

# 시나리오 기반의 복합재난 통합모델링 개발

오 승 희<sup>°</sup>, 손 진<sup>\*</sup>, 정 우 석<sup>\*</sup>, 이 용 태<sup>\*</sup>

## Development of Scenario-Based Complex Disaster Integration Modeling

Seung-Hee Oh<sup>°</sup>, Jin Son<sup>\*</sup>, Woo-sug Jung<sup>\*</sup>, Yong-Tae Lee<sup>\*</sup>

요 약

기존의 재난에 대한 접근 방식은 대비, 대응에 집중되어 있었다. 그러나 도시에 인구 및 산업이 집중 밀집되는 현상 및 이상 기후로 인한 재난 발생 빈도 증가에 따라 재난을 사전에 예측하는 방식에 국내외 관심이 커지고 있는 추세이다. 특히, 과거의 단순 재난과 달리 재난의 대규모 및 연쇄적으로 발생하는 복합화 양상에 따라 재난 발생 이후 피해 복구에 따른 사회적, 경제적, 환경적 기회비용이 계속 증대되고 있다. 따라서 본 논문에서는 단일 재난뿐만 아니라 다수의 재난이 연계성을 가지고 연쇄적으로 발생하는 복합재난을 통합모델링 할 수 있는 시스템에 대해 제안하고자 한다. 제안하는 시나리오 기반의 복합재난 통합모델링 시스템은 재난이 발생하기 이전에 예측 단계에서 활용하기 위한 모델링 기법으로서, 자연재난 및 사회재난을 하나의 시스템에서 모델링 가능한 유연한 구조로 설계 및 구현되었으며, 지역 특성 정보를 바탕으로 다양한 형태의 복합재난을 예측 모델링이 가능하고 향후 다른 국가 행정망내의 시스템과 연동하기 위한 외부 연동 기능을 포함하고 있다.

**Key Words** : Complex Disaster, Disaster Modeling, Integration Modeling, Spread Prediction, Scenario-based

### ABSTRACT

The existing approach to disaster was focused on preparation and response. However, population and industry are concentrated and densified in the city. In addition, as the frequency of disasters due to abnormal weather increases, there is a growing interest in domestic and overseas methods of predicting disasters before a disaster occurs. Especially, unlike the simple/single disasters of the past, due to the complexity of the disasters occurring in large scale and chain, the cost of social, economic, and environmental opportunities due to disaster recovery continues to increase. Therefore, in this paper, we propose the system that can integrate complex disasters in which not only single disasters but also multiple disasters are cascaded and connected in series. The proposed scenario-based integration modeling system for complex disaster is a modeling technique to be used in the prediction stage before a disaster occurs. It is designed and implemented with a flexible structure that can model natural disasters and social disasters in all-in-one system. It can be used for predictive modeling of various types of complex disasters, and includes an external interconnecting function for inter-working with systems in other national government networks in the future.

※본 연구는 행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발사업의 연구비 지원(2017-MOIS31-001)에 의해 수행된 과제로부터 도출되었습니다.

•° First Author and Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-5185-8435) Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI), seunghee5@etri.re.kr, 정희원

\* (ORCID:0000-0003-1675-1629, ORCID:0000-0003-0632-9555) Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI), jinonearth@gmail.com, wsjung@etri.re.kr, ytleee@etri.re.kr, 정희원

논문번호 : 201807-210-D-RN, Received July 13, 2018; Revised October 5, 2018; Accepted October 17, 2018

## 1. 서론

급격한 기후 변화 및 도시화로 인하여 단일 재난의 피해가 다른 재난으로 연계되는 복합화, 대형화, 다양화되어 감에 따라 기존의 단순 재난 발생 예측 가능성에 대한 신뢰도가 저하되고 있다. 재난으로 인한 피해를 감소시키기 위해서 사전 예측 단계의 중요성이 강조되고 있으나, 복합화되는 재난에 대한 예측을 수행하기 위해서는 기존 단일 재난에 대한 모델링 예측 시스템만으로는 그 한계가 있다. 현재 자연재난과 사회재난간의 연계성에 대한 연구는 국내뿐만 아니라 해외에서도 초기 걸음마 단계이다. 그림 1은 재난의 발생 변화 동향을 보여주는 것으로 개별 단순재난에서 발전하여 현재는 다수의 재난들이 연계되어 대규모 재난 피해를 발생하는 사례가 증가하는 추세이며, 최근에 발생한 국내의 피해액이 컸던 재난을 살펴보면 복합화가 심화되는 것을 확인할 수 있다.<sup>[1,2]</sup>

해외에서 이루어지고 있는 복합재난에 대한 선형 연구 및 관련 연구 프로젝트는 주로 미국, 유럽, 일본 등지에서 논의되고 있으며, 자연재난이 기술재난(Technological disaster) 또는 사회재난의 유발요인으로 발생하는 복합재난을 연계재난으로 정의하는 Natech(Natural Disaster Triggered Technological Disaster) 개념을 기반으로 주로 진행되고 있다.<sup>[3]</sup> 아래에서는 복합재난 관련 주요 프로젝트에 대해서 살펴본다.

