https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.209

JIIBC 2018-5-27

# 대풍 영향으로 인한 저층 시설물의 침수피해를 고려한 재난 연계 매트릭스 도출

# Extraction of Disaster link Matrix Considering Flood Damage of Low-rise Structures due to Typhoon Effects

이병훈\*, 이병진\*, 오승희\*\*, 정우석\*\*, 김경석\*\*\*

Byung-Hoon Lee\*, Byung-Jin Lee\*, Seung-Hee Oh\*\*, Woo-Sug Jung\*\*, Kyung-Seok Kim\*\*\*

요 약 본 논문에서는 대규모 재난이 발생할 경우 재난으로 인해 시설물에 가해지는 피해를 알아보고 그로 인해 발생 가능한 재난들을 매트릭스 형식으로 나타내었다. 대규모 재난으로 태풍을 선정하였으며 태풍으로 인해 발생 가능한 피해인 홍수피해를 주로 다뤘다. 홍수피해의 경우 주로 침수가 발생하게 되고 침수심과 유속에 따라 피해여부가 결정되게 되며 이를 저층시설물에 적용한 결과를 도출해 내었다. 또한 시설물 피해로 인한 재난 연계를 한눈에 알아보기 쉽도록 매트릭스 형식으로 재난유형을 분류하는 방법을 적용시켜 결과를 도출시켰다. 본 논문에서 제시한 형식으로 지속적인 연구가 진행되었을 경우 재난발생에 따른 추가적인 재난을 미리 알아보는데 도움이 될 것이다.

**Abstract** In this paper, we recognize the damage caused by a disaster to a facility in the event of a large-scale disaster and present the possible disasters in the form of a matrix. The typhoon was selected as a major disaster and covered mainly the flood damage, a possible damage caused by the typhoon. Flood damage is mainly caused by flooding, and damage is determined by flooding and flow rate, and the results of applying this to low-rise facilities are derived. In addition, the results were derived by applying a method of classification of disaster types in a matrix format to make it easy to see at a glance the connection between disasters caused by damage to a facility. Continuing research in the form presented in this paper will help us identify additional disasters as an occurrence of a disaster.

Key Words: natural disaster, complex disaster, prediction, modeling

# I. 서 론

현재 세계적으로 대규모 자연재해가 지속적으로 발생하고 있으며 이는 최근 급변하기 시작한 기후변화와 밀접한 관계를 가지고 있다.<sup>[1]</sup> 또한 최근 몇 년간 자연재해를 포함한 재해 패턴이 점점 더 커지고 다양해지고 있으며 현대 사회의 재난은 자연적으로 발생한 재난 외에도

정전, 폭발과 같은 자연재난으로 인해 연계되는 사회재 난도 포함하고 있다.<sup>[2]</sup> 이러한 재난을 예방하기 위해서 여러 국가에서 대응체계를 구축하고 있으며 미국의 경우 '국가재난대응체계(NRF)'와 '연방재난관리청(FEMA)'을 통해 모든 유형의 자연재난과 인적재난을 통합적으로 관 리해왔다. 또한 일본의 경우에도 과거 빈번하게 발생한 지진과 태풍피해를 줄이기 위해'중앙방재회의'를 설치하

접수일자 : 2018년 9월 11일, 수정완료 : 2018년 10월 3일

게재확정일자 : 2018년 10월 5일

Received: 11 September, 2018 / Revised: 3 October, 2018 /

Accepted: 5 October, 2018

\*Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr

Department of Electrical and Electronic Engineering, Chungbuk National University, Korea

<sup>\*</sup>준회원, 충북대학교 전파통신공학과

<sup>\*\*</sup>정회원, 한국전자통신연구원

<sup>\*\*\*</sup>정회원, 충북대학교 전파통신공학과(교신저자)

여 운영하고 있다. [3] 우리나라에서 발생하는 태풍은 과거부터 태풍이 발생하였을 경우 폭발적으로 늘어난 강우량에 의한 침수피해가 대량으로 발생하였으며 그로 인해여러 시설물의 기능에 영향을 미쳐왔다. [4] 시설물 피해는 시설물의 유형에 따라 다양한 연계 재난으로 발전할 수 있으며 추가적인 재난이 발생할 경우 그로 인한 피해가급증하게 될 것이다.

