

굴착공사현장 침수양상 해석 및 어골도에 의한 침수피해 원인 및 결과 도출

유동현¹, 송창근^{2*}

¹인천대학교 안전공학과 석사과정, ²인천대학교 안전공학과 부교수

Inundation Pattern Analysis of Excavation at Construction Site and Derivation of Diasaster Cause and Effect Using Fish-bone Diagram

Dong-Hyun Yoo¹, Chang Geun Song^{2*}

¹Student, Dept. of Safety Engineering, Incheon National University

²Associate Professor, Dept. of Safety Engineering, Incheon National University

요약 21세기에 들어 급변하는 기후변화로 인한 풍수해 재해가 증가하여 건설현장에서의 침수사고가 증가하고 있다. 하지만 침수사고에 안전관리가 제대로 작동하지 않아 구체적인 저감 대책은 제시되고 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 굴착공사현장에서의 침수사고에 대한 침수양상을 해석하고 침수위험도 정량화 기법을 활용하여 위험등급을 구분하였다. 마지막으로 어골도를 활용하여 복합적인 침수원인을 도출하였다. 소규모 굴착공사 현장과 터파기 현장의 침수양상을 모의한 결과 굴착면을 타고 흘러 들어오는 유체에 의해 굴착면 내 침수심이 3 m를 초과하였다. 또한 굴착지점에 따라서 일시적으로 고유속이 발생하다 저류효과에 의해 감소하거나 10 m/s 이상의 고유속이 지속되기도 하였다. 이와 같은 침수양상은 대부분의 작업자 혹은 모든 작업자에게 위험을 초래할 수 있는 수치이기 때문에 관리대책 미흡과 동시에 곱의 사상으로 발생한다면 치명적인 인명·재산 피해를 초래할 수 있었다. 이러한 재해 원인 고찰은 인명피해를 유발하는 침수사고에 대한 원인을 파악하여 사고 저감 대책을 제시할 때 도움을 줄 것으로 판단된다.

주제어 : 침수, 침수위험도 정량화, 어골도, 굴착공사현장, 침수사고

Abstract In the 21st century, a number of storm and flood disasters caused by rapidly changing climate change is increasing, and the number of flood accidents at construction sites is also increasing. However, no specific reduction measures have been presented and thereby safety management to prevent flood accident need to be improved. Therefore, in this study, the inundation pattern by downpour at the excavation site was interpreted and the inundation risk quantification method was used to classify the risk magnitude. Finally, using the fish-bone diagram, we derived the major reasons of inundation accident at construction site systematically. The simulation results showed that the inundation depths of small-scale excavation sites and excavation sites exceeded 3 m due to the fluid flowing through the excavation surface. In addition, depending on the excavation site, a high velocity temporarily observed and decreased due to the storage effect, or high velocity surpassing 10 m/s continued. Since this type of flooding can pose a risk to most or all workers, if proper management measures are insufficient, fatal damage to life and property could occur. Consideration of the roots of these disasters is judged to be helpful in understanding the causes of inundation accidents that result in casualties and presenting accident reduction measures.

Key Words : Inundation, Quantification of Inundation Risk, Fish-bone Diagram, Excavation Work Site, Inundation Accident

*This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 21DPIW-C153746-03).

^{*}Corresponding Author : Chang Geun Song(baybreeze119@inu.ac.kr)