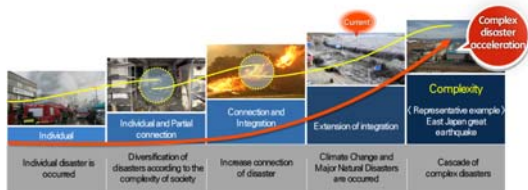


그림 1. 재난의 변화 동향<sup>[4]</sup>  
Fig. 1. The change trend of disaster

### 1.1 MATRIX(New Multi-Hazard and Multi-Risk Assessment Methods for Europe)

MATRIX는 EU(Europe Union)의 지원을 받아 수행된 유럽 상황에 적합한 복합재난 위험평가 및 저감 도구를 개발한 프로젝트이다. 독일의 German National Research Centre for Geosciences를 주축으로 10개국의 총 11개의 기관(GFZ, amra, brgm, KIT, NGI 등)이 참여하였다. 그림 2에서 보여주는 바와 같이 총 8개의 Working Party로 구분하여 복합재난의

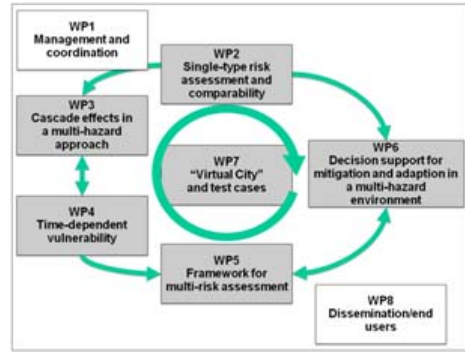


그림 2. MATRIX 프로젝트의 WP 구성  
Fig. 2. The Working Party configuration of MATRIX project

위험성 평가와 이를 저감하기 위한 접근 방식으로 진행되었다.

MATRIX 프로젝트에는 테스트베드로 이탈리아 Naples, 독일 Cologne, 프랑스령 서인도 제도(French West Indies)를 선정하고, 각 지역적 특성을 반영한 복합재난 시나리오를 작성한 후 이에 대한 리스크를 평가할 수 있는 방안을 개발하고자 하였다.<sup>[5]</sup>

아래의 그림 3과 그림 4는 서인도 제도의 바스테르

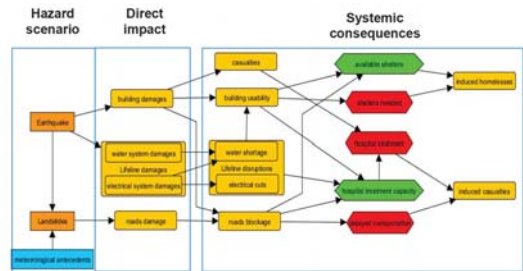


그림 3. 복합재난(Natech) 시나리오 (Fleming, 2014)  
Fig. 3. Natech scenario(Fleming, 2014)

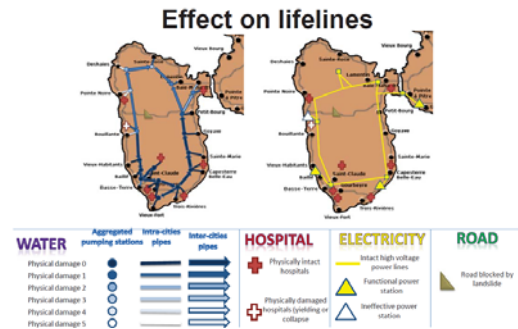


그림 4. 서인도 제도의 바스테르섬 복합재난에 따른 라이프라인의 영향 (Fleming, 2014)  
Fig. 4. Influence of Lifeline on the Bastille Island Disaster in the West Indies(Fleming, 2014)

섬에서 호우로 인해 지반이 약화된 상황에서 지진이 발생하여 큰 산사태가 발생하고 Natech로 연계되는 시나리오와 이로 인해 라이프라인에 미친 영향을 보여준다. 이 시나리오에서는 지진으로 인해 건물과 물 공급시스템, 전기 공급시스템에 직접적인 피해가 발생하고, 호우와 지진의 복합적인 영향으로 인해 산사태가 발생하여 도로가 차단되고 이러한 직접적인 피해가 사회재난을 야기하는 것으로 구성되었다.

### 1.2 RASOR(Rapid Analysis and Spatialisation Of Risk)

EU의 Horizon2020의 지원으로 진행되고 있는 RASOR는 재난관리 전주기를 지원하는 복합재난 위험 분석 수행 플랫폼을 개발하는 과제로 자연 및 사회 재난 대응 기술에 대한 연구를 이탈리아의 Centro Internazionale in Monitoraggio Ambientale - Fondazione CIMA 기관 외에 8개 기관이 참여하여 진행하고 있다.<sup>[6]</sup>

