

Building a Causal Loop of Disaster Management Process for Fine Dust Considering a Dynamic Life Cycle

Myung Gi Hong^{1#}, Yong Un Ban^{1*}, Nam Hee Choi²

¹ Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-gu, Cheongju, Korea

² the Public Management Information System at Korea National University of Transportation, Daehak-ro 50, Daesowon-myeon, Chungju, Korea

Abstract

This study used system dynamics to build a dynamic life-cycle causal loop diagram for fine dust, one of social disasters recently discussed in Korea in order to propose an integrated disaster management framework for fine dust disaster with a sustainable urban metabolism paradigm. To reach this goal, this study reviewed the previous research related to fine dust and disaster management comprehensively. As a result, this study extracted the major factors of fine dust disaster, checked a mutual causal relationship, and then built a causal loop diagram using variables in each factor according to a sustainable urban metabolism paradigm composed of economic, social and environmental characteristics and a new disaster management framework. The proposed disaster management framework has clearer classification criteria than the existing framework and reflects the time-dynamic characteristics of disasters and sustainability, making it easier to predict and monitor fine dust disaster in advance and enabling policy makers and practitioners to prepare action plans and implement them in an appropriate and prompt manner.

Key words: fine dust, causal loop, system dynamics, disaster management, dynamic disaster life cycle, sustainable urban metabolism

1. 서론

도시재난이란 도시공간에서 발생하는 재난으로써, 자연재난, 인적재난, 국가기반 재난을 포함한다. 우리나라의 경우, 재난의 개념에 관하여 그 의미가 학술적으로 명확하게 정의되어있지 않으며, 법률상에서도 명확하게 한가지로 정의되어있지 않다. 때문에 사회 환경과 시대에 따라 그 개념이 유동적으로 인지되고,

비록 작은 사고임에도 사회 관심도에 따라 크게 담론화 되어왔다.

최근 사회적 재난의 하나로 논의되고 있는 미세먼지 문제의 해결을 위해 다양한 정책 등이 제시되고 시행이 되어 왔지만, 국내의 미세먼지 농도는 다른 나라에 비해 더 높으며, 세계보건기구(WHO)에서 제시하고 있는 권고기준에 비해서도 대단히 높은 상황이다. 일반적으로 미세먼지는 입자크기가 매우 작은 미

The 1st author: Myung Gi Hong, Tel. +82-10-9326-0423, e-mail. christian_zior@naver.com

* Corresponding author: Yong Un Ban, Tel. +82-43-273-3391, e-mail. byubyu@chungbuk.ac.kr

세먼지(PM, Particulate Matter)를 의미하며, 미세먼지 형태 자체로도 배출되지만, NOX, SOX, 또는 오존의 형태로 배출되어 기상상태에 따라 2차적으로 전환되어 생성되기도 한다. 일반적으로 미세먼지는 미세먼지인 PM10과 ‘초미세먼지’로 불리는 PM2.5로 구분된다. PM10은 인간의 머리카락 지름인 50-70 μm 보다 대략 1/5-1/7 정도로 작은 크기이며, PM2.5는 머리카락의 대략 1/20-1/30 정도이다. 미세먼지는 매우 작은 크기 때문에 대기 중에 머물러 있다 호흡기를 거쳐 폐 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 쉽게 이동하여 침투할 수 있으며, 이는 건강에 악영향을 준다.

Han, *et. al.*(2018)이 진행한 최근 연구결과에 의하면, 2006년에서 2016년 사이 서울시에 거주했던 호흡기질환 환자를 분석한 결과, 미세먼지 및 초미세먼지가 외래 및 입원 등의 병원 방문에서부터 사망에 이르기까지 전반에 악영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또 세계보건기구(WHO) 권고 기준 이하의 미세먼지에서부터 호흡기질환 환자에 대한 건강 영향이 나타났다고 했으며, 국내 미세먼지 허용 기준의 추가적인 하향 조정 등을 포함하여 위해성이 보다 심각한 초미세먼지 저감 정책이 필요할 것이라고 보고했다.(Han, *et. al.*, 2018)

2016년 OECD에서는 모델링을 통해 이와 같은 심각한 초미세먼지와 오존의 농도가 지속적으로 증가함으로써 결국 경제에 상당한 영향을 미칠 것으로 예측하였다. 즉, 2015년 210억 달러 (2010년 일정한 USD 및 PPP 환율 사용)에서 2060년 1760억 달러(2005년 기준)로 전 세계 대기오염 관련 의료비용이 증가할 것으로 예상되었다. 또한 2060년이 되면 노동생산성에 영향을 미치는 연간 근로손실일수가 전 세계적으로 37억일(현재 12억일 안팎)에 이를 것으로 전망했다. 이 예측모델은 건강과 관련하여 다음과 같은 결과를 내놓고 있다. 먼저, 기관지염의 경우, 기관지염의 발생 건수는 6-12세 아동은 연간 1200만3600만 건, 성인은 350만 건에서 1000만 건으로 크게 늘어날 것이다. 둘째, 천식의 경우, 5세에서 19세 사이의 아이들의 천식

증상일수가 증가되어 2010년의 3.6명에서 2060년에는 1,100만명으로 증가할 것이다. 셋째, 조기 사망자의 경우, 옥외 대기오염으로 인한 조기 사망자는 2010년 전 세계 300만 명에서 2060년에는 전 세계 600만-900만 명(각각 비선형 및 선형 농도-반응 기능 고려)으로 늘어날 것이다. 이는 PM2.5와 오존의 농도가 높아졌을 뿐 아니라 인구 증가와 고령화, 도시화로 인해 대기오염에 더 많이 노출되기 때문이다(OECD, 2016).

위에서 살펴 본 대기오염, 특히 미세먼지로 인한 기관지염, 천식, 조기 사망과 같은 질병을 예방하고 발생된 피해를 최소화하는 정책은 매우 중요하다. 그러나 널리 퍼져 있는 오염물질과 오염원은 국가마다 큰 차이가 있기 때문에 대기오염의 영향을 줄이기 위한 일률적인 방법은 없다. 그리고 오염도를 낮추는 정책을 추진하게 되면 대기오염의 경제적 비용뿐만 아니라 물리적이고 환경적인 문제도 해결할 수 있을 것이다. 반대로 생각하면 미세먼지와 같은 재난에 대한 피해 저감과 적응 대책을 마련하기 위해서는 경제적인 면은 물론 물리적, 환경적, 사회적인 영향을 고려하여야 한다. 도시 공간 내에서 발생하는 미세먼지와 같은 사회적으로 발생하는 인적재난은 원인이 복합적으로 작용하여 인명 및 건강 피해뿐 아니라 경제적인 피해를 초래함으로써 국가적으로 커다란 손실을 야기하고 있다. 따라서 이러한 재난에 따른 피해를 저감하기 위하여 국내 또는 해외에서 최근 다양한 연구가 진행 중이며, 그 중에서도 피해예측이나 피해액을 산정하는 연구가 주를 이루고 있다. 그 예로써 국내에서는 효율적 재난관리를 위한 홍수에 대한 피해지표, 홍수 취약성 지수, 피해금액 산정 및 추정을 위해 다차원법 등을 통해 피해를 평가하고 취약지역을 파악하는 연구가 주로 수행되어왔다(Park, *et. al.*, 2010; Kim, *et. al.*, 2014).

