질의 발암위해도는 호흡단위위해도(inhalation unit risk)에 대기확산 모델로 예측한 농도를 곱하여 계산한다. 산업단지 발

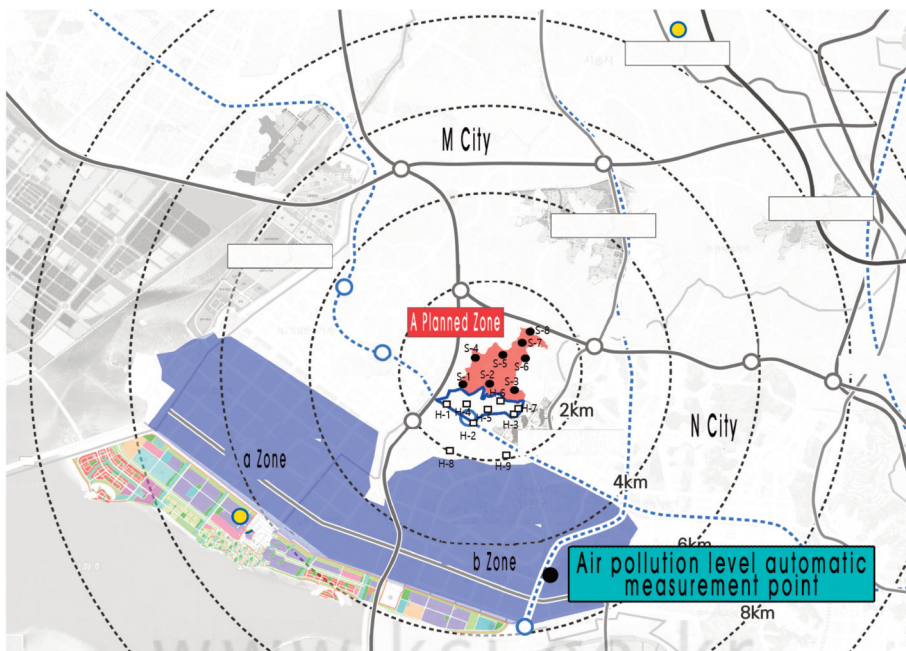


Figure 2. On-site survey point and Measurement location map.

암성 물질 7종의 호흡단위위해도는 포름알데히드(HCHO) $1.3E-05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 니켈(Ni) $2.4E-04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 6가크롬(Cr^{6+}) $1.2E-02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 염화비닐($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) $4.4E-06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 카드뮴(Cd) $1.8E-03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 비소(As) $4.3E-03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 벤젠(C_6H_6) $7.8E-06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다(Ministry of Environment 2013).

계획지구의 발암성물질 영향의 원인분석과 대책수립을 위해서는 주변 국가산업단지 등의 배출량에 의한 기여도 분석이 중요하다. 본 연구에서 기여도 분석은 계획지구 내부에 예측된 농도에 영향을 미치는 오염원별 기여도 산정으로 수행하였다. 주거지 개발부지 주변에 특정화될 수 있는 오염원 각각에 의해서 해당 계획지구 내부 농도에의 기여정도를 확인함으로써 향후 주거지 개발을 전제하기 위한 오염원 관리방안을 제안하기 위함이다.

III. 연구 결과

1. Case1. 주변지역에 대한 문헌을 통한 예측

1) 현지조사 결과

발암성물질 포름알데히드(HCHO), 니켈(Ni), 6가크롬(Cr^{6+}), 카드뮴(Cd), 비소(As), 벤젠(C_6H_6)에 대한 발암위해도를 산정한 결과 포름알데히드 $0.00E+00 \sim 9.58E-05$, 니켈 $3.36E-07 \sim 8.16E-07$, 6가크롬 $1.41E-06 \sim 2.65E-06$, 카드뮴 $1.98E-06 \sim 3.06E-06$, 비소 $1.08E-05 \sim 2.11E-05$, 벤젠 $1.26E-05 \sim 9.13E-06$ 로 산정되었다. $1.0E-06$ 기준 적용 시 6가크롬, 카드뮴, 비소, 벤젠(전지점), 포름알데히드(일부지점)가 초과하였다. $1.0E-05$ 기준 적용시 비소(전지점), 벤젠, 포름알데히드(일부지점)가 초과하였다. $1.0E-04$ 기준 적용 시에는 전항목, 전지점 만족하는 것으로 나타났다.