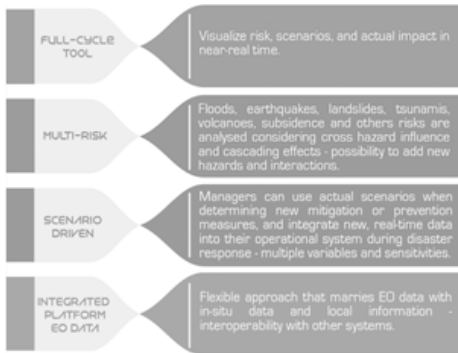


그림 5. RASOR 프로젝트의 연구범위  
Fig. 5. Research scope of RASOR project

### 1.3 HEIMDALL(Multi-Hazard Cooperative Management Tool for Data Exchange, Response Planning and Scenario Building)

HEIMDALL은 효과적인 재난 대응 계획 및 다원적 실제 시나리오를 설계 가능한 통합 도구를 제공하기 위해 시작한 프로젝트로 위기 상황 극복을 위한 대응대처 개선 시스템 개발을 그 목적으로 하고 있다. 다국가/다기관 통합 연계지원 시스템이 특징이며, 기존 도구 및 신규 개발될 도구를 통합하고 연계 가능한 시스템 개발을 목표로 하고 있다. 특히 지역 기관에 밀접하게 연계된 특정지역 내에서의 실제 시나리오 기반의 시스템을 개발하고, 다수의 재난관련 도구들을

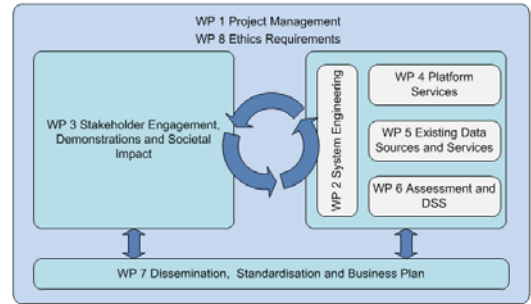


그림 6. HEIMDALL 프로젝트의 WP 구성  
Fig. 6. The Working Party configuration of HEIMDALL project

쉽게 통합할 수 있는 유연한 시스템 구조로 설계되었다. HEIMDALL 프로젝트에서는 여러 재난 중에서 산불, 홍수, 집중 호우, 산사태 중심의 시나리오를 고려하여 진행하고 있으며, 그림 6과 같이 총 8개의 WP으로 분류하여 재난 시스템 개발을 진행하고 있다. 독일의 Deutsches Zentrum Fuer Luft - Und Raumfahrt Ev 등 12개 기관과 총 7개국에 참여하여 수행중이다.<sup>[7]</sup>

### 1.4 ARkStorm Project

ARKSTROM은 노아의 방주(ARK)와 폭풍인 STROM의 합성어로 2013년에 미국 지질조사국(USGS: United States Geological Survey)에서 진행한 프로젝트이다. 그림 7과 같이 과거 재난 이력의 확인을 통해서 200년 주기로 기록적인 폭우가 발생했었고, 이로 인해 미국내 극심한 피해 및 복구를 위해 천문학적인 비용이 소요되었던 것을 대비하기 위해 정부 차원에서 진행하는 복합재난 대비 프로젝트(MHDP: Multi Hazards Demonstration Project)이다. 선사시대 지질변화 및 현대 홍수기록, 기후변화 등의 자료를 입력하여 시나리오를 생성하였고, 지진, 쓰나

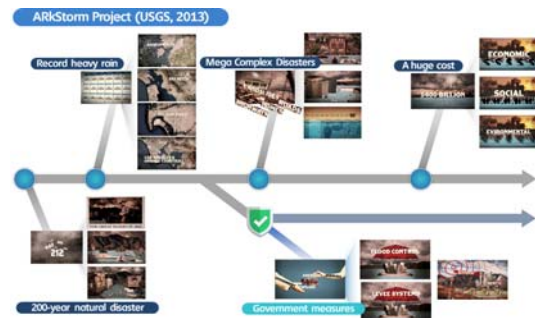


그림 7. ARkStorm 프로젝트 소개  
Fig. 7. The introduction of ARkStorm Project

미, 산불, 산사태, 홍수 및 해안 침식 등의 재난에 적용하고 있다. ARkStorm 프로젝트에서 제공하는 시나리오 종류로는 대기 시나리오, 해안 모델, 산사태, 홍수 위험이 있으며, 제공하는 기능으로는 물리적 손실 추정, 환경 및 건강 영향, 응급 상황, 대응, 기상 예측, 폭풍우 시각화 등이 있다.

## II. 복합재난 통합모델링 시스템

본 장에서는 제안하는 복합재난 통합모델링 시스템을 개발하기 위해 필요한 다양한 종류의 인벤토리 구축 내용과 기본 입력력에 필요한 정보, 전체 시스템 설계에 대해서 다룬다. 재난 모델링 시스템이란 재난이 발생하기 전에 재난을 예측하기 위해 지역정보 및 재난 특성을 입력하여 모의를 수행하는 시스템으로서, 모의 결과를 통해 위험 지역 범위, 위험도, 인명 및 재산상의 예상 피해액에 대한 정보가 제공되고, 이러한 정보는 향후 재난 대응 및 방재 대책을 수립하는 기초 자료로 활용된다. 대표적 국내 시스템으로는 호우의 피해를 예측하는 풍수해피해예측시스템, 지진의 피해를 예측하는 지진재해대응시스템, 지진으로 인한 지진해일을 예측하는 지진해일대응시스템 등이 활용되고 있다. 기존의 시스템들은 단일 재난에 대한 예측만 가능하여 재난이 연쇄적으로 발생하는 복합재난을 예측하기에는 한계가 있기에 복합재난을 통합하여 모델링이 가능한 시스템을 제안한다.