태풍을 포함한 다양한 재난으로 인한 피해를 줄이기 위해서는 태풍으로 인해 발생하는 연계 재난을 미리 예측하고 대응하는 과정이 필요하다. 하지만 이러한 과정을 적용시키기 위해서는 각 재난별로 분석을 진행하여야한다는 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해서는 재난의유형별로 연계될 수 있는 재난에 대한 정보가 필요하며이러한 정보를 하나의 표로 나타낼 수 있는 재난 연계 매트릭스가 필요하다.

현재 개발된 재난 매트릭스의 경우 주로 과거에 발생한 재난의 재난 발생 유형에 따라 분류하고 과거 발생 사례들을 누적시켜 다른 재난을 유발하는 모재난에 따른 파생재난의 형식으로 나타내는 방식을 적용하였다. 하지만 이러한 방식의 경우 재난의 규모와 상관없이 연계될수 있는 재난의 유형만을 나타내었기 때문에 재난 규모에 따른 수치를 통해 어떤 재난이 연계될수 있는지에 대한 연구가 필요하다.<sup>[5]</sup>

본 연구에서는 태풍으로 인해 발생하는 피해 중 폭우로 인한 침수와 침수심에 따른 시설물의 피해여부를 산출하기 위해 태풍에서 얻을 수 있는 파라미터 중 홍수를 유발하는 데이터에 대한 물리모델을 적용시켰다. 또한물리모델의 결과데이터를 통해 시설물의 붕괴여부 및 추가 재난 발생여부를 판별하는 과정을 거친 뒤 최종적으로 재난 연계 매트릭스를 도출해 내었다.

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 홍수 물리모델에 대해 설명하고 Ⅲ장에서는 홍수에 의한 시설 물 피해여부 판별식에 대해 설명하고 Ⅳ장에서는 홍수 매트릭스 도출 방법에 대해 설명하고 Ⅴ장에서는 결론을 맺는다.

#### Ⅱ. 홍수 물리모델

홍수에 관한 물리모델은 HEC-RAS, HAZUS-MH, XP-SWMM 등이 있다. 이러한 물리모델 중 분석에 활용

한 물리모델로 가시화와 고도화가 용이한 XP-SWMM 모델을 선정하였다. XP-SWMM 모델은 미국 환전보전국(EPA)에서 개발한 수문, 수질 시뮬레이션 시스템으로 그림 1과 같이 구성되어 있으며 분석하고자 하는 지역의 구조 및 정보와 강우량 데이터, 하천구조 및 분포데이터, 도심지의 수로데이터, 내부 단면구조, 저장 공간 정보와 오염물질에 대한 데이터를 입력한다. 입력데이터는 수문학, 수력학 분석모델을 통해 최종적으로 최대 수위, 유거수 데이터, 유속, 유량, 수위데이터를 실시간으로 산출한다.[6]

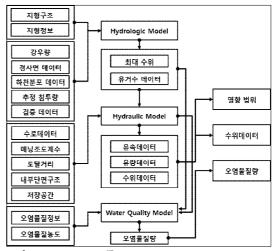


그림 1. XP-SWMM 구조

Fig. 1. Structure of XP-SWMM

홍수 물리모델을 통해 산출된 데이터 중 영향범위와 수위데이터의 경우 결과 값을 좌표별로 산출하기 때문에 적용시킬 지역의 지형데이터, 하천 및 수로 구조 데이터 와 강우량을 알 경우 해당 지역의 시설물에 대한 침수 여 부를 확인 할 수 있으며 이를 통해 시설물의 붕괴 여부를 산출하는 방식으로 진행하였다.

#### Ⅲ. 홍수에 의한 주요시설물 피해여부

홍수 물리모델인 XP-SWMM의 결과데이터인 영향범위, 수위데이터, 오염물질량 데이터 중 수위데이터에 영향을 받는 침수심을 활용하여 시설물의 피해여부를 판별하였다. 피해 산출 방법으로는 미국의 미 육군 공병대(USACE)에서 분석한 데이터를 활용하였다.<sup>[7]</sup> 미국에서

진행한 시설물 피해 산출방법은 침수심에 따른 붕괴여부를 판별하는 방법으로 그림 2와 같이 구성되어있으며 해당 방식의 경우 3층 이하의 저층시설물에 대한 붕괴 여부만을 산출하였다.