Received May 19, 2021

Revised June 19, 2021

Accepted August 20, 2021

Published August 28, 2021

1. 서론

최근 태풍과 호우의 빈도와 강도가 증가하며 기상 이변이 뉴 노멀(new normal)로 받아들여지고 있다. 이는 건설현장에서의 안전사고 및 재해를 증가에도 크게 영향을 미친다. 공사장 침수의 경우 태풍 또는 집중호우 시 공사구간이 침수되어 피해가 발생하고 절토면 이완 등 2차 피해가 확산되는 문제가 발생한다. 지난 10년간 공사현장에서 발생한 침수사고는 Table 1과 같은 인명 및 경제적 피해를 야기한다. 이러한 침수사고를 분석한 결과 침수사고의 특성 및 주요 원인으로는 집중호우 및 태풍, 공사 실수, 저지대, 물막이 파손 및 침수, 배수로 및 배수펌프의 불량, 기타 등 다양한 원인이 복합적으로 작용해서 발생하므로 굴착공사 현장에서의 침수발생 양상을 해석하고 그 원인을 체계적으로 분류하는 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동수역학 모형을 활용하여 건설현장에서의 굴착 및 터파기 중 '소규모 굴착공사현장'과 '터파기 공법 중 'Open Cut 터파기 공법', 'Island Cut 터파기 공법'에 대한 수치모의를 수행하고 침수양상을 해석하였다. 이후 어골도를 활용하여 굴착공사현장 침수사고의 물리적, 관리적 원인과 함께 잠재적인 영향성을 도출하여 풍수해 재난으로 인한 굴착공사현장 침수 발생 및 인명, 재산피해를 최소화하는 것을 목표로 한다.

2. 동수역학 모델

HDM-2D 모형은 천수방정식을 SU/PG으로 이산화하여 구성된 2차원 동수역학 흐름해석 모델형이다. 굴착공사 현장 등의 지형자료를 생성한 후 경계조건을 부여하여 침수양상을 해석할 수 있으며 수심과 유속 결과를 바탕으로 침수위험도를 산정할 수 있다 [1].

HDM-2D 모형은 Petrov-Galerkin 안정화 기법에 의해 충격파의 전달을 안정적으로 해석할 수 있으며, 박막기법을 활용하여 마름/젖음 현상을 안정적으로 모의할 수 있다. 또한 ERG(Exponentially Growth Rate) 법에 의해 임의의 요소망에서의 생성과 소멸 기제를 재현할 수 있다. 수학적 모형이나 이산화, 적용에 관한 내용은 [2-4]에 상술되어 있으며, HDM-2D를 이용해 복합침수[5]나 침수 위험도를 분석한 연구[6]도 진행된 바 있다.

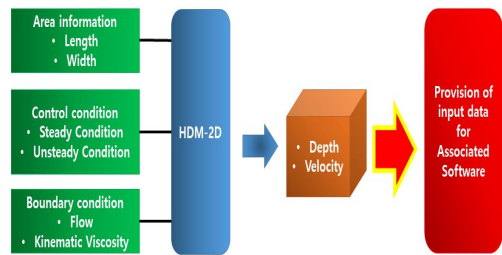


Fig. 1. Input and output structure of HDM-2D model

Table 1. Flooding accidents at the construction sites since 2009

Date	Place	Casualty and damage
April 29th, 2009	Flooding accident at a Shinwolsong nuclear power plant	- The steel clapboard is damaged during excavator work because it can not withstand water pressure
August 13th, 2010	Flooding accident at construction site of Geum-river dam	- Heavy rains around Geum-river - Poor water barrier
May 8th, 2012	Flooding accident at covering structure repair work, Daegu	- Heavy rains around Daegu - Poor contact and safety measures
October 10th, 2012	Flooding accident at World Trade Center site	- Construction site flooded by hurricane 'Sandy'
July 15th, 2013	Noryangjin reservoir inundation accident	- Rising Han-river water level led to the release of Paldang dam due to heavy rain - Poor contact and safety measures
July 4th, 2017	Flooding accident of covering structure repair work, Changwon	- Heavy rains around Changwon
July 31st, 2019	Mokdong rainwater pumping station submerged accident	- Anyang-river water level rises due to heavy rain - No warning of automatic opening of floodgates
October 4th, 2019	Pohang Hyeongsan-river pedestrian bridge construction site flood accident	- Continuous typhoons such as 'Tapah', 'Mitag' - Poor water barrier
July 30th, 2020	Flooding accident at construction site in Buk-gu, Gwangju	- Heavy rains around Gwangju - Poor water barrier