### 2.1 복합재난 통합모델링 수행을 위한 인벤토리) 구축

자연재난과 사회재난이 연계되어 동시다발적으로 발생하는 복합재난을 모델링하고, 모델링된 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 기초 데이터 분석 및 구축이 선행적으로 요구된다. 본 논문에서 제안하는 복합재난 통합모델링 시스템을 위한 인벤토리는 TTA에서 정보통신단체표준으로 정해진 규격을 준수하여 구축되었으며, 크게 자연재난을 위한 인벤토리, 사회재난을 위한 인벤토리, 지역특성에 대한 인벤토리, 통합모델링 인벤토리로 분류되어 설계되었다.<sup>[8-10]</sup>

#### 2.1.1 자연재난 인벤토리 구축

대한민국 재난 및 안전관리 기본법에 의하면 자연

표 1. 자연재난별 구축 인벤토리 기본 정보  
Table 1. Basic Information of Inventory on Natural Disasters

Natural Disasters	Modeling Resolution (Km)	Application modeling
Typhoon	1 * 1	UM(Unified Model) Model
Flood	1 * 1	XPSWMM, HEC-RAS
Wind gust	1 * 1	WRF(Weather Regional Forecasting) Model
Storm surges	1 * 1	Numerical hydrological modeling by Delft3D
Tsunami	1 * 1	Numerical hydrological modeling by Delft3D
Earthquake	2 * 2	LPI(Liquefaction Potential Index)-based Self-Consistent Statistical Model
Landslide	1 * 1	Wetness Index - based Landslide Trigger Point Model, Flow-R
Heavy snow	1 * 1	Self-Consistent Statistical Model
Extreme temperature (Hot)	1 * 1	Self-Consistent Statistical Model
Extreme temperature (Cold)	1 * 1	Self-Consistent Statistical Model
Draught	1 * 1	Self-Consistent Statistical Model
Thunderstroke	1 * 1	Self-Consistent Statistical Model

재난이란 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대 발생, 조수(潮水), 화산활동, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해로 정의하고 있다. 본 논문에서 제안하는 복합재난 통합모델링 시스템에서는 법으로 정한 20종의 자연재난 중에서 발생 빈도와 발생시 위험가능성을 고려한 12종의 자연재난을 표 1과 같이 다루고 있다.

#### 2.1.2 사회재난 인벤토리 구축

대한민국 재난 및 안전관리 기본법에 의하면 사회재난이란 화재·붕괴·폭발·교통사고·화생방사고·환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해와 에너지·통신·교통·금융·의료·수도 등 국가기반체계의 마비, 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따른 감염병 또는 「가축전염병예방법」에 따른 가축전염병의 확산 등으로 인한 피해를 발생하는 재해로 정의하고 있다. 본 논문에서 제안하는 복합재난 통합모델링 시스템에서는 사회재난 중에

1) 인벤토리(Inventory): 재난 분야에서 재난별 모델링을 수행하기 위해 사용하고자 하는 정보들이 속한 방대한 자료 가운데 분석에 필수적으로 필요한 정보를 선별하여 구성된 일종의 데이터베이스

서 8대 특수재난에 대해 확산 모델링을 수행할 수 있도록 설계되었다. 8대 특수재난이란 원자력사고, 대형 교통사고, 감염병, 가축질병, 에너지 사고, 정보통신사고, 유해화학물질 등 환경오염사고, 다중밀집시설 및 산업단지에서의 대형 사고이다. 8대 특수재난을 모델링하기 위해서 개별 특수재난에 요구되는 정보들을 인벤토리 형태로 개별 구축하였다.

2.1.3 지역특성 인벤토리 구축

대한민국 시군구 226개와 특별자치지구 2개를 포함한 228개를 기준으로 인구, 도로, 위험시설, 농작물, 교통망, 기반시설, 가축두수, 등에 대한 기초 인벤토리를 구축하였다. 그림 8은 지역특성을 위한 인벤토리를 분석하여 5개 종류로 시군구의 특징을 도식화한 것이다. 지역특성에 대한 인벤토리는 개별재난이 복합재난으로 연계될 때 개연성 높은 연계 재난을 추출하는데 기본 자료로 활용되고, 피해 범위 및 피해액을 예측할 때 활용된다.