재난관리를 위해 2010년 UNESCO에서 발간한 ‘Disaster Planning - prevention, preparedness, response, recovery’와 2015년에 중앙안전관리위원회와 국민안전처에서 수립한 ‘국가 안전관리 기본계획’ 등에서는 재난재해 관리 단계를 ‘예방(Prevention), 대비(Preparedness), 대

응(Response), 복구(Recovery)’의 순환적 4단계로 분류하였고, 일반적인 재난관리 연구는 이 4단계의 관리 단계를 적용하여 진행된다.

하지만 현재 국내에서 크게 이슈가 되고 있는 미세먼지와 대기오염의 도시재난에 대한 피해 추정 연구와 대응 및 적응 관련 연구는 아직까지 많이 부족한 실정이며, 국내 재난관리 키워드는 태풍, 호우, 산사태, 폭염, 폭설 등에만 집중되어 있는 상태이다. 또한 UNESCO에서 발표하고 중앙안전관리위원회와 안전처에서 수립한 이 4단계의 일반적인 재난관리 단계 틀은 단계 틀 간의 분류가 모호하고, 재난의 발생과 피해에 대한 시간적 동태적 특성을 반영하지 못하기 때문에 단계에 대한 피해 추정이 어렵고 즉각적인 회복 및 적응 전략 수립과 적용이 어렵다. 따라서 사회적 재난의 일종인 미세먼지의 생애주기를 동태적으로 파악하여 저감, 발생, 피해, 회복의 단계별로 경제, 사회, 환경적인 요인을 통합적으로 다룬 미세먼지 관리 패러다임이 필요하다.

본 연구의 목적은 시스템 다이내믹스를 활용하여 최근 국내에서 사회적 재난의 하나로 논의되고 있는 미세먼지에 대한 동태적 생애주기 인과지도를 구축하고, 지속가능한 도시 메타볼리즘 패러다임을 적용한

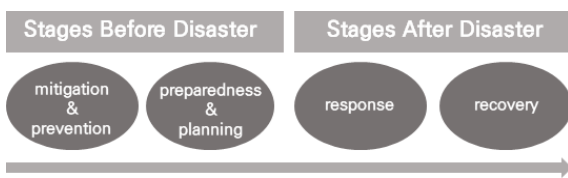


Figure 1. The flow in disaster management phase.

Table 1. Major activities for disaster management phase-by-step

division	step	Main Activities
Stages Before Disaster	mitigation & prevention	Establishment and maintenance of building law, risk analysis and risk mapping, land use management, tax inducement accident insurance, safety related establishment and maintenance, etc.
	preparedness & planning	Establish emergency response plan, establish emergency communication network, maintain cooperation system with related organizations, build emergency alarm system, secure emergency resources, etc.
Stages After Disaster	response	Emergency medical system operation, implementation of disaster response plan, urgent response and disaster response, patient acceptance and transfer, lifesaving rescue activities, provision of medicines and daily necessities, etc.
	recovery	Removal of debris, support for victims, provision of temporary residence, prevention and prevention of infectious diseases, restoration of facilities and damage compensation, etc.

※ Source: Song, et. al., 2012.

통합적인 미세먼지 재난관리 틀을 제안하는 것이다.

II. 미세먼지재난 관련 선행연구

1. 주요 선행연구

1) 재난관리 단계 관련 선행연구

현재까지 대부분의 나라와 재난관리 연구기관 등에서 채택 및 적용되고 있는 재난관리의 목표와 주요 활동은 Comoerhensive Emergency Management Model, CEM)에 기반한다. 1985년 미국의 전국주지사협회(National Govemors Association, NGA)의 연구에서 Willian J. Petak(1985)은 완화와 예방(Mitigation & Prevention), 대비와 계획(Preparedness & Planning), 대응(Response), 복구(Recovery)의 단계로 설명하였으며, 이 4단계 모형은 재난의 생애주기(Life Cycle)를 토대로 분류 설정되었다. 기존 우리나라의 재난 관리 단계의 흐름과 재난관리에 대한 단계별 주요활동은 <Figure 1>, <Table 1>과 같다.

Song, et. al.(2012)은 재난관리 단계에 대해 다음과 같이 서술하고 있다. 먼저, 사고 발생 원인과 조건을 찾아내어 이를 소멸시키는 일이 중요하다. 둘째, 재난 발생 상황을 대비한 대비 시스템 등을 구축해야 한다. 셋째, 재난 발생 상황 시 대응 방향과 방법에 대한 계획이 체계적으로 마련되어야 한다. 마지막으로, 재난 피해에 대한 복구 및 재발방지를 위한 노력이 필요하다고 하였다(Song, et. al., 2012).

하지만 <Table 1>에서 보는 바와 같이 예방단계에

서의 주요활동 프로그램이 훈련·정비 및 계획 정도로 그치고 있다. 즉, 미세먼지와 같이 상시적인 모니터링과 저감 활동 노력이 필수적인 항목에 대하여서는 재난관리 각 단계 별 주요 활동체계 구축이 미비한 상태이다. 또한 ‘예방단계와 대비단계’ 및 ‘복구단계와 예방단계’의 구분이 명확하지 않다. 이를 해결하고 체계적으로 재난에 대응하기 위해서는 재난 관리 단계에 있어서 재난 자체의 동태적인 생애주기(Life cycle)별 정의가 체계적으로 정립 및 반영되어야한다. Song, *et. al.*(2018)은 국가의 경제력 차이는 재난 발생 시 피해, 복구, 저감 등의 재난 자체의 생애주기별 영향과 연관성이 있으며, 도시 안전성에 있어서 재난의 피해는 정치적 및 경제적 요소가 체계적일수록 피해가 감소함을 제시함으로써 재난관리 단계의 체계성과 명확성을 강조하였다(Song, *et. al.*, 2018).

2) 미세먼지 관련 선행연구

미세먼지 관련 선행 연구들은 주로 예측 모델링을 통한 추후 미세먼지 농도와 그 영향력을 예측하고 기여도를 추정하는 연구와 미세먼지와 관련된 변수 간 상관관계를 검증하는 연구가 주를 이루고 있다. 기여도 관련 선행연구를 살펴보자면, Lee, *et. al.*(2005)은 CMB9 수용모델 적용 및 진단을 통한 분석을 통해 서울지역에서의 미세입자 농도가 봄과 가을철 어떤 배출원에서 얼마나 영향을 받았는지를 알아보고자 하였다. 이 연구에서 각 배출원 기여도를 봄과 가을철별로 비교하여 분석하였다. 봄철 수용지점에 영향을 미친 주배출원은 Chinese aerosol (31.7%), 이차입자 (22.3%: ammonium sulfate 13.4%, ammonium nitrate 8.9%), 자동차 배출원 (16.1%: 가솔린 자동차 1.4%, 디젤 자동차 14.7%), 식물연소(15.5%), 지각기원 배출원(10.5%)순이었다. 가을철에는, 식물연소 (31.1%), 자동차 배출원 (26.9%: 가솔린 자동차 5.1%, 디젤 자동차 21.8%), 이차입자 (23.0%: ammonium sulfate 9.1%, ammonium nitrate 13.9%), Chinese aerosol (10.7%) 순으로 평가되었다(Lee, *et. al.*, 2005). Kim(2006)는 이전 미세먼지 관