3. 침수양상 해석

3.1 침수위험도 정량화

침수사고 발생 시 침수위험도를 정량화하기 위해 굴착공사현장 침수 시 침수피해의 공학적 분석을 수행하였다. 일반적으로 침수 발생 시 침수심과 유속의 크기로 침수피해 정도를 판단하게 되는데 근로자나 시설물에 미치는 피해 정도를 판단하기 위한 물리 인자로 유체력과 수압을 동시에 고려하기 위해 Eq. (1)과 같이 유속과 수심의 곱을 이용한 FHR(Flood Hazard Rating)을 이용하였다[7,8].

$$FHR = d \cdot (v + 1.5) + DF \quad (1)$$

여기서, FHR =위험등급; d =침수심; v =물의 유속; DF =파편 계수이다. 본 연구에서 파편 계수는 적용하지 않는다. FHR의 값의 범위에 따라 위험등급을 Table 2와 같이 분류하여 침수피해를 정량화하였다.

Table 2. Risk quantification by FHR(Flood Hazard Rating)

Definition	$FHR = h(v + 1.5)$			
Level	Low	Moderate	Significant	Extreme
Range	0-0.75	0.75-1.25	1.25-2.0	2.0-
	Caution	Dangerous for some	Dangerous for most people	Dangerous for all

3.2 굴착공사현장 침수사고

3.2.1 소규모 굴착공사 침수양상 해석

깊이 10 m 이상의 굴착공사를 하는 경우에는 굴토심의 대상에 해당하므로 본 연구에서는 소규모 굴착공사현장의 지형자료를 구축하기 위해 굴착 깊이 3 m, 굴착 폭 10 m의 지형자료를 구축하였다. 굴착면의 기울기는 Table 3과 같이 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 338조 제1항 별표11(굴착면 기울기 기준) 중 보통 흙에서 습지와 건지 모두를 포함할 수 있는 1:1의 기울기를 선정하였다.

Table 3. Criteria for excavated surface slope

	Ground type	Inclination
Soil	Bog	1:1 ~ 1:1.5
	Dry soil	1:0.5 ~ 1:1
Bedrock	Weathered rock	1:0.8
	Soft rock	1:0.5
	Hard rock	1:0.3

굴착공사 현장의 지형은 총 33,939개의 요소와 17,300개의 절점으로 제작하였으며, 강우에 의해 지표수가 굴착면으로 유입되는 조건을 부여하기 위하여 사방에 4개의 생성격자를 삽입하였다(Fig. 2).

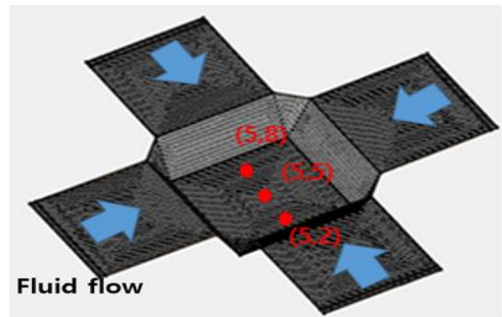
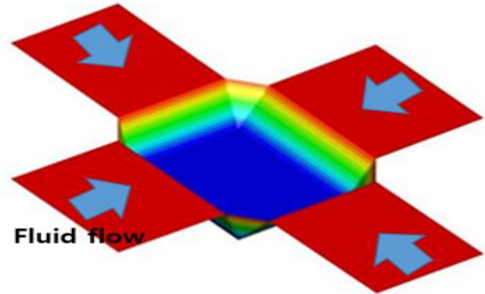