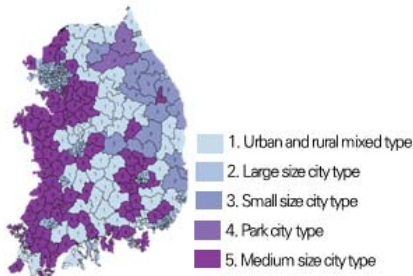


그림 8. 지역특성을 반영한 지역 계수  
Fig. 8. Area coefficient reflecting local characteristics

2.1.4 통합모델링 인벤토리 구축

자연재난과 사회재난을 통합하여 수행하는 통합모델링에서는 예상 피해를 예측하기 위한 인벤토리가 추가로 표 2와 같이 요구된다. 통합모델링 인벤토리는 개별 지역을 특성을 반영하는 항목에 대한 정보가 추가 가능하며, 표 2는 본 연구에서 활용되는 통합모델링 인벤토리를 보여주는 예시이다.

표 2. 통합모델링 인벤토리 예  
Table 2. The example of integrated modeling inventory

Integrated modeling Inventory for damage calculation	Data type / Scale
Classification of buildings and building property prices	Price / KRW

Integrated modeling Inventory for damage calculation	Data type / Scale
Classification of land and land property prices	Price / KRW
Population-related information (population density, population by age, social status, etc.)	Person / Person
Traffic infrastructure information such as road / rail / airplane	Number / KRW
Major essential facilities information (school, hospital, etc.)	Number /KRW
Information on major dense facilities (shopping centers, airports, railway stations, terminals, etc.)	Number / KRW
Traffic infrastructure congestion by time	Time / KRW
Vehicle registration number by vehicle type / use by area	Number / KRW

2.2 복합재난 통합모델링 수행을 위한 입출력 정보

본 절에서는 복합재난 통합모델링을 위한 입력 정보와 출력 정보에 대해서 다룬다. 그림 9에서와 같이 사용자는 왼쪽 바에서 재난의 종류를 선택하고, 오른쪽에 GIS 기반의 정보와 함께 재난 위험도가 중첩되어 표출되는 구조이다. 입력 정보로 사용자는 재난의 종류와 함께 대상 지역, 재난 강도 또는 수치를 입력할 수 있고, 출력 정보로는 통합모델링이 수행된 피해 예측 범위, 피해 예측액, 피해 위험도가 표출된다.

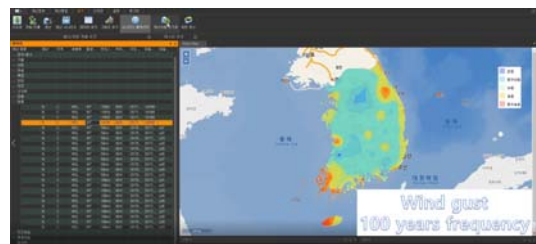


그림 9. 복합재난 통합모델링 시스템 입출력 화면  
Fig. 9. Complex Disaster Integrated Modeling System Input / Output

2.3 복합재난 통합모델링 시스템 설계

다수의 재난이 동시다발 또는 연쇄적으로 발생하는 복합재난을 모델링하기 위해서는 기존 개별 재난을 모델링하는 기능과 함께 개별 재난들의 모델링 결과를 연계하는 기능과 통합하여 처리하는 통합모델링 기능이 포함되어야 한다. 그림 10은 복합재난을 통합 모델링하는 시스템에 대한 상위설계를 나타낸 것으로, 자연재난 모델링, 사회재난 모델링, 복합재난 통합모

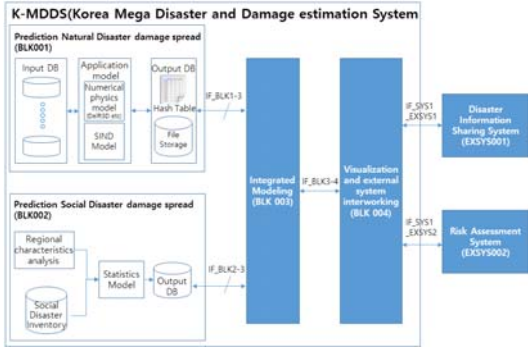


그림 10. 복합재난 통합모델링 시스템 전체 설계도  
Fig. 10. Complex Disaster Integrated Modeling System Overall Design

모델링, 그리고 사용자와의 인터페이스와 화면 표출을 위한 가시화 블록 및 외부시스템 연동으로 크게 4개의 블록으로 구성된다.

자연재난 모델링 블록(BLK001)은 자연재난의 특성에 따라 통계기반 모델링 기법, 물리 모의기반 모델링 기법, 자료 기반 모델링 기법으로 분류되며, 개별 자연재난 결과는 다른 자연 및 사회재난의 입력 값으로 사용할 수 있도록 설계되었다. 기존의 개별 자연재난 모델링을 수행하는데 수 시간에서 수일이 소요되는 단점을 보완하고 한 시스템에서 다수의 자연재난을 모델링하기 위하여 자연재난 모델링 블록에서는 물리 모의기반 및 자료 기반 모델링 기법을 미리 수행한 결과를 사전에 취합하여 DB에 입력하여 저장 및 관리하고 이를 사용자 입력 값에 따라서 보간하여 처리하는 알고리즘 방식을 추가로 적용하였다. 제안하는 보간 알고리즘은 실제 물리 모의 기반의 모델링 처리 결과값과 비교하여 오차를 재처리하는 프로세스를 포함한 후 적용되었다. 개별 자연재난 모델링 결과로 피해 예측 범위와 인적 피해액과 경제적 피해액인 직접 피해 예측액이 출력된다.