그림 2에서 주로 활용되는 값은 건물 종류 별 유속임계값 VT와 이를 활용한 건물 종류 별 수심한계점 D가적용되며 이에 대한 정보는 표 1에 나타나 있다. 표 1에서는 시설물의 재질 중 목재, 콘크리트, 철재 시설물 3가지에 대해 정리를 하였고 시설물의 재질과 층수에 따른 유속 임계값 VT 및 붕괴 발생 판별식이 나타나 있다. 이를 시설물의 종류별로 적용한 결과는 그림 3과 같이 나타난다. 그림 3의 경우 유속 값 V가 유속임계값 VT보다 작을 경우에는 붕괴가 일어나지 않으며 유속 값 V가 유속임계값 VT보다 작을 경우에는 붕괴가 일어나지 않으며 유속 값 V가 유속임계값 VT보다 커질 경우 붕괴가 발생하는 수심의 한계값 D를 나타낸다. 이러한 결과를 활용하여 홍수가 발생한 지역의 침수심을 산출하고 침수심의 결과에 따라 산출되는 유속값을 통해 붕괴판별식을 적용시켜 시설물의 붕괴 여부를 산출해 낼 수 있다.

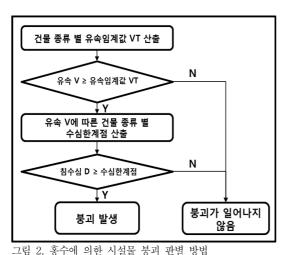


그림 2. 봉구에 의한 시설을 통과 관결 명립 Fig. 2. Method of Determining the Collapse of Structures by Flooding

이러한 방법을 활용하여 임의의 지역을 선정하여 홍수가 발생한 상황을 적용시켜 보았다. 홍수의 경우 시설물이 침수로 인해 붕괴 피해를 입을 정도의 극한 상황인침수심 15m, 유속 8feet/s을 적용시켰으며 홍수가 발생한지역은 그림 4와 같이 나타내었다. 홍수가 발생한지역 중 A, B는 전력시설물, C, D는 화학시설물에 해당하는주요시설물이 있다고 가정하였다. 전력시설물의 경우 역

외 변전소를 지정하였으며 표준 높이에 해당하는 6~10m의 2~3층 규모의 변전소가 있다고 가정하였다. 의 화 학시설물의 경우 표준 규격은 없지만 대부분 10m 이내의 높이의 콘크리트, 철제 시설물로 이루어져 있는 것을 확 인할 수 있기 때문에 2~3층 규모의 화학시설물이 있다고 가정하였다. 시설물의 재질과 층수는 표 2와 같이 지정하였다.

그림 3에 임의로 지정한 침수심과 유속값, 시설물의 유형을 적용시켰을 경우 붕괴여부를 확인할 수 있으며 2 층짜리 철제 시설물의 경우 침수심이 약 12m일 때 붕괴가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 2층짜리 콘크리트 시설물의 경우 동일한 과정을 거칠 경우 침수심이 약 22m일 때 붕괴가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 방식을 통해 각 시설물에 붕괴여부 판별식을 적용한 결과는 표 3에 나타내었으며 붕괴가 되었을 경우 정전 또는 폭발사고가 발생할 수 있다고 가정하고 이후에 발생하는 연계재난에 적용을 시켰다.

표 1. 건축재질에 따른 시설물 붕괴여부 판별식 Table 1. Equation of the structure collapse according to the building material

Material	층수	VT	Collapse Potential	
Material			V>=VT	
Wood	1	5.34	Collapse if D > $268.38 V^{-1.9642}$	
Wood	2	4.34	Collapse if D> $268.38V^{-1.9642}$	
Wood	3	3.75	Collapse if D> $268.38V^{-1.9642}$	
Concrete	1	6.31	Collapse if D> $525.09V^{-2.0406}$	
Concrete	2	7.47	Collapse if D> $1210.6V^{-1.9511}$	
Concrete	3	9.02	Collapse if D>-4.8864V+69.086	
Steel	1	5.4	Collapse if $D > 0.3125 V^2 - 6.6875 V + 39.125$	
Steel	2	5.4	Collapse if $D > 0.5808 V^2 - 12.595 V + 74.859$	
Steel	3	5.4	Collapse if $D > 0.7737V^2 - 17.112V + 104.89$	