2) 국가측정망 결과

국가측정망(대기중금속 측정망)자료는 현지조사결과 위해성평가 $1.0E-06$ 기준 적용 시 초과한 항목인 6가크롬, 카드뮴, 비소에 대하여 계획지구 인근 중금

속 자동측정망 측정 데이터로 발암위해도를 산정하였다. 6가크롬 $1.56E-06 \sim 3.17E-07$, 카드뮴 $1.10E-05 \sim 9.00E-07$, 비소 $1.85E-05 \sim 9.46E-06$ 로 $1.0E-06$ 기준 적용 시 6가크롬, 카드뮴, 비소는 초과, $1.0E-05$ 기준 적용 시에는 카드뮴, 비소 초과, 6가크롬은 만족하는 것으로 나타났다.

2. Case2. 대기확산모델(AERMOD) 예측

1) 배출량 산정

A 계획지구 남측은 다른 유형의 산업단지보다 규모가 큰 국가산업단지가 인접하여 위치하고 있다. 국가산업단지인 a지구 및 b지구에서 배출되는 평균 대상물질 배출량 산정은 A계획지구와 국가산업단지가 속한 인근 M시 및 N시의 '화학물질 배출·이동량 정보시스템(PRTR 시스템)'의 '화학물질 배출량 조사결과 세부통계' 자료를 이용하였다(Ministry of Environment 2013). c지구와 d지구는 산업단지 조성 중이고 입주가 되지 않아 최근 PRTR 배출량자료(2017년)에 배출량 정보가 없어 제외하였다. 배출량 산정결과 발암성물질 중 염화비닐, 카드뮴, 비소의 배출량은 없는 것으로 나타나 포름알데히드, 니켈, 6가크롬, 벤젠 항목에 대하여 배출량을 산정하였다.

2) AERMOD 예측결과

AERMOD로 A 계획지구 내부 8개지점에 대하여 예측한 결과, 발암위해도는 포름알데히드 $1.01E-08 \sim 9.49E-09$, 니켈 $2.88E-07 \sim 4.68E-07$, 6가크롬 $0.00E+00 \sim 1.20E-07$, 벤젠 $1.01E-09 \sim 9.36E-10$ 으로 나타났다. 발암성물질인 포름알데히드, 니켈, 6가크롬, 벤젠 항목에 대하여 모두 $1.0E-06$ 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

3) 오염원별 기여도 분석결과

A 계획지구 내부에 예측된 니켈, 6가크롬 농도에 영향을 미치는 주변 오염원인 a지구, b지구, a지구와 b지구에 대하여 기여도 분석을 하였다. 기여도 분석결과 니켈 발암위해도는 a지구 $3.96E-07$, b지구는 $8.16E-08$ 으로 위해도기준을 모두 만족하는 것으로

Table 2. Result of Risk Assessment of Carcinogen and level of contribution (case2. AERMOD Prediction)

Classification		Level of Contribution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (A)	Respiration unit risk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (B)	Carcinogenic Risk (C=A×B)	Within/Excess (Hazard Standard :1.0E-06) (D)	Rate of Contribution (%) (E=C/D)
Nickel	a Zone	1.65E-03	2.40E-04	3.96E-07	Within	39.6%
	b Zone	3.40E-04	2.40E-04	8.16E-08	Within	8.2%
	a Zone + b Zone	1.99E-03	2.40E-04	4.78E-07	Within	47.8%
Hexavalent chromium	a Zone	4.68E-06	1.20E-02	5.61E-08	Within	5.6%
	b Zone	1.39E-06	1.20E-02	1.67E-08	Within	1.7%
	a Zone + b Zone	6.07E-06	1.20E-02	7.28E-08	Within	7.3%