련 연구들의 결과를 통합하여 농도에 영향을 미치는 주요 변수를 분석하였다. 그는 서울 대기의 미세먼지 농도에 영향을 미치는 주요 인자는 자체에서의 배출, 반응에 의한 생성, 외부로부터의 유입 세 가지라고 하였다. 또한 휘발유와 경유자동차 영향이 15-25%, 2차 먼지의 기여율이 30-40%, 소각활동의 기여율이 20%라고 하였다(Kim, 2006). Jang(2016)는 은 국립환경과학원에서 조사한 대기오염물질 배출량 데이터(2013)를 통해 오염 배출원별 PM10과 PM2.5의 배출기여율을 명시하였다. PM10의 배출 기여율을 살펴본 결과, 비산먼지 44.26%, 제조업 연소 32.91%, 생물성 연소 6.36%, 비도로이동오염원 6.16%, 도로이동오염원 4.92%, 생산공정 2.54%, 에너지산업 연소 1.84%, 비산업연소 0.79%, 기타 면오염원 0.13%, 폐기물 처리 0.10% 순으로 명시하였다. PM2.5의 배출 기여율을 살펴본 결과, 제조업 연소 40.42%, 비산먼지 15.37%, 생물성 연소 12.32%, 비도로이동오염원 11.31%, 도로이동오염원 10.60%, 생산공정 5.19%, 에너지산업 연소 3.12%, 비산업연소 1.17%, 기타 면오염원 0.31%, 폐기물 처리 0.18% 순으로 명시하였다. 또한 2차 생성 미세먼지 발생과정인 국내 기원의 배출 생성량 분석을 통해 PM10의 배출량 기여율을 살펴본 결과, 제조업 연소 65%, 비도로이동오염원 13%, 도로이동오염원 12%, 생산공정 6%, 에너지산업 연소 4%, 비산업연소 2% 순으로 명시하였으며, PM2.5의 배출량 기여율을 살펴본 결과, 제조업 연소 52%, 비도로이동오염원 17%, 도로이동오염원 16%, 생산공정 8%, 에너지산업 연소 5%, 비산업연소 2% 순으로 명시하였다(Jang, Particulate Matter, 2016). Lee, *et. al.*, 2017)은 국내에서 생성된 미세먼지 배출에 의한 기여가 41%이고, 국외의 배출 기여율이 59%라고 발표하였다. 중국지역만의 배출기여도는 약 45%를 차지한다고 하였다. 중국을 포함한 국외의 각 권역별 기준을 살펴보면, 일본 및 북한 등 기타 국가 14%, 중국 중북 12%, 중국 중남 10%, 중국 동북 10%, 중국 동남 9%, 그 외 중국의 기타 권역 4% 순으로 명시하였다(Lee, *et. al.*, 2017). 현재

까지 국내의 초미세먼지의 데이터 축적량이 많지 않기 때문에 미세먼지의 배출원별 기여도 연구는 미래의 미세먼지 농도와 피해를 추정하기 위한 모델링을 할 때에 매우 중요한 자료이다.

기여도 이외의 미세먼지 관련 논문으로는 상호 변수 간 효과 크기와 부적, 양적 영향을 파악 할 수 있는 논문들이 있다. Kwon, *et. al.*(2016)은 시계열 자료 분석을 통해 지방정부의 대기환경예산 지출이 대기오염 정도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이 연구를 통해 저자는 대기환경예산의 효과성이 관측되지 못한 원인은 광역자치단체의 총예산에서 대기예산이 차지하는 비율이 평균 0.232% 정도의 매우 적은 비중을 차지하였다는 것과 정책에 따른 예산의 구조가 시계열적으로 크게 변화한 적이 없는 것이라고 판단하였으며, 예산의 금액보다 구조적인 변화가 정책성공에 있어서 유효한 영향력을 가질 수 있다고 하였다(Kwon, *et. al.*, 2016).

Kim, *et. al.*(2009)은 교통에너지 소비, 경제수준, 도시의 밀도를 주요변수로 설정하여 경로분석을 통해 압축도시 공간구조 특성이 교통에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향관계를 분석하였다. 분석 결과, 경제수준이 높아질수록, 단핵분산형 도시와 도농통합 시일수록 교통에너지 및 차량의 이용을 증가시키고, 밀도가 증가할수록 대기오염 발생원의 집중을 초래하므로 대기오염농도를 악화시킨다고 하였다(Kim, *et. al.*, 2009).

또한 Radu, *et. al.*(2016)은 미래 기후 및 대기 오염 정책에 대한 서로 다른 가정이 온실가스 및 대기 오염 물질 배출에 어떻게 영향을 미치는지를 조사하기 위해 IMAGE 프레임워크(Integrated Model to Assess the Global Environment)를 사용하여 개발한 10가지 시나리오를 제시하였다. 이러한 시나리오에 의해 기후와 대기오염 정책의 매트릭스를 이용하여 21세기 세계 26개 지역의 대기오염물질 배출에 대해 설명하였다. 기후 정책의 경우, 연구는 RCP6.0보다 약간 높은 수준의 강제력을 초래하는 기준선과 RCP2.6과 유사한 야

심한 기후 정책 시나리오를 사용하였으며, 대기 오염의 경우, 이 연구는 개선되지 않는 것에서부터 현재의 법률 및 추가적인 개선을 가정하는 세 가지 변형에 이르기까지 점점 더 엄격한 배출 기준을 탐구하였다. 모든 오염원에 대해 2030년 이후에는 활동 증가로 인한 배출량 증가를 막고, 배출량을 더욱 줄이기 위해 보다 엄격한 통제 정책이 필요하다는 결과가 나왔다. 또한 기후 완화 정책이 SO₂와 NO_x 배출에 가장 큰 영향을 미친다고 하였다(Radu, *et. al.*, 2016). SO_x와 NO_x 배출량이 미세먼지 관련 연구에서 의미가 있는 이유는 앞서 서론에서 명시했다시피 미세먼지는 NO_x, SO_x, 또는 오존의 형태로 배출되어 기상상태에 따라 2차적으로 전환되어 생성되기도 하기 때문이다.

<Figure 2>은 위의 배출량을 예측하였던 배출량 예측 모델 모듈이고, 배출량 예측 식은 다음과 같다.

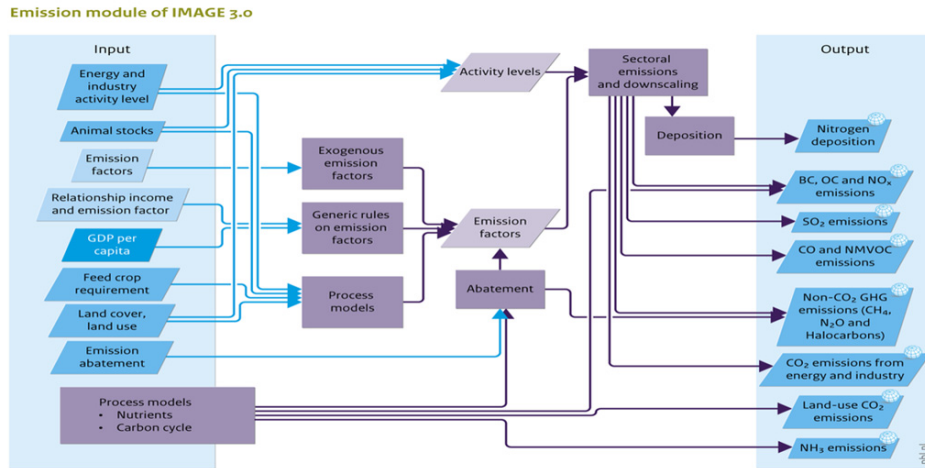
$$\text{Emissions}_{S(t)} = \text{EFS}_{a,b(t)} \times \text{Activity}_{S,a,b(t)}$$

미세먼지와 대기오염물질의 발생요인은 상당히 유사하므로 <Figure 2>의 배출량 모듈을 활용하면 신뢰도 높은 미세먼지 인과지도를 구축할 수 있을 것이다.