표 2. 저층시설물의 유형, 재질 및 층수

Table 2. Types, materials and number of floors of low-rise structures

시설물	유형	재질	높이
A	전기시설물	철	2층
В	전기시설물	철	3층
С	화학시설물	콘크리트/철	2층
D	화학시설물	철	3층

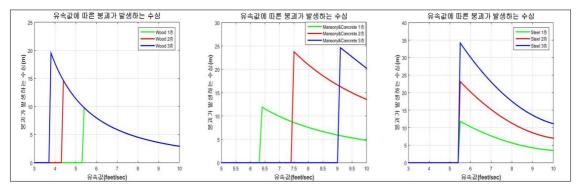


그림 3. 건축재질에 따른 시설물 붕괴여부 판별식 적용 결과

Fig. 3. Result of equation of the structure collapse according to the building material

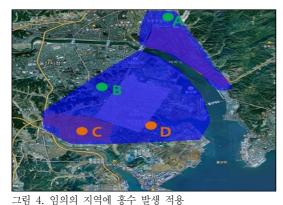


그림 4. 임의의 시력에 중구 설생 적용 Fig. 4. Apply flood situation to random area

표 3. 붕괴 여부 판별식 적용 결과 Table 3. Result of determining the collapse of structures

시설물	유형	재질	높이	붕괴여부
A	전기시설물	철	2층	0
В	전기시설물	철	2층	X
С	화학시설물	콘크리트/철	2층	철제시설 붕괴
D	화학시설물	철	2층	X

# Ⅳ. 홍수 연계 매트릭스 도출

대풍에 의한 홍수의 경우 대풍의 유형과 발생 지역, 진행 방향이 모두 다르게 발생하게 되며 이로 인해 발생 가능한 재난도 여러 유형으로 발생할 것이다. 이를 하나로 통합시키기 위해 재난의 유형과 발생 시 일어날 수 있는 재난에 대해 분류하는 방법을 적용시켰으며 재난 발생

유형에 따라 모재난에 의해 연속적으로 발생 가능한 파 생재난에 대해 정리하는 방식으로 매트릭스를 구성하였 다.<sup>[5]</sup>

재난의 유형에 따라 재난 발생 시 연계가 될 수 있는 재난을 적용하는 방법으로는 국가기반 시설물의 상호 의존도 매트릭스를 적용시켰다. 국가기반 시설물의 상호 의존도 매트릭스를 정우 매트릭스를 도출하기 위해 전문 가들에 대한 설문조사 방식인 델파이방식을 활용하였다. 델파이 조사는 시설물 별로 어느 정도의 영향력을 주고 받는지에 대한 데이터를 조사하는 방식이며 여러 번의설문조사를 통해 재난 발생 유형을 나타낸다.<sup>[9]</sup> 이러한 방법을 적용시켜 태풍에 의한 홍수로 발생할 수 있는 재난 결과를 매트릭스로 나타낸 결과는 그림 5와 같으며 태풍에 의한 홍수가 발생할 경우 침수로 인해 저층 시설물의 붕괴가 발생할 수 있고 그로 인한 정전과 화학사고가발생할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

국가기반시설물의 상호 의존도 매트릭스 결과에서는 전력시설물이 다른 시설물에 가장 큰 영향을 준다고 나타나있으며 이를 반영시키기 위해 국가기반시설물의 정전에 대한 영향을 반영시켰다. 정전의 경우 발생할 경우 매우 광범위한 피해를 입힐 수 있기 때문에 정전 발생지역 내에 있는 주요 시설물의 위치 및 정보와 정전 시간에 따른 피해유형을 파악해야 한다. 정전이 발생한 직후에 연계되는 피해 시설물 유형으로는 항만, 화물, 철도, 지하철과 같은 시설물이 있다.<sup>[9]</sup> 이를 적용시킨 결과는 그림 6과 같으며 그림 6은 그림 5에서 정전이 발생할 경우 연계되는 재난 유형에 대한 재난 연계 매트릭스의 결과를 나타낸다.