Annotation: Rate of Contribution(%) = Carcinogenic Risk / Hazard Standard (1.0E-06) × 100%

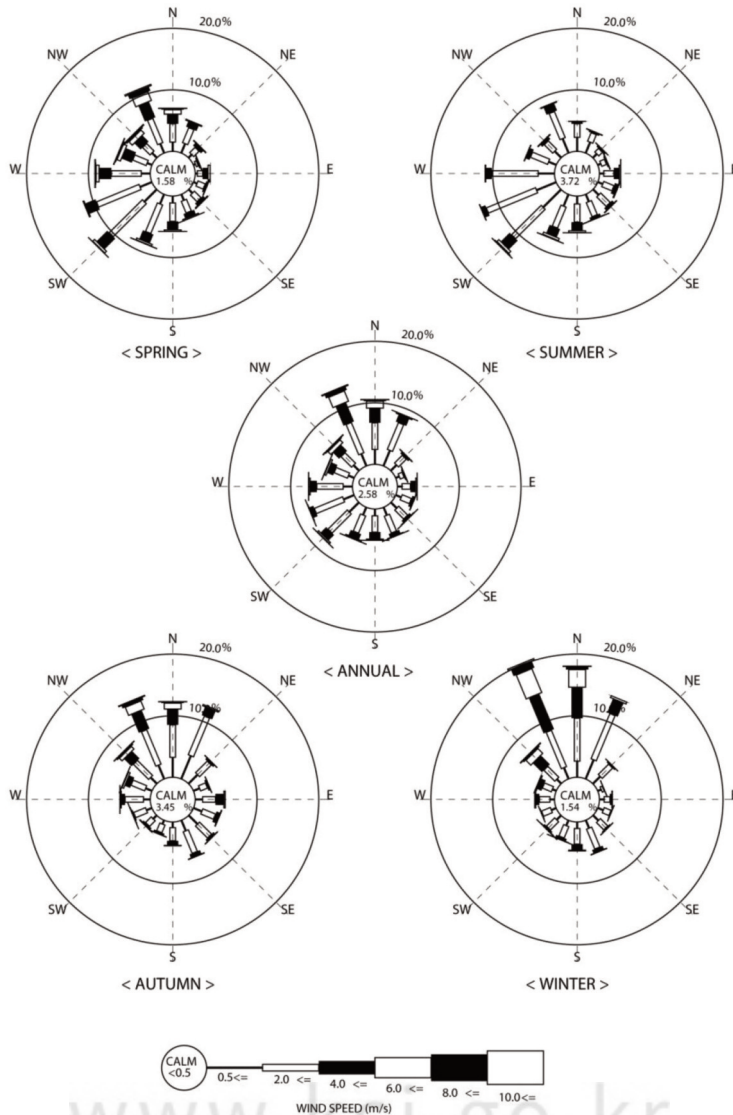


Figure 3. Wind Roses of Incheon weather station for the last 10 years.

Table 3. Case Comparisons

Classification		HCHO	Ni	Cr ⁶⁺	CH ₂ =CHCl	Cd	As	C ₆ H ₆
Case 1	On-site Survey	1.0E-06	○	×	○	-	○	○
		1.0E-05	○	×	×	-	×	○
	National data	1.0E-06	-	-	○	-	○	○
		1.0E-05	-	-	×	-	○	○
Case 2	AERMOD	1.0E-06	×	×	×	-	-	×
		1.0E-05	×	×	×	-	-	×