2. 미세먼지 재난의 주요 변수들

본 연구에서는 선행연구 고찰을 통해 미세먼지의 생애주기를 동태적으로 파악하여 연구자가 재해석한 재난관리 단계인 저감, 발생, 피해, 회복의 순서에 따라 경제, 사회, 환경적인 요인을 선정한 후 각 요인별로 변수를 선정하여 통합적인 미세먼지 관리 패러다임을 제시한다.

대기 중의 미세먼지관련 선행연구의 이론적 고찰을 통해 미세먼지를 유발하는 주요 인자들을 추출 및 선정하여 요약하였다. 미세먼지에 대한 변수는 수없이 많지만, 후속연구에서 Stock&Flow Diagram의 시뮬레이션을 통한 미래 미세먼지 농도를 추정할 예정이므로 가장 효과크기가 확실하거나, 인과관계가 명확한 변수들로 축약하여 선정하였다.



※ Source: Exploring Synergies between Climate and Air Quality Policies Using Long-term Global and Regional Emission Scenarios, Atmospheric Environment(Olivia Braspenning Radu, et. al., 2016)

Figure 2. Emissions module of IMAGE 3.0

1) 저감 단계

본 연구는 재난 관리체제의 저감 단계를 재난 자체에 직접적인 영향을 미치는 발생 단계 변수에 영향을 미쳐 인적인 요소로 규모를 조절할 수 있는 주요 변수 요인으로 정의하였으며, 각 변수의 도시적 특성에 따라 경제적 특성에는 저유황 석탄 및 제품기준 발표, 질소산화물 감축, 공업먼지 감축 등과 같은 저감정책 변수가 존재하고, 사회적 특성에는 도시규모, 총 통행량, 에너지 사용량, 인당 에너지 비용, 대중교통 보급, 차량 2부제, 낡은 자동차 100만대 퇴출 등과 같은 저감정책 변수가 존재한다.

미세먼지는 도시규모가 증가함에 따라 그 발생량이 증가하는 양적관계를 가지고 있으며, 도시규모는 비산업연소량, 산업의 생산공정과 제조업 연소량, 도시 내 총 통행량, 에너지 사용량에 양적 관계를 갖고 일방적 영향을 미친다. 총통행량은 도로·비도로 이동오염원을 증가시키는 도시 내 교통에너지 증가 변수와 양적 관계로써 일방적 영향을 미친다. 도시의 에너지 사용량은 에너지 생산을 위한 화력 발전량의 변수와 폐기물 발생량 변수 그리고 인당 에너지 비용 변수와 양적관계로써 일방적 영향을 미치며, 폐기물 발생량은 폐기물 소각량과 양적관계로써 일방적 영향을 미친다. 인당에너지 비용은 에너지 사용량 변수와 서로 부적관계로써 일방적 영향을 미치며, 저유황 석탄

및 제품기준 발표, 질소산화물 감축, 공업먼지 감축, 대중교통 보급, 차량 2부제, 낡은 자동차 100만대 퇴출 등의 사회경제적 저감정책 변수들은 산업의 생산공정과 제조업 연소량, 교통에너지 변수와 부적관계로써 일방적 영향을 미치며, 인당에너지 비용 변수와는 양적 관계로써 일방적 영향을 미친다.

2) 발생 단계

재난관리 체제의 발생 단계는 재난 자체의 규모에 직접적인 영향을 미치는 주요 변수 요인으로 정의하였으며, 각 변수의 도시적 특성에 따라 경제적 특성에는 산업 제조업 연소, 폐기물 소각, 비산업 연소, 에너지 생산(화력), 폐기물 소각의 변수가 존재하고, 사회적 특성에는 교통에너지 증가(도로 비도로 이동오염원), 중국 발 미세먼지 농도가 존재하며, 환경적 특성에는 SOX와 NOX와 같은 2차 전환 대기오염 물질량이 존재한다.

미세먼지농도와 2차 전환 대기오염물질의 농도 변수는 모두 비산업연소, 중국발 대기오염 물질의 유입량, 산업의 생산공정에 따른 연소, 교통에너지, 에너지 생산량, 폐기물 소각량 변수와 양적 관계로써 일방적 영향을 받으며, 미세먼지 농도는 2차 대기오염 물질의 미세먼지 전환을 통한 양적 관계로써 일방적 영향을 받는다.

3) 피해 단계

재난관리 체제의 피해 단계는 재난 발생 자체에 대하여 직·간접적으로 피해를 받아 도시 내에 부정적 영향을 입은 모든 주요 변수 요인으로 정의하였으며, 각 변수의 도시적 특성에 따라 경제적 특성에는 GDP 및 GRDP, 농작물 수확량 변수가 존재하고, 사회적 특성에는 호흡기질환자 발생 및 순환계질환자 발생 수, 의료비 증가, 사망률 증가 변수가 존재하며, 환경적 특성에는 도시매력도 변수가 존재한다.

미세먼지 농도는 호흡기질환자 발생 및 순환계질환자 발생 수와 양적 관계로써 일방적 영향을 미치며, 농작물 수확량, 노동생산성, 도시 매력도 변수와는 부적 관계로써 일방적 영향을 미친다. 호흡기질환자 발생 및 순환계질환자 발생 수는 의료비 증가 변수와 양적관계로써 일방적 영향을 미치며, 의료비 증가 변수는 사망률 변수와 양적관계로써 일방적 영향을 미친다.

4) 회복 단계

재난관리 체제의 회복 단계는 재난 발생 자체 변수의 규모에 영향을 미치는 물리적 인프라 변수 및 자연 환경적 주요 변수요인으로 정의하였으며, 각 변수의 도시적 특성에 따라 사회적 특성에는 의료관련 대응 변수가 존재하며, 환경적 특성에는 연중안개, 서풍계 열풍향, 풍속, 상대습도, 녹지면적, 하천면적 변수가 존재한다.

미세먼지 농도에 직접적인 양적 관계에 있는 미세

먼지 전환 변수는 연중안개, 상대습도 변수와 양적 관계로써 일방적 영향을 받으며, 주거지 매력도 변수는 미세먼지 농도 변수와 부적 관계로써 일방적 영향을 받는다. 녹지면적, 하천면적 변수와는 양적관계로써 영향을 받는다. 녹지면적 변수와 하천면적변수는 모두 미세먼지 농도 변수와 부적 관계에 있으며 영향을 미친다. 풍속 변수는 풍속 6m/s 초과일 때는 미세먼지 농도와 양적관계에 있으며 일방적 영향을 미치지만, 풍속 6m/s이하일 때는 미세먼지 농도 변수와 부적 관계에 있으며 일방적 영향을 미치는 조건적 관계에 있다. 의료관련 대처 변수는 미세먼지 농도가 증가함에 따라 증가하는 사망률과 부적 관계에 있으며, 일방적 영향을 미친다.

위에서 살펴본 각각의 단계에서 선정한 주요 요인 변수들을 경제, 사회 환경적 측면에서 <Table 2>의 표와 같이 정리하였다.