그림 5. 홍수로 인한 재난 연계 매트릭스

Fig. 5. Disaster link matrix by flood



Fig. 6. Disaster link matrix added to power outages

# V. 결 론

본 논문에서는 태풍이 발생하였을 경우 그로 인해 발 생할 수 있는 재난 중 홍수로 인한 저층 시설물 파괴 발 생 여부를 알아보고 매트릭스 형식으로 정리하였다. 매 트릭스 정리를 위해 임의의 지역에 태풍으로 인한 홍수 가 발생한 상황을 가정하였고 그로 인해 저층시설물의 유형 중 전력시설물과 화학시설물에 피해가 발생하는 것 을 확인하였다. 이 중 전력시설물의 경우 정전으로 재난 이 연계되는 것을 확인하였으며 정전 시간에 따라 피해 규모가 달라지는 것을 확인하였고 최종적으로 하나의 매 트릭스 형태로 결과를 도출해 내었다.

현재 태풍으로 인한 홍수 피해 한 가지에 대해서만 정 리가 되어있기 때문에 매트릭스 구조가 비교적 단순한 것을 볼 수 있다. 하지만 이러한 방식의 연구가 지속되어 국내외에 주로 영향을 미치는 재난에 모두 적용 될 경우 재난 발생에 따라 어떠한 재난이 연계될 것인지 한눈에 알아 볼 수 있게 될 것이다.

#### References

- [1] WGII, IPCC. "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability-AR5 Summary for Policymakers." WGII AR5 Phase I, Report Launch
- [2] Soonduck Yoo (2016). A study on improvements of disaster management with public-private partnerships. The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, 16(2), 171-180.
  - DOI: http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.2.171
- [3] J. H. Bae. "National Disaster Management System and Its Implications in Major Countries" Issues and points>, National Assembly Research Service (2014).
- [4] M. S. Lee, G. A. Park and S. J. Kim. "Land Cover Change Detection by Typhoon RUSA." KSCE D 24.5D (2004): 823-828.
- [5] Gill, Joel C., and Bruce D. Malamud. "Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards." Reviews of Geophysics 52.4 (2014): 680-722.
- [6] Solutions, X. P. "XP-SWMM Stormwater and wastewater management model: Getting started manual." Newbury, UK (2013).
- [7] USACE (1985),"Business Depth-Damage Analysis Procedures", U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.
- [8] KRIC, "E\_02050 the structure of a substation", (2015)
- [9] Shin, Jin Dong, Yoon, Kyung Ho, Choi, Dong Sik, Kim, Hyun Ju. (2014). Disaster Consequence

Analysis on Blackout considering Interdependency Matrix and Resilience in Critical Infrastructure. 1. KOSHAM. 14(4): 189–198

DOI: http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2014.14.4.189

#### 저자 소개

# 이 병 훈(준회원)



- 2017년 2월 : 충북대학교 정보통신공 학과 공학사
- 2017년 3월 ~ 현재: 충북대학교 전 파통신공학과 석사과정
- <주관심분야: 재난 시스템 모델링, 전 파신호처리, IR-UWB 레이더 신호처 리>

# 이 병 진(준회원)



- 2013년 2월 : 충북대학교 정보통신공 학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재: 충북대학교 전 파공학과 석박사 통합과정
- <주관심분야: 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신, MIMO-OFDM>

#### 오 승 희(정회원)



- 1994년 3월 ~ 1999년 2월 : 전북대학
  교 전자계산학과 졸업(학사)
- 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 이화여자 대학교 컴퓨터공학과 대학원 졸업 (석사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연 구원 방송미디어연구소 선임연구원

<주관심분야: 재난정보시스템, 항공 및 해상 관제시스템, 네 트워크 보안>

# 정 우 석(정회원)



- 1987년 3월 ~ 1992년 2월 : 명지대학 교 전자공학과 졸업(학사)
- 1992년 3월 ~ 1994년 2월 : 명지대학 교 전자공학과 대학원 졸업(석사)
- 2002년 3월 ~ 2009년 8월 : 충남대학
  교 컴퓨터공학과 대학원 졸업(박사)
- 1994년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연 구원 방송미디어연구소 책임연구원

<주관심분야: 재난정보시스템, IoT, 가상/증강현실, 스마트 그리드, 실내측위, 네트워크 보안>

# 김 경 석(정회원)



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자 통신연구원 무선통신연구단 선임연구 원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자 공학과 대 학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통 신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전 임강사
- 2005년 3월 ~ 현재: 충북대학교 정보통신공학과 정교수 <주관심분야: 5G Massive-MIMO, 복합 재난 모델링 기술, 전파채널모델링, 지정맥 알고리즘, Cognitive Radio, 가시광 통신, 위성보안망분석, 디지털라디오>

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