Annotation) ○ : Excess cancer risk, × : Below cancer risk, - : No data

나타났고 발암위해도를 발암위해도 기준인 1.0E-06으로 나눈 값의 백분율로 나타낸 기여율은 a지구 39.6%, b지구 8.2%로 나타났다. 6가크롬 발암위해도는 a지구 5.61E-08, b지구는 1.67E-08으로 위해도기준을 모두 만족하는 것으로 나타났고, 기여율은 a지구 5.6%, b지구 1.7%로 나타났다. 배출원이 위치하고 있는 a지구와 b지구의 A계획지구로의 발암위해도는 니켈, 6가크롬 모두 만족하고 기여도는 니켈은 47.8%, 6가크롬은 7.3%로 나타났다. 오염원별 분석결과 배출량이 많은 a지구가 b지구보다 기여도가 높게 나타남을 확인할 수 있었다(Table 2).

계획지구는 서측에 대부분 전·답이 분포하며, 동측에 인접하여 임야와 군자봉(199m)을 제외하고 대부분의 지역이 평지와 경사도가 완만한 구릉지로 형성된 동고서저형의 지형을 이루고 있어 오염물질의 이동은 지형적인 영향보다는 풍향과 풍속에 따른 풍하 지점의 농도변화를 추정해 볼 수 있다. 계획지구와 가장 가까운 곳에 위치한 시흥 자동측정망(AWS)와 인천기상대의 최근 10년간 주풍향 분석을 하였다(Figure 3). 시흥 자동측정망(AWS) 풍향은 봄, 여름 남서풍 계열, 가을 동풍, 겨울 북서풍 계열이 우세하고, 인천기상대 풍향은 봄, 여름 남서풍 계열, 가을, 겨울은 북서풍 계열이 우세한 것으로 분석되었다(Korea Meteorological Administration 2019). 계획지구 남서쪽에 위치한 a지구는 공통적으로 봄, 여름 남서풍 계열에 의해 풍하측인 남서쪽에 위치한 계획지구로의 오염물질 기여도가 남쪽의 b지구보다 높은 것으로 유추할 수 있다.

3. Case 별 비교

Case 1 현지조사에서 염화비닐은 연돌측정항목으로 계획지구 주변의 영향을 파악하기 어려우므로 제외하였다. 국가측정망은 현지조사결과 위해성평가 1.0E-06 기준 적용 시 초과한 중금속 항목인 6가크롬, 카드뮴, 비소를 대상으로 하였다. Case 2 대기확산모델(AERMOD) 예측은 a지구 및 b지구에 염화비닐, 카드뮴, 비소의 PRTR 배출량이 없어 제외하고 포름알데히드, 니켈, 6가크롬, 벤젠 항목 중 중금속 항목인 니켈, 6가크롬에 대해 예측하였다.

CASE 1의 현지조사에서 1.0E-06 발암위해도 초과 항목이 5개로 국가측정망조사의 6가크롬, 카드뮴, 비소의 3개 항목보다 포름알데히드, 벤젠의 2가지 물질이 많은 것으로 나타났으며, CASE 2는 1.0E-06 발암위해도 초과 항목이 없는 것으로 나타났다. CASE 1의 발암위해도 1.0E-05초과는 현지조사 포름알데히드, 비소, 벤젠의 3가지 항목, 국가측정망조사는 카드뮴, 비소 2가지 항목이었다. Case 1 현지조사에서 발암위해도 1.0E-05초과 물질이 국가측정망보다 1개항목이 더 있는 것으로 나타났고 Case 2는 발암위해도 1.0E-05초과 물질이 없는 것으로 나타났다. 종합하면 Case 1과 Case 2를 비교했을 때 case 1의 주변지역에 대한 문헌을 통한 예측농도는 Case 2 AERMOD를 이용한 노출농도예측농도보다 높은 것을 확인하였다(Table 3).