사회재난 모델링 블록(BLK002)에서 적용한 모델링 기법은 사회재난 종류와 상관없이 시스템 다이나믹스 기법을 사용하였으며, 사회재난 특성에 따라 구축되어야 하는 인벤토리 정보는 차별화하여 관리하는 방식으로 모의를 수행한다. 사회재난 모델링은 자연 또는 사회재난의 결과물을 입력으로 받아 처리하며, 출력으로는 피해 예측 범위와 직접 피해 예측액 뿐만 아니라 간접 피해 예측액으로 사회적/경제적 피해액이 나온다.

제안하는 시스템에서의 가장 핵심 기능을 포함하고 있는 블록이 바로 복합재난 통합모델링 블록

(BLK003)이다. 복합재난 통합모델링 블록은 크게 3가지 역할을 수행한다. 첫째는 개별 자연재난과 사회재난간의 연계성을 고려하는 것이고, 둘째는 재난간의 입출력 정보를 활용하도록 처리하고, 셋째는 중첩되는 피해범위와 피해액을 통합하여 처리하는 기능이다. 재난간 연계성으로 복합재난이 도출되면 선행 재난의 결과값이 후행 재난의 입력값으로 활용되는 구조이기에 이를 처리해주는 역할이 반드시 필요하다. 또한, 개별 재난에서 나온 직접 피해 예측액 및 간접 피해 예측액을 단순 합으로 처리하면 중복 처리되는 문제가 발생한다. 따라서 복합재난 통합모델링에서는 피해액 산정을 재처리하는 기능을 수행한다. 예를 들어 지진-산사태가 발생한 경우에, 지진으로 인해 피해를 입은 건물이 다시 산사태로 인해 피해를 입을 수 있는데, 이를 단순히 합산하면 경우에 따라서는 존재하는 건물보다 피해 건물이 더 많은 오류가 발생할 수 있기 때문이다.

가시화 및 외부시스템 연동 블록(BLK004)은 사용자 및 연동되는 외부 시스템의 입력을 받아서 처리하는 기능, 공간 지리정보 기반의 지도에 다수 재난의 피해 범위와 피해 위험도를 중첩하여 표출하는 기능 및 관련 GUI를 포함한다. 사용자가 다수의 재난에 대한 입력을 할 수 있는 직관적 GUI를 제공하고, 여러 재난이 구분되어 피해 예상 범위 및 피해 예측액이 표현될 수 있도록 구성되어 있다.(Fig. 13 참조)

### III. 시나리오 기반의 복합재난 통합모델링 시스템 모의 결과

본 장에서는 제안하고 구현한 시나리오 기반의 복합재난 모델링 시스템을 이용하여 태풍으로부터 시작되는 대표 시나리오를 기반으로 모의한 결과에 대해서 설명한다. 제안하는 시스템은 기존 재난 모델링 시스템이 단일 재난에 대한 피해만 예측한 데 반하여 연쇄적으로 발생하는 복합재난에 대한 피해 범위를 예측하고, 직접 및 간접 피해 예측액을 계산하는데 있어서는 통합모델링 블록을 통해 중복 계산이 되지 않도록 처리하는 기능을 제공하고 있다.

#### 3.1 복합재난 통합모델링 모의를 위한 대표 시나리오 선정

개발한 복합재난 통합모델링 모의를 수행하기 위해 국내에서 가장 빈번히 발생하는 복합재난인 태풍을 모재난으로 하는 대표 시나리오를 선정하였다. 현재 (2018년 4월) 기준으로 역대 3번째로 강력했던 2016

년 18호 태풍 차바(CHABA)의 경로를 기반으로 모의를 수행하였다. 태풍 차바는 최대 풍속 56.6m/s에 이르는 역대급 강풍을 몰고 한반도를 거쳐 간 태풍으로 한라산 뒷세오름에 시간당 592.5mm, 울산 울주군에 319mm, 경남 양산에 277.5mm 등 남부지방에 큰 폭우를 동반하였다.<sup>[11]</sup> 그림 11은 대표 시나리오로 선정된 태풍 차바의 경로와 태풍으로 인해 파생될 수 있는 재난에 대해 나타낸 것이다.

활용한 대표 시나리오에서는 그림 12와 같이 태풍을 모재난으로 시작하여 호우, 강풍, 낙뢰를 2차 파생재난으로 연계하고, 호우로 인한 산사태, 강풍으로 인한 폭풍해일이 3차 파생재난으로 발생한 것으로 시나리오를 구성하였다. 그 후에 낙뢰와 폭풍해일로 인해 여수 산업단지과 울산 지역에서 에너지 사고로 인한 전력 공급 중단으로 유해화학물질이 누출되는 4차 파생재난인 사회재난으로 연계된 시나리오를 기반으로 모의 수행하였다.