III. 인과지도

앞선 선행연구 고찰을 통해 선정한 미세먼지 발생을 설명하는 주요 요인 변수들을 토대로 미세먼지발생에 대한 인과지도를 구축하였다. PM2.5가 PM10보다 더 인간의 신체에 악영향을 미친다는 것이 밝혀졌으므로, 인과지도 분석의 대상은 PM2.5 변수를 주요 분석 변수로 설정하여야 한다. 본 연구에서는 PM2.5에 대한 7개의 주요 발생요인에 주안점을 두고 분석을

Table 2. Variables related to fine dust according to disaster management life cycle

Division	Reduction	Accident	Damage	Recovery
Economic characteristic	Reduction policy (announcement of low sulfur coal and product standard, reduction of nitrogen oxides, reduction of industrial dust),	Industrial manufacturing combustion, waste incineration, non-industrial combustion, energy production (thermal power), waste incineration	GDP and GRDP, crop yield	-
Social characteristic	Urban scale, total traffic volume, energy consumption, per-capita energy ratio, reduction policy (public transportation, 2 cars, 1 million cars, etc.)	Increase in transportation energy (road pollution source), fine dust concentration from China	Respiratory / circulatory diseases, increased medical costs, increased mortality	Medical related response
Environmental characteristic	-	Secondary Air Pollutants Amount (SOX, NOX)	Residential attraction	Annual fog, westerly wind direction, wind speed, relative humidity, green area, river area

실시하였다. 하지만 국내 PM2.5 데이터의 경우 2016년부터 데이터를 수집하였기 때문에, PM10보다 축적된 데이터량이 많지 않다. 따라서 후속 연구에서는 미세먼지 발생 요인의 평균 기여도를 토대로 요인별 변수의 값을 역산하여 데이터를 가생산한 후 가생산된 데이터를 토대로 앞으로의 미세먼지 농도를 예측하는 방법을 고려해볼 가치가 있다.

<Figure 3>은 본 연구에서 새로이 제안한 재난관리 단계를 토대로 미세먼지 발생의 주요 요인 변수들을 분류하여 전체적으로 통합 구축한 인과지도이다. 인과지도 구축 후 내부시스템 구조 분석을 위하여 7개의 미세먼지 농도 발생요인 변수들을 에너지 관련 미세먼지 발생요인 변수와 GDP관련 미세먼지 발생요인으로 분류 통합하는 등 단순화 작업을 하였다. 그 결과는 <Figure 4>와 같다. 미세먼지 관련 내부 시스템구조를 강화시키는 4가지의 Reinforce형 양의 피드백 루프와 내부 시스템구조의 균형상태를 유지하는 6가지의 Balancing형 음의 피드백 루프를 확인하였다. 이들의 동태적인 상호작용 행태의 루프는 <Figure 5>, <Figure 6>과 같다.

<Figure 5>을 통해 살펴본 결과 미세먼지 농도 관련 내부 시스템 구조를 증가시키는 4개의 강화피드백 루프를 확인할 수 있었다(R1, R2, R3, R4). R1루프는 도시 다이내믹스의 개념을 단순화한 형태로써, 도시 다이내믹스의 내부 시스템 구조에 양의 영향을 미치는 도시개발에 따른 도시 물리적 및 사회적 특성 증가 강화 루프이다. R1루프가 지속적으로 시스템 내 강화 루프로 작용하였을 때, 에너지 사용량 및 미세먼지 발생 요인에 양의 영향을 미치는 도시규모 변수가 지속적으로 증가하게 되고, R1루프가 시스템 내 약화 루프로써 작용하였을 때, 도시규모 변수는 지속적으로 감소하게 된다.

마찬가지로 시스템 내 구조를 강화시키는 R2는 도시 개발에 따른 도시규모 확장이 미세먼지를 발생시키는 요인 중 GDP 및 GRDP를 증가시키는 생산 활동의 활성화를 야기하여, 미세먼지 저감정책에 대한 예산과 효과를 증가시킨다. 이는 도시환경 회복요소를 증가시키고 결과적으로 미세먼지 농도를 감소시키는 양의 피드백 루프이다. R2루프가 지속적으로 시스템 내 강화 루프로 작용하였을 때, 시내 미세먼지발생 농도

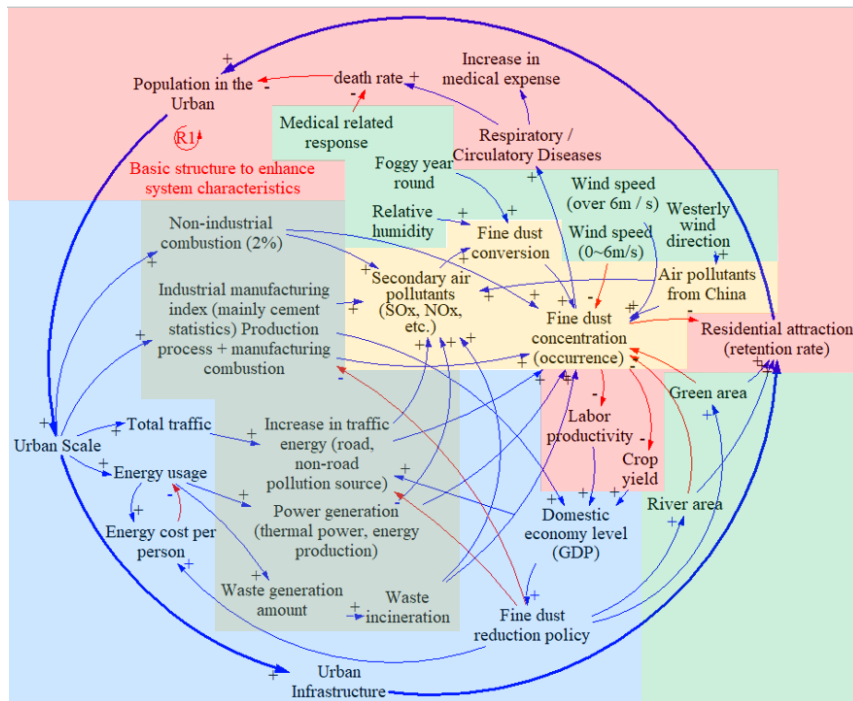


Figure 3. Causal loop of overall fine dust occurance

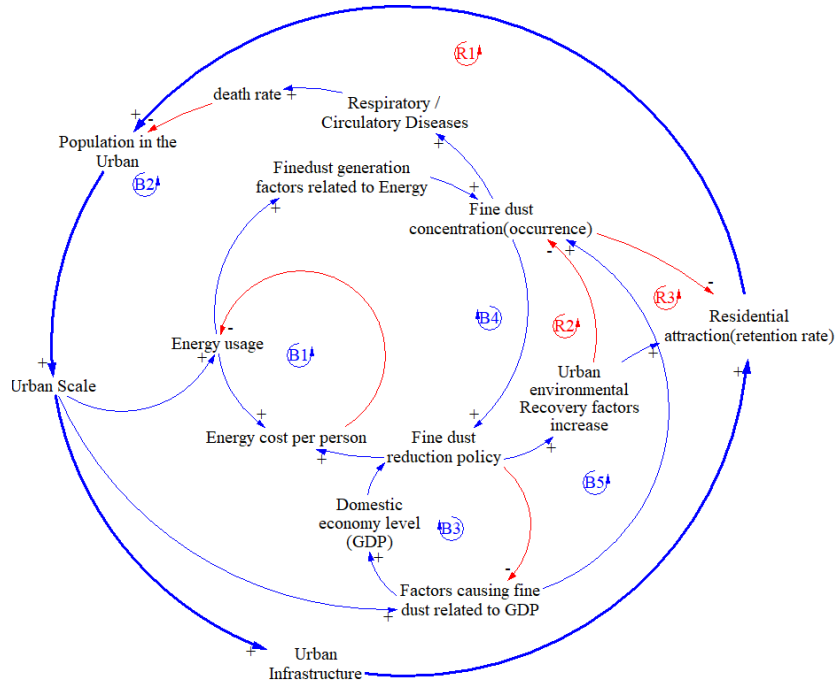


Figure 4. A simplified causal loop of overall fine dust occurance

를 감소시킨다. 미세먼지 농도가 감소하면 호흡기 질환 및 순환계 질환자의 수가 감소하고 시내 사망률이 감소하여 시내 인구는 증가하게 되고 도시 규모는 다시금 지속적으로 증가하게 된다.