4. 분석결과 및 고찰

Case 1과 Case 2를 분석한 결과 Case 1은 발암성 물질인 비소, 카드뮴, 6가크롬은 1.0E-06 기준을 초과하고 1.0E-05 기준 적용시에는 비소가 초과하는

것으로 나타났다. Case 2는 발암성물질 중 염화비닐, 카드뮴, 비소의 배출량은 없는 것으로 나타났고 산정된 배출량에 의한 포름알데히드, 니켈, 6가크롬, 벤

젠 항목은 모두 $1.0E-06$ 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 특히 비소, 카드뮴의 경우 현지조사와 국가 측정망에서 발암위해도 초과 물질이지만, a지구 및 b

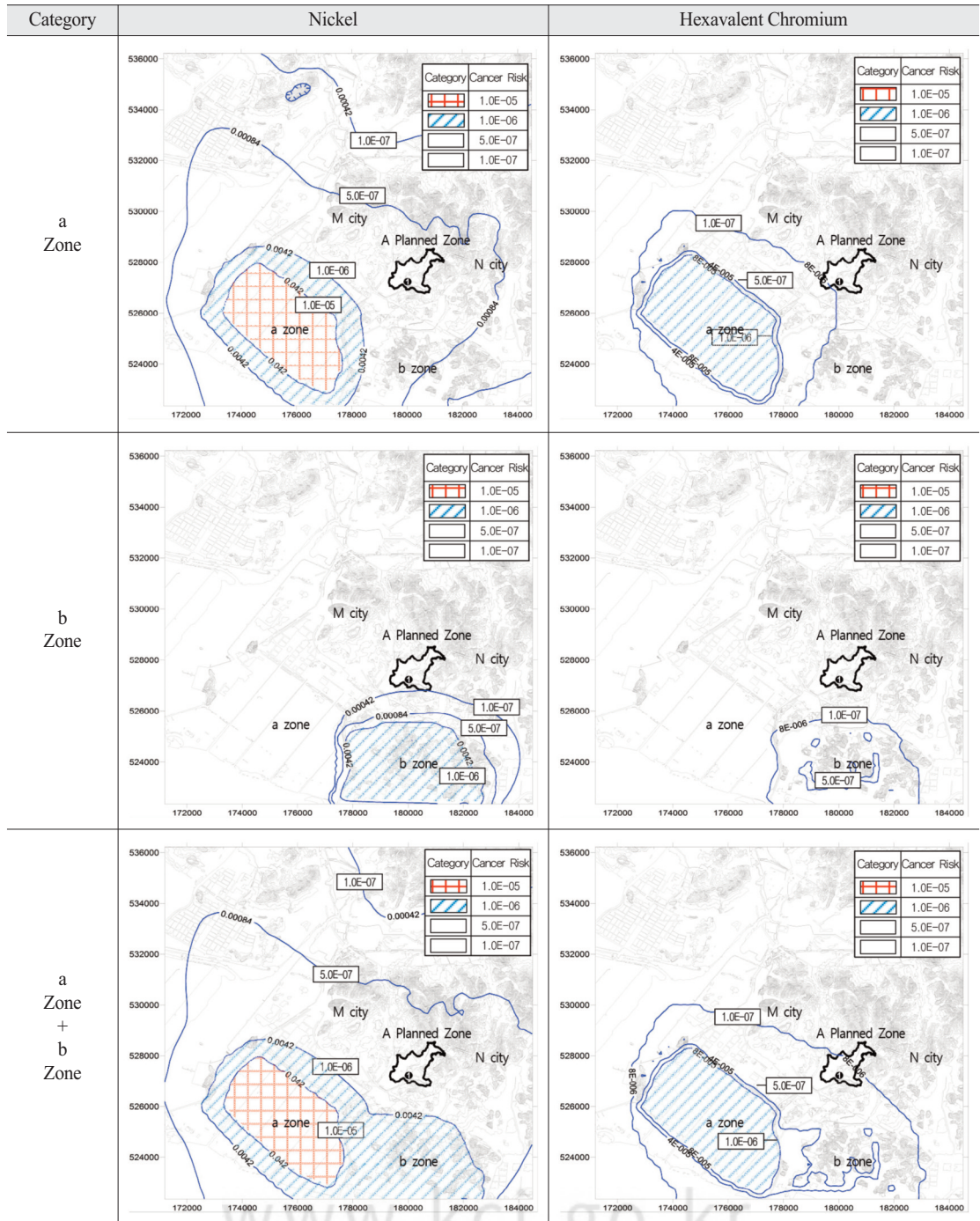


Figure 4. Contours at the point (Inner part of A planned zone) where carcinogenic effects are expected.