Fig. 2. Small-scale excavation work site

침수해석 모의는 0.1s 시간간격으로 50초까지 진행하였다. Fig. 2와 같이 10시와 5시 방향에서 유입되는 우수가 굴착 바닥면에 최초로 닿게 되는 (5,8) 혹은 (5,2)점과 바닥면의 중간지점인 (5,5)에서 시간에 따른 침수심과 침수유속을 추출하였다. Fig. 3에 제시한 것과 같이 소규모 굴착공사현장의 경우 15 s까지 사방에서 유입되는 유체가 굴착지역 해당 좌표에 도달하지 못하여 침수심과 유속이 나타나지 않았다. 15 s 이후 침수유속의 경우 (5, 2), (5, 8) 지점에서는 사방면을 통해 흘러 들어오는 유체에 의해 20 s에 최대 유속이 0.23 m/s로 나타났다. 굴착 바닥면의 정중앙점인 (5, 5)에서는 유체가 도달하기까지 시간이 상대적으로 오래 소요되므로 25 s에 최대 유속이 발생하였으며, 사방에서 유입되는 유체의 상쇄효과에 의해 최대 유속은 0.05 m/s였다.

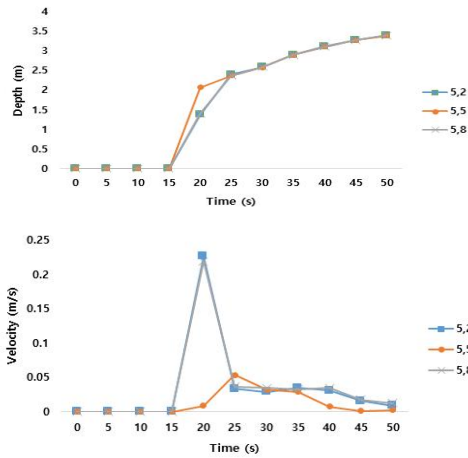


Fig. 3. Inundation depth and velocity of small-scale excavation site

침수심과 유속 결과를 바탕으로 Table 4와 같이 FHR 지수를 활용한 소규모 굴착공사 현장의 우수 유입 위치별 FHR 값과 위험등급을 수록하였다. 모든 지점에서 유속은 그리 크지 않았으나, 시간이 지남에 따라 침수심이 깊어져 FHR 값이 컸으며, 대부분의 근로자에게 위험한 수준을 보였다.

Table 4. FHR(Flood Hazard Rating) of Small-scale excavation work site

Location	(5,2)	(5,5)	(5,8)
FHR	1.73	1.70	1.73
	Dangerous for most people	Dangerous for most people	Dangerous for most people

3.2.2 Open Cut 터파기 침수양상 해석

굴착 공법 중 10 m 이하 깊이의 얇은 기초 터파기에 흔히 이용하는 Open Cut 터파기와 지반이 좋은 경우 가운데 부분을 먼저 파내는 Island Cut 터파기를 대상으로 침수 양상을 모의하였다.

Open Cut 터파기의 경우 굴착 폭 10 m, 굴착 깊이 10m, 굴착면의 기울기는 1:1인 지형을 구축하였다. 대상 영역은 총 7,028개의 요소와 7,173개의 절점으로 구성하였으며, 침수 발생 조건을 부여하기 위해 1개의 생성 격자를 삽입하였다(Fig. 4).

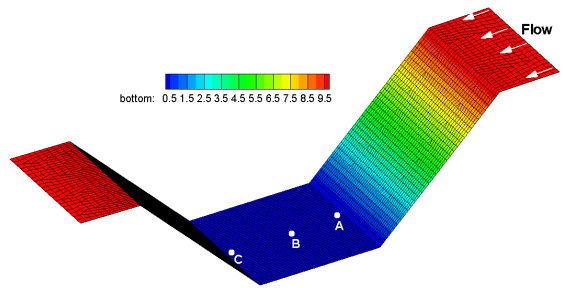


Fig. 4. Mesh generation for open cut

침수해석 모의는 0.1 s 시간간격으로 50 s까지 진행하였다. Fig. 4와 같이 우수가 굴착 바닥면에 최초로 닿게 되는 A점 (0,5)과 바닥면의 중간지점 B (5,5), 굴착 바닥면 중 A점의 반대편 끝점인 C 지점 (10,5)에서 시간에 따른 침수심과 침수유속을 추출하였다. 침수심의 경우 굴착영역 안으로 흘러 들어오는 우수로 인하여 굴착면 내 4.6 m까지 수심이 상승하였다. 경사면에서 유입되는 유체에 의해 Fig. 5와 같이 5 s에 9.75 m/s의 최대 유속이 발생하였다. (5,5)의 좌표에서는 10 s에 6.73 m/s의 최대 유속이 나타났고 차오르는 유체에 의해 점차 유속이 감소하였다.