R3루프는 도시환경 회복요소에 따른 주거지 매력도와 정착률 변화에 대한 강화 폐쇄루프로써, R3루프가 지속적으로 시스템 내 강화 루프로 작용하였을 때, 확장된 도시 규모는 GDP 및 GRDP 관련 생산 활동의

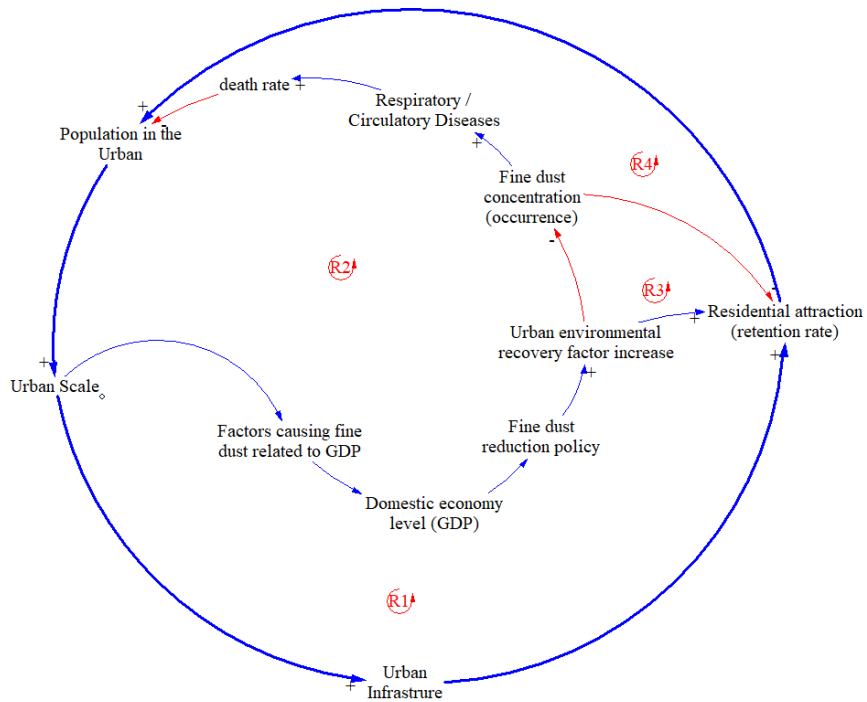


Figure 5. Reinforcing causal loop of fine dust

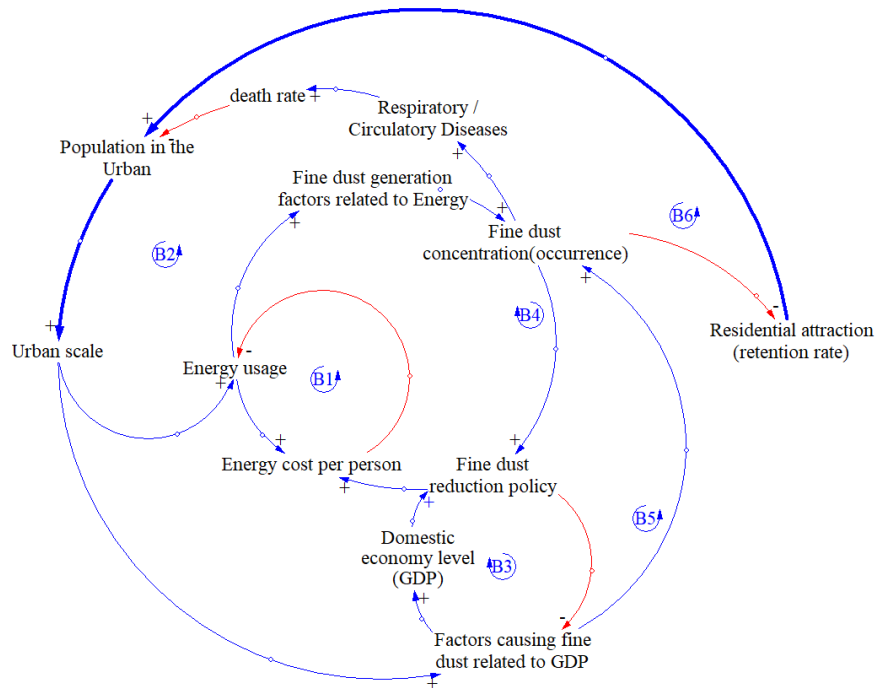


Figure 6. Balancing causal loop of fine dust

활성화를 야기하고, 미세먼지 저감정책의 예산과 효과를 증가시킨다. 그에 따라 도시 내부의 도시환경 회복요소를 증가하고, 삶의 질 향상 요소로 인해 주거지 매력도가 향상되어, 시민들의 주거지 정착률이 상승한다. 시내 인구가 증가하면 다시금 도시의 규모가 확장하게 된다.

R4 강화 루프는 미세먼지 발생 수치에 대한 주거지의 매력도 변화에 따른 피드백 루프로써, 지속적인 강화 루프로 작용하였을 때, 도시 규모의 확장은 경제적 생산적 활동의 활성화를 야기하고, 미세먼지 저감정책의 예산과 효과를 증가시킨다. 그에 따라 녹지 및 하천 등 도시 내부의 미세먼지 저감요소가 증가하고, 회복작용으로 인해 미세먼지 농도가 감소하게 된다. 주거환경의 질이 향상되면, 시내 인구가 증가하고 시내 인구가 증가하면 지속적으로 도시의 규모가 확장하게 된다.

<Figure 6>을 통해 살펴본 결과 미세먼지 농도 관련 내부 시스템 구조를 자체적으로 조절하는 6개의 밸런스형 피드백 루프를 확인할 수 있었다(B1, B2, B3, B4, B5, B6). B4루프는 에너지 관련 미세먼지 저감 조절

피드백 루프로써, 이 루프가 조절효과에 따라 지속적으로 작용하였을 때, 에너지 사용량 및 그에 따른 미세먼지 발생요인의 양이 증가하고, 미세먼지의 농도가 증가한다. 미세먼지의 농도가 지나치게 증가하면, 정부에서는 미세먼지 저감 정책을 시행하게 되고, 에너지의 사용량을 감소하기 위하여 인당 에너지 비용을 증가하게 되어 이 시스템의 구조를 조절하게 된다. B1루프는 B4루프 내에서 작용하는 하위 시스템 조절 루프로써, 에너지 사용량이 증가하면 경제적 원리에 따라 인당에너지 비용이 증가하게 되고, 비용이 증가하면, 시민들의 절약 활동으로 인해 다시 에너지 사용량이 감소하게 된다.

B6 루프는 미세먼지 발생에 따른 시내 인구 변동에 관한 기본적으로 작용하는 루프로써, 도시 개발에 따른 도시규모 확장이 경제적 생산적 미세먼지 발생요인 활동이 가속화 되어, 미세먼지 농도가 증가한다. 이는 주거지 매력도를 하락시키고, 시내인구와 도시 내의 미세먼지 관련 생산 활동 규모가 줄어들게 된다. B2루프는 B6루프의 내부에서 작용하는 하위 밸런스형 피드백 루프로써, 지속적으로 작용하였을 때, 확장

된 규모의 도시의 활동으로 인해 시내 미세먼지 발생 농도를 증가하면, 호흡기 질환 및 순환계 질환자의 수가 증가하고 시내 사망률이 증가하여 시내 인구는 감소하게 되고 도시 생산적 활동의 규모는 다시금 지속적으로 감소하게 된다.