그림 11. 복합재난 통합모델링 모의를 위한 대표 시나리오  
Fig. 11. Representative scenarios for simulating complex disaster integration modeling

### 3.2 복합재난 통합모델링 모의 수행 결과

구현한 복합재난 통합모델링 시스템에서 태풍 차바를 모재난으로 한 대표 시나리오를 기반으로 모델링을 수행한 결과, 총 5종의 자연재난과 울산과 여수 지역에서 1종의 사회재난이 연계된 사례에 대해 모의를 수행하였다. 그림 12는 개별 재난 모의를 통해 나타난 결과로, 각 재난으로 인한 피해 범위 및 피해 예측에 대한 위험도를 나타낸 것이다.

태풍에서 시작된 자연재난은 재난간 연계성을 고려하여 호우, 산사태, 낙뢰, 강풍, 폭풍해일로 연계되었으며, 낙뢰와 폭풍해일에 의해 산업단지내 유출물질이 유출되는 사회재난으로 연계되어 발생되었다. 산업단지내 유출된 물질은 불산과 염소로 화학물질의 특성을 고려하여 그림 12의 오른쪽과 같이 동심원의 반경

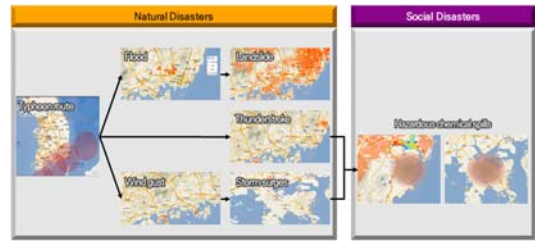


그림 12. 태풍 차바를 모재난으로 한 복합재난 통합모델링 모의 결과(예시)  
Fig. 12. The result of Complex Disaster Integrated Modeling Simulation with Typhoon CHABA

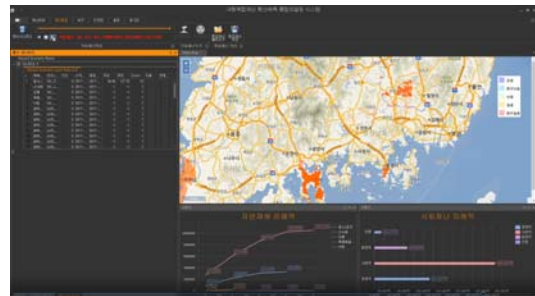


그림 13. 태풍 차바를 모재난으로 한 복합재난 통합모델링 모의 결과2  
Fig. 13. The result of Complex Disaster Integrated Modeling Simulation with Typhoon CHABA

으로 피해범위가 예측되었다.

복합재난 통합모델링의 결과는 그림 13과 같이 피해가 예측되는 피해범위와 추산되는 피해액으로 표출되어진다. 개별 자연 및 사회재난에 의한 피해액과 피해범위가 표시되고, 자연재난과 사회재난에 따른 예측 피해액의 총합이 함께 제공된다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 개별 자연재난 및 사회재난이 상호 연계되어 발생하는 복합재난을 하나의 시스템에서 통합모델링하기 위한 시스템 구조 및 필요한 핵심 인벤토리에 대해서 제안하였고, 제안한 시스템에서 대표 시나리오를 기반으로 모의를 수행한 결과를 포함하고 있다. 제안한 복합재난 통합모델링 시스템은 다양한 종류의 재난 모델링이 탑재 및 확장될 수 있는 구조로 설계되었으며, 개별적으로 사전에 분석된 재난 모의 결과를 하나로 통합할 수 있도록 표준화된 통합모델링 인벤토리 기준을 제시하였다. 본 연구에서 제안한 시스템은 분석된 결과를 지도에 공간적 분포를 표출하고 각 재난 및 지역에 대한 피해액, 피해범위를 산정하는 기법을 포함하는 것이 대표적인 특징이다. 특

히, 실제 발생했던 태풍으로부터 발생한 복합재난을 시나리오 선정하여 적용해봄으로써 연구 결과물의 적용성 및 확장 가능성을 확인할 수 있었다.

본 논문의 결과물을 통해 기존 재난관리 체계에 예측 단계를 확장하여 전주기의 재난관리 체계에 대한 토대를 마련하고, 국가 및 지자체 차원에서 지역특성을 고려하여 발생할 수 있는 복합재난에 대한 사전 예측을 통해 훈련 및 대응에도 활용할 수 있을 것이다. 특히, 2016년 경주지진과 2017년 포항지진을 경험하면서 이제 우리나라도 지진으로부터 안전하지 않다는 국민적 인식이 확산되었고, 지진을 포함하여 집중호우, 태풍과 같은 재난을 예측하여 사전 대응 및 대비할 수 있도록 국민들에게 정확하고 빠르게 정보 전달하는 것 또한 국가적 재난 관리에 있어서 중요한 사항이다. 제안하는 통합모델링 시스템은 이러한 국가적 재난 관리의 예측 단계에서 효율적으로 활용가능하다.