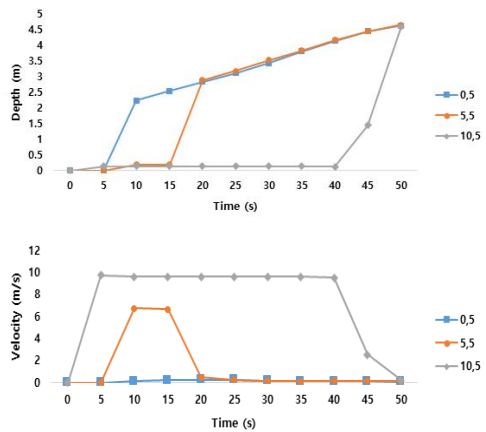


Fig. 5. Inundation depth and velocity of open cut

침수심과 유속을 바탕으로 Table 5와 같이 각 좌표별 FHR 지수와 위험등급을 구하였다. 시간이 경과할수록 침수심이 깊어지고 최대유속 또한 소규모 굴착의 경우보다 커서 FHR 등급이 모든 사람에게 위험한 것으로 나타났다.

Table 5. FHR of open cut

Location	(0,5)	(5,5)	(10,5)
FHR	2.61	2.96	3.27
	Dangerous for all	Dangerous for all	Dangerous for all

3.2.3 Island Cut 터파기 침수양상 해석

Island Cut 터파기의 경우 굴착 폭 10 m, 굴착 깊이가 20 m, 굴착면의 기울기는 1:1인 지형을 구축하였다. 대상 영역은 Fig. 6과 같이 총 8,116개의 요소와 8,296개의 절점으로 제작하였으며 화살표로 표시된 최우측 절점열(nodestring)에서 우수가 생성되도록 조건을 부여하였다.

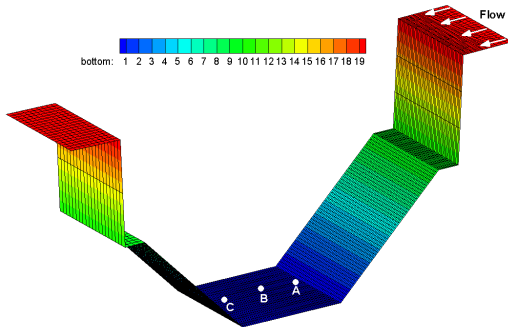


Fig. 6. Mesh generation for island cut

침수해석 모의는 0.1 s 시간 간격으로 50 s까지 진행하였다. Fig. 7과 같이 우수가 굴착 바닥면에 최초로 닿게 되는 A점 (0,5)과 바닥면의 중간지점 B (5,5), 굴착바닥면 중 A점의 반대편 끝점인 C점 (10,5)에서 시간에 따른 침수심과 침수유속을 추출하였다. 침수심의 경우 굴착면 내부로 유입되는 빗물로 인하여 굴착면 내 4.7 m까지 수심이 상승하였다. Fig. 7과 같이 해당 그래프에서 좌표 (5,5)에서 5초의 침수심은 흘러들어오는 유체가 해당 시간에 좌표에 도달하여 침수심이 높게 측정되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 7과 같이 Island Cut 터파기의 경우 유속은 (10,5)의 좌표에서 경사면에 들어오는 유체에 의해 4 s에 9.75 m/s 최대 유속이 발생하였다. (5,5)의 좌표에서는 10 s에 6.73 m/s의 최대 유속에 도달하고 흘러들어오는 유체에 의해 점차 유속이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