B3루프와 B5루프는 미세먼지 저감정책관련 밸런스형 피드백 루프로써, B3루프에서 살펴보았을 때, 미세먼지 저감정책은 GDP 및 GRDP 관련 생산 활동을 저감하게 되고, 이는 경제적인 분야에 영향을 미쳐 결과적으로 미세먼지 저감 예산이 감소하게 된다. 미세먼지 대응정책을 나타내는 B5 밸런스형 피드백 루프 또한 이와 유사한 프로세스를 거친다. 증가한 미세먼지 농도로 인해 미세먼지 저감정책이 촉진되고, 미세먼지 저감정책으로 인해 미세먼지를 유발하는 GDP 관련 경제활동의 저감을 야기한다. 결과적으로 미세먼지 농도는 감소한다.

위의 4가지 Reinforce형 강화 피드백 루프와 6가지 밸런스형 조절 피드백 루프를 통해 살펴보고 유심히 주목해야할 것은 미세먼지 발생의 원인이 되는 도시 규모 변수와 녹지 등과 같은 저감정책에 따른 도시환경회복 요소의 변수가 미세먼지 농도를 조절하는 중요한 역할을 한다는 점이다. 도시규모 외에 지자체 예산을 조정 할 수 있는 정책적 변수를 설정하여 조절하거나 혹은 도시 활성화 방안과 관련된 정책을 설정하여 변화양상을 탐색할 수 있을 것이다.

IV. 결론

본 연구의 주제인 미세먼지는 기상적 요인과 시나리오에 대하여 굉장히 민감하게 변화하는 사회적 재난에 속한다. 그렇기 때문에 재난관리의 각 단계마다 적절한 저감 및 회복에 대한 전략 수립과 적용이 매우 중요하다. 그런 의미에서 재난관리 분야에 있어 미세먼지 인과지도 연구는 매우 의미 있는 연구이다. 미세먼지 인과지도를 작성함으로써, 미세먼지 자체의 발생부터 소멸까지 생애주기 프로세스를 파악할 수 있

으며, 본 연구가 제안하는 재난관리 틀은 기존 재난관리의 단계 틀 보다 분류기준이 명확하고, 재난의 시간적 동태적 특성 및 지속가능성을 반영할 수 있어 미세먼지와 같은 사회적 재난을 미리 예측하고 모니터링하기 용이할 것이며, 이에 따라 정책결정 당국자들이 적절하고 빠르게 재난대응 계획을 수립하고 실행할 수 있게 할 것이다.

본 연구의 한계점은 미세먼지의 프로세스를 Stock & Flow Diagram 연구까지 나아가지 못하고 인과지도에서 머물렀기 때문에 시뮬레이션을 통한 저감, 발생, 피해, 회복 각각의 흐름에 대한 주요 변수의 변화를 파악하지 못한 것이다. 후속연구에서는 미세먼지 관련 정책 및 제도 고찰을 통해 보다 많고 적절한 정책 관련 변수를 추가설정하고, 각각의 정책과 지역특성에 맞는 시나리오 설정을 통한 Stock & Flow Diagram 구축과 과거 추세선을 활용한 모델검증을 목표로 하고 있다. 이에 따라 각 시나리오에 해당하는 미세먼지의 농도를 예측하고, 각 변수 간 부가효과로 인한 다른 변수에 대한 부작용 등을 파악할 수 있을 것이며, 더 나아가 정책의 도입시기와 미세먼지 저감효과 발현 시기, 지역 간의 차이 및 정책의 효과 정도를 제시할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2016S1A5B6914198).

References

- Choi, Nam Hee. 2005. Evaluation of the Decentralization Policy of the Participatory Government. *The Proceedings of the Conference of the Korean System Dynamics Society*. PP: 43-58.
- Gall, M., K. A. Borden, C. T. Emrich, and S. L. Cutter. 2011. The Unsustainable Trend of Natural Hazard Losses in the United States. *Sustainability*. 3(11): 2157-2181.

- Han, Chang Hoon, Seon Cheol Park, Jung Mo Lee, Hae Yong Park, Yeong Sam Kim, and Ji Yea Jeong. 2018. Analysis of Medical Utilization and Death Effects on Respiratory Diseases Using Microdust and Ultrafine Dust Measurement Data and National Health Insurance Claim Data. *National Health Insurance Service Ilsan Hospital*. Research Report. 2018-20-020.
- Kim, Jong Ho, In Hwan Oh, Jae Hyun Park, and Hae Kwan Cheong. 2018. Premature Deaths Attributable to Long-term Exposure to Ambient Fine Particulate Matter in the Republic of Korea. *Journal of Korean Medical Science*. 33(37): e243.
- Kim, Seung Nam, Kyung Hwan Lee, and Kun Hyuck Ahn. 2009. The Effects of Compact City Characteristics on Transportation Energy Consumption and Air Quality. *Journal of Korea Planning Association*. 44(2): 231-246.
- Kim, Yong Pyo. 2006. Air Pollution in Seoul Caused by Aerosols. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 22(5): 535-553.
- Kwon, Hye Yeon, Chang Hoon Jung, and Yong Pyo Kim. 2016. The Impact of Local Government's Expenditure on Air Quality in Korea. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 32(6): 583-592.
- Lee, Hak Sung, Chung Min Kang, Byung Wook Kang, and Sang Kwon Lee. 2005. A Study on the PM2.5 Source Characteristics Affecting the Seoul Area Using a Chemical Mass Balance Receptor Mode. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 21(3): 329-341.
- Lee, Jae Bum, Yong Jae Lim, Ki Chul Choi, Ki Pyo Nam, Han Sol Lee, Yong Mi Lee, Hyeon Ju Park, Ji Su Myong, Tae Hee Kim, Mi Suk Jung, and Lim Seok Jang. 2017. *A Study on Quantitative Estimation of Emission Sources and Regional Contributions to Air Quality on Forecasting Areas(I)*. Air Quality Forecasting Center. Climate and Air Quality Research Department. National Institute of Environmental Research.
- Lee, Jong Tae and Ho Kim. 2001. Epidemiologic Methods and Study Designs for Investigating Adverse Health Effects of Ambient Air Pollution. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 34(2): 119-126.
- Lim, Ok Kyung and Sang Hwa Song. 2018. A Study on the Disaster Response Network Design using Stochastic Programming. *Korean Journal of Logistics*. 26(2): 55-70.
- Ministry of the Interior and Safety. 2006-2017. 2006-2017 Disaster Year Book.
- Moon, Hyun Cheol. 2019. A Study on the Improvement of Disaster Management System for the Increased Operability. *The Journal of Humanities and Social Science*. 10(1): 1417-1432.
- National Security Management Basic Planning. 2015. Central Safety Management Committee. National Security Agency.
- Neumayer, E. and F. Barthel, F. 2011. Normalizing Economic Loss from Natural Disasters: A Global Analysis. *Global Environmental Change*. 21(1): 13-24.
- Park, Kyung Bae. 2012. System Dynamics Approaches on Green Car Diffusion Strategies and the Causal Diagram Analysis. *Korean System Dynamics Society*. 13(4): 33-55.
- Park, Tae Sun, Chang Geon Yeo, Min Ha Choi, and Seong Oh Lee. 2010. Flood damage index regarding regional flood damage characteristics. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*. 30(4B): 361-366.
- Particulate Matter. 2016. *Journal of Environmental Studies*. 58.
- Radu, O. B., et. al. 2016. Exploring Synergies between Climate and Air Quality Policies Using Long-term Global and Regional Emission Scenarios. *Atmospheric Environment*. 140: 577-591.
- Schikowski, T., et. al. 2014. Association of Ambient Air Pollution with the Prevalence and Incidence of COPD. *European Respiratory Journal*. 44(3): 614-626.
- Shang, Y., et. al. 2013. Systematic Review of Chinese Studies of Short-term Exposure to Air Pollution and Daily Mortality. *Environment International*. 54: 100-111.
- Shin, Woo Ri, Kyeong Yong Lee, and Hyoung Kee Kang. 2017. A Study on Development Disaster Management of Local Government According to the Change of the Local Administration Environment. *Korean Journal of Convergence Science*. 7(2): 17-31.
- Song, Chang Yeong. 2012. *A Study on the Advancement Plan of Disaster Safety for Strengthening Disaster Management Capacity of Eunpyeong-gu*. Korea Disaster Safety Institute.
- Song, Young Seok, Hee Sup Lee, and Moo Jong Park. 2018. A Disaster Management Plan Study Using the Disaster Yearbook and a Comprehensive Plan for Storm and Flood Damage Reduction: A Focus on Gyeongsangnum-do. *Journal*