지구의 PRTR 배출량조사에서 배출되지 않는 물질로 나타나 계획지구 주변 비소와 카드뮴의 현황농도는 주변 국가산업단지인 a지구와 b지구의 영향이 아닌 것으로 추정 할 수 있다. 이를 종합하면 Case 1에서 $1.0E-06$ 기준을 초과하는 발암성물질인 비소, 카드뮴은 Case 2에서 주변 국가산업단지 등의 배출원에서 배출되지 않아 A 계획지구의 영향을 주지 않는 것으로 추론할 수 있다. 반면 포름알데히드, 니켈, 6가크롬, 벤젠 항목은 $1.0E-06$ 기준을 초과하지는 않지만 일정부분 A 계획지구의 오염도에 기여하는 것으로 분석되었다. 니켈, 6가크롬의 a지구 및 b지구 배출량의 수용체인 A계획지구로의 기여 등농도 곡선을 나타내었다(Figure 4).

본 연구는 현재 입주 완료하여 운영 중인 산업단지인 a지구 및 b지구의 배출량 산정을 통한 예측으로 기여도를 산정하여 계획지구 주변 배출원에서 계획지구 내부, 즉 수용체로의 발암위해도 기준 $1.0E-06$ 에 얼마나 기여를 하고 있는지 분석하고자 하였다. Case 2 AERMOD를 이용한 발암위해도 값보다 Case 1의 발암위해도 값이 높은 것은 현재 입주 완료하여 운영 중인 산업단지 a지구 및 b지구의 현황치가 포함되었기 때문인 것으로 판단된다.

건강영향평가 수행시 배출량 산정은 국내화학물질 배출이동량정보(PRTR)와 산업입지위단위(LH 2015)를 이용하여 산정하였으나, 배출량 산정방법에 따른 예측결과가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 PRTR 배출량 활용을 하였으나 PRTR 배출량 조사시 업종별, 화학물질 및 업체규모, 고용인원의 기준을 두고 표본 선정을 하여 배출량 조사를 하는 한계가 있기 때문에 모든 배출량이 조사되는 것은 아니다. 예를 들면 대학, 연구기관 등의 실험실 등에서 연구자에 의해서 화학물질을 사용하는 경우, 사용되는 장치 내에 있는 축전지와 같이 구입하여 사용하는 화학물질과 사업장, 조경시설 등의 유지에 사용되는 살충제 및 비료 등은 배출량 조사대상에서 제외되는 사항이 있다(Baek 2019). 또한 1개년도 PRTR 배출량을 적용하였기 때문에 해당년도의 배출량에 따라 과대, 과소 예측가능성이 있을 수 있다.

본 사례연구에서 현지조사 자료는 계획지구에 인

접한 측정지점을 분포시키고 대상물질 중 발암성 물질에 대한 자료 분석이 가능하였지만 측정망 자료는 물질별 측정지점 및 측정횟수 등이 서로 다른 것이 한계로 나타났다. 그럼에도 본 연구는 주거지개발사업의 입지예정지 주변의 발암성 물질을 조사하고 대기 확산모델링을 통해 수용체 내에서의 주변 배출원에 대한 오염물질별 평가를 실시하였다. 수용체 주변 산업단지는 지속적으로 대기 중에 오염물질을 배출한다는 가정의 가우시안 연기모델(Gaussian Plume Model)인 AERMOD가 수용체 노출농도 예측에 적합하다고 판단하였다. 현행 환경영향평가제도 내 건강영향평가 위해성 평가 작성시 적용으로 신뢰성을 높이는 방안이 필요할 것으로 예상된다.