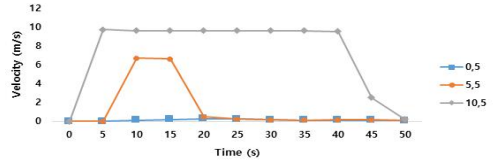
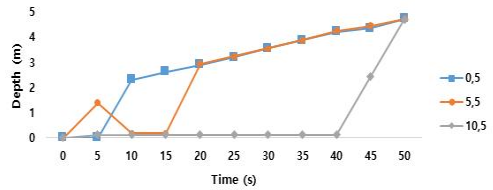


Fig. 7. Inundation depth and velocity of island cut

Table 6. FHR of island cut

Location	(0,5)	(5,5)	(10,5)
FHR	2.68	3.02	3.36
	Dangerous for all	Dangerous for all	Dangerous for all

4. 침수사고 원인 고찰

4.1 어골도 개요

어골도(Fish-bone diagram)은 특성요인도라고도 부르는데 결과나 문제점에 해당하는 특성과 그 원인이 어떻게 관계하고 있는가를 한 눈에 알아보기 위해 작성한 그림이다. 어골도를 활용하면 사고를 유발하는 요인을 체계적으로 분류하고 잠재적 영향을 파악할 수 있다.

어골도를 작성할 때 문제에 대한 원인을 파악하기 위한 순서는 Fig. 8과 같다. 우선 어골도의 큰 가지가 되는 화살표를 기준으로 그 좌측 끝에 결과를 표기하고 브레인 스토밍을 통해 결과에 대한 지식과 경험을 확보한 후 그 주요요인을 선정한다. 각 요인마다 보다 작은 요인을 작은 가지에 작성한다. 이때 누락된 요인은 없는지 확인하고 인과관계를 철저히 파악하기 위해 브레인 스토밍과 5Why를 적극적으로 활용한다면 어골도를 이용하여 재해의 발생 원인을 체계적으로 정리할 수 있다[9,10]. 최근에는 국내에서 발생한 침수재해에 대한 수치모의를 수행하고 침수양상을 해석한 후 어골도를 활용하여 침수재해의 근본적인 원인을 다각도에서 고찰한 연구도 있었다[6].



Fig. 8. Overall procedure for creating cause and effect diagram

4.2 굴착공사현장 어골도

굴착공사현장 침수사고에 복합적인 침수원인을 파악하여 어골도를 작성하고 Fig. 9에 도식화하였다. 물리적인 원인과 재난대응 관리적인 원인의 측면에서 어골도를 구성하였다. 재해 발생의 원인 중 물리적인 요인으로는 시공과 설계의 불량이었다. 시공 불량외의 세부적인 원인으로는 토류벽 근입장의 부족, 차수벽 성능 불량에 의한 흠막이 벽체의 붕괴, 시공 중 우수 유입량 오산정, 공기 과소 설정이나 지반조사 부실 등 설계 미흡으로 침수피해가 발생할 수 있다.

앞서 3.2절에서 고려했던 소규모 굴착공사 및 open cut-island cut 터파기 침수양상 수치모의 결과와 Fig. 9의 어골도를 이용한 침수사고 원인 고찰간의 상관관계는 다음과 같다. 소규모 굴착공사 현장과 터파기 현장의 침수양상을 분석해 보면 Figs. 3, 5, 7 및 Tables

4, 5, 6과 같이 굴착면을 타고 흘러 들어오는 유체에 의해 모든 지점에서 굴착면 내 침수심이 3 m를 초과하였다. 또한 굴착지점에 따라서 일시적으로 고유속이 발생하다 저류효과에 의해 감소하거나 10 m/s 이상의 고유속이 지속되기도 하였다. 이상의 침수심과 유속에 의해 소규모 굴착공사 현장에서는 FHR 값이 1.7 이상이었고 터파기 현장의 경우 FHR이 2.6 이상의 값을 보여 매우 위험한 상황임을 확인할 수 있었다. 이는 대부분의 작업자 혹은 모든 작업자에게 위험을 초래할 수 있는 수치이기 때문이다. 따라서 굴착공사 현장에 폭우로 FHR 1.7 이상의 침수양상이 나타나고 Fig. 9 어골도에서 관리대책 불량 1·2가 동시에 곱의 사상으로 발생한다면 치명적인 인명·재산 피해를 초래할 수 있다.