of Disaster Management. 18(5): 265-275.

UNESCO. 2010. Disaster Planning – prevention, preparedness, response, recovery.

WHO. 2000. Air Pollution including WHO's 1999 Guidelines for Air Pollution Control. Geneva, Switzerland, 2000.

Willian, J. Petak. 1985. Emergency Management: A Challenge for Public Administration.

Korean References Translated from the English

국가 안전관리 기본계획. 중앙안전관리위원회, 국민안전처. 2015

권혜연, 정창훈, 김용표. 2016. 지방정부의 대기환경예산 지출이 대기오염 정도에 미치는 영향. 한국대기환경학회지. 32(6): 583-592.

기후대기연구부 대기질통합예보센터. 2017. 대기질 예보 권역에 대한 배출원별 지역 간 정량적 기여도 평가 연구(I). 국립환경과학원, 환경부.

김승남, 이경환, 안건혁, 2009. 압축도시 공간구조 특성이 교통 에너지 소비와 대기오염 농도에 미치는 영향, 대한국토도시계획학회. 44(2): 231-246.

김용표. 2006. 서울의 미세먼지에 의한 대기오염. 한국대기환경학회지. 22(5): 535-553.

문현철. 2019. 재난관리시스템의 작동성 강화에 관한 연구. 인문사회21. 10(1): 1417-1432.

박경배. 2012. 친환경차 확산전력에 대한 시스템다이내믹스 접근과 인과지도 분석. 한국 시스템다이내믹스 연구. 13(4): 33-55.

박태선, 여창건, 최민하, 이승오. 2010. 지역별 홍수피해특성을 고려한 홍수피해지표 개발. 대한토목학회논문집, 30(4B):

361-366.

송영석, 이희섭, 박무중. 2018. 재해연보와 풍수해 저감종합계획을 활용한 재난관리 방안 연구: 경상남도를 대상으로. 한국방재학회논문집. 18(5): 365-375.

송창영. 2012. 은평구의 재난관리 역량강화 등을 위한 재난안전에 대한 선진화 방안 연구. 서울특별시 은평구.

신우리, 이경용, 강형기. 2017. 지방환경 변화에 따른 지방정부 재난관리의 발전방향에 대한 연구: 지방정부 재난관리 담당공무원의 인식을 중심으로. 한국융합과학회지. 7(2):17-31.

이재별, 임용재, 최기철, 남기표, 이한술, 이용미, 박현주, 명지수, 김태희, 정미숙, 장임석. 2017. 대기질 예보 권역에 대한 배출원별 지역 간 정량적 기여도 평가 연구(I). 대기질통합예보센터. 기후대기연구부. 국립환경과학원.

이종태, 김호. 2001. 대기오염 건강영향평가를 위한 역학연구 설계 및 방법론. 예방의학회지. 34(2): 119-126.

이학성, 강충민, 강병욱, 이상권. 2005. 수용모델을 이용한 서울 지역 미세먼지 (PM2.5)에 향을 미치는 배출원 특성에 관한 연구. 한국대기환경학회지. 21(3): 329-341.

임옥경, 송상화. 2018. 추계적 계획법 기반의 재난대응 네트워크 설계에 관한 연구. 한국로지스틱학회. 26(2): 55-70.

최남희. 2005. 참여정부의 지방분권 정책에 대한 평가-재정분권 정책에 대한 인과지도 분석을 중심으로. 한국시스템다이내믹스학회 2005년 춘계학술대회. 43-58.

한창훈, 박선철, 이정모, 박해용, 김영삼, 정지예. 2018. 미세먼지 및 초미세먼지 측정자료와 국민건강보험 청구자료를 이용한 호흡기질환에서 의료이용과 사망영향 분석. 국민건강보험 일산병원 연구소. 연구보고서.

Received: Jun. 12, 2019 / Revised: Jun. 21, 2019 / Accepted: Jun. 30, 2019

동태적 생애주기를 고려한 미세먼지 재난관리 프로세스 인과지도 구축

국문초록 본 연구의 목적은 시스템 다이내믹스를 활용하여 최근 국내에서 사회적 재난의 하나로 논의되고 있는 미세먼지에 대한 동태적 생애주기 인과지도를 구축하고, 지속가능한 도시 메타볼리즘 패러다임을 적용한 통합적인 미세먼지 재난관리 틀을 제안하는 것이다. 이러한 목표를 이루기 위해, 본 연구는 미세먼지 및 재난관리와 관련된 이전의 연구들을 통합적으로 검토했다. 결과적으로 본 연구는 미세먼지 재난의 주요 요인들을 추출하고, 생애주기에 따라 요인 상호 간의 부적 또는 양적 인과 관계를 확인하여 관계가 확인된 변수들을 지속가능 도시메타볼리즘의 주요요소인 경제, 사회, 환경의 특성 및 새로운 재난 관리단계에 따라 인과지도를 구축하였다. 새롭게 제안하는 재난관리 틀은 기존 재난관리의 단계 틀 보다 분류기준이 명확하고, 재난의 시간적 동태적 특성 및 지속가능성을 반영할 수 있어 미세먼지와 같은 사회적 재난을 미리 예측하고 모니터링하기 용이할 것이며, 이에 따라 정책결정 당국자들이 적절하고 빠르게 재난대응 계획을 수립하고 실행할 수 있게 할 것이다.

주제어 : 미세먼지, 인과지도, 지속가능한 도시메타볼리즘, 시스템다이내믹스, 재난관리, 동태적 재난 생애주기

Profiles **Myung Gi Hong** : He received his B.S. from Chungbuk National University, Korea in 2018. He is a candidate for a Master's degree in the Department of Urban Engineering at Chungbuk National University(christian_zior@naver.com).

Yong Un Ban : He received his M.S. from Yonsei University and Ph.D. from University of Pennsylvania. He is a professor of the Department of Urban Engineering at Chungbuk National University(byubyu@chungbuk.ac.kr).

Nam Hee Choi : He received his M.A. from Sungkyunkwan University and Ph.D. from Sungkyunkwan University. He is a professor of the Public Management Information System at Korea National University of Transportation(drnhchoi@ut.ac.kr).