IV. 결론

본 연구는 실제 주거지 개발사업 사례분석을 통해 주거지 계획대상지 주변의 배출원에서 발생하는 오염물질이 수용체인 향후 입주하는 계획지구 입주민들에게 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 발암성물질에 대한 주변 현지조사 및 국가측정망 자료를 이용한 예측과 AERMOD에 따른 노출을 예상할 수 있는 농도 예측, 오염원별 기여도를 분석하였다.

평가결과, Case1 주변지역에 대한 문헌을 통한 예측에서 대기오염물질 측정 자료로 본 발암위해도 수준은 $1.0E-06 \sim 1.0E-05$ 기준으로 $1.0E-05$ 기준을 초과하는 항목이 일부 있는 것으로 나타났다. Case2 AERMOD모델링을 수행한 결과 수용체인 계획지구 내부 8개 지점에서 모두 발암위해도($1.0E-06$)를 만족하는 것으로 나타났다. 니켈 기여도 분석 결과는 M시와 N시에 속해있는 a지구는 39.6%로 N시의 b지구 8.2%보다 기여도가 높은 것으로 나타났다. 또한 6가크롬 기여도 분석결과도 M시와 N시에 속해있는 a지구는 5.6%로 N시의 b지구 1.7%보다 기여도가 높은 것으로 나타났다. 그 이유는 a지구 대비 b지구가 산업단지 조성면적이 약12%(1/9) 수준이고 입주업체도 4,400여개 더 적은 것에 기인하는 것으로 판단된다(Korea Industrial Complex Corporation 2019).

국내 건강영향평가의 개념은 대상사업의 시행이 야기하는 건강결정요인의 변화로 인해 특정 인구집단의 건강에 미치는 잠재적 영향을 확인, 긍정적 영향을 최대화하며 부정적 영향을 최소화하여 사업계획을 조정하거나 대책을 마련하도록 의사결정권자에게 정보를 제공하는 것이다(Shin 2020). 여기서 대상사업의 특수성, 건강영향평가 작성자 등에 따라서 평가방법은 달라지기 때문에 어떤 평가방법이 적합한지 여부를 따지는 것은 불필요하며 각각의 평가방법에 대한 장·단점을 파악해 해당사업에 적용하는 것이 중요하다.

택지개발 등 주거지 개발사업에서의 입지적정성을 검토하고자 할 때 주변지역에 대한 문헌을 통한 예측(현지조사, 국가측정망자료)과 대기모델링(AERMOD)수행으로 계획지구 주변 오염원에 대한 수용체(계획지구)의 노출농도예측과 기여도 분석은 매우 중요하다. 수용체 지향의 건강영향평가는 건강영향을 유발하는 요인이 아닌 건강영향의 결과인 수용체 입장에서 접근하는 것이기 때문이다. 지금까지의 국내 법적인 건강영향평가가 개발 사업인 오염원의 배출 및 이로 인한 위해성에 중점을 두었다면, 앞으로는 개발 사업부지 주변에 생활하는 지역주민에의 노출로 인한 지역사회 위해성에 중점을 두어야 할 것이다.

이러한 관점에서 환경보건법 제13조 건강영향 항목의 추가·평가 등에서 규정한 환경유해인자가 국민 건강에 미치는 영향을 검토하기 위해서는 수용체 중심의 건강영향평가 방법은 중요하다. 본 연구에서 다루는 계획지구 인근 산업단지 등 배출원에 의한 노출농도예측 및 기여도분석, 위해성평가는 수용체 지향의 건강영향평가를 위한 첫 단계라고 할 수 있으며, 택지개발 등 주거지 개발사업에서의 수용체를 고려한 건강영향평가 방법론 연구에서 활용될 수 있다고 판단된다.