재난대응 관리적인 측면에서의 원인은 관리대책의 미흡과 인접지역 관리의 불량이었다. 집중호우로 작업 현장 구간 내 우수가 유입되는 현상에 대한 예측과 평가를 실시하지 않거나, 작업구간 침수 예방조치를 실시하지 않은 점, 기상악화에도 불구하고 무리하게 작업을 강행한 점, 근로자 대피를 위한 연락체계와 비상대피조치가 미흡했던 부분이 침수사고 발생 시 인명피해를 야기하였다. 인접지역 관리 불량외의 세부 요인으로는 구조물의 붕괴, 인접 지역 지표수 유입, 지하 유출수 처리 불량 등으로 인접 지역 환경의 관리 불량이 굴착공사 현장 침수사고의 원인으로 작용한 경우도 있었다 [11]. 따라서 굴착공사 현장 내에서 침수위 모니터링을 실시하거나 위기상황에 따라 선별적으로 자동경보를 발령하여 신속하게 작업자를 대피시키는 대책이 실효성이 있을 것으로 판단된다.

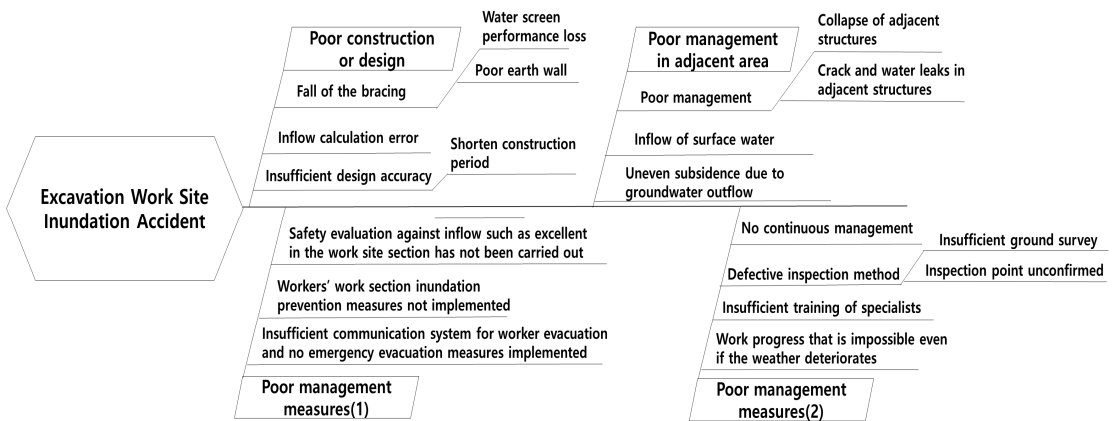


Fig. 9. Cause and effect diagram for inundation accident at excavation work site

5. 결론

최근 급변하는 기후변화로 인한 태풍과 집중호우가 증가하고 있지만 굴착공사현장에서의 침수사고 방지 대책은 여전히 미비한 실정이다. 공사현장에서의 침수 사고를 살펴보면 태풍과 집중호우, 물막이 잠김 등 복합적인 원인에 의해 발생하는데 본 연구에서는 복합적인 원인을 효과적으로 도출하기 위하여 어골도를 활용하였다.

소규모 굴착공사현장, Open Cut 터파기 공법, Island Cut 터파기 공법의 침수모의를 진행한 후 침수 피해 정량화를 위해 FHR(Flood Hazard Rating)지수로 위험도를 정량화하였다. 소규모 굴착공사현장의 경우 사방면에서 들어오는 유체에 의해 굴착면 내 측정 위치에서는 FHR 지수가 1.70 이상으로 나타나 대부분의 사람에게 위험한 정도임을 보여준다. 또한, Open Cut 터파기 공법, Island Cut 터파기 공법의 경우 굴착면 내 측정 위치에서 FHR 지수가 2를 초과하여 빠른 유속으로 인해 모든 사람에게 위험한 정도임을 확인할 수 있다. 이후 어골도를 활용하여 굴착공사 현장에서 침수사고에 직접적인 영향을 끼친 물리적인 원인과 관리적인 원인을 도출하고 각각의 원인별 잠재적인 위험 요인을 도출한 뒤 하나의 사고에 대한 복합적인 원인을 순차적으로 제시하였다.