향후 연구계획으로는 복합재난을 위한 시나리오를 재난간의 연계성 자동 분석 및 지역 특성을 반영하여 모재난을 통해 생성되는 다양한 복합재난 시나리오를 자동으로 생성하는 알고리즘을 개발하는 것과 복합재난 통합모델링 수행 결과로 나오는 피해범위에 대한 피해액을 정량적으로 제시하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 국내외 복합재난 사례 분석을 통해 우리나라에 적용 가능한 다양한 대표 시나리오를 선정하고 이를 적용한 결과와 실제 재난 결과를 비교 분석하여 시스템의 정확도를 향상시킬 계획이다. 장기적인 연구 목표로는 현재 구현된 시스템을 확장하여 재난의 모의 결과에 실시간 기상정보가 포함될 수 있도록 향후 실시간 기상관련 시스템과 연동하여 피해범위를 예측하는 기능을 추가하고, 재난 정보가 대국민에게 풍부한 정보와 함께 정확하게 전달할 수 있도록 기존 4G 이동통신망 및 방송망을 확대하여 5G와 UHD를 지원하는 통신 방식에 대한 연구를 추가 진행할 예정이다.

복합재난간 연계성에 대해서는 국내뿐만 아니라 국외에서도 걸음마 단계로 재난간 모델링에서 적용하는 입력 및 출력에 대한 영향력 및 상관관계를 다루는 연구는 기존 국내외 복합재난 이력을 조사 및 분석하고, 이에 self-learning 기법을 적용하여 정확도를 높여가는 연구 또한 지속적으로 요구된다.

## References

- [1] S.-H. Oh, et. al., "Mega complex disaster spread prediction system using scenarios," *2018 Conf. Korean Soc. Hazard Mitigation*, p. 148, Seoul, Korea, Feb. 2018.
- [2] W.-S. Jung, et. al., "The acceleration method for mega complex disaster spread prediction based on simulation history," *2018 Conf. Korean Soc. Hazard Mitigation*, p. 147, Seoul, Korea, Feb. 2018.
- [3] Showalter and Myers, 1994; European Commission, 2002; Krausmann, et al., 2017; UNISDR, 2017.
- [4] C. Jeong, "Developments of spreading mega complex disaster forecasting technologies based on scenarios," *KRIHS Monthly Mag.*, pp. 37-42, Aug. 2017.
- [5] Annual report, *Developments of Spreading Mega Complex Disaster Forecasting Technologies Based on Scenarios*, Nov. 2017.
- [6] *Introduction of RASOR project*, Retrieved Jul. 01, 2018, from <http://www.rasor-project.eu/>
- [7] *Introduction of HEIMDALL project*, Retrieved Jul. 01, 2018, from <http://heimdall-h2020.eu/>
- [8] B.-H. Lee, et. al., "A study of extract common I/O parameter for design of complex disaster prediction model," *J. Korea Soc. Satellite Technol.*, vol. 12, no. 4, pp. 18-25, Dec. 2017.
- [9] B.-J. Lee, et. al., "A study of a system for predicting damages of complex disasters considering the damage of major facilities," *J. Korea Soc. Satellite Technol.*, vol. 12, no. 4, pp. 18-25, Dec. 2017.
- [10] S. Oh, et. al., *Inventory compile requirements for complex disaster response*, TTA Standard, TTA.KO06.0451. Dec. 2017.
- [11] *2016 Typhoon Analysis Report*, National Typhoon center by Korea Meteorological Administration, pp. 105-117, Jul. 2017.



오 승 희 (Seung-Hee Oh)



1999년 2월 : 전북대학교 전자계산학과 졸업(학사)  
2001년 2월 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 대학원 졸업(석사)  
2001년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 스마트미디어연구그룹 선임연구원

<관심분야> 재난정보시스템, 스마트미디어기술, 항공 및 해상 관제시스템, 네트워크 보안

정 우 석 (Woo-sug Jung)



1992년 2월 : 명지대학교 전자공학과 졸업 (학사)  
1994년 2월 : 명지대학교 전자공학과 대학원 졸업 (석사)  
2009년 8월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 대학원 졸업 (공학박사)

1994년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 스마트미디어연구그룹 책임연구원

<관심분야> 재난정보시스템, IoT, 가상/증강현실, 스마트그리드, 실내측위, 네트워크 보안

손 진 (Jin Son)



2011년 2월 : 서울대학교 에너지자원공학과 졸업(학사)  
2017년 2월 : 서울대학교 에너지시스템공학부 대학원 졸업(석박사통합 공학박사)  
2017년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 스마트미디어연구그룹 박사후연수연구원

<관심분야> GIS, 재난모델링, 공간통계

이 용 태 (Yong-Tae Lee)



1993년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업 (학사)  
1995년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 대학원 졸업 (석사)  
2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 대학원 졸업 (공학박사)

2009년 3월~현재 : 연합대학원대학교(UST) 이동통신 및 디지털방송공학 교수

1995년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 스마트미디어연구그룹 그룹장

<관심분야> 디지털방송기술, 스마트미디어기술, 재난정보전달시스템, 무인기 응용 시스템, IoT 응용 시스템