본 연구는 현재 계획지구 주변 운영 중인 산업단지 오염원으로 한정하였다. 향후 현재 계획지구 주변에서 운영 중인 산업단지 외 조성중이거나 임주가 되지 않은 산업단지 등 개발계획에 대한 배출량을 산정하여 노출농도예측, 기여도분석 및 위해성평가를 하여

택지개발 등 주거지개발사업의 미래 입주민인 수용체에 미치는 영향을 검토하는 것도 필요할 것으로 예상된다. 하지만 현행 건강영향평가제도에서 적용하여 평가하는 것이 적정한지와 개발계획 자료입수를 통한 배출량산정 문제 등에 따라 수행할 수 있는지 여부, 효용성에 대하여 전문가와 논의를 통한 시범수행하는 등의 검토가 필요하다. 또한 본 연구에서 물질별 평가항목설정은 건강영향평가 매뉴얼의 산업단지 발암성 물질로 한정하여 수행한 한계가 있으나 산업단지에서 배출하는 다양한 대기오염물질은 수용체에 어느 정도 기여를 하고 있는지 추가 연구가 이루어져야 할 것이다.

사사

본 연구는 도화엔지니어링에서 2019년 한국환경정책·평가연구원으로부터 위탁받아 수행한 [정성적 평가를 적용한 시범적 건강영향평가 수행] 연구결과 일부를 바탕으로 한 것입니다.

References

- California Environmental Protection Agency. 2017. CalEnvironScreen 3.0.
- Baek S. 2019. Emission Characteristics of Airborne Toxic Chemicals in Yeongnam Region - Focusing on Health Risks, J Korean Soc. Atmos. Environ., Vol.35, No.4, August 2019, pp.461-475. [Korean Literature]
- EIASS. Environmental Impact Assessment Surpport System [Internet]. Available from : <https://eiass.go.kr>.
- Environmental Protection Agency. 2015. Guidance for the Assessment of Environmental Factors - Separation Distances between Industrial and Sensitive Land Uses.
- Ha J. 2018. A study on the Application of

- Potential Exposed Population for a Receptor-oriented Health Impact Assessment, *J Environ Impact Assess*, 27(2): 194-202. [Korean Literature]
- Kim H, Roh S. 2016. Relationship between residential district and heat-related quality of life in Chungnam industrial complex area, *Environmental Health and Toxicology*, 31.
- Kim S. 2018. Quantitative Assessment on Contributions of Foreign NOx and VOC Emission to Ozone Concentrations over Gwangyang Bay with CMAQ-HDDM Simulations, *J Korean Soc. Atmos. Environ.*, Vol.34, No.5, October 2018, pp.708-726. [Korean Literature]
- Kim S. 2019. A Case Study on Health Impact Assessment of Hazardous Air Pollutants in Industrial Complex Development Plan, *J Environ Impact Assess*, 28(6): 616-625. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute. 2015. 2015 Environment Assessment - Basic teaching materials for education programs. [Korean Literature]
- Korea Environment Institute. 2017. Improvement of Risk Assessment in Health Impact Assessment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2013. Manual for Assessment of Health Impact Items. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2015. Regulations on Environmental Impact Assessment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2016a. Integrated Guidelines for Development and Location of Industrial Complexes. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2017a. Comprehensive Evaluation of Environmental Pollution Exposure and Health Impact Monitoring Projects for Local Residents in the Country's Mountain Area. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2017b. A Study on the Improvement of Health Impact Assessment Method. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2018. A Study on the Improvement of Health Impact Assessment System on the receptor's demand. [Korean Literature]
- PRTR. Pollutant Release and Transfer Registers [Internet]. Available from : <https://icis.me.go.kr/prtr/main.do>
- Shi J et al. 2018. A method to determine the protection zone of chemical industrial park considering air quality, health risk and environmental risk: a case study. *Environmental geochemistry and health*, 40(2): 915-922.
- Shin M. 2020. A Study on a Plan Adequacy Evaluation for Industrial Complex Development Considering Health Impact, *J Environ Impact Assess*, 29(2): 93-111. [Korean Literature]