본 연구에서 수행한 '소규모 굴착공사현장', 'Open Cut 터파기 공법', 'Island Cut 터파기 공법'에서의 침수사고 원인 분석을 위한 어골도는 침수사고에서 발생하는 다양한 원인을 효과적으로 파악하여 인명 및 재산 피해를 저감하는데 기여할 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] E. T. Shin, J. H. Shin, D. S. Rhee, H. J. Kim & C. G. Song. (2019). Integrated Inundation Modeling of Flooded Water in Coastal Cities. *Applied Science*, 9(7). 1313.
DOI : 10.3390/app9071313

[2] D. S. Rhee, S. W. Lyn & C. G. Song. (2018). Numerical Computation of Rapid Flow over Steep Terrain Using total Acceleration Method. *J. Coast. Res.*, 85, 986-990.
DOI : 10.2112/S185-198.1

[3] C. G. Song & T. K. Oh. (2016). Transient SU/PG Modeling of Discontinuous Wave Propagation,

Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal, 16(3), 146-162.
DOI : 10.1504/PCFD.2016.076221

[4] C. G. Song, I. W. Seo, J. H. Shin & I. H. Park. (2014). *Development and Application of A shallow Water Flow Model HDM-2D*, 11th International Conference on Hydroinformatics, New York City : USA.

[5] S. D. Choi, T. S. Eum, E. T. Shin, & C. G. Song. (2020). Numerical Comparisons of Flow Properties Between Individual and Comprehensive Consideration of River Inundation and Inland Flooding. *Journal of Convergence for Information Technology*, 10(10), 115-122.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.10.115

[6] D. H. Yoo, & C. G. Song. (2020). Inundation Accident Analysis Using Hydrodynamic Model and Consideration of Disaster Roots Using Cause and Effect Diagram. *Journal of Convergence for Information Technology*, 10(10), 128-134.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.10.128

[7] Defra and Agency. (2006). *The Flood risks to People Methodology, Flood Risks to People Phase 2, FD2321 Technical report 1, Flood and Coastal Defence R&D Programme*. Bristol : Defra and Agency

[8] E. T. Sin. (2019). *Development of Inundation Risk Evaluation Method Considering Hydrodynamic Force of Fluid Flow and Difficulty of Evacuation*, Masters Thesis, Incheon National University, Incheon.

[9] J. S. Park, G. H. Nam & J. O. Choi. (2011). Parameters in cause and effect diagram for uncertainty evaluation. *Accreditation and Quality Assurance*, 16, 325-326.
DOI : 10.1007/s00769-011-0763-4

[10] O. Abbasi, E. Noorzai, K. G. Jafari, S. M. ASCE & M. Golabchi. (2020). Exploring the Causes of Delays in Construction Industry Using a Cause-and-Effect Diagram: Case Study for Iran. *Journal of Architectural Engineering*, 26(3).
DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000431

[11] Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) (2014). *Safety and Health Manual for Storm and Flood*. Seoul : Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA)

유 동 현(Dongh-Hyun Yoo)

[정회원]



- 2019년 8월 : 인천대학교 안전공학과 (공학사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 안전공학과(공학석사)
- 관심분야 : 재난안전관리
- E-Mail : ydh0100@inu.ac.kr

송 창 근(Chang-Geun Song)

[정회원]



- 2001년 2월 : KAIST 건설환경공학과 (공학사)
- 2011년 8월 : 서울대학교 건설환경공학부(공학박사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 인천대학교 안전공학과 교수

- 관심분야 : 범람 및 침수 모델링, 재난안전관리, 위험성평가
- E-Mail : baybreeze119@inu.ac.kr